

Identifizierung und Bewertung der durch die  
Einführung der transponderbasierten  
bedarfsgesteuerten Nachtkennzeichnung (BNK)  
entstehenden flugbetrieblichen Risiken und  
Beschreibung von Risikominimierungsmaßnahmen

**Auftraggeber**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Dr.-Ing. Ferdinand Behrend

Metzendorfer Weg 30

21224 Rosengarten

[mail@ferdinandbehrend.de](mailto:mail@ferdinandbehrend.de)

USt-IdNr. DE275896640

SteuerID 47853609242

Rosengarten, 07.06.2019

## Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>0 Beauftragung</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Vorgehensweise</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Systembeschreibung</b> .....	<b>12</b>
3.1 Kennzeichnung von Windenergieanlagen in Deutschland .....	12
3.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen – allgemein .....	12
3.1.2 Lebensdauer von Befeuerungselementen zur Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen .....	14
3.1.3 Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung – aktuelle Anforderungen .....	16
3.1.4 Anzahl an Windenergieanlagen mit Nachtkennzeichnung in Deutschland.....	17
3.2 Betriebliche Anforderungen für den Sichtflug .....	17
3.2.1 Luftraumstruktur in Deutschland .....	17
3.2.2 Sichtflug bei Nacht .....	18
3.3 Transponder .....	20
3.3.1 Allgemeine Funktionsweise.....	20
3.3.2 Ausrüstungsanforderungen der Luftfahrzeuge in Deutschland .....	23
3.3.3 Technische Anforderungen und Zulassungsvorschriften .....	24
3.3.4 Betriebsverfahren Transponder.....	25
3.4 Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen.....	26
3.4.1 Allgemeine Vorgehensweise .....	26
3.4.2 Konzept Transponder BNK .....	27
3.4.3 Konzept BNK Radar.....	28
3.4.4 Anerkennungsverfahren BNK.....	31
<b>4 Flugbetrieb</b> .....	<b>32</b>
4.1 Allgemeine Luftfahrt .....	32
4.2 Luftrettung.....	33
4.2.1 ADAC.....	35
4.2.2 DRF Luftrettung .....	36
4.2.3 Gesamtübersicht.....	36
4.3 Militär .....	36
4.3.1 HEMS .....	36
4.3.2 Taktischer Helikoptertiefflug .....	37
4.3.3 NLFS .....	38
4.3.4 Zusammenfassung .....	39
4.4 Bundepolizei .....	40
<b>5 Gefahrenanalyse für eine transponderbasierte BNK</b> .....	<b>42</b>
5.1 Hazard 1 – Transponderausfall auf Grund von Fehlfunktion.....	42
5.2 Hazard 2 – Überlastung der Flugsicherung .....	43
5.2.1 Hazard 2a – Überlastung des Fluglotsen .....	43

5.2.2	Hazard 2b – Überlastung des Flugsicherungssystems .....	43
5.3	Hazard 3 – Tief fliegender Verkehr der allgemeinen Luftfahrt.....	43
5.3.1	Hazard 3a – Tief fliegender Verkehr GA auf Grund eines Triebwerksausfall .....	43
5.3.2	Hazard 3b – Tief fliegender Verkehr GA auf Grund der Wetterbedingungen .....	43
5.4	Hazard 4 –Langsame Luftfahrzeuge .....	44
5.5	Hazard 5 – Helikopter im HEMS Einsatz mit Mode A/C Transponder.....	44
5.6	Hazard 6 – Einsatzverkehr im Tiefflug mit geänderten Transponder Mode .....	44
5.6.1	Hazard 6a – Bundespolizei fliegt tief mit Incognito Mode des Transponders.....	44
5.6.2	Hazard 6b – Bundeswehr fliegt tief mit militärischem Mode des Transponders .....	44
5.7	Hazard 7 – Einsatzverkehr im Tiefflug ohne aktivierten Transponder.....	44
5.7.1	Hazard 7a – Bundespolizei fliegt tief ohne aktivierten Transponder .....	44
5.7.2	Hazard 7b – Bundeswehr fliegt tief ohne aktivierten Transponder.....	45
5.8	Hazard 8 – Militärische Jet-LFZ im Nachttiefflugsystem .....	45
5.9	Hazard 9 – Außenlandung im HEMS Einsatz.....	45
<b>6</b>	<b>Risikobewertung .....</b>	<b>46</b>
6.1	Hazard 1 – Transponderausfall aufgrund von Fehlfunktion .....	46
6.2	Hazard 2 – Überlastung der Flugsicherung .....	49
6.2.1	Hazard 2a – Überlastung des Fluglotsen .....	49
6.2.2	Hazard 2b – Überlastung des Flugsicherungssystems.....	50
6.3	Hazard 3 – Tief fliegender Verkehr der allgemeinen Luftfahrt.....	50
6.3.1	Hazard 3a – Tief fliegender Verkehr GA auf Grund eines Triebwerksausfall .....	50
6.3.2	Hazard 3b – Tief fliegender Verkehr GA auf Grund der Wetterbedingungen .....	51
6.4	Hazard 4 –Langsame Luftfahrzeuge .....	52
6.5	Hazard 5 – Helikopter im HEMS Einsatz mit Mode A/C Transponder.....	52
6.6	Hazard 6 – Einsatzverkehr im Tiefflug mit geänderten Transponder Mode .....	53
6.6.1	Hazard 6a – Bundespolizei fliegt tief mit Incognito Mode des Transponders.....	53
6.6.2	Hazard 6b – Bundeswehr fliegt tief mit militärischem Mode des Transponders .....	54
6.7	Hazard 7 – Einsatzverkehr im Tiefflug ohne aktivierten Transponder.....	55
6.7.1	Hazard 7a – Bundespolizei fliegt tief ohne aktivierten Transponder .....	55
6.7.2	Hazard 7b – Bundeswehr fliegt tief ohne aktivierten Transponder.....	55
6.8	Hazard 8 – Militärische Jet-LFZ im Nachttiefflugsystem .....	56
6.9	Hazard 9 – Außenlandung im HEMS Einsatz.....	57
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....</b>	<b>58</b>
	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>62</b>
	<b>Anhang A Anerkennungsverfahren BNK .....</b>	<b>I</b>
	<b>Anhang B DFS Konformitätsmatrix .....</b>	<b>III</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Hinernisschutzbereiche eines Verkehrsflughafens [31] .....	13
Abbildung 2:	Typische "Badewannenkurve" der Fehlerrate [40].....	15
Abbildung 3:	Luftraumstruktur in Deutschland [DFS].....	18
Abbildung 4:	Kategorien eines NOTAM bezüglich Relevanz für den Luftfahrzeugführer [34].....	19
Abbildung 5:	ICAO Konflikt Management ICAO Doc 9854 [eigene Darstellung].....	20
Abbildung 6:	RSM 970 S Monopuls-Sekundärüberwachungsradar [Thales] .....	21
Abbildung 7:	ADS-B Funktionsprinzip [Jetways] .....	22
Abbildung 8:	TCAS Schutzgrenzen [EUROCONTROL] .....	23
Abbildung 9:	Space-Based ADS-B [Aireon] .....	26
Abbildung 10:	Radarabdeckung mit Primärradar in Bodennähe [26].....	29
Abbildung 11:	Prinzip der Detektion mit Passivradar [Parasol].....	30
Abbildung 12:	Cirrus SR20 [Cirrus Aircraft] .....	32
Abbildung 13:	Gasballone vor dem Start in die Nacht [Schweizer Ballonverband] .....	33
Abbildung 14:	Helicopter Terrain Avoidance and Warning System [Garmin].....	35
Abbildung 15:	Airbus EC135 [ADAC] .....	35
Abbildung 16:	HEMS Luftfahrzeuge der Bundeswehr – UH-1 (links), Sea King (rechts) [Bundeswehr] .....	37
Abbildung 17:	Eurofighter Typhoon (links) Joint Strike Fighter F35 (rechts) [Airbus, Lockheed Martin] .....	38
Abbildung 18:	NLFS der Bundeswehr in Deutschland [DFS].....	39
Abbildung 19:	Airbus Helicopters H155 [Bundespolizei].....	40
Abbildung 20:	Helikopterlaserradar [EADS] .....	41
Abbildung 21:	ICAO Klassifizierung von Auftrittswahrscheinlichkeiten [37] .....	51

---

## Abkürzungsverzeichnis

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
AIP	Aeronautical Information Publication
AIS	Aeronautical Information Service
ANSP	Air Navigation Service Provider
AOPA	Aircraft Owners and Pilots Association
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrt- hindernissen
BAF	Bundesaufsichtsamt der Flugsicherung
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BNK	Bedarfsgesteuerte Befeuerung von Windenergieanlagen
BNK	Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung
DAEC	Deutscher Aero Club e.V.
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DWD	Deutscher Wetterdienst
EHS	Enhanced Surveillance
ELS	Elementary Surveillance
FAA	Federal Aviation Authority
FIR	Flight Information region
ft	Feet
GA	General Aviation
GND	Ground
h	Stunde
HELLAS	Helikopter Laser Radar
HEMS	helicopter Emergency Medical Services
HTAWS	Helicopter Terrain Avoidance and Warning System
IFR	Instrument Flight Rules (Instrumentenflugregeln)
IMC	Instrument Meteorological Conditions
Km	Kilometer
LFZ	Luftfahrzeug
m	Meter
NLFS	Night Low Level Flying System
NM	Nautical Mile
NVFR	Night VFR
NVG	Night Vision Goggle
NVIS	Night Vision Imaging System
PSR	Primary Radar Surveillance
RCS	Radar Cross Section

SSR.....	Secondary Surveillance Radar
TCAS .....	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TMZ.....	Transponder Mandatory Zone
VFR.....	Visual Flight Rules (Sichtflugregeln)
VMC.....	Visual Meteorological Conditions
WEA.....	Windenergieanlagen

## 0 Beauftragung

Durch das Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes, des Energiewirtschaftsgesetzes und weiterer energierechtlicher Vorschriften, auch Energiesammelgesetz (EnSaG) genannt, wird die bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung (BNK) verpflichtend für neue und bestehende Windenergieanlagen ab dem 1. Juli 2020 eingeführt. Die Erfüllung dieser Pflicht ist technologie-neutral ausgestaltet. Luftverkehrsrechtlich sind bislang Primär- und Passivradarsysteme zugelassen. Derzeit wird mit den betroffenen Ressorts geprüft, ob eine weitere Option auf der Grundlage der Signalauswertung von Flugsicherungstranspondern zur Positionsbestimmung luftverkehrsrechtlich zugelassen werden kann.

Am 30. November 2018 hat der Bundestag in zweiter und dritter Lesung das Energiesammelgesetz beschlossen und am 14. Dezember 2018 hat der Bundesrat dem Gesetz zugestimmt. Der Gesetzgeber hat dabei Windparkbetreiber verpflichtet, bis spätestens 1. Juli 2020 neue und bestehende Windenergieanlagen mit einer bedarfsgesteuerten Nachtkennzeichnung auszustatten, sofern diese aus Sicht der Luftfahrt nachts als Hindernis zu kennzeichnen sind.

Darüber hinaus wurde in diesem Rahmen auch durch Änderung der Verordnung über die Flugsicherungsausrüstung der Luftfahrzeuge (FSAV) die Einführung einer allgemeinen Transponderpflicht für Luftfahrzeuge in allen Lufträumen bei Nacht bis spätestens 1. August 2019 beschlossen. Damit wird eine wesentliche Voraussetzung dafür geschaffen, dass in Zukunft neben der Radarlösung eine weitere Technologie, die auf der Auswertung von Transpondersignalen basiert, zur Anwendung kommen kann.

Vor der angestrebten Einführung dieser neuen Option der transponderbasierten BNK bedarf es der Änderung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (AVV). Im ersten Quartal 2019 könnte nach positiver Klärung noch offener Fachfragen ein Entwurf der AVV mit den entsprechenden Änderungen vorgelegt werden. Voraussichtliches Inkrafttreten der AVV kann dann im zweiten Halbjahr 2019 sein.

Dieser sehr ambitionierte Zeitplan kann nur dann gehalten werden, wenn die bisher vorliegenden Vorbehalte zeitnah untersucht und die hieraus entstammenden Risikominimierungsmaßnahmen umgesetzt werden. Hintergrund für die kritische Haltung ist insbesondere, dass unter bestimmten Voraussetzungen die Nachtkennzeichnung nicht rechtzeitig aktiviert werden könnte, sofern von einem in der Nähe der betreffenden Windenergieanlage befindlichen Luftfahrzeug keine oder keine geeigneten Transpondersignale empfangen werden können. In dem durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) beauftragten Gutachten sollen diese Hintergründe erläutert werden, die Eintrittswahrscheinlichkeiten für diese unterschiedlichen Konstellationen errechnet und geeignete Maßnahmen zur Risikominimierung beschrieben werden.

# 1 Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens ist eine Risikoabschätzung hinsichtlich der Einführung einer bedarfsgesteuerten Befeuerung von WEA mit Hilfe von Transponder-signalen durchgeführt worden. Hierzu wurde der PLAN-Zustand (BNK-Transponder) mit der heutigen Situation (IST-Zustand) – basierend auf der aktuellen Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen – verglichen, welche eine bedarfsgesteuerte Befeuerung nur mit solchen Technologien ermöglicht, welche unabhängig von Systemen des Luftfahrzeugs funktionieren. Dies kann bisher nur mit Hilfe von Radar (Primär / Passiv) realisiert werden. Darüber hinaus wurde auch die Situation ohne den Einsatz eines BNK-Systems betrachtet.

Im Rahmen der Verkehrsanalyse wurden alle relevanten Verkehrsarten identifiziert und Fachgespräche mit den jeweiligen Flugbetrieben geführt. Auf Basis bestehender Luftverkehrsvorschriften, Einsatzprofile und spezifischen Ausrüstungen der eingesetzten Luftfahrzeuge wurden mögliche Gefahrensituationen identifiziert und hinsichtlich der Verwendung einer BNK-Transponder und BNK-Radar bewertet. Mit Hilfe der Verkehrszahlen der jeweiligen Flugbetriebe konnte eine Einschätzung der Relevanz jeder Gefahrensituation innerhalb des gesamten VFR-Nachtflugbetriebs erfolgen. Im Anschluss wurden Maßnahmen identifiziert, um das mögliche Risiko weiter zu reduzieren.

Grundsätzlich ist der Flugsicherungstransponder als System zur Identifizierung von Luftfahrzeugen anerkannt und weltweit im Betrieb. Der heutige Luftverkehr könnte in seinem Umfang ohne den Transponder nicht mehr sicher abgewickelt werden. Einflugverbote in Verantwortungsbereichen von einigen Flugsicherungszentralen in Europa mit einem defekten Transponder zeigen die Relevanz für den Flugbetrieb. Dazu unterstreicht die Verwendung des Transponders für diverse Sicherheitsrelevante Anwendungen (Kollisionswarnsystem/TCAS, *Transponder Mandatory Zone/TMZ*) zusätzlich die Bedeutung und das Vertrauen, welches seitens aller beteiligter Interessengruppen innerhalb der Luftfahrt besteht. Durch die technische Weiterentwicklung und Einführung des Mode-S Transponder (in Deutschland seit 2008), wurden die Bauvorschriften hinsichtlich Schutzes vor Ausfällen oder Fehlbedienungen noch einmal verbessert und reduzieren das Risiko eines unerkannten Transponderausfalls in der Luft.

Durch die Verwendung des DF11 Acquisition-Squitter als Mindestanforderung, welcher sekundlich durch den Mode-S Transponder ausgestrahlt wird, kann ein BNK-Transponder System alle relevanten Ziele im Wirkungsraum identifizieren und die Befeuerung sicher aktivieren – auch ohne SSR-Abdeckung (Sekundärradar) der Deutschen Flugsicherung. Voraussetzung hierfür ist eine allgemeine Transponderpflicht bei Nacht. Demnach können alle Verkehrsarten durch ein BNK-Transponder System erkannt werden, welche mit einem aktivierten Mode-S Transponder ausgestattet sind. Zusätzliche Maßnahmen zur Detektion von Signalverlusten (MLAT, Pegelbewertung) können die Möglichkeit eines Einflugs in den Wirkungsraum einer WEA ohne Aktivierung der Befeuerung weiter minimieren. Ein Anstieg des Risikos durch die Verwendung der BNK-Transponder für Verkehre, welche mit einem aktivierten Mode-S Transponder ausgerüstet sind, ist nicht zu erwarten.

Einige Betriebsszenarien mit operativem Verkehr (taktischer Helikoptertiefflug, Bundespolizei im Sondereinsatz) sehen die Verwendung besonderer Transponder-Modi oder das vollständige Deaktivieren des Transponders vor. In diesem Fall kann eine BNK-



Transponder das LFZ nicht identifizieren und die Befeuerung aktivieren. Die Anzahl dieser Einsätze ist jedoch vergleichsweise sehr gering und das allgemeine Situationsbewusstsein der Berufspiloten hinsichtlich der umgebenden Hinderniskulisse bei solchen Einsätzen dagegen sehr hoch. Ebenso besteht die Möglichkeit, dass eine Befeuerung einfach defekt oder das Hindernis (z.B. eine WEA) niedriger als 100 m und ohne Befeuerung ist, aber dennoch relevant für das spezifische Flugprofil. Hinzu kommt, dass fast alle dieser Einsätze mit Nachtsichtgeräten (NVG) geflogen werden, welche das Erkennen von Hindernissen unabhängig von der Art der Nacht-Kennzeichnung erheblich verbessert. Zusätzliche Systeme wie spezielle Hinderniskarten, Hindernisdatenbanken im Navigationssystem oder das Helikopterlasersystem der Bundespolizei verringern nochmals das Risiko einer gefährlichen Annäherung an eine WEA.

Vergleicht man die Gefahrensituation – BNK-Transponder bei taktischem Helikoptertief-  
flug oder Bundespolizei im Sondereinsatz – mit der Verwendung der BNK-Radar, so bestehen auch hier Defizite im Zusammenhang einer gesicherten Detektion der Luftfahrzeuge gerade in Bodennähe. Bekannte Effekte wie Abschattungen hinter Objekten (z.B. hinter Windparks), Bodenreflexionen, geringe Radarrückstrahlfläche, geringe Fluggeschwindigkeiten bei Verwendung des Dopplereffekts zur Filterung oder atmosphärische Gegebenheiten haben Einfluss auf die sichere Detektion eines LFZ im Wirkungsraum. Da die derzeitige standortspezifische Abnahme nur eine Befliegung bis minimal 500 ft GND vorsieht, kann dies nicht als Nachweis für die Abdeckung des gesamten in der AVV definierten Wirkungsraums herangezogen werden. Operativen Verkehre der Bundeswehr und Bundespolizei, welche bewussten Tiefflug (<500 ft) durchführen, können demzufolge ebenfalls nicht mit absoluter Sicherheit durch das BNK-Radar System erkannt werden. Eine Veränderung des akzeptierten Risikos durch die Einführung der BNK-Transponder gegenüber dem IST-Zustand einer BNK-Radar ist demnach nicht zu erwarten.

Primäreinsätze der Rettungshelikopter (HEMS), welche eine der häufigsten Verkehrsart mit VFR-Night-Flug darstellen, können zu Außenlandung mit einem sehr tiefen Ein- oder Ausflug in einen Wirkungsraum führen. Erfolgt dann die Landung noch am Tag, der erneute Start aber bei Nacht – möglicherweise noch unter Zeitdruck auf Grund der Schwere der Verletzungen der aufgenommenen Patienten, so muss das BNK-System (Radar oder Transponder) unverzüglich die Befeuerung sicher aktivieren. Gerade in diesem Szenario bietet die BNK-Transponder zumindest die gleiche Sicherheit wie ein BNK-Radar System, das das BNK-Transponder System unabhängig von Flughöhe oder Fluggeschwindigkeit des zu detektierenden Luftfahrzeuges arbeitet.

Generell wird empfohlen, die Detektion im gesamten Wirkungsraum einer WEA zu überprüfen, um das bestehende Sicherheitsniveau auch für tief fliegende Luftfahrzeuge zu gewährleisten. Auch eine genauere Nennung der für die Auslegung einer BNK-Radar zu verwendenden Referenz-Radarrückstrahlfläche würde sich hier positiv auswirken.

Um das Risiko beim Einsatz von BNK-Systemen (Radar oder Transponder) für die Verkehrsarten mit bewusstem oder betrieblich bedingtem Tiefflug noch weiter zu minimieren, wird eine Ausrüstung mit einer permanenten Infrarot Befeuerung vorgeschlagen. Diese erhöht die Sichtbarkeit bei der Verwendung von NVG-Systemen und ist mit bloßem Auge nicht sichtbar. Außerdem sollte die bereits geforderte Integritätsprüfung des BNK-Systems genau hinsichtlich ihrer Umsetzung geprüft werden

## 2 Vorgehensweise

Ziel des vorliegenden Gutachtens ist es, eine qualitative Aussage hinsichtlich der Verwendung von Transpondersignalen eines Mode-S und/oder Mode A/C Transponders zur bedarfsgesteuerten Aktivierung der Nacht-Kennzeichnung (Befuerung) von Windenergieanlagen (BNK-Transponder) und des daraus resultierenden Einflusses auf die Sicherheit des Flugbetriebs zu erarbeiten. Dabei handelt es sich um ein Konzept mit einer rein passiven Auswertung von Transpondersignalen, d.h. es ist kein zusätzliches aktives Abfragesystem am Boden vorgesehen.

Im Rahmen des Gutachtens wird der aktuelle Zustand (IST-Zustand) nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen – eine permanent aktivierte Befuerung ODER eine bedarfsgesteuerte Befuerung mit Hilfe von Radartechnologie (BNK-Radar), unabhängig vom Luftfahrzeug (LFZ) – mit einer möglichen Verwendung der BNK-Transponder (PLAN-Zustand) verglichen.

Dazu werden bestimmte Szenarien, welche als besonders relevant für die Nutzung einer Hindernisbefuerung nachts identifiziert wurden (Gefahrensituationen / engl. *Hazards*), hinsichtlich des IST- und PLAN-Zustands und den jeweils betroffenen Luftverkehrsteilnehmern untersucht. Abschließend erfolgt eine qualitative Einschätzung des zu erwartenden Risikos für die relevanten Flugbetriebe im IST- und PLAN-Zustand, sowie entsprechende Empfehlungen aus flugbetrieblicher Perspektive und mögliche Mitigationsmaßnahmen.

Der angewendete Risikomanagement-Prozess für die Risikobewertung basiert auf den Leitfäden der International Civil Aviation Organisation (ICAO) und der European Aviation Safety Agency (EASA) [37][5].

Im Rahmen des Gutachtens wurde eine Reihe von Fachgesprächen durchgeführt, um folgende Themengebiete abzudecken:

- Bestehende Konzepte zur BNK-Radar
  - ARCHE Systeme GmbH
  - Dark Sky GmbH
  - Quantec GmbH
  - PARASOL, Dirkshof / EED GmbH & Co. KG
  - Prof. Dr.-Ing. Helmut Dölecke
- Mögliche Konzepte zur BNK-Transponder
  - Lanthan GmbH & Co. KG und AIR Avionics Garrecht Avionik GmbH
  - Deutsche Windtechnik AG
  - f.u.n.k.e. AVIONICS GmbH
- Zulassungsverfahren einer BNK
  - Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS)
  - Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF)
  - Landesluftfahrtbehörde Niedersachsen
  - Landesluftfahrtbehörde Schleswig-Holstein

Darüber hinaus wurde eine Reihe von Hazard-Workshops und Fachgesprächen zur Identifizierung von möglichen Gefahrensituationen durchgeführt:

- Militärische Luftfahrt
  - Bundesministerium der Verteidigung

- Flugbetrieb der Polizei
  - Bundespolizei
- Helicopter Emergency Medical Services (HEMS)
  - ADAC Luftrettung GmbH
  - DRF Stiftung Luftrettung AG
  - Deutscher Hubschrauberverband e.V.
- Allgemeine Luftfahrt
  - Deutscher Aero Club e.V. (DAEC)
  - Aircraft Owners and Pilots Association (AOPA)

Die gesamte Bearbeitung des Gutachtens und die Durchführung der diversen Fachgespräche und Workshops wurde durch die verantwortlichen Mitarbeiter im Referat LF 15/Flugplätze des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) begleitet.

### 3 Systembeschreibung

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über alle relevanten betrieblichen, technischen und rechtlichen Hintergründe hinsichtlich der Bearbeitung der hier vorliegenden Fragestellung. Dies beinhaltet die Thematik der Hindernisbefeuern von Luftfahrthindernissen – insbesondere von Windenergieanlagen – in Deutschland, bestehende Konzepte zur BNK-Radar sowie mögliche Konzepte zur BNK-Transponder. Dazu wird der Einsatz des Transponders in der Luftfahrt, die zu Grunde liegende Technologie, Zulassungs- und Bauvorschriften, Sicherheitsanforderungen und die jeweiligen Datenformate vorgestellt. Abschließend wird das aktuelle Zulassungsverfahren der DFS für BNK-Radar System erläutert, einschließlich des mehrstufigen Zulassungsprozesses.

#### 3.1 Kennzeichnung von Windenergieanlagen in Deutschland

##### 3.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen – allgemein

Windenergieanlagen (WEA) werden von der Gesetzgebung wie andere Hindernisse für den Luftverkehr – Türme, Schornsteine oder hohe Gebäude – behandelt und sind entsprechend der nationalen oder internationalen Regularien zu kennzeichnen. Diese Standards und Empfehlungen für den Anwendungsfall "Kennzeichnung von allgemeinen Hindernissen" sind im ICAO Annex 14 (*Chapter 6: Visual Aids for Denoting Obstacles*) sowie im ICAO DOC 9157 – Aerodrome Design Manual Part 4 – Visual Aids niedergelegt [31][35]. In der Bundesrepublik Deutschland wurden die internationalen Empfehlungen in Form der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (AVV) in nationales Recht entsprechend umgesetzt [9].

Grundsätzlich gilt jedes Objekt als Hindernis für den Luftverkehr, das eine Höhe von mehr als 150 m über Grund innerhalb von Städten und anderen dicht besiedelten Gebieten, sowie 100 m über Grund außerhalb von Städten und anderen dicht besiedelten Gebieten überschreitet. Zum Schutz tief fliegender Luftfahrzeuge (zum Beispiel Arbeits-, Militär- und Rettungsflüge) können auf der Grundlage von § 16a LuftVG die Objekte ab 20 m über Grund (zum Beispiel Freileitungen, Seilbahnen, Maste und ähnliches) in die Kennzeichnungspflicht mit einbezogen werden. Dazu kommen alle Objekte, die sich innerhalb gemäß ICAO Annex 14 definierten Schutzflächen eines Flughafens befinden (vgl. Abbildung 1).

Hindernisse, wenn als solche identifiziert, sollen farblich oder mit Fähnchen (z.B. im Falle von Baukränen auf einem Flughafengelände) markiert werden. Bei Nachtbetrieb sollen sie zusätzlich beleuchtet werden. Die Luftfahrtbehörden können einen ergänzenden Hindernis- bzw. Gefahrenfeuerbetrieb auch tagsüber fordern, wenn eine andere Tageskennzeichnung als nicht ausreichend wirksam eingeschätzt wird bzw. bei besonderen Gefährdungslagen.

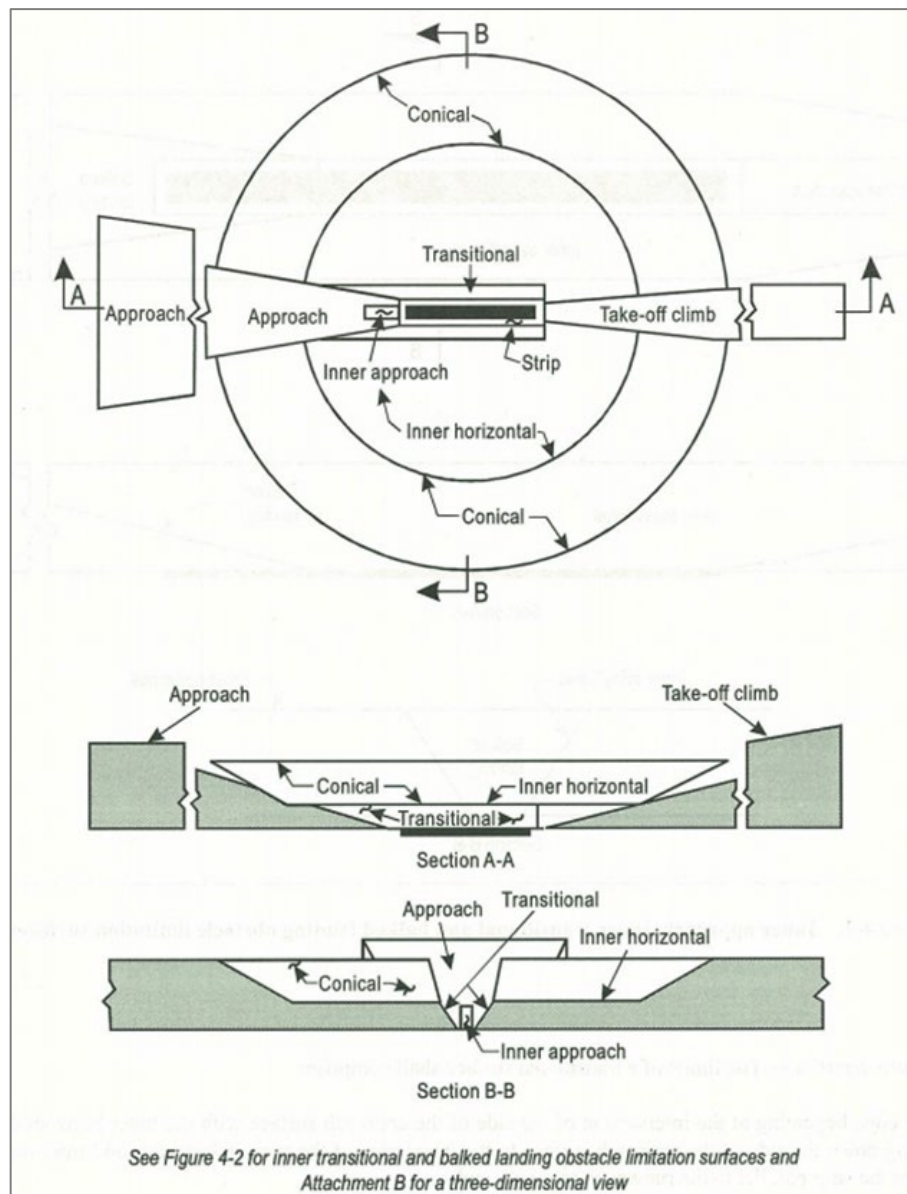


Abbildung 1: Hinernisschutzbereiche eines Verkehrsflughafens [31]

Grundsätzlich wird zwischen einer Tages- und Nachtkennzeichnung unterschieden, wobei die Nacht folgendermaßen definiert wird: „die Stunden zwischen dem Ende der bürgerlichen Abenddämmerung und dem Beginn der bürgerlichen Morgendämmerung. Die bürgerliche Dämmerung endet am Abend und beginnt am Morgen, wenn sich die Mitte der Sonnenscheibe  $6^\circ$  unter dem Horizont befindet“ (siehe SERA [20]). Die Nachtkennzeichnung von Luftfahrthindernissen und ist im Abschnitt 3 der AVV beschrieben. Für die vorliegende Arbeit ist jedoch nur die Kennzeichnung von WEA im speziellen bei Nacht relevant, welche im Teil 3 der AVV definiert ist.

Die Kennzeichnung bei Nacht erfolgt wie folgt:

„Die Nachtkennzeichnung der Windenergieanlagen erfolgt durch Hindernisfeuer, Gefahrenfeuer, Blattspitzenhindernisfeuer oder Feuer W, rot“ (AVV, Abschnitt 3, 17.1).

„Bei Anlagenhöhen von mehr als 150 m über Grund oder Wasser sind zusätzliche Hindernisbefeuerebenen am Turm erforderlich“ (AVV, Abschnitt 3, 17.2).

- **Hindernisfeuer** sind Rundstrahlfeuer mit einer horizontalen Sichtbarkeit von 360° und einer vertikalen Abstrahlung von -5° bis +50°. Die WEA muss so ausgerüstet sein, dass aus einer Richtung zwei Feuer mit einer Mindestlichtstärke von 10 cd gesehen werden – also idealerweise mit vier Feuern.
- **Gefahrenfeuer** sind Befeuerungselemente mit einer Lichtstärke von 2.000 cd. Bei der Verwendung von Gefahrenfeuern darf der unbefeuerte Teil der WEA im Flughafen-Bereich nicht 15 m und außerhalb nicht mehr als 50 m überschreiten.
- **Blattspitzenfeuer** sind an den Rotorblattspitzen befestigte Feuer mit einer Mindestlichtstärke von 10 cd und einer vertikalen Abstrahlung von +/- 10°. Bei der Verwendung von Blattspitzenfeuern müssen zusätzlich auf dem Maschinenhaus Hindernisfeuer installiert werden. Mit Hilfe einer Steuerungseinrichtung muss gewährleistet sein, dass immer die Befeuerung des höchsten Blatts aktiviert ist. Bei Stillstand werden alle Spitzen aktiviert.
- **Feuer W, rot** ist ein getaktetes Rundstrahlfeuer mit einer horizontalen Sichtbarkeit von 360° und einer vertikalen Sichtbarkeit von +/- 15°. Die Taktfolge lautet 1 s hell – 0,5 s dunkel – 1 s hell – 1,5 s dunkel. Das Feuer W, rot muss gedoppelt verwendet werden, der unbefeuerte Teil der WEA darf nicht höher als 65m sein.

Bei Sichtweiten über 5.000 m darf die Nennlichtstärke der Gefahrenfeuer und der Feuer W, rot auf 30% und bei Sichtweiten über 10 km auf 10 % reduziert werden.

Blattspitzenfeuer werden grundsätzlich derzeit in Deutschland nicht verwendet. Im Rahmen einer Untersuchung zur Kennzeichnung von Offshore-Windenergieanlagen wurden diese in einem Simulator visualisiert und durch Berufspiloten bewertet. Dabei wurden sie von Luftfahrzeugführern eher als irritierend und desorientierend wahrgenommen, speziell bei einem größeren Windpark mit einer hohen Anzahl von WEA [46]. In Deutschland kommen vorwiegend Feuer W, rot zum Einsatz und bei einer Höhe über 150 m die zusätzlichen Befeuerungsebenen am Turm mit Hindernisfeuern.

### 3.1.2 Lebensdauer von Befeuerungselementen zur Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen

Wie im vorherigen Abschnitt bereits erläutert besteht für WEA in Deutschland ab einer Höhe von 100 m über Grund grundsätzlich die Verpflichtung einer Nacht-Befeuerung mit dem Feuer W, rot oder Gefahrenfeuern. In Deutschland kommt allerdings nach Aussage diverser Windparkbetreiber vorwiegend das Feuer W, rot als Turmbefeuerung zum Einsatz. Ab einer Höhe von 150 m über Grund müssen zusätzliche Hindernisbefeuerungsebenen am Turm hinzugefügt werden.

Hinsichtlich der geforderten Lebensdauer der zu verwendenden Leuchtmittel gibt die AVV die Vorgabe, dass wenn Feuer mit sehr langer Lebensdauer (z.B. LED) verwendet werden, diese beim Erreichen einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 5% präventiv getauscht werden müssen und hierfür die Betriebsdauer erfasst werden muss [9]. Gespräche mit Lampenherstellern und Windenergieanlagenherstellern haben ergeben, dass entsprechende LED Befeuerungselemente so ausgelegt sind, dass der Punkt von 5% Sterblichkeit (engl. *Failure Probability*) nach ca. 50.000 Betriebsstunden erreicht wird.

Im Rahmen der Zuverlässigkeitsbestimmung und Auslegung von technischen Systemen und einzelnen Systemkomponenten bestehen folgende Definitionen [11][45]:

- Ausfallrate – *Failure Rate* ( $\lambda$ )
- Ausfallwahrscheinlichkeit – *Failure Probability*

- mittlere Betriebsdauer bis zum Ausfall – *Mean Time between Failures* (MTBF)

Die Lebensdauer einer einzelnen Komponente kann typischerweise in einer Diagramm-Darstellung einer sogenannten *Badewannenkurve* (*Bathub Curve*) als Ausfallrate abhängig von der Lebensdauer dargestellt werden (vgl. Abbildung 2). Die Ausfallrate ist zu Beginn und am Ende der Lebensdauer verhältnismäßig hoch. Im mittleren Segment, welches i.d.R. die nutzbare Zeit der Komponente darstellt (Gebrauchslebensdauer), wird von einer konstanten Ausfallrate ausgegangen.

Die hohe Ausfallrate im ersten Bereich ist darauf zurückzuführen, dass Konstruktions-, Produktions- oder Werkstoffmängel häufig gleich zu Beginn des Betriebes auffallen bzw. zu Schäden führen. Zum Ende der Lebensdauer treten, langsam ansteigend, verstärkt Ausfälle oder Schäden auf, welche hauptsächlich auf Alterung und Verschleiß zurückzuführen sind.

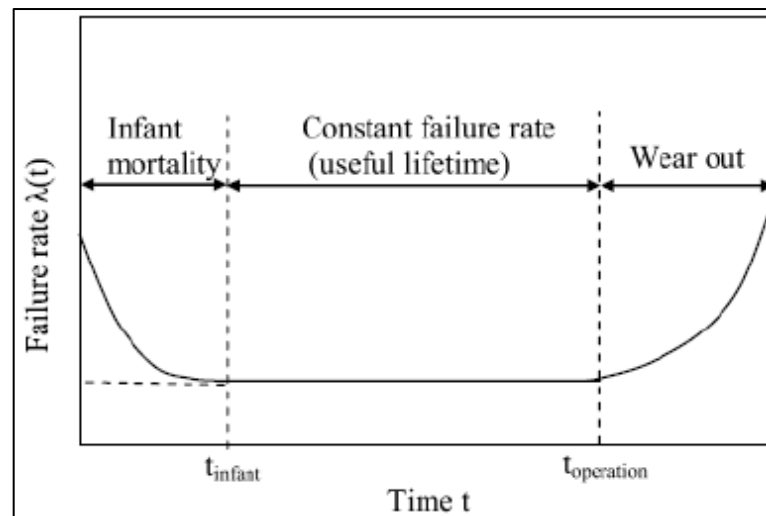


Abbildung 2: Typische "Badewannenkurve" der Fehlerrate [40]

Betrachtet man den mittleren Bereich mit einer konstanten Fehlerrate, so gelten folgende mathematische Zusammenhänge:

Ausfallwahrscheinlichkeit:  $P_F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

mit:  $\lambda = \frac{1}{MTBF}$

Für ein LED-Befuerungselement mit einer 5% Ausfallwahrscheinlichkeit nach 50.000 Betriebsstunden ergeben sich somit folgende Werte:

$$P_F(t) = 0,05 \text{ mit } t = 50.000 \text{ h}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = 1,025 \times 10^{-6}$$

$$MTBF = 975.000 \text{ h}$$

Über die Betriebsdauer des LED-Befuerungselements – sofern man davon ausgeht, dass sich die Betriebszeit innerhalb des Bereichs der konstanten Fehlerrate befindet – steigt somit die Ausfallwahrscheinlichkeit konstant bis zu einem Wert von 0,05 (5%) an – zu diesem Zeitpunkt wird das Element präventiv ausgetauscht.

Fällt eine Lampe vor dem präventiven Tausch aus, so muss dieses durch den Anlagenbetreiber an den *Aeronautical Information Service* (AIS) der DFS gemeldet werden [9]. Der AIS veröffentlicht diese Einschränkung der Hinderniskennzeichnung per NOTAM<sup>1</sup>, so dass diese prinzipiell dem betroffenen Luftfahrzeugführer zur Verfügung steht – sofern er seinen Flug nicht schon angetreten hat. Laut Anlagenbetreibern kann es dann bis zu mehreren Wochen dauern, bis das defekte Befeuerungselement im Zuge einer entsprechenden Wartung der WEA ersetzt wird.

### 3.1.3 Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung – aktuelle Anforderungen

Derzeit ist in der Bundesrepublik Deutschland eine bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung (BNK) von Windenergieanlagen nur möglich, sofern diese unabhängig von der technischen Ausstattung der Luftfahrzeuge ist (vgl. Anhang 6 der AVV [9]). Hiermit ist eine BNK-Transponder Lösung nach dem aktuellen Stand der AVV grundsätzlich ausgeschlossen. Aktuelle technische Lösungen verwenden u.a. aktive Primärradarsysteme, welche bei der Erstellung der aktuellen AVV explizit berücksichtigt wurden (siehe Hinweis Radarrückstrahlfläche militärische LFZ im Nachttiefflugsystem).

Mit Hilfe der BNK kann die Nachtkennzeichnung in den Stunden zwischen dem Ende der bürgerlichen Abenddämmerung (ECET – „*End Civil Evening Twilight*“) und dem Beginn der bürgerlichen Morgendämmerung (BCMT – „*Begin Civil Morning Twilight*“) in Abhängigkeit eines sich im Wirkungsraum der WEA befindlichen LFZ aktiviert bzw. deaktiviert werden. Der Wirkungsraum wird gebildet durch den Luftraum, der sich um jede WEA erstreckt in Winkeln von mindestens  $\pm 15^\circ$  in einem Radius von mindestens 4.000 m bis zu einer Höhe von nicht weniger als 600 m (2.000 ft).[9]

Sobald ein LFZ in den Wirkungsraum einfliegt, muss die Nachtkennzeichnung der WEA durch die BNK aktiviert werden. Genauere Spezifikationen bezüglich der zu erfassenden Luftfahrzeugtypen und ihren Radarrückstrahlfläche (relevant für ein aktives Primärradarsystem) oder der geforderten Detektionsqualität bzw. Detektionsrate werden in der aktuellen AVV jedoch nicht gemacht. Es erfolgt nur der Hinweis, dass alle LFZ, welche nach Sichtflugregeln bei Nacht (NVFR) den Luftraum G befliegen dürfen, für die Erfassung der BNK relevant sind und innerhalb des Wirkungsraum erfasst werden müssen. Dies ist insofern anzumerken, da große Unterschiede in der für ein Primärradarsystem relevanten Radarrückstrahlfläche bei im Luftraum G operierenden LFZ vorkommen können – z.B. LFZ aus Faserverbundwerkstoffen oder Heißluftballone.

Darüber hinaus erfolgen keinerlei Angaben bezüglich vertikaler Flugprofile spezieller operativer Verkehre (z.B. HEMS), welche z.B. Außenlandungen durchführen und somit in sehr niedrigen Höhen in den definierten Wirkungsraum ein- und ausfliegen könnten. Grundsätzlich besteht jedoch die Forderung der Detektion aller LFZ im gesamten Wirkungsraum, d.h. vom Boden (GND) bis mindestens 2.000 ft.

Nur der militärische Luftverkehr innerhalb des in Deutschland fest definierten Nachttiefflugsystems wird im speziellen benannt, wobei der hier aufgeführte Radarquerschnitt von 4 m<sup>2</sup> nach Aussage des BMVg als sehr groß angenommen scheint. Die im NLFS eingesetzten Luftfahrzeuge der Bundeswehr (z.B. Eurofighter Typhoon) oder verbündeter Streitkräfte (z.B. Niederlande, Joint Strike Fighter F35) weisen wesentlich kleinere Radarrückstrahlflächen auf.

---

<sup>1</sup> NOTAM: Notice to Airmen – kurzfristige Nachrichten für den sicheren Luftfahrtbetrieb



### 3.1.4 Anzahl an Windenergieanlagen mit Nachtkennzeichnung in Deutschland

Nach Aussage des BMWi werden aktuell rund 29.000 Windenergieanlagen an Land betrieben (Stand Ende 2018). Rund 17.000 Anlagen sind höher als 100 m und unterliegen deshalb einer Kennzeichnungspflicht.

Laut den *Standardized European Rules of the Air* (EU No. 923/2012 / SERA [20]), welche auch im deutschen Luftraum zur Anwendung kommen, muss ein Luftfahrthindernis mit einem lateralen Abstand von 150 m umflogen werden. Dieser Wert wird für die spätere Risikobetrachtung als Gefahrenzone für ein LFZ angenommen. Dies entspricht einem eher konservativen Ansatz, da auch noch innerhalb der 150 m lateralen Abstands zum äußersten Punkt der WEA (Blattspitze des Rotors) ein Ausweichmanöver erfolgreich durchgeführt werden könnte.

Unter der Annahme eines durchschnittlichen Rotordurchmessers von 130 m (konservativer Ansatz), entspricht die laterale Gefahrenzone einer WEA  $0,14 \text{ km}^2$  (Kreis mit Radius 215 m um eine WEA). Insgesamt ist die durch befeuerte WEA betroffene Gefahrenzone in Deutschland  $2468 \text{ km}^2$  groß. Bei einer Gesamtfläche Deutschlands von  $357.385 \text{ km}^2$  entspricht dies  $0,69 \%$  [28].

## 3.2 Betriebliche Anforderungen für den Sichtflug

### 3.2.1 Luftraumstruktur in Deutschland

Grundsätzlich wird in der Luftfahrt zwischen *Visual Meteorological Conditions* (VMC) und *Instrument Meteorological Conditions* (IMC) unterschieden. Dies beschreibt die meteorologischen Bedingungen, unter denen ein Flug entweder unter *Visual Flight Rules* (VFR) oder *Instrument Flight Rules* (IFR) durchgeführt werden kann (vgl. ICAO Annex 2 „Rules of the Air“ [32]).

Gewerbliche Luftfahrt wird fast ausschließlich unter IFR durchgeführt, um einer Beeinflussung des Flugweges durch das Wetter zu entgehen. Wolken müssen nicht vermieden werden, Minima bezüglich der horizontalen Sichtweite und Abständen zu Wolken müssen nur beim Start und während der Landung beachtet werden. Befindet sich der Pilot in IMC, führt er den Flug mit Hilfe seiner Instrumente durch und navigiert mit entsprechenden Navigationshilfsmitteln. Um Zusammenstöße mit anderen LFZ zu vermeiden, muss er den Anweisungen des Fluglotsen am Boden folgen. Nur dieser hat mit Hilfe seiner Radaranzeige den Überblick über den gesamten Flugverkehr und das entsprechende Situationsbewusstsein bezüglich der aktuellen Verkehrssituation.

VMC – und die dazugehörigen VFR – haben vor allem in der *General Aviation* (GA) Bedeutung. Der Pilot navigiert ausschließlich nach Sicht und muss bestimmte Abstände zu Wolken einhalten. Dadurch ist er in seiner Wahl des Flugwegs eingeschränkt und abhängig von der Entwicklung der aktuellen Wetterlage. Kollisionen mit anderen Luftfahrzeugen muss er eigenverantwortlich vermeiden. Die entsprechenden Minima, die vom Luftfahrzeugführer eingehalten werden müssen (horizontale Flugsicht in km und vertikaler Abstand zu Wolken in ft) hängen vom jeweiligen Luftraum ab, in dem sich das LFZ befindet.

WEA befinden sich aktuell nur im Luftraum G (Vertikale Ausdehnung von GND-2500 ft bzw. 1000 ft oder 1700 ft in der Nähe von kontrollierten Verkehrsflughäfen), in dem sich weitestgehend nur VFR-Verkehr befindet. Außerdem können sie sich in der sogenannten Kontrollzone (Luftraum  $D_{CTR}$ ) in der Nähe eines Flugplatzes befinden.

Auf Grund des eigenverantwortlichen Einhaltens eines Sicherheitsabstands zu Hindernissen resultiert die Forderung einer entsprechenden Kennzeichnung der Luffahrt-Hindernisse, um diese dem Luftfahrzeugführer kenntlich zu machen und das Situationsbewusstsein so zu erhöhen. Allerdings gilt diese Verpflichtung zur Kennzeichnung erst ab einer Höhe von 100 m (vgl. Abschnitt 3.1.1).

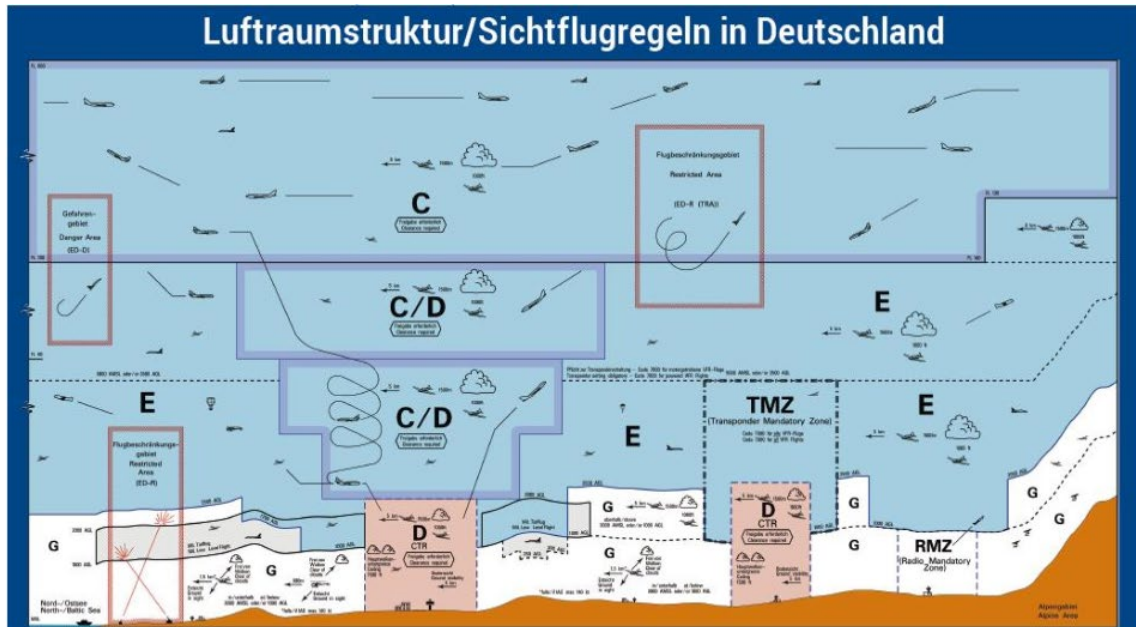


Abbildung 3: Luftraumstruktur in Deutschland [DFS]

Über dem Luftraum G befindet sich der Luftraum E, welcher auf Grund der Möglichkeit von Mischverkehr mit VFR und IFR erhöhte Sichtbedingungen an den VFR Luftfahrzeugführer stellt. Die gleiche Anforderung für erhöhte Sichtbedingungen gilt auch für Luftraum D und D<sub>CTR</sub>.

Nach SERA 5001 gelten folgende Mindestsichtwetterbedingungen für Flugsicht und Abstand von Wolken [20]:

- Luftraum G
  - Flugsicht: 5 km, kann reduziert werden auf 1.500 m für Flächenflugzeuge (Geschwindigkeit unter 140 kts) oder 800 m für Helikopter (vgl. LuftVO §36 [10])
  - Abstand von Wolken: frei von Wolken, und mit Bodensicht
- Luftraum E
  - Flugsicht: 5 km
  - Abstand von Wolken: 1.500 m horizontal, 1.000 ft vertikal
- Luftraum D
  - Flugsicht: 5 km
  - Abstand von Wolken: 1.500 m horizontal, 1.000 ft vertikal

### 3.2.2 Sichtflug bei Nacht

Nach SERA 5005 (Sichtflugregeln) gelten folgende Vorgaben bezüglich der Durchführung eines Sichtfluges bei Nacht:

- Geht der Flug über die Umgebung des Flugplatzes (Platzrunde) hinaus, so muss ein Flugplan aufgegeben werden

- Während des Fluges ist eine Zweiweg-Sprechfunkverbindung auf dem entsprechenden Flugverkehrsdienst-Funkkanal, sofern verfügbar, herzustellen und aufrechtzuerhalten
- Die verringerte Flugsicht von 1.500 m bzw. 800 m im Luftraum G findet keine Anwendung – außer für Hubschrauber in Sonderfällen für Hauptwolkenuntergrenze, Flugsicht und Abstand von Wolken, z. B. bei medizinischen Flügen, Such- und Rettungsflügen und Flügen zur Brandbekämpfung
- Die Hauptwolkenuntergrenze darf nicht unter 1.500ft GND liegen
- Außer wenn dies für Start und Landung notwendig ist oder von der zuständigen Behörde besonders genehmigt wurde, muss ein Flug nach Sichtflugregeln bei Nacht in hohem Gelände oder Gebirge 2.000 ft, ansonsten 1.000 ft über dem höchsten Hindernis mit einem Abstand von 8 km durchgeführt werden

Nach §27 der deutschen Luftverkehrsordnung muss der Luftfahrzeugführer seinen Flug ordnungsgemäß vorbereiten. Dies beinhaltet – insbesondere, wenn ein Flugplan vorgeschrieben ist – eine entsprechende Flugberatung durch eine Flugberatungsstelle (z.B. AIS). Dementsprechend müssen dem Luftfahrzeugführer alle Luftfahrthindernisse bekannt sein, um seinen Flug ordnungsgemäß und sicher durchführen zu können. Dazu zählt auch ein entsprechendes NOTAM-Briefing, welches ihm vom AIS zur Verfügung gestellt wird.

Auf Grund der Vielzahl an NOTAM, welche ein Luftfahrzeugführer bereits auf einem kurzen Flug erhält, sind diese nach ihrer Relevanz kategorisiert. Fällt ein NOTAM unter die Kategorie „M“, so ist dies nicht Bestandteil des Standard Briefing Pakets und wird nur auf explizite Nachfrage zur Verfügung gestellt. Ausgefallene Hindernisbefuerung wird nach dem ICAO Doc 8126, „*Aeronautical Information Service Manual*“ mit „M“ kategorisiert, d.h. die Nachricht über eine ausgefallene Hindernisbefuerung ist nicht Bestandteil des Standard-Briefing-Paketes und kann dem Luftfahrzeugführer u.U. nicht bekannt sein [34].

Selbst Flugbetriebe der Luftrettung (HEMS) gaben in Gesprächen an, dass bei der Menge an NOTAMS während des Briefings vor einem Einsatz Kategorie „M“ nicht zwingend vollständig gesichtet wird – auch in Abhängigkeit des Zeitdrucks des jeweiligen Notfalls.

4) PURPOSE	
N	= NOTAM selected for the immediate attention of aircraft operators
B	= NOTAM selected for PIB entry
O	= NOTAM concerning flight operations
M	= Miscellaneous NOTAM; not subject for a briefing, but it is available on request
K	= NOTAM is a checklist.

Abbildung 4: Kategorien eines NOTAM bezüglich Relevanz für den Luftfahrzeugführer [34]

Zusätzlich kommen noch Luftfahrthindernisse unter 100 m, welche nicht unter die Kennzeichnungspflicht fallen. Betrachtet man das drei-stufige Konzept zur Vermeidung von

Konflikten und gefährlichen Annäherungen in der Luftfahrt nach dem ICAO Doc 9854 „*Global Air Traffic Management Operational Concept*“, so ist erst in der dritten Stufe das tatsächliche Ausweichen auf Basis von „*See and Avoid*“ vorgesehen. Durch Flugvorbereitung (erste Stufe) und Staffelungsverfahren mit z.B. Sicherheitsmindesthöhen (zweite Stufe) wird versucht, bereits im Vorfeld eine gefährliche Annäherung zu verhindern.

Erst als dritte und letzte Stufe der Konfliktverhinderung gelten vom Luftfahrzeugführer selbst durchgeführte Ausweichmanöver zur Vermeidung von gefährlichen Annäherungen oder Zusammenstößen mit anderen Luftfahrtteilnehmern oder Hindernissen. Befeuerungselemente des vermeintlichen Konfliktpartners können hier zur Steigerung des Situationsbewusstseins des ausweichenden Luftfahrzeugführers dienen. Sie sind aber erst als letzte Instanz zur Verhinderung einer gefährlichen Annäherung zu sehen – und können u.U. gar nicht vorhanden sein (z.B. Hindernis unter 100 m, ausgefallene Hindernisbefeuerung).



Abbildung 5: ICAO Konflikt Management ICAO Doc 9854 [eigene Darstellung]

### 3.3 Transponder

#### 3.3.1 Allgemeine Funktionsweise

Transponder wurden in der zivilen Luftfahrt zur eindeutigen Identifizierung der LFZ seitens der Flugsicherung eingeführt. Mit dem bis dahin verwendeten Primärradar (*Primary Radar Surveillance*, PSR) erhielt der Fluglotse nur die Information über die Position eines sich bewegenden Ziels in der Luft. Es konnte jedoch weder adäquat identifiziert und überwacht werden, noch standen Informationen über Höhe und Geschwindigkeit zur Verfügung.

Das aus dem Militär stammende Sekundärradarsystem (*Secondary Surveillance Radar*, SSR) besteht aus einem Transponder im LFZ und einer Sekundärradarantenne am Boden (vgl. Abbildung 6). Initiiert durch die Abfrage der Sekundärradarantenne mit einem 1.030 MHz Signal sendet der Transponder einen eindeutigen Identifikationscode („Squawk-Code“, Mode A) und Informationen über die Höhe (Mode C) über die Frequenz

1.090 MHz aus. Der „Squawk-Code“ ist ein vierstelliger, von der Flugsicherung zugeteilter und durch die Besatzung des LFZ während des Fluges einzustellender Identifikationscode. Systembedingt kann es nur 4.096 verschiedene Codes geben, so dass auch dieses System mit der stetigen Zunahme des Flugverkehrs an seine Grenzen stieß.



Abbildung 6: RSM 970 S Monopuls-Sekundärüberwachungsradar [Thales]

Mit der Entwicklung des Mode-S Transponder wurde dieses Problem allgemein gelöst. Jedem Transponder und dem korrespondierenden LFZ wird mit Hilfe einer 24-Bit Folge eine feste Kennung zugeteilt, wobei mehrere Millionen von Zahlenkombinationen zur Verfügung stehen. Zusätzlich zu den bereits bekannten Informationen Höhe und Kennung (*Elementary Surveillance*, ELS) ist im Gegensatz zum Mode-A/C Transponder die Übertragung weiterer Informationen möglich, z.B. Geschwindigkeit über Grund, Steig- und Sinkraten, Rollwinkel (*Enhanced Surveillance*, EHS).

Außerdem wurde der Mode-S Transponder mit der Funktionalität des kontinuierlichen Aussendens („Squitter“) luftfahrtrelevanter Daten erweitert, um u.a. vom Bodenradar unabhängige Luftlagedarstellung zu ermöglichen. Der Transponder sendet kontinuierlich auf 1090 MHz ohne spezifische SSR-Abfrage mit dem *Short- oder Aquisition Squitter* seine Kennung (DF11) aus. Im *Extended Squitter* (DF17 / 1090ES) werden dazu noch weiterführende Informationen wie z.B. Höhe, Position des LFZ und Fluggeschwindigkeit kontinuierlich gesendet [39]. Dieser sogenannte *Automatic Dependent Surveillance - Broadcast* (ADS-B, vgl. Abbildung 7) wird aktuell bereits von einigen Flugsicherungsanbietern zur Überwachung von LFZ in Bereichen ohne Radarabdeckung verwendet (z.B. Teile Grönlands durch ISAVIA). Dies steht jedoch in Abhängigkeit zum Ausrüstungsgrad der betroffenen LFZ - eine einheitliche weltweite Ausrüstungsverpflichtung hierfür besteht bisher nicht, so sind jedoch viele moderne Airliner bereits mit ADS-B ausgerüstet. In Deutschland wird ab 2020 für jedes LFZ über 5,7t ADS-B verpflichtend, in den USA ab 2020 in nahezu dem kompletten kontrollierten Luftraum [22].

## ADS-B System

Automatic Dependent Surveillance Broadcast

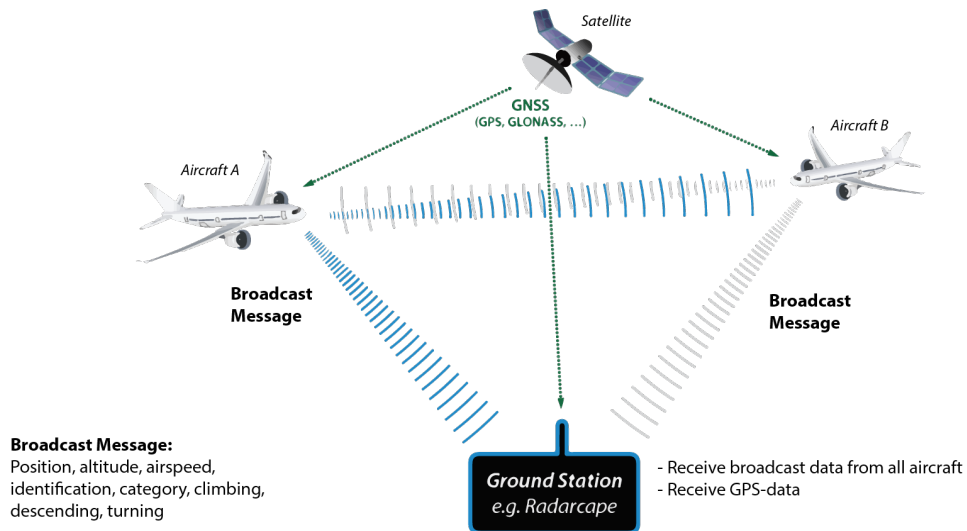


Abbildung 7: ADS-B Funktionsprinzip [Jetways]

Eine weitere Funktionalität des Transponders stellt das Kollisionswarnsystem dar (*Airborne Collision Avoidance System* – ACAS oder *Traffic Alert and Collision Avoidance System* – TCAS). Das System ist eine Erweiterung der Transponder-Systemarchitektur und gibt dem Luftfahrzeugführer Verkehrsinformationen und Ausweichempfehlungen zur Kollisionsvermeidung. Empfängt ein TCAS die Signale eines anderen mit einem Transponder ausgerüsteten LFZ, so erfolgt eine zeitbasierte Abschätzung hinsichtlich des Kollisionsrisikos beider Trajektorien im Raum. Werden hierbei bestimmte Schutzgrenzen überschritten, so generiert das TCAS System Verkehrsinformationen oder Ausweichempfehlungen. Verfügen beide LFZ über ein TCAS System wird eine koordinierte Ausweichempfehlung dargestellt (vgl. Abbildung 8).[38]

Alle Luftfahrzeuge im deutschen Luftraum im IFR-Betrieb ab einer höchstzulässigen Startmasse von 5.700 kg oder turbinengetrieben mit mehr als 19 Sitzplätzen sind verpflichtet, einen Transponder mit erweiterter TCAS-Funktionalität mitzuführen.



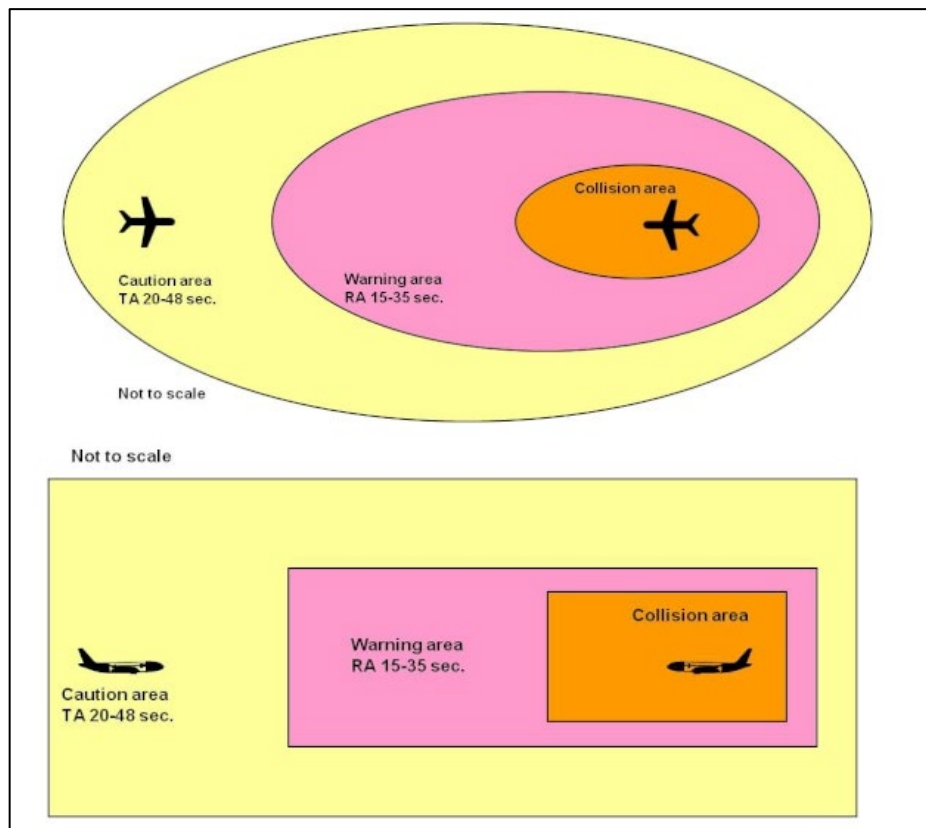


Abbildung 8: TCAS Schutzgrenzen [EUROCONTROL]

### 3.3.2 Ausrüstungsanforderungen der Luftfahrzeuge in Deutschland

In Deutschland gelten für LFZ nach VFR folgende Anforderungen hinsichtlich der Ausrüstung mit SSR-Transponder<sup>2</sup> bei Nacht [3]:

- Flüge bei Nacht im kontrollierten Luftraum (Luftraum E, D, D<sub>CTR</sub>, C)
- Spätestens ab dem 31. März 2005 für neue Luftfahrzeuge und ab dem 31. März 2008 für alle Luftfahrzeuge ist für den Transponder die Mode-S-Technik gemäß gültigem internationalem Standard (mindestens Level 2 mit SI-Code und *Elementary Surveillance* (ELS) Funktionalität bzw. *Aquisition Squitter* DF11) erforderlich

Demzufolge besteht aktuell keine Verpflichtung im Luftraum G bei Nacht mit einem Transponder. Für die hier vorliegende Arbeit wird jedoch davon ausgegangen, dass eine vollständige Ausrüstungsverpflichtung mit einem Mode-S Transponder für VFR Verkehr bei Nacht in Deutschland gilt. Diese Änderung der FSAV wurde im Rahmen des Energiesammelgesetzes Ende 2018 beschlossen und tritt zum 1. August 2019 in Kraft. Ab dem Zeitpunkt müssen nachts alle LFZ mit einem Transponder ausgestattet sein.

Eine eigene Studie bei ca. 50 für den Nachtflug zugelassenen Flugplätzen (insgesamt ca. 400 in Deutschland) hat ergeben, dass bereits jetzt ein Ausrüstungsstand von LFZ, welche für den VFR-Nachtflug eingesetzt werden, von 100% vorliegt. Dies konnte in Gesprächen mit den entsprechenden Interessensverbänden DAEC und AOPA bestätigt werden. Darüber hinaus belegen diverse wissenschaftliche Arbeiten und Expertenmeinungen, dass der Sicherheitszugewinn durch das Mitführen eines Transponders bei Nacht erheblich ist, da nun – in Abhängigkeit der SSR-Abdeckung am Boden, eine

<sup>2</sup> SSR: Secondary Surveillance Radar

vollständige Überwachung des Fluges durch die Flugsicherung erfolgen kann, und im Notfall die entsprechenden Rettungsstellen schnellst möglich über die genaue Position des LFZ informiert werden können [19].

Darüber hinaus ist nach SERA 13001 (Betrieb eines SSR-Transponders) ein Luftfahrzeugführer, sofern das LFZ mit einem Transponder ausgerüstet ist, immer verpflichtet, diesen zu betreiben. Dies ist unabhängig davon, ob sich das Luftfahrzeug innerhalb oder außerhalb eines Luftraums befindet, in dem Sekundärrundstrichradar (SSR) für Zwecke des Flugverkehrsdienstes verwendet wird [20].

### 3.3.3 Technische Anforderungen und Zulassungsvorschriften

Transponder werden seit den 50er Jahren produziert und unterliegen weitreichenden Standards bei der Musterzulassung. Folgende Standards gelten unter anderem für die Auslegung und Produktion von Transpondern:

- ICAO Annex 10 Amendment 73-77, „Comparison for SSR Mode S System“
- RTCA/DO 181E, Minimum Operational Performance Specification for Air Traffic Control Radar Beacon System / Mode Select (ATCRBS / Mode S) Airborne Equipment
- RTCA/DO 254, “Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware”
- RTCA/DO 218B, “Minimum Operational Performance Standards for the Mode-S Airborne Data Link Processor”
- RTCA/DO 160, “Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment”
- EUROCAE ED-73E, “Minimum Operations Performance Specifications for Secondary Surveillance Radar Transponders”
- EUROCAE ED-115, “Minimum Operations Performance Specifications for Light Aviation Secondary Surveillance Radar Transponders”
- FAA, AC 23.1209-1E, „System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes“
- FAA, AC 20-151A, „Airworthiness Approval of Traffic Alert and Collision Avoidance System and Associated Mode-S Transponders“

Im Rahmen der genannten Bauvorschriften werden diverse Anforderungen hinsichtlich der Gestaltung und technischen Umsetzung des Transponders definiert, um ein in der Luftfahrt anerkanntes Maß an Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Hier werden u.a. auch die Forderungen nach "Robustheit in der Bedienung (kein ungewolltes Abschalten) und "Selbsttest hinsichtlich Fehlfunktion" gestellt. Diese sollen Sicherheit gegenüber dem ungewollten Abschalten (z.B. durch entsprechendes Design der Bedieneinheit) und unentdeckte Fehlfunktion (z.B. durch entsprechende Warnmeldungen bei Fehlfunktion) bieten. Dies beinhaltet auch die Forderung nach einem „Squitter-Monitor“, welcher das Fehlen des DF11 und/oder DF17 erkennt und meldet.

Alle aktuell in Europa zugelassenen Mode-S Transponder sind nach den aufgeführten Bauvorschriften mit den entsprechenden Funktionalitäten entwickelt. Darüber hinaus stellt das strenge Zulassungskonzept in der Luftfahrt hohe Qualitätsanforderungen. Organisationen, die Transponder entwickeln, müssen durch die Europäische Agentur für Flugsicherheit (*European Aviation Safety Agency*, EASA) zugelassen sein (DOA oder aDOA). Die Herstellung eines Transponders erfordert die Zulassung eines Herstellbetriebs nach Part 21 (vgl. EU Nr. 748/2012 [21]). Die Instandhaltung von Transpondern



erfordert die Zulassung eines Instandhaltungsbetriebs nach PART 145. Auch an die Qualifikation von Personal, das die Installation und Instandhaltung von Transpondern freigibt, werden hohe Anforderungen nach PART 66 gestellt.

Die strengen Anforderungen gewährleisten so eine nachvollziehbare und gleichbleibend hohe Qualität der eingesetzten Luftfahrzeug-Komponenten.

### 3.3.4 Betriebsverfahren Transponder

Die primäre Aufgabe des Transponders ist die Möglichkeit der eindeutigen Identifizierung des jeweiligen LFZ durch die Abfrage einer SSR-Antenne für den verantwortlichen Radarlotsen. Durch die Einführung des Transponders und weltweite Verpflichtung zur Ausrüstung für den IFR-Verkehr konnte die Sicherheit des Luftverkehrs maßgeblich erhöht werden. Die Flugsicherung wurde somit in die Lage versetzt, ein eindeutiges Luftlagebild zu erzeugen und das Situationsbewusstsein für den Fluglotsen elementar hinsichtlich des relevanten Luftverkehrs zu erhöhen. Die Darstellung des Squawk-Code inklusive einer Korrelation mit entsprechenden Flugplaninformationen sowie der Höheninformation des LFZ ermöglicht es dem Fluglotsen, seine Aufmerksamkeit explizit auf den für ihn relevanten Verkehr zu lenken (z.B. durch Höhenfilter im Radaranzeigesystem) und das Einhalten von zugewiesenen Flughöhen zur Höhenstaffelung permanent zu überwachen. Die bessere Nutzung der vorhandenen Arbeitskapazität des Lotsen und verbesserte Kontrolle über den Luftverkehr ermöglicht es, die Kapazität des jeweiligen Kontrollsektors zu erhöhen, ohne die Sicherheit der betroffenen LFZ zu gefährden. Ein Ausfall des Transponders führt zur Verminderung des Situationsbewusstseins hinsichtlich der aktuellen Verkehrslage – eine Verringerung der Kapazität ist die Folge. Dies rechtfertigt im Umkehrschluss die stringenten Zulassungs- und kontinuierlichen Kontrollen im Betrieb des Transponders (z.B. Self-test, jährliche Prüfung), um eine sichere Funktionalität zu gewährleisten.

Eine weitere Aufgabe des Transponders ist das Bereitstellen von Verkehrsinformationen bzw. Ausweichempfehlungen im Rahmen der TCAS/ACAS Funktionalität (vgl. Abschnitt 3.3.1). Auf Grund der hohen Annäherungsgeschwindigkeiten und möglichen IMC-Sichtbedingungen übernimmt auch hier der Transponder in Kombination mit TCAS eine sicherheitskritische Funktionalität. Im Rahmen der *Collision-Avoidance* (siehe ICAO Doc 9854) unterstützt TCAS den Piloten bei seiner Rolle durch *See-and-Avoid* in letzter Instanz einen Zusammenstoß mit einem anderen mit Transponder ausgerüsteten LFZ zu verhindern.

Eine ähnliche Aufgabe, das Erhöhen des Situationsbewusstseins zur Verhinderung von Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, wird dem Transponder im Einsatz einer *Transponder-Mandatory-Zone* (TMZ) zugewiesen. In Lufträumen, welche normalerweise kein Mitführen eines Transponders für VFR-Verkehr verpflichten (z.B. Luftraum G am Tag), kann zum Schutz von an- und abfliegendem IFR-Verkehr um einen Flughafen eine TMZ eingerichtet werden [4]. Durch die Verpflichtung des Mitführens eines Transponders besteht so die Möglichkeit für den verantwortlichen Lotsen, den VFR-Verkehr eindeutig zu identifizieren, ihn durch die Höhenangabe als relevant oder nicht-relevant zu klassifizieren und dem IFR-Verkehr entsprechende Verkehrsinformation zu übermitteln.

Zukünftig wird der Transponder in Kombination mit der ADS-B Funktionalität noch weitere Aufgaben übernehmen. In Gebieten ohne jegliche Radarabdeckung kann mit Hilfe

des 1090ES und den übermittelten Positionsdaten ein Luftlagebild erzeugt werden, ohne komplexe Bodeninfrastruktur mit SSR-Antennen vorhalten zu müssen. Die Sicherheit und Staffelungsminima werden so erheblich verbessert werden, was auch zu einer Erhöhung der Kapazität des jeweiligen Luftraums führen wird. Aktuelle Implementierungsbeispiele zeigen das Potential der Verwendung des Mode-S Transponders mit ADS-B (z.B. FAA – Golf von Mexico [33]).

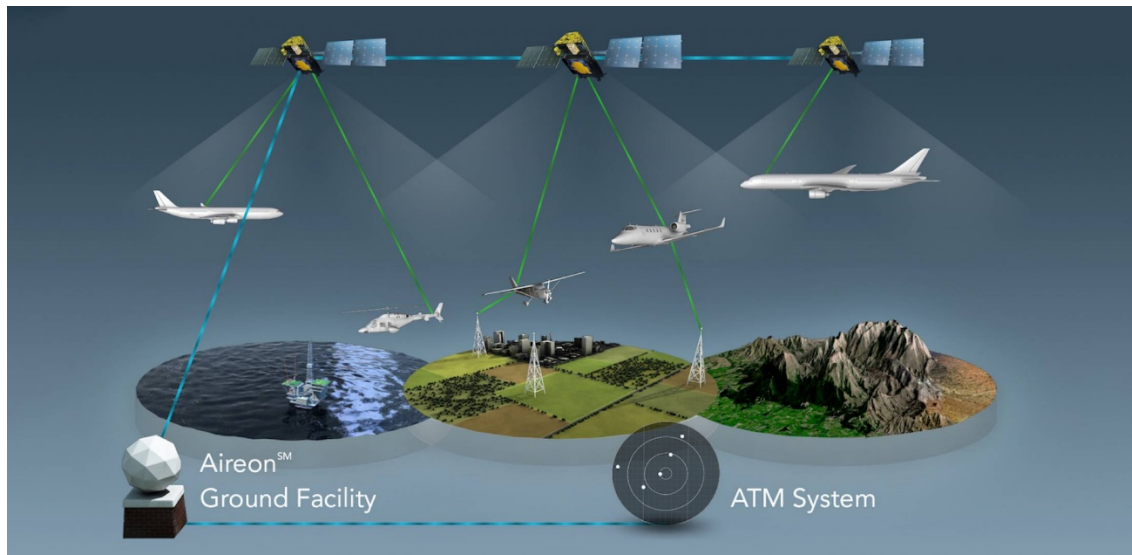


Abbildung 9: Space-Based ADS-B [Aireon]

### 3.4 Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen

#### 3.4.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die bedarfsgesteuerte Befeuereung von Windenergieanlagen sieht vor, in Abhängigkeit sich im Wirkungsraum befindlicher LFZ die Befeuereung der WEA zu aktivieren und deaktivieren. Die grundsätzliche Herangehensweise sieht vor, die Befeuereung in einem aktiven Zustand zu haben. Sobald sich kein LFZ im durch die AVV definierten Wirkungsraum befindet, kann die Befeuereung de-aktiviert werden. Liegt eine Fehlfunktion des Systems vor (z.B. Stromversorgung), so wird die Befeuereung in einem aktiven Zustand belassen.

Im Rahmen des Gutachtens wird das Konzept einer BNK-Transponder untersucht, und mit dem bereits durch die aktuelle AVV akzeptierten Konzept BNK-Radar hinsichtlich der zu erwartenden flugbetrieblichen Sicherheit verglichen. Außerdem erfolgt ein Vergleich mit dem Basiszustand einer Befeuereung ohne BNK. Die exakten technischen Spezifikationen – z.B. Vernetzung, Stromversorgung etc. – einer BNK-Lösung (Radar oder Transponder) sind nicht Teil dieses Gutachten, sofern sie nicht von Relevanz für das sichere Erkennen eines LFZ im Wirkungsraum sind. Aufgabe des Gutachtens ist es, flugbetriebliche Risiken zu identifizieren und entsprechende Empfehlungen zu erarbeiten. Der dem Erkennen eines LFZ folgende Aktivierungsvorgang der Befeuereung wird als sichere Funktionalität des jeweiligen Konzepts angenommen. Für eine spätere Anerkennung ist dies natürlich Bestandteil des Nachweises der Gesamt-Funktionalität des Systems.

### 3.4.2 Konzept Transponder BNK

Im Rahmen der Fachgespräche zum Thema BNK-Transponder wurden folgende mögliche Anbieter miteinbezogen:

- Lanthan GmbH & Co. KG und AIR Avionics Garrecht Avionik GmbH
- Deutsche Windtechnik AG
- f.u.n.k.e. AVIONICS GmbH

Das grundsätzliche Konzept sieht die rein passive Verarbeitung der vom Transponder des LFZ übermittelten Signale vor. Auf Basis der empfangenen Informationen kann die BNK-Transponder entscheiden, ob ein LFZ sich im Wirkungsraum um die WEA oder den Windpark befindet, und die Befeuerung entsprechend deaktivieren. Folgende Signale stehen hier zur Verfügung:

- Mit SSR-Abfrage
  - Mode A Identifikation (Squawk)
  - Mode C Höhe
  - Mode S ELS und EHS
- Ohne SSR-Abfrage
  - Mode S Short/Aquisition Squitter (DF11)
  - Mode S Extended Squitter / ADS-B (DF17)

Auf Basis der empfangenen Informationen kann das BNK-System eine Entscheidung treffen, ob das LFZ sich innerhalb des Wirkungsraums befindet und bedarfsgesteuerte die Befeuerung aktivieren bzw. deaktivieren.

Aktuell ist verpflichtend für **alle** LFZ in Deutschland, welche je nach Flugregel und Luftraum mit einem Transponder ausgerüstet sein müssen, ein Mode-S Transponder mit ELS und Short Squitter. Sollte der Transponder auf Grund fehlender SSR-Abfrage kein ELS senden, so steht dem BNK-System nur der DF11 (LFZ-Kennung) zur Verfügung. In diesem Fall wird die Befeuerung aktiviert – obwohl sich das relevante LFZ möglicherweise außerhalb der Wirkungsraums befinden kann. Die Verwendung eines Schwellwertes des Empfangspegels des DF11 Signals auf Basis einer Minimalannahme der Transponder-Sendeleistung verbessert hier die Filterung von nicht-relevanten LFZ.

Eine SSR-Abfrage ist demzufolge nicht zwingend notwendig und wird seitens der DFS erst ab 3.000 ft über GND verbindlich zur Verfügung gestellt. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass zum einen die SSR-Abdeckung in Abhängigkeit des Geländes weitaus höhere Abdeckung in Bodennähe aufweist. Außerdem wird der Transponder auch durch Überflüge mit TCAS-Systemen (Mode C all call [25]) oder durch LFZ der Luftaufklärung (*Airborne Early Warning and Control System, AWACS*) abgefragt und zum Senden angeregt.

Jegliche weitere empfangene Information – z.B. ADS-B – erhöht die Leistungsfähigkeit der BNK hinsichtlich der Entscheidungsfindung für die Relevanz eines empfangenen Transpondersignals. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von anderen Signalen, welche das relevante LFZ aussendet. FLARM kommt in der allgemeinen Luftfahrt – aber auch in den Helikoptern der Polizei oder Luftrettung – immer mehr zur Anwendung.

Das ursprünglich zur Kollisionsvermeidung von Segelflugzeugen konzipierte System bietet die Möglichkeit, andere mit FLARM ausgestattete LFZ zu erkennen und auf Basis eines Kollisionsmodells entsprechende Warnungen und deren Richtung dem Luftfahrzeugführer anzuzeigen. In Deutschland sind laut Hersteller aktuell 9.000 LFZ, weltweit über 40.000 LFZ mit dem System ausgerüstet. Mittlerweile besteht auch eine allgemeine

Genehmigung seitens der EASA, das System fest im LFZ zu installieren [13]. Die Auswertung der entsprechenden Informationen des im FLARM System installierten GPS-Empfängers kann – zusammen mit mindestens dem DF11 Signal – zu einer Verbesserung der Ein- bzw. Ausschaltzeiten führen.

Sollte ein LFZ nur mit einem Mode-A/C Transponder ausgerüstet sein, so werden auch diese Signale von der BNK-Transponder empfangen und für die Aktivierung der Befeuerung verwendet. Befindet sich das LFZ in diesem Szenario jedoch unterhalb der SSR-Abdeckung, so ist der Transponder zwingend auf eine mögliche Abfrage z.B. durch TCAS Systeme des überfliegenden Streckenluftverkehrs (*Enroute*) angewiesen, um die BNK- Transponder durch ein Aussenden auf 1090 MHz zu aktivieren.

Empfängt das BNK-Transponder System keinerlei Signal trotz eines LFZ im Wirkungsraum, so erfolgt keine Aktivierung. Bei einem Ausfall des Transponders oder dem Ausschalten (bewusst oder unbewusst) des Transponders erfolgt ein Signalverlust. Weiterhin kann es zeitweise bei einer Abschattung des Signals durch LFZ Bauteile (Fahrwerk, Landekufen etc.) in Abhängigkeit der geometrischen Ausrichtung ebenfalls zu kurzzeitigen Signalverlusten kommen. Signalverluste können über geeignete Maßnahmen detektiert werden, um zu verhindern, dass die Aktivierung ausbleibt obwohl betroffene LFZ unerkannt in den Wirkungsraum einfliegen könnten.

Integritätsüberwachung des Systems ist durch die Verwendung von mehreren Empfängern an einem Standort möglich. Ein Abgleich der empfangenen Signale kann zur Prüfung der Integrität verwendet werden – vorausgesetzt, es werden Signale empfangen. Durch eine entsprechende Empfindlichkeit der Empfänger kann zuverlässig gewährleistet werden, dass durch den immer vorhandenen *Enroute*-Verkehr Signale (z.B. ADS-B, Mode S EHS/ELS) empfangen und zur Integritätsabschätzung verwendet werden.

Durch die Verwendung mehrerer Empfänger besteht zudem die Möglichkeit, ein Multilaterations-System<sup>3</sup> (MLAT) aufzubauen. Hierfür wird eine entsprechende Vernetzung der Empfänger in einem Windpark oder Windpark-übergreifend benötigt. Durch eine entsprechende Auslegung der Reichweite der Empfänger können so relevante LFZ überwacht und vorausschauend die Befeuerung aktiviert werden. Zudem besteht auch die Möglichkeit, Ausfälle des Transponders in der Luft zu erkennen – sofern dies innerhalb der Reichweite des BNK-Systems stattfindet – und proaktiv die Befeuerung aktivieren. Die tatsächliche Reichweite der eingesetzten Empfänger kann zwischen 50-100 km betragen

### 3.4.3 Konzept BNK Radar

Im Rahmen der Fachgespräche zum Thema BNK-Radar wurden folgende mögliche Anbieter miteinbezogen:

- ARCHE Systeme GmbH
- Dark Sky GmbH
- Quantec GmbH
- PARASOL, Dirkshof / EED GmbH & Co. KG

---

<sup>3</sup> MLAT: Durch den Empfang von Signalen an mehreren Empfangsstandorten und dem Vergleich der Laufzeiten kann eine Positionsbestimmung erfolgen. Wird zunehmend in der Flugsicherung zur Überwachung (Boden und Luft) verwendet

Das Konzept der BNK-Radar beinhaltet zwei verschiedenen technische Lösungsansätze – die Verwendung eines aktiven Primärradars (PSR) oder eines Passiv-Radar Systems. Beide Konzepte wurden bereits durch einige Hersteller erfolgreich umgesetzt und befinden sich nach Durchlaufen des Anerkennungsprozess durch die DFS in einigen Windparks in Deutschland im Einsatz.

Beim **Primärradar** wird eine oder mehrere Radarantennen im Umkreis der WEA oder des Windparks so positioniert, dass der durch die AVV definierte Wirkungsraum vollständig abgedeckt wird. Das gesamte System ist LFZ-unabhängig. Die Radarantennen senden dabei elektromagnetische Wellen aus, welche vom LFZ reflektiert und von der Radarantenne wieder empfangen werden. Durch Laufzeitmessung kann die Entfernung, durch die Antennenposition die Azimuthinformation des LFZ gewonnen werden. Befindet sich dieses im definierten Wirkungsraum, wird die Befeuerung entsprechend aktiviert.

Als Radargeräte kommen rotierende Puls-Radar, aber auch feststehende Phase-Array Geräte zum Einsatz. Durch entsprechende Positionierung (Dislozierung) der Anlagen soll gewährleistet werden, dass der gesamte Wirkungsraum überwacht wird. Durch entsprechende Signal-Filterung – z.B. Nutzung des Dopplereffekts – wird verhindert, dass feststehende Objekte (Festziele), Bodenfahrzeuge oder Vogelschwärme eine Aktivierung der Befeuerung auslösen.

Systembedingt unterliegt die Erkennung mit Hilfe von Primärradar – gerade in Bodennähe – einigen Schwierigkeiten. Sogenannter Clutter, hervorgerufen durch Reflexionen an Bodenerhebungen oder Gebäuden oder Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit (Regen, Schnee, Wolken) kann zu verminderter Detektionsrate führen. Befindet sich ein LFZ z.B. hinter einem Windpark in niedriger Höhe, so kann das Signal durch die Elemente der WEA (Turm, Rotor, Gondel) abgeschattet und reflektiert werden. Außerdem ist das Signal in seiner vertikalen Ausbreitung je nach Antennenöffnungswinkel begrenzt, so dass eine vollständige Abdeckung des Wirkungsraums nur begrenzt erreicht werden kann. Abbildung 10 zeigt die Abdeckung (grün) der PSR-Anlagen eines BNK-Radar-Systems von GND-100 ft. Deutlich sichtbar sind die Bereiche ohne Radarabdeckung innerhalb des definierten Wirkungsraums (innerer roter Kreis).

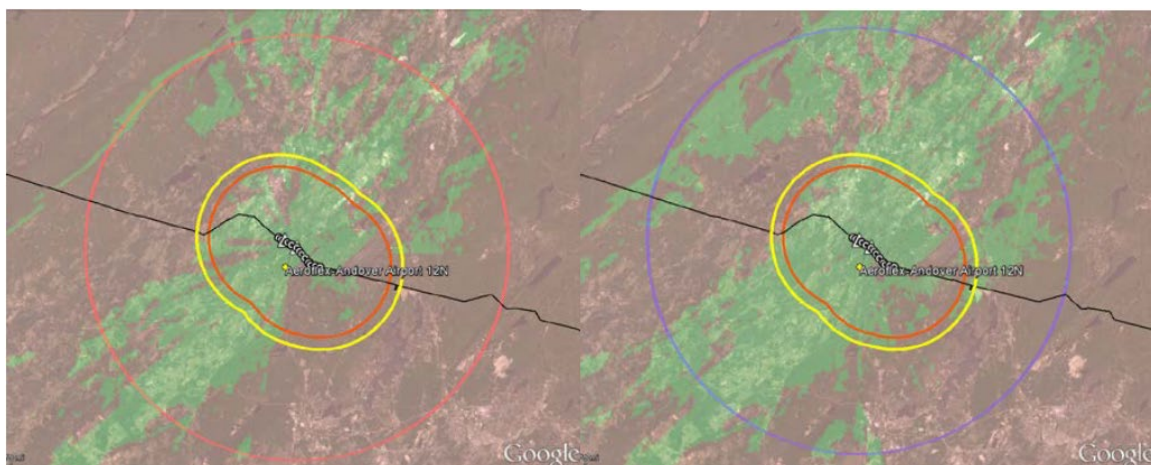


Abbildung 10: Radarabdeckung mit Primärradar in Bodennähe [26]

Beim **Passivradar** werden bereits vorhandene Fernseh- und Mobilfunk-Wellen von DVB-T1 und DVB-T2 zur Positionsbestimmung eines möglichen LFZ im Wirkungsraum

genutzt. Mit Hilfe von drei Antennen innerhalb des Windparks werden über die Reflexion des Fernsehsignals am LFZ und dem Referenzsignal, das direkt vom Fernsehsender kommt, die exakte Position des LFZ bestimmt. Dies erfolgt über die Auswertung des Zeitversatz des reflektierten Signals, sowie eine Dopplerverschiebung bedingt durch die Bewegung des Luftfahrzeuges. Nach Rekonstruktion des ausgesendeten Signals wird dieses mit den empfangenen Echos korreliert und darüber die Parameter Umweg und Dopplerverschiebung gemessen. Die Sensoren kommunizieren untereinander über ein komplexes Netzwerk im Windpark, und bestimmen über ein Ellipsoidschnittverfahren (vgl. Abbildung 11) die Position möglicher Luftfahrzeuge. [27]

Das System ist unabhängig von der technischen Ausstattung des LFZ, jedoch abhängig von dem Vorhandensein der DVB-T Signale. Sollte hier eine Änderung der Sender-Infrastruktur oder gar ein Abbau erfolgen, müsste das gesamte System neu eingerichtet werden – in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von entsprechenden Radio- oder Fernsehsignalen. Schwierigkeiten hinsichtlich der Abdeckung des Wirkungsraums ähnlich des Primärradar-Systems– z.B. in Bodennähe – bestehen nicht. Passivradar verwendet jedoch u.a. den Dopplereffekt und ist demzufolge auch abhängig von der Fluggeschwindigkeit. Es ist nicht geklärt, wie das System hinsichtlich besonders langsamen und/oder noch geringeren Radarrückstrahlflächen ( $<1\text{m}^2$ ) reagiert, wie sie z.B. Ballone oder besondere militärische LFZ (z.B. Lockheed Martin F35).

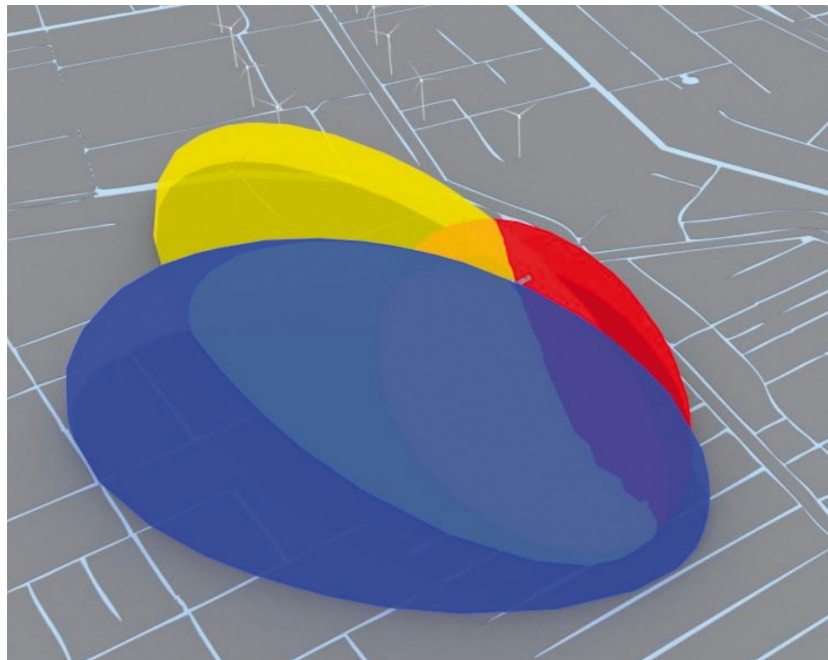


Abbildung 11: Prinzip der Detektion mit Passivradar [Parasol]

Laut Aussage des Herstellers wird die Integrität des Empfangssystems durch die permanente Signalüberwachung gewährleistet – liegt kein Signal seitens des Empfangssystems (Parasol-System) an, so wird die Befeuerung automatisch aktiviert. Eine wirkliche Integritätsüberprüfung, d.h. eine Kontrolle der Qualität bzw. Verlässlichkeit des Signals, liegt in diesem Sinne jedoch nicht vor. Die Aussage, ob überhaupt eine Verbindung zu den Antennen besteht bietet noch keine Sicherheit, ob das System zuverlässig LFZ im Wirkungsraum detektiert. Dies würde z.B. durch die Verwendung eines bekannten



Objektes im Wirkungsraum und dessen fehlerfreien Detektion (Monitor) gewährleistet, so wie es bei den Primärradar-Systemen als Integrationsprüfung umgesetzt ist.

#### 3.4.4 Anerkennungsverfahren BNK

Für den Betrieb eines BNK-Systems besteht aktuell ein mehrstufiges Anerkennungsverfahren auf Basis der AVV. Zuerst erfolgt ein zweistufiger Anerkennungsprozess durch die DFS. Wird dieser erfolgreich durchlaufen, erfolgt auf Basis des Anerkennungsschreibens der DFS die formelle Genehmigung durch die jeweilige Landesluftfahrtbehörde (vgl. Anhang A).

Im zweistufigen Anerkennungsverfahren der DFS wird in der ersten Stufe eine Grundsatzprüfung des BNK-Systems durchgeführt. Hierbei werden die durch den Antragsteller zur Verfügung gestellten Dokumentationen des Systems anhand einer Matrix auf Konformität geprüft, welche die System- und Betriebsanforderungen der AVV (Anhang 6) beinhaltet (vgl. Anhang B). Bestehen hierbei Abweichungen zu den Forderungen, kann die DFS Nachforderungen hinsichtlich der Dokumentation stellen. Wird die erste Stufe erfolgreich absolviert, beginnt die zweite Stufe des Anerkennungsprozesses.

Im Rahmen der standortspezifischen Prüfung wird im Rahmen eines Flugtestes vor Ort die Funktionalität des BNK-Systems überprüft.

Der Antragsteller entwirft eine Flugtestkonzept und stimmt dieses mit DFS ab. DFS gibt dazu Hinweise und fordert bei Bedarf entsprechenden Änderungen. Eine Art Leitfaden seitens der DFS liegt nicht vor. Durch den Flugtest soll sichergestellt werden, dass durch das BNK-System der gesamte Wirkungsraum erfasst wird. Dabei wird die Befliegung nur ab einer Flughöhe von 500 ft GND aufwärts durchgeführt. Eine Überprüfung der Detektionsqualität des BNK-Systems unterhalb von 500 ft GND liegt somit nicht vor. Diese Vorgehensweise ist insofern zu prüfen, da die Analyse der betroffenen Luftverkehre teilweise deutlich unter 500 ft GND in der Nacht operieren (vgl. Kapitel 4).

Darüber hinaus wird für den Flugtest nur ein einzelner Luftfahrzeugtyp verwendet, dessen Radarrückstrahlfläche (*Radar Cross Section*, RCS) für diesen Einsatz möglichst repräsentativ für die minimale RCS eines zu detektierenden LFZ im Luftraum G bei Nacht sein soll. Da seitens der AVV bisher keine konkreten Anforderungen bestehen, wie groß diese zu wählen ist, kann hier eine gewisse Unschärfe hinsichtlich der Zuverlässigkeit des überprüften BNK-Systems hinsichtlich der Detektionsqualität bestehen. Dies kann dann der Fall sein, sofern ein LFZ mit einer kleineren RCS als die des im Flugtest verwendeten LFZ in den Wirkungsraum einfliegt.

Grundsätzlich ist die RCS abhängig von der Form des Gegenstandes, der Materialbeschaffenheit sowie von Wellenlänge, Einfallswinkel und Ausfallswinkel der verwendeten Strahlung der Radaranlage. Damit hat auch die geometrische Ausrichtung des zu detektierenden LFZ gegenüber der Antenne einen erheblichen Einfluss – demzufolge kann sich die RCS zu einem spezifischen Antennenstandort während des Durchfluges des Wirkungsraum entsprechend ändern.

## 4 Flugbetrieb

Im Rahmen des Gutachtens wurde eine umfassende Verkehrsanalyse durchgeführt, um valide Informationen über die durch die Einführung einer BNK-Transponder betroffenen Verkehrsarten zu erhalten. Dabei wurden die LFZ-Typen, deren Ausstattung und die jeweilige Anzahl an Flugbewegungen erfasst, sowie der allgemeine Betrieb und die Flugtrajektorie – insbesondere das Vertikalprofil - analysiert.

### 4.1 Allgemeine Luftfahrt

Als Flugbewegungen der allgemeinen Luftfahrt (*General Aviation, GA*) werden innerhalb des Gutachtens alle Flüge nach VFR-Night betrachtet, welche einen Flugplan aufgeben und nicht zu den operativen bzw. militärischen Flugbewegungen zählen. Laut *Aeronautical Information Service* der DFS wurden im Jahr 2013 4.258 Flugbewegungen mit VFR-Night Flugplänen gezählt. Eine neuere Statistik liegt nicht vor – gemäß DFS hat sich diese Zahl jedoch nicht merklich verändert. Nimmt man eine Durchschnittliche Flugzeit von 1h an, so sind das 4.258 Flugstunden im Jahr bzw. 11,6 Flugstunden pro Nacht durch VFR-Verkehr (ausgenommen operativer Verkehr Bundeswehr, Bundespolizei, Rettungsflyer, siehe folgende Abschnitte) in ganz Deutschland.



Abbildung 12: Cirrus SR20 [Cirrus Aircraft]

Die LFZ dieser Verkehrsart können alle Typen der allgemeinen Luftfahrt sein, welche für den Nachtflug entsprechend der FSAV ausgerüstet sind [3]. Auf Basis der neuen FSAV (gilt ab 1. August 2019) beinhaltet dies eine Ausrüstung mit einem Mode-S Transponder mit mindesten ELS und Short-Squitter Funktionalität. Je nach Größe und Material (z.B. Glasfaserverbundwerkstoffe, vgl. Abbildung 12) der LFZ ist von sehr unterschiedlichen Radarrückstrahlflächen auszugehen. Gerade LFZ der GA, welche eher kleiner als kommerziell genutzte Airliner sind, weisen bei der Verwendung von Faserverbundwerkstoffen oftmals sehr geringe RCS auf [6]. Eine Besonderheit stellen hierbei die Gasballone dar. Diese weisen jedoch nur mehrere Hundert Flugstunden in Nacht im Jahr auf, sind mit einem Mode-S Transponder ausgestattet und haben jedoch eine sehr kleine RCS, welche sich auf Grund der physikalischen Eigenschaften der Ballonhülle ergibt [2].





Abbildung 13: Gasballone vor dem Start in die Nacht [Schweizer Ballonverband]

Für diese Verkehrsart gelten die nach SERA vorgegebenen Sichtweiten der entsprechenden Lufträume (vgl. 3.2.2), verringerte Sichtweiten auf Grund besonderer Einsatzanforderungen (z.B. Luftrettung) sind nicht zugelassen.

- Luftraum G
  - Flugsicht: 5 km (immer bei Nacht)
  - Abstand von Wolken: frei von Wolken, und mit Bodensicht
- Luftraum E
  - Flugsicht: 5 km
  - Abstand von Wolken: 1.500 m horizontal, 1.000 ft vertikal
- Luftraum D
  - Flugsicht: 5 km
  - Abstand von Wolken: 1.500 m horizontal, 1.000 ft vertikal

Dazu gelten die Anforderungen hinsichtlich der Mindestflughöhe von 1.000 ft über dem höchsten Hindernis in einem lateralen Abstand von 8 km (außer für Start und Landung), welche durch eine entsprechend sorgfältige Flugvorbereitung durch den Luftfahrzeugführer während des gesamten Flug gewährleistet werden muss.

## 4.2 Luftrettung

Die Luftrettung (*Helicopter Emergency Medical Services*, HEMS) in Deutschland wird durch mehrere private Anbieter, die Bundeswehr und die Bundespolizei erbracht. Der größte Teil der Einsätze wird dabei durch die privaten Anbieter ADAC und DRF Luftrettung geflogen.

Im Rahmen der Luftrettung bestehen verschiedenen Einsatzprofile, sogenannte Primäreinsätze und Sekundäreinsätze. Im Primäreinsatz wird im Rahmen eines Notfalls ein meist unbekannter Einsatzort verbunden mit einer Außenlandung angefliegen. Nach Aufnahme des/der Verletzten wird schnellstmöglich der Rückflug zur weiteren Versorgung der Patienten angetreten. Im Sekundäreinsatz handelt es vorwiegend um geplante Überführungsflüge von Patienten ohne Außenlandung.

Im Sekundäreinsatz gelten grundsätzlich die gleichen Anforderungen hinsichtlich Hindernisfreiheit und Mindesthöhe wie bei der allgemeinen Luftfahrt. Im Primäreinsatz besteht jedoch oftmals die Möglichkeit einer Außenlandung – dies führt zu einem Verlassen der Mindesthöhe und ein Einfliegen in den Bereich von Luftfahrthindernissen (z.B. WEA). Grundsätzlich sind im HEMS-Flugbetrieb der Pilot, der HEMS-TC (*Helicopter Emergency Medical Service Technical Crewmember*) und ein Notarzt an Bord. Der HEMS-TC ist, neben seiner eigentlichen Funktion als Notfallsanitäter, in einem speziellen Lehrgang für die fliegerische Mitarbeit im Cockpit, u. a. im Hinblick auf Luftraumbeobachtung, Hinderniserkundung, standardisierte Ansprachen, ausgebildet. Sollte der Flug am Tag begonnen und in die Nacht geführt werden, muss der HEMS-TC den Piloten im Cockpit während des Fluges unterstützen. Im Zweifelsfall kann es jedoch auch dazu kommen, dass er auch medizinische Hilfe bei der Versorgung der Patienten erbringen muss. Im reinen Nachtflugbetrieb setzt sich die Besatzung aus zwei Piloten, einem Notfallsanitäter/HEMS-TC und einem Notarzt zusammen. Die mehrstufige Ausbildung qualifiziert die Crew zu Landungen an unbekanntem Einsatzorten, die grundsätzlich am Boden durch Rettungskräfte vorbereitet sind. Landeplatzerkundung und Hindernisansprachen, unter Nutzung aller Informationsquellen, sind standardisiert.

Im Gegensatz zur allgemeinen Luftfahrt werden im HEMS-Flugbetrieb immer Berufspiloten eingesetzt, welche weitreichende Flugerfahrung aufweisen – auch im Nachteinsatz. Auch die jeweilige Einsatzvorbereitung und allgemeine Arbeitstagvorbereitung wird entsprechend ausführlich und professionell durchgeführt, auch in Hinblick auf die aktuelle NOTAM-Situation oder die jeweiligen Wetterbedingungen. Die verringerten Mindestsichtbedingungen in Luftraum G können im HEMS-Flugbetrieb auch Nachts (vgl. SERA 5001) angewendet werden.

Dazu stehen den Piloten zusätzliche Hilfsmittel zur Erhöhung des Situationsbewusstseins hinsichtlich der Hindernissituation zur Verfügung. Die Hubschrauber sind teilweise mit HTAWS (*Helicopter Terrain Avoidance and Warning System*) ausgestattet, welche Hindernisse wie Schornsteine, Windräder, Sendemasten in einer Datenbank gespeichert hat. Diese kann sich der Pilot auf einer Anzeige im Cockpit anzeigen lassen. Darüber hinaus hat er verschiedene Kartendarstellungen in seinen Navigationsanzeigen (z.B. EURONAV 7) auf Basis derer er bereits frühzeitig im Flugverlauf eine Evaluierung der Landeplatzumgebung im Hinblick auf Hindernisse durchführen kann.



Abbildung 14: Helicopter Terrain Avoidance and Warning System [Garmin]

#### 4.2.1 ADAC

Der ADAC setzt folgende LFZ im HEMS-Flugbetrieb ein:

- 14x Airbus BK117-D2 (H145)
- 31x Airbus EC135-P2
- 3x Airbus EC135-P3

Alle Helikopter sind mit einem Mode-S Transponder ausgestattet, welche teilweise sogar mit ADS-B (DF17) ausgerüstet sind. Die Wahrscheinlichkeit der Fehlbedienung wird durch das Bedienkonzept des Transponders erheblich reduziert. Von 48 LFZ sind 40 mit FLARM ausgestattet, zukünftig sollen alle LFZ damit ausgestattet werden. Nachtflug mit Nachtsichtbrillen (*Night Vision Goggle*, NVG)) ist teilweise vorhanden, befindet sich jedoch noch im Aufbau und noch nicht an allen Dienststellen verfügbar.

Im Jahr 2018 wurden folgende Einsätze geflogen:

- 52.917 Einsätze mit 24.483 Flugstunden gesamt (Primär, Sekundär, Schulung, Ferryflug, Werkstattflüge etc.)
- 2.084 Nacht-Einsätze mit 1.686 Flugstunden



Abbildung 15: Airbus EC135 [ADAC]

## 4.2.2 DRF Luftrettung

Die DRF Luftrettung setzt folgende LFZ im HEMS-Flugbetrieb ein:

- 4x BK117 B2
- 11x Airbus EC135 P2 / 2+
- 4x H135 T3
- 4x BK117 C2 (EC145)
- 8x BK117 D2 (H145)

Alle Helikopter sind mit einem Mode-S Transponder ausgestattet, teilweise sogar mit 1090 ES (ADS-B). Eine Fehlbedienung ist durch das Bedienkonzept des Transponders ausgeschlossen. Von 25 LFZ sind 31 mit FLARM ausgestattet, zukünftig sollen alle LFZ damit ausgestattet werden. 24h-Stationen fliegen grundsätzlich im Nachtflug mit NVG-Unterstützung. Beide Piloten nutzen dazu am Helm befestigte NVG-Brillen. Sollten Flüge am Tag begonnen und in die Nacht weitergeführt werden, kann es dazu kommen, dass der Pilot nicht mit entsprechenden Systemen ausgestattet ist.

Im Jahr 2018 wurden folgende Einsätze geflogen:

- 37.118 Einsätze / 21.644 Flugstunden
- Bei Nacht 2.984 Einsätze / 3.365 Flugstunden (Primär und Sekundär)
  - Davon 991 Einsätze / 921 Flugstunden Primäreinsatz mit Außenlandung

## 4.2.3 Gesamtübersicht

Im Rahmen der Fachgespräche wurde auch der Deutsche Hubschrauberverband miteinbezogen, um noch weitere privaten Anbieter von HEMS-Einsätzen mit aufzunehmen. Insgesamt (inklusive ADAC, DRF) wurden im Jahr 2018 folgende Einsätze in der Nacht geflogen:

- 5.268 Einsätze (Nacht)
- 5.251 Flugstunden (Nacht)
- Mindestens 950 Primäreinsätze mit Außenlandung (DRF und weitere Anbieter, ADAC keine Angabe)

## 4.3 Militär

Im militärischen Flugbetrieb werden unterschiedlichste LFZ in verschiedenen Einsatzprofilen eingesetzt, welche für den VFR-Nachtflug relevant sind. Unabhängig davon kommen im militärischen Flugbetrieb nur Berufspiloten zum Einsatz, bei denen grundsätzlich mit einer hohen Flugerfahrung zu rechnen ist.

Die LFZ der Bundeswehr sind mit einem Mode-S Transponder ausgestattet. Einige wenige LFZ im HEMS-Einsatz sind noch mit einem Mode A/C Transponder ausgerüstet. Darüber hinaus wird von den LFZ der Bundeswehr ein militärisches Mode-S Format eingesetzt (IFF Mode 5 /STANAG 4193 Ed. 3), welches keinen DF11 oder DF17 Squitter verwendet, aber weiterhin auf 1090 MHz ausgesendet wird. Im Folgenden werden die verschiedenen Einsatzprofile und die möglichen LFZ dargestellt.

### 4.3.1 HEMS

Die Bundeswehr führt neben den privaten Anbietern und der Bundespolizei HEMS Einsätze durch. Folgende LFZ-Typen werden hierfür eingesetzt:

- 40 x Bell UH-1

- 20 x Westland Sea King Mk 41

Die Flotte der Bell UH-1 ist vollständig mit Mode-S Transponder ausgestattet, Die Westland Sea King Mk 41 mit einem Mode A/C Transponder. Die LFZ werden voraussichtlich noch bis 2025 im Einsatz bleiben, und dann durch modernere LFZ ersetzt. Je nach Wetterbedingungen auf Basis der Rechtsgüterabwägung (vgl. SERA 5001) können im Rahmen des HEMS-Einsatzes sehr niedrige Flughöhen geflogen werden (bis zu 100 ft GND oder tiefer). Darüber hinaus kann je nach Einsatzszenario eine Außenlandung erfolgen.

Im Jahr 2018 wurden folgende Anzahl an Einsätzen geflogen:

- 275 Einsätze, davon ca. 28 in der Nacht



Abbildung 16: HEMS Luftfahrzeuge der Bundeswehr – UH-1 (links), Sea King (rechts) [Bundeswehr]

#### 4.3.2 Taktischer Helikoptertiefflug

Im Rahmen des Auftrages der Bundeswehr (z.B. Kommando Spezialkräfte KSK) findet taktischer Helikoptertiefflug statt. Die hier eingesetzten Luftfahrzeuge sind mit einem Transponder ausgestattet, der nicht die zivilen Formate Mode-S (u.a. ELS/EHS, DF11, DF17) verwendet. Um eine Sichtbarkeit durch private Anwendungen (z.B. Flight Radar 24) zu verhindern, wird ein geheimer militärische Mode (z.B. IFF Mode 5, STANAG 4193 Ed. 3) verwendet. Hierbei das Aussenden des Transpondersignals weiterhin auf 1090 MHz.

Operativ wird der Helikoptertiefflug zur Unterstützung der Piloten mit NVG durchgeführt. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass diese Einsätze auch ohne entsprechende Systeme geflogen werden. Die Flüge werden dabei nachts in sehr niedrigen Höhen (>500 ft GND) durchgeführt. Im Rahmen aktiver Missionen (kein training) kann es auch dazu kommen, dass hier der Transponder vollständig deaktiviert wird.

Taktischer Helikopterflug wird nur von speziell ausgebildeten Berufspiloten durchgeführt und beinhaltet eine sorgfältige Vorbereitung jedes Flugereignisses. Aktuell liegt der Bedarf an Flugstunden im taktischen Nachttiefflug der Bundeswehr bei:

- 2.500 – 3.000 Flugstunden mit NVG
  - Davon ca. 625 – 750 Flugstunden unterhalb von 200 ft GND



### 4.3.3 NLFS

Im *Night Low Level Flying System* (NLFS) der Bundeswehr wird taktischer Tiefflug mit Jet-LFZ durchgeführt. Dieser speziell reservierte Luftraum (ED-R 150) umfasst ein Netz aus Flugkorridoren, die bei Bedarf für Tiefflugübungen bei Nacht aktiviert werden. Bei der Konzeption der Korridore wurde vor allem auf bewohnte Gebiete und bestimmte Hindernisse Rücksicht genommen. Die Mindestflughöhe in den Korridoren beträgt 1.000 ft GND, die untere Grenze des Korridors beträgt 500 ft GND, die Breite der Korridore ist auf 5 NM festgelegt. Das Einfliegen in diese Korridore ist innerhalb der Aktivierungszeiten nur angemeldeten Luftfahrzeugen erlaubt und wird mit der DFS koordiniert. Um die Lärmbelastung auf ein Minimum zu reduzieren, ist die Nutzung des NLFS nur von Montag bis Donnerstag zwischen 30 Minuten nach Sonnenuntergang und Mitternacht zulässig. In den Sommermonaten wird das NLFS in der Regel nicht genutzt.

Hindernisse sind innerhalb des NLFS nur unter strengen Auflagen und nach Konsolidierung und Genehmigung durch die Bundeswehr genehmigt. Eine entsprechende Kenntnis über alle Hindernisse innerhalb des NLFS ist vorhanden und ein entsprechend hohes Situationsbewusstsein diesen gegenüber gegeben

Genutzt wird das NLFS vorwiegend durch überschallfähige Kampffjets – z.B. den Eurofighter Typhoon. Die Radarrückstrahlfläche dieses LFZ ist bewusst durch z.B. den Einsatz von Faserverbundwerkstoffen sehr klein ( $<1 \text{ m}^2$ ). In bestimmten Übungsszenarien wird das NLFS auch von verbündeten Luftstreitkräften genutzt, welche hinsichtlich der Stealth-Eigenschaften noch wesentlich leistungsfähigere LFZ einsetzen – z.B. die Niederländische Luftwaffe mit dem Joint Strike Fighter F35. Diese LFZ sind mit einem Mode-S Transponder ausgestattet, welcher die grundsätzlichen Funktionalitäten eines zivilen Transponder zur Identifizierung aufweist so für die zivile Flugsicherung sichtbar ist. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass der Transponder in einen militärischen Mode geschaltet wird (z.B. Mode 5), welcher durch ein BNK-Transponder System nicht identifiziert werden kann.

Die Anzahl von Einsätzen im NLFS liegt nicht vor, jeder Einsatz wird jedoch im voraus angemeldet und mit der DFS koordiniert.



Abbildung 17: Eurofighter Typhoon (links) Joint Strike Fighter F35 (rechts) [Airbus, Lockheed Martin]

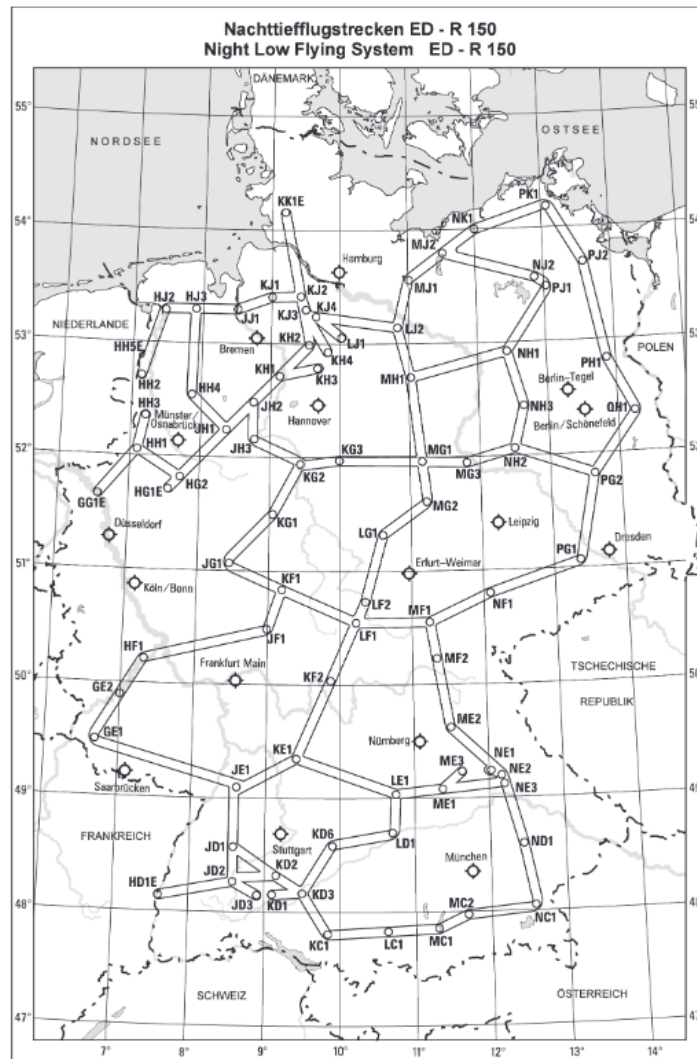


Abbildung 18: NLFS der Bundeswehr in Deutschland [DFS]

#### 4.3.4 Zusammenfassung

Die Bundeswehr betreibt unterschiedliche LFZ-Typen in diversen Einsatzszenarien, welche VFR-Nacht-Tiefflug beinhalten. Grundsätzlich werden alle Einsätze von professionellen Piloten geflogen, so dass von einer sorgfältigen Flugvorbereitung und entsprechend hohen Situationsbewusstsein hinsichtlich der Hindernissituation – insbesondere im Nachteinsatz – ausgegangen werden kann. Speziell in taktischen Tiefflug wird meistens ein Nachtsichtsystem verwendet (NVG), um das Situationsbewusstsein hinsichtlich der umgebenden Hinderniskulisse noch zu erhöhen. Die Bundeswehr verwendet in diversen Einsatzszenarien spezielle militärischen Transponder Modes, welche mit zivilen Systemen nicht ausgewertet werden können. So wird im taktischen Flug vermieden, dass eine Detektierung mit zivilen privatwirtschaftlichen Anwendungen erfolgt (z.B. Flight radar 24).

Folgende Flugereignisse in der Nacht sind für die Anwendung eines BNK-Systems relevant:

- 28 Einsätze HEMS
- 2.500 – 3.000 Flugstunden taktischer Helikopter Tiefflug mit NVG

## 4.4 Bundepolizei

Die Bundespolizei führt im VFR-Nachtflug verschiedenen Aufgaben durch. Die Hubschrauber der Bundespolizei kommen unter anderem zum Einsatz:

- zur Überwachung der Grenzen aus der Luft
- für den Transport von Polizeikräften bei Großeinsätzen und bei Einsätzen von Spezialeinheiten der Bundespolizei
- zur Unterstützung des Bundeskriminalamtes
- für die Beförderung von sicherheitsgefährdeten Personen des politischen und parlamentarischen Bereichs des Bundes
- für die Beförderung von Staatsgästen der Bundesregierung
- für die Hilfe bei schweren Unglücks- und Katastrophenfällen im In- und Ausland
- HEMS

Dabei kommen folgende LFZ-Typen zum Einsatz:

- Aérospatiale AS 332 Super Puma
- Airbus Helicopters H155
- Airbus EC135
- Airbus Helicopters H120

Alle Helikopter sind mit einem Mode-S Transponder ausgestattet, welcher mindestens über ELS und DF11 verfügt. Dazu sind alle Helikopter mit FLARM ausgestattet. Für bestimmte Missionen (z.B. GSG 9<sup>4</sup>) können die Transponder in einen Incognito-Mode geschaltet werden, welcher nur noch Mode A/C Signale versendet. Hiermit wird zum Schutz des Einsatzes verhindert, dass über Mode-S Signale (z.B. DF11, DF17) eine Sichtbarkeit bei zivilen privatwirtschaftlichen Anwendungen (z.B. Flightradar 24) erfolgen kann. Im Rahmen solcher Missionen wird auch FLARM deaktiviert. In sehr seltenen Fällen kann auch das gesamte Transponder-System zum Schutz der Mission deaktiviert werden.

Die Helikopter der Landespolizei der Bundesländer sind alle vom Hersteller Airbus und mit gleicher Transpondertechnologie ausgestattet. Auch hinsichtlich der Flugprofile, Ausstattungsgrad und Betriebsverfahren besteht große Ähnlichkeit zur Bundespolizei – dementsprechend werden diese hier nicht mehr gesondert aufgeführt.



Abbildung 19: Airbus Helicopters H155 [Bundespolizei]

<sup>4</sup> GSG 9: Spezialeinheit der Bundespolizei



Die Flugprofile verlaufen je nach Einsatz und Wetter sehr tief bis zum Boden (<500 ft GND). Gerade bei aktiven Missionen zur Überwachung oder Verfolgung kann im Zweifelsfall bis auf Bodenniveau geflogen werden. Dazu besteht auch immer die Möglichkeit einer Außenlandung (z.B. im HEMS Einsatz). Grundsätzlich besteht die Besatzung aus zwei voll ausgebildeten Berufspiloten – oder bei HEMS Einsätzen aus der spezifischen HEMS Besatzung (Pilot, HEMS-TC und medizinisches Personal). Für jeden Einsatz wird eine entsprechend Flugvorbereitung und in Abhängigkeit des Flugprofils eine spezifische Risikoabwägung durchgeführt, um das Situationsbewusstsein der Piloten in Hinblick auf die Mission und die jeweiligen Gegebenheiten zu erhöhen.

Im taktischen Flugbetrieb kommen Nachtsichtsysteme zum Einsatz (NVG), dazu sind einige Helikopter mit dem Helikopterlaserradar (HELLAS) der Firma Cassidian ausgerüstet, welches mit Hilfe eines Lichtwellen-Radar (LIDAR) Systems die Umgebung erfasst und den Piloten Hindernisse optisch darstellen und sie akustisch warnen kann. Bei HEMS Einsätzen sind die Piloten nicht mit NVG ausgerüstet.

Im Jahr 2018 gab es folgende Anzahl an Flugeinsätzen (alle Einsatzprofile) der Bundespolizei unter VFR-Night:

- 1.923 Einsätze



Abbildung 20: Helikopterlaserradar [EADS]

## 5 Gefahrenanalyse für eine transponderbasierte BNK

Zur Identifikation der möglichen Gefahren durch die Verwendung einer bedarfsgesteuerten Befeuerung von Windenergieanlagen – insbesondere durch die Verwendung eines Systems, welches Transpondersignale zur Aktivierung und Deaktivierung der Befeuerung einsetzt – wurden diverse Fachgespräche (Hazard-Workshops) mit Vertretern der betroffenen Verkehrsarten geführt.

Im Folgenden werden grundsätzliche Punkte im Hinblick einer BNK-Lösung als Resultat der Gefahrenanalyse aufgeführt. Im Anschluss erfolgt eine Aufzählung der einzelnen Gefahrensituationen (Hazards), welche im Rahmen der Hazard-Workshops und Fachgespräche als besonders relevant identifiziert wurden.

- Die Befeuerung eines Luftfahrthindernisses ist ein einzelner Bestandteil des gesamten Sicherheitsnetzwerkes zum Schutz des Luftverkehrs, insbesondere des VFR Verkehrs. Erst das Versagen aller Bestandteile des Sicherheitsnetzwerkes führen zu einer Gefährdung des Luftverkehrs. Weitere Bestandteile des Sicherheitsnetzwerkes sind:
  - eine sorgfältige Flugvorbereitung inklusive einer Flugwegbestimmung mit Hindernisbetrachtung und das Einholen relevanter Wetterinformationen
  - vorgeschriebene Mindestabstände (vertikal, horizontal) zu Hindernissen im Nachtflug (erhöht gegenüber dem Tag)
  - festgelegte Mindestsichtbedingungen für den Nachtflug (erhöht gegenüber dem Tag)
  - kontinuierliche Überwachung des Flugverlaufs mit Unterstützung von u.a. Luftfahrtskarten, Anzeigegeräten, visuelle und akustische Warnsystem (je nach Ausstattung des LFZ)
  - 2-Mann Besatzung (z.B. Bundespolizei)
- Eine fehlende Befeuerung als einzelnes Ereignis ist kein zwingender Grund für eine gefährliche Annäherung oder Kollision mit einer WEA. Erst die Verkettung von mehreren Faktoren kann zu solch einer Gefahrensituation führen
- Hindernisse unter 100 m GND werden in der Regel in Deutschland nicht durch eine Befeuerung gekennzeichnet und stellen ebenso eine Gefahr dar
- Hindernisbefeuerungen können ausfallen und werden u.U. über einen Zeitraum von mehreren Wochen nicht instandgesetzt. Diese werden zwar gemeldet und via NOTAM publiziert – diese erreichen jedoch den Piloten möglicherweise im Einzelfall nicht
- Einzelne isoliert stehende WEA stellen ein höheres Risiko dar, als ein großflächiger Windpark mit mehreren WEA. Das Situationsbewusstsein besonders bei Piloten des operativen Einsatzverkehrs der Bundeswehr, Bundespolizei oder HEMS Einsätzen ist gegenüber der den Heimatflugplatz umgebenen Hinderniskulisse sehr hoch – einzelne Anlagen werden hier jedoch eher „übersehen“ als ein großer Windpark.

### 5.1 Hazard 1 – Transponderausfall auf Grund von Fehlfunktion

Die Funktionstüchtigkeit des Transponders ist ein elementarer Bestandteil der Lösung BNK-Transponder. Sollte der Transponder während des Fluges ausfallen, unerkant durch den Piloten, so besteht u.U. keine Möglichkeit für das BNK-System, die

Befehrerung zu aktivieren. Neben dem technischen Versagen des Transponder-Systems im LFZ (Transponder, Antenne, Verkabelung) zählt auch die unerkannte Fehlbedienung durch den Piloten, die eine Deaktivierung des Transponders zur Folge hat.

## **5.2 Hazard 2 – Überlastung der Flugsicherung**

### **5.2.1 Hazard 2a – Überlastung des Fluglotsen**

Durch die zusätzliche Ausrüstungsverpflichtung von LFZ für den VFR-Verkehr bei Nacht im Luftraum G mit einem Transponder besteht die Möglichkeit, dass der verantwortliche Fluglotse durch die Zunahme an Sekundärzielen überlastet wird.

### **5.2.2 Hazard 2b – Überlastung des Flugsicherungssystems**

Durch mögliche aktive Abfragen eines BNK-Transponder Systems kann das 1090 MHz Spektrum überlastet werden. Schon 2011 wurde zum Schutz des Spektrums die Durchführungsverordnung Nr. 1207/2011 durch die EU verabschiedet. Hier besteht die klare Vorgabe an die Mitgliedsstaaten der EU sicherzustellen, dass ein SSR-Transponder an Bord eines LFZ nicht Gegenstand übermäßiger Abfragen durch SSR-Abfragegeräte am Boden ist. Dies ist zum Schutz des Transponders, um die Rate der Antworten pro Sekunde nicht zu überschreiten (vgl. ICAO Annex 10 Band (IV)). [15]

Sollte ein BNK-System am Boden aktiv SSR-Abfragen aussenden, kann es hierdurch zu einer Überschreitung der Antworten des Transponders kommen, und Fehlfunktionen nicht ausgeschlossen werden.

## **5.3 Hazard 3 – Tief fliegender Verkehr der allgemeinen Luftfahrt**

### **5.3.1 Hazard 3a – Tief fliegender Verkehr GA auf Grund eines Triebwerksausfall**

Durch Unterschreiten der vorgeschriebenen Sicherheitsmindesthöhe von 1.000 ft über dem höchsten Hindernis in einem Umkreis von 8 km beim Überlandflug VFR-Nacht kann sich das LFZ auf der Höhe von WEA befinden. Sollten diese nicht befeuert sein – im Falle des Ausfalls des Transpondersignals, kann es zu einer gefährlichen Annäherung mit einer WEA kommen. Das Unterschreiten der Sicherheitsmindesthöhe erfolgt in diesem Fall auf Grund fehlender Triebwerksleistung bei einer Fehlfunktion oder Ausfall des Triebwerks.

### **5.3.2 Hazard 3b – Tief fliegender Verkehr GA auf Grund der Wetterbedingungen**

Durch Unterschreiten der vorgeschriebenen Sicherheitsmindesthöhe von 1.000 ft über dem höchsten Hindernis in einem Umkreis von 8 km beim Überlandflug VFR-Nacht kann sich das LFZ auf der Höhe von WEA befinden. Sollten diese nicht befeuert sein – im Falle des Ausfalls des Transpondersignals, kann es zu einer gefährlichen Annäherung mit einer WEA kommen.

Das Unterschreiten der Sicherheitsmindesthöhe erfolgt in diesem Fall auf Grund kritischer Wetterbedingungen. Dies kann zum einen eine niedrige Wolkenuntergrenze sein, welche das Einhalten der Sicherheitsmindesthöhe nicht mehr zulässt. Außerdem können sich die Sichtbedingungen so ändern, dass die geforderten Abstände zu Wolken, welche im Luftraum E gefordert sind (1.000 ft vertikal, 1.500 m horizontal), nicht mehr eingehalten werden können. Dies hat ein Ausweichen in den tiefer liegenden Luftraum G und ein damit verbundenes Annähern an die mögliche Hinderniskulisse durch WEA zur Folge.

## **5.4 Hazard 4 – Langsame Luftfahrzeuge**

Verschiedene Einsatzszenarien können zu besonders langsamem Flug der relevanten LFZ führen. Helikopter können im Schwebeflug oder mit sehr langsamer Fahrt, Flächenflugzeuge mit hohem Gegenwind oder Ballone sich auf die WEA zu bewegen. Dies kann Auswirkungen auf die Detektionsqualität mit einem BNK-System haben.

## **5.5 Hazard 5 – Helikopter im HEMS Einsatz mit Mode A/C Transponder**

Die Bundeswehr setzt noch 20 Sea King Helikopter für den HEMS Einsatz im VFR-Nachtflug ein, welche – trotz allgemeiner Ausrüstungsverpflichtung in Deutschland seit 2008 mit einem Mode-S Transponder – noch mit einem Mode A/C ausgerüstet sind. Falls sich das LFZ unterhalb der SSR-Abdeckung der DFS Sekundärradaranlagen befindet, kann es dazu kommen, dass der Transponder keine Signale sendet (Mode A/C Transponder ohne DF11 Squitter). In diesem Fall wird die Befeuerung der WEA durch das BNK-System trotz eines möglichen Einflugs des LFZ in den Wirkungsraum nicht aktiviert.

## **5.6 Hazard 6 – Einsatzverkehr im Tiefflug mit geänderten Transponder Mode**

### **5.6.1 Hazard 6a – Bundespolizei fliegt tief mit Icoognito Mode des Transponders**

Die Besatzungen der Helikopter der Bundespolizei haben die Möglichkeit, den Transponder in den sogenannten Icoognito-Mode zu schalten.

Dies erfolgt je nach Einsatzprofil (kein HEMS) sofern es nötig ist, nicht durch das permanente Aussenden (Squitter) des Transponders von zivilen privatwirtschaftlichen Anwendungen (z.B. Flightradar 24) dargestellt zu werden. Der Mode-S Transponder sendet dann nur noch im Mode A/C, sofern er eine SSR/TCAS-Abfrage empfängt. Sollte sich das LFZ unterhalb der SSR-Abdeckung der DFS befinden kann es dazu kommen, dass der Transponder keine Signale sendet. In diesem Fall wird die Befeuerung der WEA durch das BNK-System trotz eines möglichen Einflugs des LFZ in den Wirkungsraum nicht aktiviert.

### **5.6.2 Hazard 6b – Bundeswehr fliegt tief mit militärischem Mode des Transponders**

Die Transponder der Helikopter der Bundeswehr haben die Möglichkeit, auf einem militärischen Mode (z.B. Mode 5) zu senden. Dies erfolgt je nach Einsatzprofil (kein HEMS) im taktischen Helikoptertiefflug sofern es nötig ist, nicht durch das permanente Aussenden (Squitter) des Transponders von zivilen privatwirtschaftlichen Anwendungen (z.B. Flightradar 24) dargestellt zu werden. Der Transponder sendet dann kein zivil bekanntes Format (Mode S, DF11, DF17) und kann somit u.U. vom BNK-System nicht mehr als LFZ erkannt werden. In diesem Fall wird die Befeuerung der WEA durch das BNK-System trotz eines möglichen Einflugs des LFZ in den Wirkungsraum nicht aktiviert.

## **5.7 Hazard 7 – Einsatzverkehr im Tiefflug ohne aktivierten Transponder**

### **5.7.1 Hazard 7a – Bundespolizei fliegt tief ohne aktivierten Transponder**

In besonderen Einsatzszenarien kann es vorkommen, dass die Piloten der Helikopter der Bundespolizei den Transponder deaktivieren. Dies dient dem Zweck der Minimierung der Sichtbarkeit durch jegliche Luftlagedarstellungssysteme. In diesem Fall wird die Befeuerung der WEA durch das BNK-System trotz eines möglichen Einflugs des LFZ in den Wirkungsraum nicht aktiviert.

### **5.7.2 Hazard 7b – Bundeswehr fliegt tief ohne aktivierten Transponder**

In besonderen Einsatzszenarien kann es vorkommen, dass die Piloten der Helikopter der Bundeswehr den Transponder deaktivieren. Dies dient dem Zweck der Minimierung der Sichtbarkeit durch jegliche Luflagedarstellungssysteme. In diesem Fall wird die Befehrerung der WEA durch das BNK-System trotz eines möglichen Einflugs des LFZ in den Wirkungsraum nicht aktiviert.

### **5.8 Hazard 8 – Militärische Jet-LFZ im Nachttiefflugsystem**

Im NLFS innerhalb des deutschen Luftraums fliegen militärische Jet-LFZ Tiefflug-Übungen mit sehr hohen Fluggeschwindigkeiten (bis zu 475 kts). Die eingesetzten LFZ zeichnen sich durch teilweise sehr geringe Radarrückstrahlflächen aus. Falls der Transponder auf den militärischen Mode 5 geschaltet ist und keine zivilen Formate (EHS, ELS, DF11, DF17) sendet, kann es dazu kommen, dass die Befehrerung der WEA durch das BNK-System trotz eines möglichen Einflugs des LFZ in den Wirkungsraum nicht aktiviert wird.

### **5.9 Hazard 9 – Außenlandung im HEMS Einsatz**

Während eines HEMS Einsatzes kommt es bei Primär-Einsätzen oftmals zu Außenlandungen in unbekanntem Gelände. Die kann zu einem sehr tiefen Einflug in den Wirkungsraum um eine WEA führen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass die Außenlandung noch bei Tageslicht erfolgt ist, der Weiterflug sich aber in die Nachtstunden verzögert. Der Start zum Rückflug kann dann u.U. unter VFR-Night Bedingungen erfolgen. Sofern sich der Helikopter innerhalb des Wirkungsraums einer WEA befindet, muss eine unmittelbare Aktivierung der Befehrerung des Hindernisses erfolgen. Hinzu kommen Faktoren wie Zeitdruck oder das mögliche Fehlen des HEMS-TC, der gegebenenfalls dem medizinischen Personal bei der Versorgung der aufgenommen Patienten helfen muss.

## 6 Risikobewertung

Im Rahmen der Risikobewertung werden die identifizierten Gefahrensituationen hinsichtlich der Einführung einer BNK-Transponder (PLAN-Zustand) untersucht und der mögliche Einfluss auf die Sicherheit der jeweiligen Flugbetriebe bestimmt. Hierbei erfolgt – sofern benötigt – ein Vergleich mit dem bereits anerkannten BNK-Radar Systems und einer Befeuerung ohne BNK-System (IST-Zustand), um eine Einschätzung eines möglichen Zuwachses des Risikos durchführen zu können. Für qualitative Bewertung wird angestrebt, die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer Gefahrensituation im IST- und PLAN-Zustand zu identifizieren und hinsichtlich einer möglichen Akzeptanz der möglichen Flugbetriebe zu überprüfen. Das Fehlen der Anzahl bestimmter Kenngrößen (z.B. Anzahl an taktischen Tiefflügen ohne NVG, Anzahl an Tiefflügen der Bundespolizei in Höhe einer WEA) lässt in einigen Fällen nur die qualitative Abschätzung der spezifischen Gefährdung durch die Verwendung der BNK-Transponder zu. In diesem Fall bietet der Vergleich mit dem IST-Zustand eine Möglichkeit der Einschätzung hinsichtlich der Akzeptanz des möglichen Risikos.

Als wichtige Eingangsgröße für die Risikobetrachtung ist die in Abschnitt 3.1.4 eingeführte Gefahrenzone einer WEA mit einem lateralen Abstand von 150 m äußersten Punkt der Blattspitze des Rotors. Bezogen auf die Flächen von Deutschland sind folglich 0,06 % als Gefahrenzone für eine gefährliche Annäherung an eine WEA anzunehmen. Außerdem ist ein wichtiger Faktor die Anzahl an Flugbewegungen im Jahr, um eine Abwägung der Relevanz zwischen den jeweiligen Luftverkehrsarten zu vollziehen.

Im Folgenden werden die in Kapitel 5 identifizierten Gefahrensituationen jeweils untersucht.

### 6.1 Hazard 1 – Transponderausfall aufgrund von Fehlfunktion

Der Ausfall des Transponders würde zur Folge haben, dass – sofern keine anderen Signale zur Auswertung zur Verfügung stehen oder andere Mitigations-Maßnahmen bestehen – das BNK-Transponder System keine Aktivierung der Befeuerung bei Einflug eines LFZ in den Wirkungsraum durchführt.

Betrachtet man die einschlägigen Bauvorschriften (vgl. 3.3.3) eines Mode-S Transponders, so ergeben sich die Forderung nach einer maximalen Ausfallrate von  $\lambda = 1 \times 10^{-3}$  pro Flugstunde, also alle 1.000 Flugstunden ein mögliche Fehlfunktion oder Ausfall des Transponders (MTBF = 1.000 h). Ist der Transponder mit einer TCAS-Funktionalität ausgestattet, liegt die geforderte maximale Ausfallrate bei  $\lambda = 1 \times 10^{-5}$  pro Flugstunde, was einer mögliche Fehlfunktion oder Ausfall des Transponders alle 100.000 Flugstunden entspricht (MTBF = 100.000 h).

Unter Annahme einer durchschnittlichen Flugdauer eines VFR-Night Flugereignisses von einer Stunde ergeben sich folgende Werte für die mögliche Ausfallwahrscheinlichkeit (*Failure Propability*):

$$P_F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$\text{mit: } \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$t = 1 \text{ h (Flugzeit)}$$

- ohne TCAS:  $P_F = 0,001$  (0,1%)
- mit TCAS:  $P_F = 0,00001$  (0,001%)

Ein Mode-S Transponder führt zu jedem Einschaltvorgang einen Selbsttest durch und signalisiert eine Fehlfunktion dem Piloten. Hierdurch beträgt die Ausfallwahrscheinlichkeit des Transponders bei einer Stunde Flugzeit bei einem LFZ ohne TCAS Funktionalität 0,1 % pro Flugereignis. Dies trifft auf nahezu alle hier betrachteten Verkehrsarten zu, da die eingesetzten LFZ ohne TCAS-Funktionalität ausgestattet sind. Dieser sehr niedrige Wert einer möglichen Fehlfunktion oder Ausfalls wurde durch Fachgespräche mit diversen Transponderherstellern bestätigt.

Der Mode A/C Transponder wird hier nicht betrachtet, da er nach der Verkehrsanalyse als nicht mehr relevant eingestuft wurde. Es wurden nur die 20 Sea King Helikopter der Bundeswehr in ganz Deutschland identifiziert, welche noch bis 2025 voraussichtlich im Einsatz sind.

Für den Einflug in den Gefahrenbereich einer WEA mit defektem oder auch deaktiviertem Transponder kommt allerdings noch hinzu, dass der Ausfall der Transponderfunktionalität vom Luftfahrzeugführer unerkannt erfolgen muss. Hier stehen jedoch diverse Sicherheitsbarrieren zur Verfügung:

- *Selftest* zum Einschalten des Transponders
- Failure Monitor während des Fluges, welcher dem Luftfahrzeugführer bei Ausfall des Transponders oder fehlerhafter Verbindung zur Antenne eine Warnung generiert
- Flugverkehrskontrolldienst, welcher eine fehlerhafte Anzeige im Radaranzeigerät – je nach Arbeitslast und Radarabdeckung – erkennen kann und dem Luftfahrzeugführer meldet

Darüber hinaus unterliegen der Transponder selbst und der korrekte Einbau eines Transponders diversen Prüfungs- und Kontrollmechanismen. Die Zulassung durch die EASA erfolgt auf Basis bestehender Bauvorschriften, der Einbau muss seitens der nationalen Luftfahrtbehörde (LBA) abgenommen werden und die einwandfreie Funktionalität muss – neben dem *Selftest* bei jedem Einschaltvorgang – entsprechendem Prüfungspersonal in regelmäßigen Abständen nachgewiesen werden. Der Transponder unterliegt somit einer kontinuierlichen Qualitätssicherung und Funktionskontrolle – wie sie in der Luftfahrt für alle wichtigen technischen Systeme üblich ist.

Die hohen Qualitätsanforderungen ergeben sich ebenso aus der Relevanz, die der Transponder für die Sicherheit des Luftverkehrs betriebs eingenommen hat. Flugsicherungsdienste sind für die Erbringung ihrer Aufgaben auf die verlässliche Funktionalität des Transponders angewiesen – der Ausfall des Transponders im Flug kann das Verbot für den Einflug in die anliegende *Flight Information Region* (FIR) bedeuten<sup>5</sup>. Ebenso ist die Verwendung des Transponders mit TCAS-Funktionalität als Ersatz/Ergänzung zum *See-and-Avoid* als letzte Stufe der Sicherheitskette zur Verhinderung eines Zusammenstoßes mit einem anderen LFZ aus der Luftfahrt seit Jahren etabliert.

Vergleicht man den Transponder als zusätzliche Einzelkomponente und mögliche Fehlerquelle in einem BNK-System mit dem IST-Zustand (BNK-Radar, keine BNK), so ergeben sich folgende Punkte:

---

<sup>5</sup> Aktuelle Betriebsabsprachen zwischen ANSP/FIRs in Europa sehen für IFR-Verkehr teilweise das Verbot eines LFZ in die nächste FIR vor, da der Anstieg der Arbeitslast und die Verminderung der Sicherheit nicht akzeptabel ist

- **BNK-Radar:** Auf Grund einer fehlenden spezifischen Forderung nach der Detektionsgüte und der zu erwartenden minimalen Radarrückstrahlfläche ist ein Vergleich mit der hohen – in der Luftfahrt üblichen – Qualitätssicherung (z.B. Part 21 Entwicklungsbetrieb, Bauvorschriften), welche für den Transponder besteht, schwer durchführbar. Das BNK-System wird im Rahmen der Standortspezifischen Einzelabnahme zwar hinsichtlich der fehlerfreien Funktionalität überprüft – die Abdeckung des gesamten Wirkungsraum steht jedoch in Abhängigkeit des im Flugtest eingesetzten LFZ und dem Flugprofil. Das Anerkennungsverfahren sieht keine Flüge unterhalb von 500 ft vor. Auch sind keine Mindestanforderungen an RCS der Test-LFZ im Anerkennungsverfahren festgehalten. Entsprechend ist zumindest über das Anerkennungsverfahren kein Nachweis erbracht, dass auch LFZ mit kleineren RCS oder LFZ unterhalb von 500ft die Befeuerung aktivieren können. Der bestehenden Zulassungs- und Kontroll-Prozess der ICAO/EASA/nationale Behörde für den Transponders ist nicht zu vergleichen mit dem bestehenden Anerkennungsprozess einer BNK-Radar. Ebenso ist das Erlangen der Zulassung für einen Part 21 Betrieb, welcher zum Entwickeln und Herstellen eines Transponders befähigt, weitaus aufwendiger, als die aktuellen Anforderungen an den Hersteller einer BNK-Radar.
- **Ohne BNK-System:** vergleicht man die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Befeuerungselements (z.B. Feuer W, rot, vgl. Abschnitt 3.1.2) einer WEA mit LED-Technologie mit der des Transponders, so ergibt sich folgendes Ergebnis:  
nach 974 (ca. 81 Tage) Betriebsstunden eines Befeuerungselements ist die maximale Ausfallwahrscheinlichkeit eines Transponders erreicht, der jeweils 1 h betrieben wird. Ab diesem Zeitpunkt ist es wahrscheinlicher, dass das Befeuerungselement als der Transponder während des Fluges ausfällt. Die Regelbetriebszeit eines Befeuerungselement beträgt laut Herstellerangaben ca. 50.000h, dann ist die Ausfallwahrscheinlichkeit von 5% erreicht.  
Es steht es außer Frage, dass der Ausfall eines Befeuerungselement einer WEA in einem Windpark weniger schwerwiegend ist, als die ausbleibende Aktivierung der gesamten Befeuerung des Windparks bei der Verwendung eines BNK-Systems. Eine isoliert stehende WEA stellt jedoch laut der Aussage der betroffenen Flugbetriebe ein wesentlich größeres Risiko hinsichtlich der allgemeinen Wahrnehmung als Luftfahrthindernis dar, als ein großer Windpark. In diesem Fall ist die Auswirkung des Ausfalls der Befeuerung gleichzusetzen mit der fehlenden Aktivierung durch ein BNK-System.

Abschließend ist festzustellen, dass durch die Verwendung des Transponders als zusätzliches Element in einem BNK-System im Vergleich zum IST-Zustand von keinem inakzeptablen Anstieg des Risikos auszugehen ist. Das Gesamtsystem Transponder (Hersteller, Entwicklung, Herstellung, Einbau, Betrieb) unterliegt wesentlich höheren Anforderungen hinsichtlich Qualität und Sicherheit, als aktuelle BNK-Radar-Systeme. Ebenso zeigt der tägliche Betrieb die hohe Integrität und Qualität des Transponders bezogen auf die Anzahl der erbrachten Einsatzstunde.

Auch im Vergleich zum Befeuerungssystem selbst bestehen höhere Anforderungen an den fehlerfreien Betrieb des Transponders. Eine WEA kann mehrere Wochen ohne Befeuerung betrieben werden, bis ein Austausch des defekten Befeuerungselement erfolgt. Der Transponder dagegen muss umgehend instandgesetzt werden, der Einflug in



Lufträume mit Transponderpflicht ohne Transponder ist grundsätzlich nicht genehmigt. Nur der verantwortliche Fluglotse selbst darf dies mit einer entsprechenden Freigabe genehmigen – in Anbetracht der Einbuße an Sicherheit und dem Anstieg der Arbeitslast wird dies i.d.R. nicht genehmigt<sup>6</sup>

Auch die weitere Betrachtung der Signalübertragung des Transponders zu einem Empfänger am Boden eines BNK-Systems identifiziert kein weiteres Risiko gegenüber dem IST-Zustand. Grundsätzlich können Ausfälle in der Signalübertragung zwischen bordseitigem Transponder und bodenseitigem Empfänger am Boden durch kurzzeitige Abdeckung der Transponderantenne am LFZ vorkommen. Durch die Bewegung des LFZ und der sich ständig verändernde Geometrie zwischen Bord- und Bodenantenne bestehen diese – wenn – nur für eine kurze Zeit (wenige Sekunden). Bei einer Fluggeschwindigkeit von 100 kts sind dies 51 m/s, welche bei der Ausdehnung des aktuellen Wirkungsraum (horizontal Radius 4.000 m / vertikalen von 600 m um die WEA) nicht relevant ist. Der Empfang eines einzelnen Signals im Wirkungsraum reicht aus, die Befehrerung durch das BNK-Transponder System zu aktivieren.

Durch die Verwendung des DF11 Signals als Minimalanforderung zur Aktivierung der Befehrerung, ist die nicht gewährleistete SSR-Abdeckung unterhalb von 3.000 ft GND für die Risikobetrachtung irrelevant (außer Hazard 5), da die Squitter Funktionalität ein kontinuierliches Aussenden auch ohne SSR-Abfrage gewährleistet.

#### **Mitigation:**

- *Selftest* Transponder
- Permanente Überwachung der Funktionalität des Transponders im Flug
- Überwachung des LFZ durch die Flugsicherung und Identifizierung eines Transpondersignalverlust
- Aktivierung der Befehrerung durch das BNK-Transponder System bei plötzlichen Signalverlust mit einer festgelegten Haltezeit der Befehrerung. Durch eine Erweiterung des Empfangsbereichs des Bodenempfängers ist dieses auch außerhalb des Wirkungsraums umsetzbar
- Andere Signale, unabhängig vom Transponder (z.B. FLARM)

## **6.2 Hazard 2 – Überlastung der Flugsicherung**

### **6.2.1 Hazard 2a – Überlastung des Fluglotsen**

Nach diversen Fachgesprächen mit aktiven Fluglotsen ist nicht von einem Anstieg des Risikos für den Flugbetrieb durch die Einführung einer Transponderpflicht bei Nacht für VFR-Verkehr in Deutschland auch im Luftraum G auszugehen. Eher gegenteilige Auswirkung ist zu erwarten – die Möglichkeit der eindeutigen Identifizierung aller LFZ erhöht das Situationsbewusstsein des verantwortlichen Lotsen.

Durch die Verwendung von entsprechenden Höhenfiltern ist der Lotse nun sogar in der Lage, identifizierte Ziele mit Höheninformation, welche davor ohne Transponder nur als Primärziel dargestellt wurden, außerhalb seines Verantwortungsbereichs aus seiner Anzeige zu entfernen. Zudem wird die Sicherheit auch dadurch erhöht, dass er nun eindeutige Verkehrsinformation auf Basis der Höheninformation geben kann.

<sup>6</sup> Fachgespräche mit Fluglotsen haben diese Annahme bestätigt, ebenso die betrieblichen Absprachen hinsichtlich des Verbots des Einflugs in eine FIR ohne Transponder zwischen den jeweiligen ANSPs

## 6.2.2 Hazard 2b – Überlastung des Flugsicherungssystems

Durch die Betrachtung eines rein passiven Systems einer BNK-Transponder Lösung ist diese Gefahrensituation aus Sicht des BNK-Systems nicht relevant. Auch die zusätzliche Verpflichtung zum Mitführen eines Transponders in Luftraum G in der Nacht für VFR-Verkehr wird nicht zu einer signifikanten Erhöhung des Abfragelevels führen. Zum einen sind aktuell tagsüber grundsätzlich wesentlich mehr LFZ mit Transponder vorhanden, zum anderen ist die Anzahl an VFR-Flugbewegungen in der Nacht ohne Transponder außerhalb der Platzrunde eines Flugplatzes so niedrig<sup>7</sup>, dass es zu keinem das Abfragelevel belastenden Anstieg kommen wird.

## 6.3 Hazard 3 – Tief fliegender Verkehr der allgemeinen Luftfahrt

### 6.3.1 Hazard 3a – Tief fliegender Verkehr GA auf Grund eines Triebwerksausfall

Betrachtet man die Anforderungen hinsichtlich der Sicherheitsmindesthöhe bei Nacht für VFR-Verkehr von 1.000 ft in einem Umkreis von 8 km um das höchste Hindernis einschließlich der dazugehörigen Flugvorbereitung, so führt erst das Unterschreiten dieser zu einem möglichen Einflug in den Gefahrenbereich einer WEA.

Im Falle des Ausfalls eines Triebwerks kann es (vor allem bei ein-motorigen LFZ der GA) zu einem solchen Höhenverlust führen. Auf Basis der Anforderungen und statistische Werte der Ausfallrate eines Kolbenriebwerks eines LFZ der allgemeinen Luftfahrt besteht folgende Betrachtung [1][14]:

- Ausfallrate des Triebwerks  $\lambda$ : 0,0005 (MTBF 2.000 h)
- Wahrscheinlichkeit innerhalb des lateralen Gefahrenbereichs einer WEA: 0,0069 (vgl. Abschnitt 3.1.4)
- Ausfallrate des Transponders  $\lambda$ : 0,001 (MTBF 1.000 h)

Erst die Verkettung aller Ereignisse und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten führt zu einer möglichen gefährlichen Annäherung eines LFZ an eine unbefeuerte WEA.

Eintrittswahrscheinlichkeit (*Failure Probability*):

$5,0 \times 10^{-4}$  (Ausfall Triebwerk) =>

$3,45 \times 10^{-6}$  (Ausfall Triebwerk + Gefahrenbereich WEA) =>

$3,45 \times 10^{-9}$  (Ausfall Triebwerk + Gefahrenbereich WEA + Ausfall Transponder)

Bei einer Stunde Flugzeit entspricht dies einer Gesamtwahrscheinlichkeit von  $3,45 \times 10^{-9}$  pro Flugereignis (1h Flugzeit) mit BNK-Transponder. Auf Basis gängiger Anforderungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Gefahrensituationen entspricht dies der Klassifizierung *Extremely Remote* [37][5].

Außerdem wirkt sich der sehr konservative Ansatz der Definition des lateralen Gefahrenbereichs um eine WEA (Abstand 150 m, alle Rotoren mit 65 m, alle WEA als Einzelanlagen angenommen) und die konservative Annahme, dass ein Triebwerksproblem direkt in den Einflug der Hinderniskulisse bedeutet (kein Gleitflug auf Basis der Sicherheitsmindesthöhe von 1.000 ft über dem höchsten Hindernis) weiter minimierend auf die Eintrittswahrscheinlichkeit aus. Demzufolge wird das resultierende Risiko für den Flugbetrieb der

<sup>7</sup> Fachgespräche belegen, dass ein Flug unter VFR-Night außerhalb der Platzrunde ohne Transponder grundsätzlich als sehr unsicher eingeschätzt wird

allgemeinen Luftfahrt durch den Einsatz einer BNK-Transponder in der hier genannten Gefahrensituation als akzeptabel angenommen.

	Extremely Improbable	Extremely Remote	Remote	Reasonably Remote	Frequent
Quantitative Description	<10 <sup>-9</sup> per flight hour	10 <sup>-9</sup> to 10 <sup>-7</sup> per flight hour	10 <sup>-7</sup> to 10 <sup>-5</sup> per flight hour	10 <sup>-5</sup> to 10 <sup>-3</sup> per flight hour	1 to 10 <sup>-3</sup> per flight hour

Abbildung 21: ICAO Klassifizierung von Auftrittswahrscheinlichkeiten [37]

### 6.3.2 Hazard 3b – Tief fliegender Verkehr GA auf Grund der Wetterbedingungen

Geht man von einer maximalen Höhe einer WEA von ca. 300 m aus und der Sicherheitsmindesthöhe von 1.000 ft über dem höchsten Hindernis bei Nacht, so beträgt die Mindestflughöhe in diesem Fall 2.000 ft GND. Dies ist im Normalfall der Luftraum G in Deutschland (GND – 2.500 ft). In Flughafennähe jedoch bestehen oftmals ein auf abgesenkter Luftraum E auf 1.700 ft bzw. 1.000 ft. Demzufolge kann es vorkommen, dass sich der Flugweg des LFZ auch in Luftraum E befindet.

Durch sich ändernde Wetterbedingungen kann es dazu kommen, dass der Luftfahrzeugführer nicht mehr in der Lage ist, die geforderten Mindestabstände zu Wolken im Luftraum E (1.000 ft vertikal / 1.500 ft lateral) einzuhalten und einen Einflug in den Luftraum G (*clear of clouds*) zu Folge hat. Je nach Hindernissituation kann dies zur Folge haben, dass sich das LFZ auf der Höhe einer WEA befinden kann, und durch den Ausfall des Transpondersignals eine Aktivierung der Befeuerung der WEA ausbleibt.

Betrachtet man diese mögliche Fehlerkette zu einer gefährlichen Annäherung eines LFZ der allgemeinen Luftfahrt mit einer WEA, so ergeben sich folgende Punkte:

- Der Luftfahrzeugführer ist verpflichtet, eine entsprechende Flugvorbereitung durchzuführen. Dies beinhaltet auch das Einholen von relevanten Wetterinformationen
- Die Wolkenuntergrenze darf nicht unter 1.500 ft GND betragen
- Der Flug bei marginalen Wetterbedingungen ist eine der häufigsten Unfallursachen in der allgemeinen Luftfahrt, die BFU/DFS warnt regelmäßig vor den resultierenden Gefahren (z.B. *Controlled Flight into Terrain*) [12]
- Ein Flug unter VFR gerade bei Nacht unter marginalen Sichtbedingungen gilt – auch ohne die Einführung von BNK-Systemen – als sehr riskant
- Die zur Hinderniserkennung relevante Flugsicht beträgt in beiden Luftraumklassen 5 km

Unter diesen Gesichtspunkten ist diese Gefahrensituation als akzeptabel einzustufen. Der Luftfahrzeugführer sollte – gerade bei Nacht – ein entsprechendes Situationsbewusstsein hinsichtlich der während des Fluges zu erwartenden Wetterbedingungen haben und den Flug entsprechend planen – oder gegebenenfalls nicht durchführen. Der Beginn der Fehlerkette in dieser Gefahrensituation ist eine nicht sorgfältige Flugvorbereitung und Abwägung hinsichtlich der sicheren Durchführung des Fluges. Erst wenn nach Einflug in entsprechende Wetterbedingungen der Transponder ausfällt und sich das LFZ in einem Gefahrenbereich einer WEA befindet, kann es zu einer gefährlichen Annäherung kommen.

**Mitigation:**

- Keine BNK-Systeme in abgesenkten Luftraum E
- Keine Abschaltung bei marginalen Wetterlagen im abgesenkten Luftraum E

**6.4 Hazard 4 –Langsame Luftfahrzeuge**

Schwebende Helikopter, Ballone oder Flächenluftfahrzeuge mit geringer Geschwindigkeit und entsprechendem Gegenwind können die Detektion mit einem BNK-System erschweren. Auch besonders kleine Radarrückstrahlflächen von LFZ beispielweise aus Faserverbundwerkstoffen können eine Herausforderung hinsichtlich der Detektion durch BNK-Systeme darstellen.

Im Rahmen dieser Gefahrensituation geht kein weiteres Risiko durch die Verwendung einer BNK-Transponder aus. Die Detektion eines LFZ innerhalb des Wirkungsraums um die WEA ist unabhängig von Fluggeschwindigkeit, Höhe oder Beschaffenheit des LFZ. Allein das Aussenden des DF11 / Aquisition Squitter und der entsprechende Empfang des Signals am Bodenempfänger reicht für eine erfolgreiche Detektion des LFZ aus.

BNK-Radar Systeme haben systembedingt mit der Detektion von sehr langsamen, tief fliegenden oder LFZ, welche eine besonders geringe RCS aufweisen, Schwierigkeiten in der Detektion. Die Qualität der Detektion kann sehr unterschiedlich je nach Funktionsprinzip der BNK-Radar (Aktiv- oder Passiv-radar), der Filtermethode zur Festzielunterdrückung und der Beschaffenheit des jeweils zu detektierenden LFZ und dessen spezifisches Flugprofil sein.

Dementsprechend sollte geprüft werden, inwiefern ein Nachweis erbracht werden kann, dass die BNK-Systeme die entsprechenden Luftverkehre im relevanten Wirkungsraum abbilden können und die standortspezifische Abnahme (Flugtests) weiterentwickelt werden sollte. Allerdings bleibt anzumerken, dass die in Hazard 4 beschriebenen Risiken aufgrund der vergleichsweise geringen Anzahl der betroffenen Verkehre (schwebende Helikopter, Ballone oder Flächenluftfahrzeuge mit geringer Geschwindigkeit) als eher gering eingeschätzt wird.

**6.5 Hazard 5 – Helikopter im HEMS Einsatz mit Mode A/C Transponder**

Die Bundeswehr setzt aktuell noch 20 Sea King Helikopter für den HEMS Einsatz mit einem Mode A/C Transponder ein. Sollte der Helikopter während eines Einsatzes in einen Bereich kommen, in dem keine SSR-Abfrage zur Verfügung steht, sendet der Transponder keine Signale aus, welche zur Aktivierung der Befuerung der WEA führen.

Bei der Analyse dieser Gefahrensituation wurden folgende relevante Punkte identifiziert:

- SSR-Abdeckung ist in vielen Bereichen Deutschlands auch unterhalb von 3.000 ft GND gegeben (teilweise bis GND), allerdings nicht durch die DFS gewährleistet
- Auch TCAS Abfragen (Mode C all call) führen zum Senden des Transponders auf 1090 MHz => erhöhte Abdeckung
- Ein einzelnes Signal des Transponders innerhalb des Wirkungsraum reicht für die Aktivierung der Befuerung der WEA durch die BNK-Transponder aus
- Sehr geringe Anzahl an Einsätzen im Jahr (<28)
- Tiefflug im Gefahrenbereich der WEA nur bei marginalen Wetterbedingungen oder Außenlandung in der Nähe des Gefahrenbereichs

- Berufspiloten

Das zusätzliche Risiko durch den Einsatz einer BNK-Transponder für diese Gefahrensituation wird als äußerst gering eingeschätzt. Die geringe Anzahl an Flugereignissen (<28 im Jahr) und erst die Verkettung von Einzel-Faktoren (Tiefflug auf Grund marginaler Wetterbedingungen oder einer Außenlandung im Gefahrenbereich einer WEA, kein Senden des Transponders, fehlendes Situationsbewusstsein hinsichtlich der Hindernissituation) kann zu einer gefährlichen Annäherung an eine WEA führen.

Vergleicht man die Situation mit dem Einsatz einer **BNK-Radar** (IST-Zustand), so besteht auch bei dieser Lösung je nach System (Passiv oder Primär) die Möglichkeit, dass das BNK-System den Helikopter auf Grund des Tiefflugs unterhalb des tatsächlichen Erfassungsbereichs des Radarsystems nicht erkennt – jedoch ist auch dieses Risiko auf Grund der Anzahl der Flugbewegungen als äußerst gering einzuschätzen.

## 6.6 Hazard 6 – Einsatzverkehr im Tiefflug mit geänderten Transponder Mode

### 6.6.1 Hazard 6a – Bundespolizei fliegt tief mit Incognito Mode des Transponders

Um eine Nachvollziehbarkeit durch Anbieter wie z.B. Flightradar 24 zu verhindern, können die Piloten der Bundespolizei Helikopter im Einsatz den Transponder in den „Incognito“-Mode schalten. Dieser ist auf das Senden von Mode A/C Antwortsignalen auf entsprechende Abfragen (SSR-Radar, TCAS) reduziert. Auch das FLARM System wird während eines solchen Einsatzes deaktiviert. Sollte der Helikopter sich unterhalb der SSR-Abdeckung befinden, und keine TCAS-Abfragen durch Überflug-Verkehr vorhanden sein, sendet der Transponder keine Signale aus, welche die BNK-Transponder zur Identifizierung des LFZ innerhalb des Wirkungsraums benötigt. Die Aktivierung der Befehrerung kann u.U. nicht erfolgen, trotz Einflug des LFZ in einen Wirkungsraum einer WEA.

Bei der Analyse dieser Gefahrensituation wurden folgende relevante Punkte identifiziert:

- SSR-Abdeckung ist in vielen Bereichen Deutschlands auch unterhalb von 3.000 ft GND gegeben (teilweise bis GND), allerdings nicht bestätigt
- Auch TCAS Abfragen (Mode C *all call*) führen zum Senden des Transponders auf 1090 MHz => erhöhte Abdeckung
- Ein einzelnes Signal des Transponders innerhalb des Empfangsbereichs der Bodenempfänger reicht für die Aktivierung der Befehrerung der WEA durch die BNK-Transponder aus
- Die Piloten sind mit NVG ausgestattet
- Zusätzliche Systeme wie HELLAS – falls ausgerüstet – tragen zu einer weiteren Verbesserung des Situationsbewusstsein bei
- Berufspiloten mit besonderer Ausbildung, 2-Mann Cockpit
- Spezielle Flugvorbereitung mit Risikoabschätzung

Das zusätzliche Risiko durch den Einsatz einer BNK-Transponder für diese Gefahrensituation wird als sehr gering eingeschätzt. Das Situationsbewusstsein der Besatzung ist hinsichtlich der Durchführung des Einsatzes und der besonderen Risiken eines möglichen Tieffluges sehr hoch. Zusätzliche Systeme wie NVG oder HELLAS unterstützen den *Pilot Flying* beim Erkennen von relevanten Luftfahrthindernissen, ebenso das Vorhandensein eines zweiten Piloten als *Pilot Non Flying*.

Die Wahrscheinlichkeit, dass keine SSR-Abfrage und keine TCAS-Abfrage vorliegen, der Helikopter sich innerhalb des Gefahrenbereichs einer WEA befindet und die WEA trotz NVG nicht als relevantes Hindernis wahrgenommen wird, erscheint sehr gering.

Vergleicht man die Situation mit dem Einsatz einer **BNK-Radar** (IST-Zustand), so besteht die Möglichkeit, dass das BNK-Radar-System je nach Methode (Passiv oder Primär) den Helikopter auf Grund des Tiefflugs unterhalb des tatsächlichen Erfassungsbereichs des Radarsystems nicht erkennt.

**Mitigation:**

- Eine Erweiterung der Befeuerung mit Infrarot-Befeuerung erhöht die Sichtbarkeit bei der Verwendung von NVG
- Aktivierung der gesamten Befeuerung entlang des Flugweges eines solchen Einsatzes

### 6.6.2 Hazard 6b – Bundeswehr fliegt tief mit militärischem Mode des Transponders

Um eine Nachvollziehbarkeit durch Anbieter wie z.B. Flightradar 24 zu verhindern, verwenden die Helikopter der Bundeswehr für den taktischen Tiefflug u.U. den militärischen Mode 5. Hierbei besteht die Möglichkeit, dass die Empfänger der BNK-Transponder den 1090 MHz Pegel nicht als relevantes LFZ wahrnehmen und die Befeuerung trotz eines Einfluges in den Wirkungsraum nicht aktivieren.

Bei der Analyse dieser Gefahrensituation wurden folgende relevante Punkte identifiziert:

- Ein einzelnes Signal des Transponders innerhalb des Empfangsbereichs der Bodenempfänger reicht für die Aktivierung der Befeuerung der WEA durch die BNK-Transponder aus
- Die Piloten sind teilweise mit NVG ausgestattet
- Berufspiloten mit besonderer Ausbildung, 2-Mann Cockpit
- Spezielle Flugvorbereitung mit taktischen Luftfahrtkarten
- Geringe Anzahl an Flügen ohne NVG

Das zusätzliche Risiko durch den Einsatz einer BNK-Transponder für diese Gefahrensituation wird als gering eingeschätzt. Das Situationsbewusstsein der Besatzung ist hinsichtlich der Durchführung des Einsatzes und der besonderen Risiken des Tieffluges sehr hoch. Durch die Verwendung von NVG wird ein sicheres Erkennen von Luftfahrt-Hindernissen – auch unbefeuert – wesentlich verbessert. Nur eine sehr geringe Anzahl an Einsätzen des taktischen Helikopter-Tiefflugs wird ohne NVG durchgeführt.

Vergleicht man die Situation mit dem Einsatz einer **BNK-Radar** (IST-Zustand), so besteht die Möglichkeit, dass das BNK-Radar-System je nach Methode (Passiv oder Primär) den Helikopter auf Grund des Tiefflugs unterhalb des tatsächlichen Erfassungsbereichs des Radarsystems nicht erkennt. Gerade die sehr geringen Höhen, welche gerade zur Übung des „Unterfliegen des Radars“ eingenommen werden, erschweren die sichere Detektion durch Radarsysteme.

**Mitigation:**

- Eine Erweiterung der Befeuerung mit Infrarot-Befeuerung erhöht die Sichtbarkeit bei der Verwendung von NVG
- Aktivierung der gesamten Befeuerung entlang des Flugweges eines solchen Einsatzes

## 6.7 Hazard 7 – Einsatzverkehr im Tiefflug ohne aktivierten Transponder

### 6.7.1 Hazard 7a – Bundespolizei fliegt tief ohne aktivierten Transponder

Um eine Nachvollziehbarkeit durch Anbieter wie z.B. Flightradar 24 zu verhindern, können die Piloten der Bundespolizei Helikopter im Einsatz den Transponder vollständig deaktivieren. Auch das FLARM System wird während eines solchen Einsatzes deaktiviert. Der Transponder sendet nun keine Signale aus, welche die BNK-Transponder zur Identifizierung des LFZ innerhalb des Wirkungsraums benötigt. Die Aktivierung der Befeuerung kann u.U. nicht erfolgen, trotz Einflug des LFZ in einen Wirkungsraum einer WEA.

Bei der Analyse dieser Gefahrensituation wurden folgende relevante Punkte identifiziert:

- Ein einzelnes Signal des Transponders innerhalb des Empfangsbereichs der Bodenempfänger reicht für die Aktivierung der Befeuerung der WEA durch die BNK-Transponder aus (wird der Transponder erst im Flug deaktiviert)
- Die Piloten sind mit NVG ausgestattet
- Zusätzliche Systeme wie HELLAS – falls ausgerüstet – tragen zu einer weiteren Verbesserung des Situationsbewusstseins bei
- Berufspiloten mit besonderer Ausbildung, 2-Mann Cockpit
- Spezielle Flugvorbereitung mit Risikoabschätzung
- Geringe Anzahl an Flügen ohne Transponder

Das zusätzliche Risiko durch den Einsatz einer BNK-Transponder für diese Gefahrensituation ist vorhanden. Das Situationsbewusstsein der Besatzung ist hinsichtlich der Durchführung des Einsatzes und der besonderen Risiken eines möglichen Tieffluges ohne Nutzung des Transponders besonders hoch. Zusätzliche Systeme wie NVG oder HELLAS unterstützen den *Pilot Flying* beim Erkennen von relevanten Luftfahrthindernissen, ebenso das Vorhandensein eines zweiten Piloten als *Pilot Non Flying*. Außerdem ist die Anzahl solcher Einsätze ohne Transponder sehr gering.

Vergleicht man die Situation mit dem Einsatz einer **BNK-Radar** (IST-Zustand), so besteht die Möglichkeit, dass das BNK-Radar-System je nach Methode (Passiv oder Primär) den Helikopter auf Grund des Tiefflugs unterhalb des tatsächlichen Erfassungsbereichs des Radarsystems nicht erkennt.

#### **Mitigation:**

- Eine Erweiterung der Befeuerung mit Infrarot-Befeuerung erhöht die Sichtbarkeit bei der Verwendung von NVG
- Aktivierung der gesamten Befeuerung entlang des Flugweges eines solchen Einsatzes

### 6.7.2 Hazard 7b – Bundeswehr fliegt tief ohne aktivierten Transponder

Um eine Nachvollziehbarkeit durch Anbieter wie z.B. Flightradar 24 zu verhindern, können die Piloten der Bundeswehr während des taktischen Tiefflugs den Transponder vollständig deaktivieren. Der Transponder sendet nun keine Signale aus, welche die BNK-Transponder zur Identifizierung des LFZ innerhalb des Wirkungsraums benötigt. Die Aktivierung der Befeuerung kann u.U. nicht erfolgen, trotz Einflug des LFZ in einen Wirkungsraum einer WEA.

Bei der Analyse dieser Gefahrensituation wurden folgende relevante Punkte identifiziert:

- Ein einzelnes Signal des Transponders innerhalb des Empfangsbereichs der Bodenempfänger reicht für die Aktivierung der Befeuerung der WEA durch die BNK-Transponder aus (wird der Transponder erst in der Luft deaktiviert)
- Die Piloten sind teilweise mit NVG ausgestattet
- Berufspiloten mit besonderer Ausbildung, 2-Mann Cockpit
- Spezielle Flugvorbereitung mit taktischen Luftfahrtkarten
- Geringe Anzahl an Flügen ohne NVG
- Geringe Anzahl an Flügen ohne Transponder

Das zusätzliche Risiko durch den Einsatz einer BNK-Transponder für diese Gefahrensituation ist vorhanden. Das Situationsbewusstsein der Besatzung ist hinsichtlich der Durchführung des Einsatzes und der besonderen Risiken des Tieffluges ohne Nutzung des Transponders besonders hoch. Durch die Verwendung von NVG wird ein sicheres Erkennen von Luftfahrthindernissen – auch unbefeuert – wesentlich verbessert. Nur eine sehr geringe Anzahl an Einsätzen des taktischen Helikopter-Tiefflugs wird ohne NVG und ohne Transponder durchgeführt.

Vergleicht man die Situation mit dem Einsatz einer **BNK-Radar** (IST-Zustand), so besteht die Möglichkeit, dass das BNK-Radar-System je nach Methode (Passiv oder Primär) den Helikopter auf Grund des Tiefflugs unterhalb des tatsächlichen Erfassungsbereichs des Radarsystems nicht erkennt. Gerade die sehr geringen Höhen, welche gerade zur Übung des „Unterfliegen des Radars“ eingenommen werden, erschweren die sichere Detektion durch Radarsysteme.

**Mitigation:**

- Eine Erweiterung der Befeuerung mit Infrarot-Befeuerung erhöht die Sichtbarkeit bei der Verwendung von NVG
- Aktivierung der gesamten Befeuerung entlang des Flugweges eines solchen Einsatzes

## 6.8 Hazard 8 – Militärische Jet-LFZ im Nachttiefflugsystem

Im Rahmen des militärischen Tiefflugs ist das NLFS innerhalb Deutschlands definiert, um Tiefflug bis zu einer Höhe von 1.000 ft GND mit hohen Geschwindigkeiten durchführen zu können. Hierbei kann es zur Verwendung des militärischen Transponder Mode 5 kommen, um eine Sichtbarkeit durch Anbieter wie Flightradar 24 zu verhindern. Hierbei besteht die Möglichkeit, dass die Empfänger der BNK-Transponder den 1090 MHz Pegel nicht als relevantes LFZ wahrnehmen und die Befeuerung trotz eines Einfluges in den Wirkungsraum nicht aktivieren.

Bei der Analyse dieser Gefahrensituation wurden folgende relevante Punkte identifiziert:

- Sehr geringe Anzahl an WEA innerhalb des NLFS auf Grund stark reglementierter Hindernisbeschränkung
- Piloten verwenden teilweise NVG
- Spezielle Flugvorbereitung mit taktischen Luftfahrtkarten

Das zusätzliche Risiko durch den Einsatz einer BNK-Transponder für diese Gefahrensituation wird als sehr gering eingeschätzt. Das Situationsbewusstsein der Besatzung ist hinsichtlich der Durchführung des Einsatzes und der besonderen Risiken des Tieffluges mit hoher Geschwindigkeit besonders hoch. Der Flug wird oberhalb jegliches



Hindernisses geplant. Durch die Verwendung von NVG wird ein sicheres Erkennen von Luftfahrthindernissen – auch unbefeuert – wesentlich verbessert.

Vergleicht man die Situation mit dem Einsatz einer **BNK-Radar** (IST-Zustand), so besteht die Möglichkeit, dass das BNK-Radar-System den Militär-Jet auf Grund der hohen Fluggeschwindigkeit und geringen RCS nicht erkennt. Die aktuelle Anforderung innerhalb der AVV entspricht nicht den zu erwartenden RCS für die eingesetzten LFZ.

**Mitigation:**

- Eine Erweiterung der Befeuerung mit Infrarot-Befeuerung erhöht die Sichtbarkeit bei der Verwendung von NVG
- Aktivierung der gesamten Befeuerung entlang des Flugweges eines solchen Einsatzes

## 6.9 Hazard 9 – Außenlandung im HEMS Einsatz

Bei einer Außenlandung während eines HEMS-Primäreinsatzes kommt es zu einem sehr tiefen Ein- und Ausflug in den Wirkungsraum einer WEA kommen. Faktoren wie Zeitdruck oder das mögliche Fehlen des HEMS-TC, der gegebenenfalls dem medizinischen Personal bei der Versorgung der aufgenommenen Patienten helfen muss, können das Situationsbewusstsein des Luftfahrzeugführers hinsichtlich der umgebenden Hinderniskulisse u.U. beeinträchtigen.

Durch die höchste Anzahl an Flugereignissen innerhalb der gesamten Risikobetrachtung, hat diese Gefahrensituation die höchste Relevanz. Bei der Analyse wurden folgende relevante Punkte identifiziert:

- Der Helikopter ist möglicherweise noch am Tag gelandet und startet erst in der Nacht
- Der Helikopter kann u.U. direkt in einer Gefahrenzone einer WEA am Boden stehen, ein unverzügliches Aktivieren der Befeuerung wird benötigt
- LFZ der HEMS Einsätze sind teilweise mit FLARM und NVG ausgerüstet

Das BNK-Transponder System agiert unabhängig von Fluggeschwindigkeit oder Flughöhe. Zur Aktivierung der Befeuerung benötigt es als Minimalanforderung nur das DF11 Signal. Der Empfang des Transpondersignals wird als sehr zuverlässig angesehen. Die Ausstattung vieler LFZ der HEMS Einsätze mit FLARM und/oder weiteren Signalen des Transponders (z.B. ADS-B) verbessert die Identifizierung innerhalb des Wirkungsraums einer WEA zusätzlich. Eine Erhöhung des Risikos innerhalb dieser Gefahrensituation durch den Einsatz der **BNK-Transponder** ist demzufolge nicht zu erwarten.

Vergleicht man die Situation mit dem Einsatz einer **BNK-Radar** (IST-Zustand), so besteht bei dieser Lösung je nach System (Primär oder Passiv) die Möglichkeit, dass das BNK-System den Helikopter auf Grund des tiefen Einflugs unterhalb des tatsächlichen Erfassungsbereichs des Radarsystems zuerst nicht erkennt. Gerade bei einem Start innerhalb des Wirkungsraums ist ein sicheres Erkennen u.U. bis zu einer gewissen Höhe nicht gewährleistet.

**Mitigation:**

- Eine Erweiterung der Befeuerung mit Infrarot-Befeuerung erhöht die Sichtbarkeit bei der Verwendung von NVG

## 7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Im Rahmen der Risikobewertung wurden die identifizierten Gefahrensituationen hinsichtlich des möglichen PLAN-Zustandes – Einführung einer BNK-Transponder Lösung – untersucht und mit dem IST-Zustand – BNK-Radar oder keine BNK – verglichen und bezüglich des möglichen flugbetrieblichen Risikos bewertet. Auf Basis der vorhandenen Datenlage, Regularien, Expertenmeinungen, und vergleichbarer Szenarien wurde eine qualitative Abwägung durchgeführt, inwieweit die Nutzung der BNK-Transponder das Risiko für den betroffenen Luftverkehr unzumutbar vergrößert, keine relevante Änderung verursacht oder sogar zu einer Verbesserung der aktuellen Situation aus flugbetrieblicher Sicht beiträgt.

Folgende relevanten Parameter ergaben sich durch die Verkehrsanalyse:

- ca. 40 Flugereignisse / Flugstunden VFR-Night pro Nacht in Deutschland
  - Vergleich: 8.800 IFR-Flugereignisse pro Tag/Nacht in Deutschland [8]
- Alle LFZ nach FSAV ausgestattet mit Mode-S Transponder
  - Nur 20 Sea King Helikopter mit Mode A/C (<28 Flugereignisse im Jahr)

Folgende grundsätzliche Ergebnisse ergaben sich durch die Analyse der Gefahrensituationen für die Lösungen BNK-Transponder und BNK-Radar:

- Der Einsatz des Transponders zur Identifizierung der LFZ im Wirkungsraum einer BNK-Transponder stellt grundsätzlich kein höheres Risiko gegenüber dem IST-Zustand dar (BNK-Radar). Die durchgängige Qualitätssicherung des Entwicklungs- und Herstellungsprozess, der Zertifizierung durch die EASA oder anderer Luftfahrtbehörden, des korrekten Einbaus und die kontinuierliche Überwachung (*Selftest*, Fluglotse vor dem Radaranzeigergerät, jährliche Prüfung) des Transponders stellen ein Sicherheitsniveau hinsichtlich der korrekten Funktionstüchtigkeit sicher, welches den Einsatz für einen sicherheitsrelevanten Prozess vertretbar macht. Dies zeigt auch die aktuelle Nutzung des Transponders in der Luftfahrt und seine spezifischen Aufgaben:
  - *Collision Avoidance* mit TCAS
  - Transponder Mandatory Zone zum Schutz des IFR Verkehrs an Flughäfen ohne Kontrollzone
  - Die gesamte Kontrolle des IFR Verkehrs im Luftraum mit SSR-Abdeckung (der Einflug in eine FIR kann ohne Transponder untersagt werden)

Den Transponder als ein Sicherheitsrisiko für ein BNK-System einzustufen widerspricht der aktuellen und geplanten Nutzung im modernen Luftverkehrssystem und der täglichen Erfahrung.

- Es bestehen diverse Sicherheitsmechanismen (Anzeige im LFZ, Überwachung durch die Flugsicherung), welche im sehr seltenen Fall eines fehlenden Transpondersignal (Ausfall, Fehlbedienung) noch unterstützend einwirken können. Zusätzliche Verfahren und Systeme wie Multilateration mit mehreren Bodenempfängern, Pegelbewertung oder FLARM stellen eine weitere Möglichkeit der Detektion eines relevanten LFZ dar und die daraus folgende Aktivierung der Befeuerung dar.
- Sollte ein Transponder von Beginn des Fluges nicht aktiviert sein oder auf einem nicht identifizierbaren militärischen Mode senden und kein mögliches Verfahren der Signalfehler-Detektion anwendbar sein, so kann die BNK-Transponder das

LFZ im Wirkungsraum nicht erkennen. Ebenso bestehen jedoch hinsichtlich der Nutzung der BNK-Radar für den militärischen taktischen Tiefflug Vorbehalte:

- Der Wirkungsraum aktuell zugelassener BNK-Radar Systeme wird im Flugtest nur bis minimal 500 ft GND geprüft. Eine sichere Detektion unterhalb dieser Höhe ist zumindest im Rahmen der Anerkennungsverfahren nicht dokumentiert.
- Geringe RCS. Niedrige Flughöhen oder niedrige/hohe Fluggeschwindigkeiten können die Detektionsleistung von BNK-Radar Systemen beeinflussen

Betrachtet man die identifizierten Gefahrensituationen, so ergibt sich für einen Großteil der relevanten VFR-Night Flugbewegungen kein zusätzliches Risiko durch den Einsatz einer BNK-Transponder.

Für den Flugbetrieb der **allgemeinen Luftfahrt** ist die Detektion durch den Transponder ebenso so sicher, wie die Detektion mit einem BNK-Radar System. Die Wahrscheinlichkeit eines unerkannten Transponderausfalls oder der Fehlbedienung während des Fluges ist auf Grund der grundsätzlichen Zuverlässigkeit, aber auch diverser weiterer Gegenmaßnahmen äußerst selten und führt nicht direkt zu einer Kollision mit einer WEA. Erst das Auftreten diverser weiterer Faktoren und Ereignisse führt zu einem Versagen des gesamten Sicherheitsnetzwerkes. Ebenso kann die Detektion mit einem Radarsystem je nach technischer Auslegung (abhängig von der RCS, tagesaktuellen atmosphärischen Gegebenheiten, Fluggeschwindigkeit und weiteren dynamischen Faktoren gestört sein – auch hier führt allerdings allein dies nicht zu einer Kollision eines LFZ mit einer WEA.

Bestandteile des Sicherheitsnetzwerkes sind – unabhängig vom Einsatz beider Systeme (BNK-Radar, BNK-Transponder) u.a. Mindestflughöhen, Mindestwetterbedingungen und eine sorgfältige Flugvorbereitung.

Für den **HEMS-Flugbetrieb** durch private Anbieter (u.a. ADAC, DRF Luftrettung), welcher hinsichtlich der zu erwartenden Flugstunden in der Nacht das größte Verkehrsaufkommen aufweist, besteht kein erhöhtes Risiko durch die Verwendung der BNK-Transponder. Alle Helikopter sind mit Mode-S Transpondern (ELS oder EHS) ausgestattet, viele dazu auch mit ADS-B und FLARM. Eine sichere Detektion mit Hilfe der BNK-Transponder unabhängig von der Flughöhe oder Fluggeschwindigkeit ist somit gewährleistet. Im Vergleich zur BNK-Radar Lösung ist u.U. sogar eine Verbesserung der Detektionsqualität zu erwarten. In Abhängigkeit der verwendeten Technologie (Passiv- oder Aktivradar) kann es zu Schwierigkeiten in der sicheren Detektion eines relevanten LFZ bei Außenlandungen während eines Primäreinsatz mit niedrigem Ein- und Ausflug in den Wirkungsbereich einer WEA oder Schwebeflug für Start und Landung kommen.

Im **militärischen Luftverkehr** muss zwischen den wenigen HEMS Einsätzen bei Nacht (ca. 28 im ganzen Jahr) und dem taktischem Helikopter Tiefflug unterschieden werden.

Im HEMS Betrieb sind ca. 30% der LFZ mit einem Mode A/C Transponder ausgerüstet, welcher in sehr seltenen Fällen (keine SSR/TCAS Abdeckung) kein Signal zur Erfassung des LFZ im Wirkungsraum durch eine BNK-Transponder aussendet. Sofern keine Maßnahmen zur Erfassung eines Signalausfalls wirken, wird die Befeuerung der WEA nicht aktiviert. Die Anzahl der Einsätze, welche hierfür in Frage kommen liegt jedoch unter 28 im gesamten Jahr. Vergleicht man dies mit der bereits akzeptierten BNK-Radar Lösung,

so besteht auch hier – wie bereits im vorherigen Absatz genannt (vgl. HEMS private Anbieter) – die Möglichkeit einer nicht gesicherten Detektion durch den tiefen Ein- oder Ausflug in den Wirkungsraum oder des Schwebeflugs für Start und Landung. Dies ist dazu unabhängig von der Tatsache, ob es ein Helikopter mit Mode-A/C oder Mode-S Transponder ist. In beiden Fällen (BNK-Transponder, BNK-Radar) erscheint das Risiko jedoch auf Grund des äußerst niedrigen Flugaufkommens als sehr gering und akzeptabel. Der Betrieb des Sea King Helikopter wird nur noch bis zum Jahr 2025 fortgesetzt, so dass – zumindest für die BNK-Transponder Lösung – die Möglichkeit einer fehlenden Detektion dann nicht mehr besteht.

Im taktischen Helikoptertiefflug wird der Transponder teilweise in einen militärischen Mode geschaltet, teilweise vollständig deaktiviert. In beiden Fällen besteht keine Möglichkeit der BNK-Transponder, das relevante LFZ als solches zu identifizieren und die Befeuerung zu aktivieren. Betrachtet man hierzu im Vergleich die BNK-Radar Lösung, so besteht ebenso die Möglichkeit einer fehlenden Detektion in Abhängigkeit der Höhe des relevanten LFZ im Tiefflug. Dieser wird teilweise in Bodenhöhe (wenige Meter über GND), auf jeden Fall unter 500 ft GND durchgeführt. Die Piloten in dieser Flugbetriebsart sind allerdings nahezu vollständig mit NVG ausgestattet und führen eine sorgfältige Flugvorbereitung durch, was zu einer verbesserten Sichtbarkeit aller Luftfahrthindernissen und einem erhöhten Situationsbewusstsein führt. Eine Tolerierung des aus dem Einsatz einer BNK-Lösung resultierenden Risikos einer nicht aktivierten Befeuerung kann durch die Installation einer permanent aktiven Infrarotbefeuerung verbessert werden.

Im **Flugbetrieb der Bundespolizei** muss ebenso zwischen zwei Betriebsarten unterschieden werden. Im HEMS Einsatz ist der Mode-S Transponder grundsätzlich aktiviert und es kann von einer einwandfreien Detektierung durch die BNK-Transponder ausgegangen werden. In bestimmten Einsatzszenarien außerhalb des HEMS-Betriebs wird jedoch der Transponder in den sogenannten Incognito-Mode geschaltet und sendet nur noch Mode A/C Signale bei SSR- oder TCAS-Abfrage. Sofern diese Abfragen im seltenen Fall beim Einflug in den Wirkungsraum nicht vorhanden sind und eine Signalverlust-Erkennung des BNK-Transponder System ebenso fehlschlägt, kann es zu einer ausbleibenden Aktivierung der Befeuerung kommen. Je nach vertikalem Flugprofil können während dieser Einsätze jedoch auch bei einer BNK-Radar Lösung in Abhängigkeit der eingesetzten Technologie (Passiv oder Primär) Probleme in der einwandfreien Detektion – gerade in Bodennähe – bestehen. In beiden Fällen stehen den Luftfahrzeugführern NVG und je nach Ausrüstung zusätzliche NVIS Systeme (z.B. HELLAS) zur Verfügung, um ein Erkennen der relevanten Luftfahrthindernisse zu verbessern. Auch hier kann durch die Installation einer permanent aktiven Infrarotbefeuerung die Sichtbarkeit verbessert werden und zu einer Tolerierung des Risikos führen.

Im Vergleich der beiden Lösungen einer bedarfsgesteuerten Befeuerung von Windenergieanlagen BNK-Transponder und BNK-Radar bestehen systembedingt für beide Systeme Herausforderungen in der einwandfreien Detektion eines LFZ im Wirkungsraum – das Ausbleiben des Transpondersignals in gewissen Einsatzszenarien oder die Erfassung eines relevanten LFZ in Bodennähe in Abhängigkeit der Position zur Radaranterie, des RCS und weiteren Faktoren. Beide Lösungsansätze beinhalten Ansätze zur Minimierung der Möglichkeit einer ausbleibenden Aktivierung der Befeuerung, falls das relevante LFZ innerhalb des Wirkungsraums nicht erkannt wird. Die BNK-Transponder kann zur Signalverlustdetektion z.B. MLAT oder eine Signalpegelauswertung

verwenden, um eine präventive Aktivierung durchzuführen. Bei der BNK-Radar kann z.B. entsprechende Dislozierung der Antennen zur optimalen Abdeckung des Wirkungsraum führen.

Bordseitig bestehen diverse Maßnahmen, um während des bewussten Tiefflugs (HEMS, Bundeswehr, Bundespolizei) – unabhängig eines möglichen BNK-Systems – den Piloten ein erhöhtes Situationsbewusstsein bezüglich der umgebenden Hinderniskulisse zu geben (NVG, NVIS, Flugplanung, spezielle Hinderniskarten). Im Zweifelsfall könnten WEA auch ohne Befeuerung sein, auch ohne den Einsatz einer BNK: ist die Befeuerung ausgefallen oder das Hindernis keine 100 m hoch. Zur Verbesserung der Sichtbarkeit von WEA über 100 m für Einsatzverkehre könnten permanente Infrarot-Befeuerung installiert werden, sofern ein BNK-System verwendet wird. Diese wird auch bei deaktivierter Befeuerung mit NVG-System erkannt und trägt so zur Erhöhung des Situationsbewusstsein bei.

Allgemein ist hinzuzufügen, dass – unabhängig der verwendeten BNK-Technologie - auch die Wahrscheinlichkeit einer ausgefallen Befeuerung einer WEA besteht – welche im Zweifelsfall mehrere Wochen in diesem Zustand bleibt. Die Befeuerung selbst ist jedoch nur ein Teil eines Sicherheitsnetzwerkes, LFZ vor Hindernissen schützt (z.B. Sicherheitsmindesthöhen, Flugvorbereitung, Luftfahrtkarten, NVG, NVIS). Erst der komplette Ausfall des Sicherheitsnetzwerkes kann zu einer Kollision mit einer WEA führen.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass zur Erhöhung der Sicherheit und Verlässlichkeit der BNK-Systeme – unabhängig ob mit Radar- oder Transponder-Technik – es sinnvoll wäre, gleiche Anforderungen an den Hersteller eines solchen Systems zu stellen wie für die Entwicklung anderer Luftfahrtkomponenten (z.B. Part 21 Design Organisation). Somit würden eine ähnliche Nachvollziehbarkeit und Qualitätssicherung gewährleistet werden, wie allgemein in der Luftfahrt üblich.

---

## Quellenverzeichnis

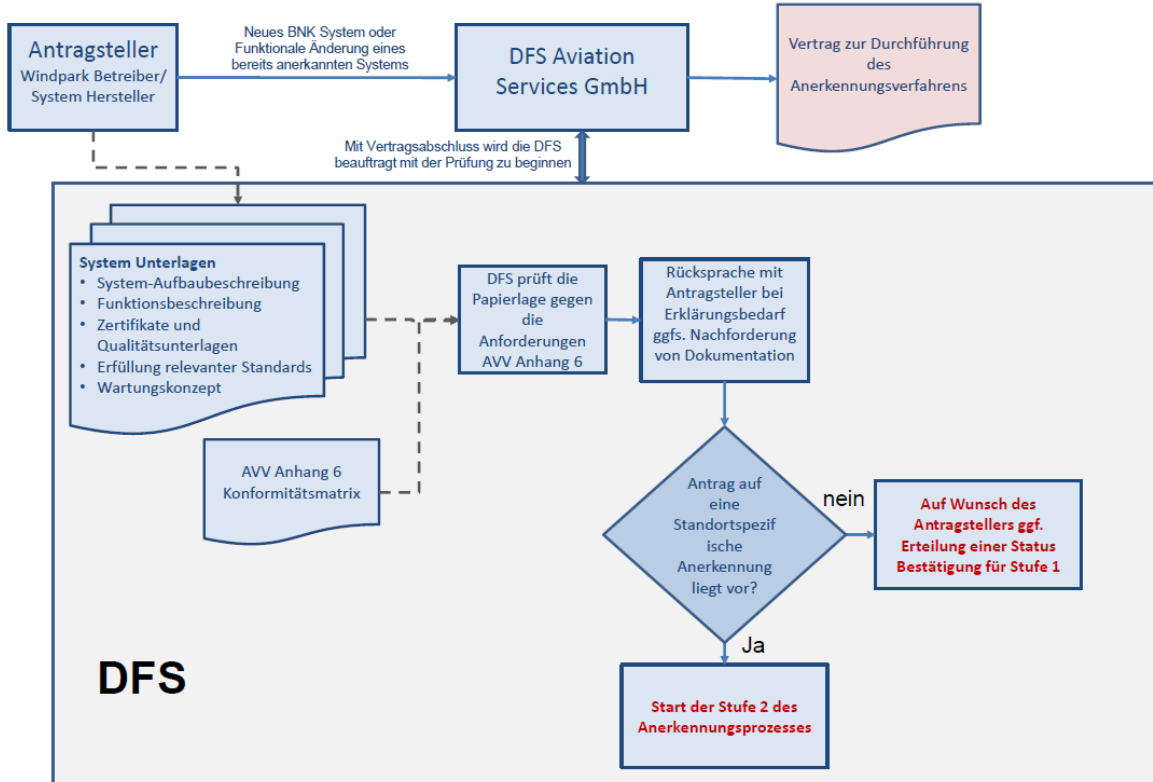
- [1] Airbiz: Ardmore Aviation Risk Assessment Report, “Transpower North Island Grid Upgrade Project”, 2007
- [2] Army Research Laboratory: High-frequency Radar Cross Section (RCS) Approximation of a Thin Dielectric Spherical Shell, July 2012
- [3] BMVI: Verordnung über die Flugsicherungs-ausrüstung der Luftfahrzeuge, Oktober 2015
- [4] British Civil Aviation Authority: Policy Statement – Policy for Radio Mandatory and Transponder Mandatory Zones, August 2015
- [5] Civil Aviation Authority UK: CAP 760 “Guidance on the Conduct of Hazard Identification, Risk Assessment and the Production of Safety Cases For Aerodrome Operators and Air Traffic Service Providers”, 2006
- [6] Departments of Communication, Canada: Radar Detectability of Light Aircraft, April 1976
- [7] Deutsche Flugsicherung: Luftfahrthandbuch (AIP), Stand 28.02.2019
- [8] Deutsche Flugsicherung: Mobilitätsbericht 2017
- [9] Die Bundesregierung Deutschland: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen, 26.08.2015
- [10] Die Bundesregierung Deutschland: Luftverkehrs-Ordnung, Juni 2017
- [11] Duane Kritzinger: Aircraft System Safety – Assessments for Initial Airworthiness Certification, 2017
- [12] DWD/BFU: “Wetterbedingte Unfälle”, DFS Pilotentag 2018
- [13] EASA: Certification Memorandum - FLARM system installations in CS-23, CS 27 and CS-29 aircraft, Mai 2019
- [14] EASA: Certification Specifications for Normal-Category Aeroplanes CS-23, 2107
- [15] EU: Durchführungsverordnung Nr. 1207/2011 der Kommission zur Festlegung der Anforderungen an die Leistung und die Interoperabilität der Überwachung im einheitlichen europäischen Luftraum, 22. November 2011
- [16] EUROCAE: ED-115, “Minimum Operations Performance Specifications for Light Aviation Secondary Surveillance Radar Transponders”
- [17] EUROCAE: ED-73E, “Minimum Operations Performance Specifications for Secondary Surveillance Radar Transponders”
- [18] EUROCONTROL: Clarification Mode S Transponder in an Airport/A-SMGCS Environment, 2005
- [19] EUROCONTROL: Study to address the Detection and Recognition of Light Aircraft in the current and future ATM Environment, May 2005
- [20] Europäische Union: Durchführungsverordnung (EU) Nr. 923/2012 der Kommission vom 26. September 2012 zur Festlegung gemeinsamer Luftverkehrsregeln und Betriebsvorschriften für Dienste und Verfahren der Flugsicherung – SERA, 26.09.2012
- [21] European Commission: Regulation No 748/2012, 3. August 2012
- [22] FAA: 14 CFR 91.225, Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out equipment and use, 16. Mai 2019
- [23] FAA: AC 20-151A, „Airworthiness Approval of Traffic Alert and Collision Avoidance System and Associated Mode-S Transponders“, 2009

- 
- [24] FAA: AC 23.1209-1E, „System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes“, 2011
- [25] FAA: Introducing to TCAS II Version 7.1, Februar 2011
- [26] FAA: Performance Assessment of the DeTect™ HARRIER® X-Band Aircraft Detection Lighting System (ADLS), Juli 2019
- [27] [https://www.fhr.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/mensch\\_und\\_umwelt/passiv-radar-steuert-nachtkennzeichnung-von-windkraftanlagen.html](https://www.fhr.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/mensch_und_umwelt/passiv-radar-steuert-nachtkennzeichnung-von-windkraftanlagen.html) (letzter Aufruf 21.05.2019)
- [28] <https://www.statistikportal.de/de/bevoelkerung/flaeche-und-bevoelkerung> (letzter Zugriff 29.05.2019)
- [29] ICAO Doc 9849: Global NavigationSatellite System(GNSS) Manual, 1<sup>st</sup> Edition 2005
- [30] ICAO: Annex 10 Amendment 73-77, „Comparison for SSR Mode S System“
- [31] ICAO: Annex 14, Aerodromes (Flugplätze), 7<sup>th</sup> Edition, Juli 2016
- [32] ICAO: Annex 2, Rules of the Air, 10<sup>th</sup> Edition, 2005
- [33] ICAO: Automatic Dependent Surveillance – Broadcast Implementation Meeting, Mexico April 2015
- [34] ICAO: Doc 8126, Aeronautical Information Service Manual, Sixth Edition 2003
- [35] ICAO: DOC 9157 Aerodrome Design Manual, Part 4 – Visual Aids, 2004
- [36] ICAO: Doc 9854, Global Air Traffic Management Operational Concept, 1<sup>st</sup> Edition 2005
- [37] ICAO: Doc 9859 Safety Management Manual, 3<sup>rd</sup> Edition, 2013
- [38] ICAO: Doc 9863 Airborne Collision Avoidance System(ACAS) Manual, 1<sup>st</sup> Edition 2006
- [39] ICAO: Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter, 2<sup>nd</sup> Edition 2015
- [40] K. Neubeck: Practical Reliability Analysis, Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA, 2004
- [41] RTCA: DO 160, “Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment”
- [42] RTCA: DO 181E, Minimum Operational Performance Specification for Air Traffic Control Radar Beacon System / Mode Select (ATCRBS / Mode S) Airborne Equipment
- [43] RTCA: DO 218B, “Minimum Operational Performance Standards for the Mode-S Airborne Data Link Processor”
- [44] RTCA: DO 254, “Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware”
- [45] SAE: Aerospace Recommended Practice ARP4761 – Guidelines and Methods for conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment, 1996
- [46] SSC Wind GmbH: „EKKO – Entwicklung von Konzepten für die Kennzeichnung von Offshore-Windenergieanlagen unter Berücksichtigung der Faktoren Sicherheit für Luft- und Seefahrt, Umweltverträglichkeit, Naturschutz, Stand der Technik, vorhandene Empfehlungen, Akzeptanz und wirtschaftliche Machbarkeit“, Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2012

# Anhang A Anerkennungsverfahren BNK

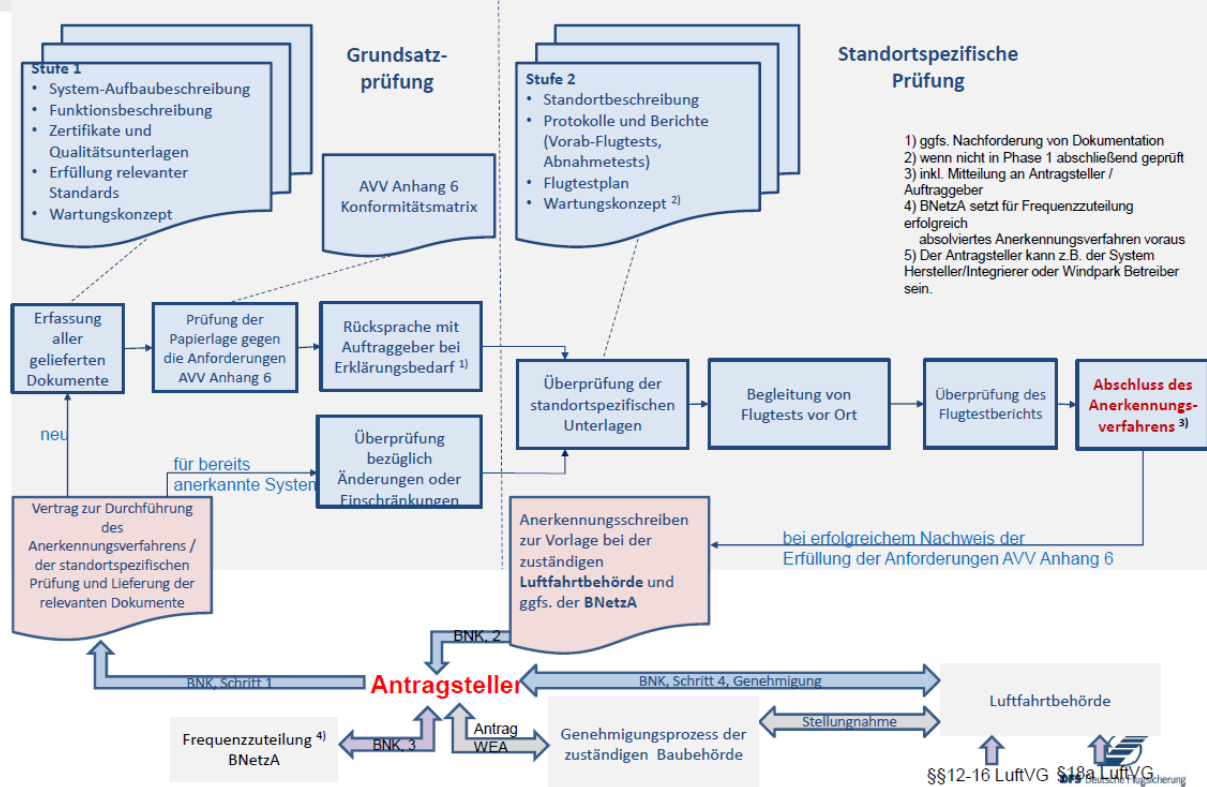
## BNK Anerkennung Stufe 1: Grundsatz Prüfung

---> Dokumentenlieferung  
 —> Prozessverlauf

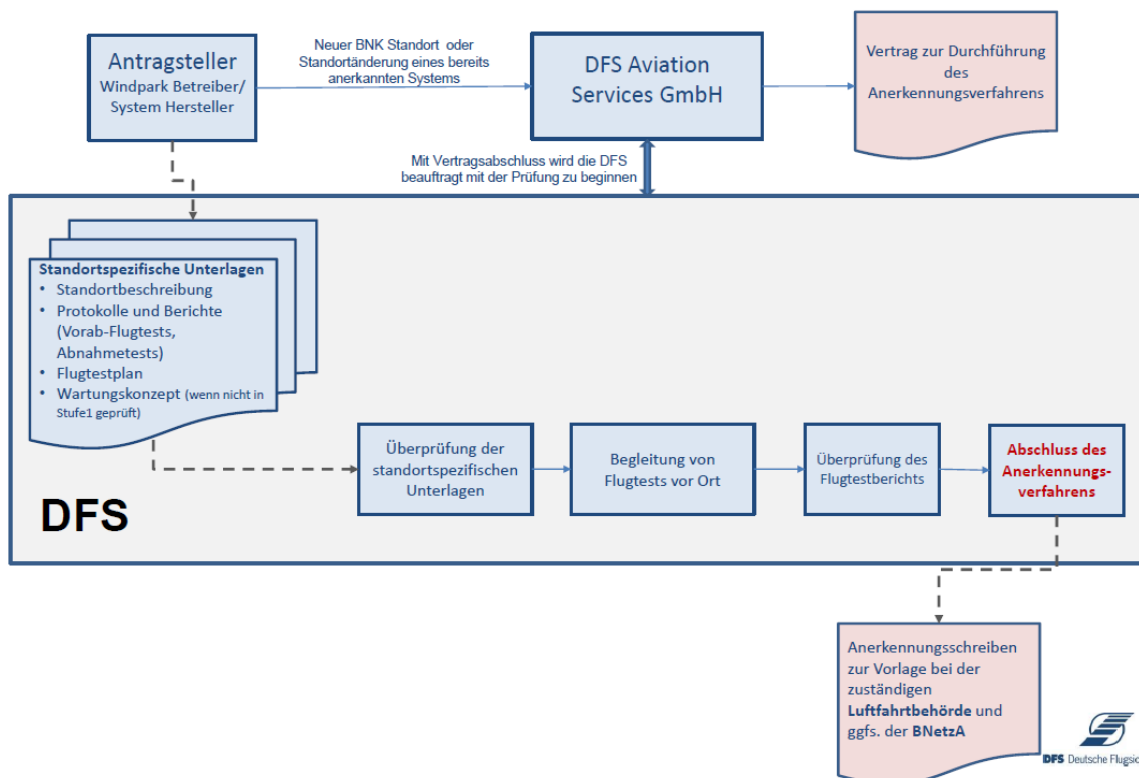




# BNK Anerkennung: Gesamte Prozess



## BNK Anerkennung Stufe 2: Standortspezifische Prüfung



## Anhang B DFS Konformitätsmatrix

## Konformitätsmatrix

Nr.	Zitat AVV Anhang 6
1	<p>Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnungen (BNK) müssen grundsätzlich <b>von der technischen Ausstattung der Luftfahrzeuge unabhängig sein</b>.</p> <p>Werden durch die bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung die Anforderungen dieses Anhangs erfüllt, <b>können ergänzend Systeme unter Zuhilfenahme der vorhandenen technischen Ausstattung</b> von Luftfahrzeuge bzw. deren vorhandenen bordeigenen Systemen eingesetzt werden.</p>
2	<p>Die Windenergieanlagen müssen sich zum Schutz startender und ladender Flugzeuge <b>außerhalb von Flugplatzbereichen im Luftraum der Klasse G</b> befinden</p>
3	<p>und die Nachtkennzeichnung <b>mit dem Feuer W, rot bzw. Feuer W, rot ES</b> erfolgen (gegebenfalls in Abhängigkeit von der Höhe der Windenergieanlage in Kombination mit Hindernisbefeuerungsebenen am Turm).</p>
4	<p>Eine <b>Reduktion der Nennlichtstärke</b> der Nachtkennzeichnung durch den <b>Einsatz von Sichtweitenmessgeräten</b> ist bei Betrieb von BNK <b>unzulässig</b>.</p>
5	<p>Der Betrieb von BNK ist begrenzt auf die <b>Stunden zwischen dem Ende der bürgerlichen Abenddämmerung (ECET - „End Civil Evening Twilight“)</b> und dem <b>Beginn der bürgerlichen Morgendämmerung (BCMT - „Begin Civil Morning Twilight“)</b>.</p>
6	<p>Die Zeitschaltung ist durch eine <b>astronomische Uhr</b> zu gewährleisten.</p>
7	<p>In den <b>anderen Zeiten</b> ist der Einschaltvorgang <b>durch einen automatischen Dämmerungsschalter</b> gemäß Nr. 8.1 (Schaltschwelle von 50-150Lux) zu gewährleisten.</p>
8	<p><b>Alle Elemente</b> von BNK müssen zum Zeitpunkt der Zulassung den jeweils gültigen Normen entsprechen und über eine <b>CE-Kennzeichnung verfügen</b>. Es können ersatzweise militärische Standards zu Grunde gelegt werden, sofern diese mindestens das gleiche Sicherheitsniveau wie zivile Normen aufweisen.</p>

9	<p>Mindestens die folgenden Systemfunktionen müssen vorhanden sein bzw. erfüllt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Steuerung aller Systemkomponenten;</li> <li>- Erfassung von Luftfahrzeugen;</li> <li>- Selbstdiagnose zur ständigen Prüfung der Systemintegrität;</li> <li>- Berechnung der bürgerlichen Abenddämmerung und der bürgerlichen Morgendämmerung (Astro-nomische Uhr);</li> <li>- Aufzeichnung der Betriebszustände;</li> <li>- Ansteuerung der Befuerung.</li> </ul>
10	<p>Die BNK muss nach Anlegen der Betriebsspannung <b>selbstständig</b> in den Betriebszustand übergehen.</p>
11	<p>Die Nachtkennzeichnung darf abgeschaltet werden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- im Zeitraum zwischen dem Ende der bürgerlichen Abenddämmerung und dem Beginn der bürgerlichen Morgendämmerung,</li> <li>- wenn sich kein relevantes Luftfahrzeug im Wirkungsraum befindet und</li> <li>- die Systemintegrität sowie eine ausreichende Detektionsleistung durch die <b>Selbstdiagnose</b> signalisiert werden.</li> </ul>
12	<p>wenn die Bedingungen für ein Abschalten der Befuerung nicht erfüllt sind, ist die gesamte Befuerung <b>sofort</b> in Betrieb zu versetzen.</p>
13	<p>Spätestens beim Einfliegen von Luftfahrzeugen in den Wirkungsraum sowie bei deren Aufenthalt im Wirkungsraum ist die Nachtkennzeichnung vollständig auf 100% der Nennlichtstärke zu aktivieren</p>
14	<p>Bei Anlagen im Meeresbereich darf die Nennlichtstärke 15 Sekunden nach Einschalten der Befuerung gemäß Nummer 16.2 reduziert werden</p>
15	<p>Der Wirkungsraum wird gebildet durch den Luftraum, der sich um jedes Hindernis erstreckt in Winkeln von mindestens <math>\pm 15^\circ</math> in einem Radius von mindestens 4.000 m bis zu einer Höhe von nicht weniger als 600 m (2.000 ft).</p>
16	<p>Zu berücksichtigen sind in diesem Zusammenhang geographische Rahmenbedingungen wie Abschattung durch Berge, Bäume, Bauwerke oder Relief</p>
17	<p>Für die Startsequenz sind die folgenden Varianten zulässig:</p> <p>Variante A: Aktivieren eines Dauerlichts bis zur nächsten steigenden Flanke des UTC-Signals, anschließend UTC-synchrone Blinkfolge;</p> <p>Variante B: Drei Blinksequenzen (0,5 s an, 0,5 s aus) von je einer Sekunde, anschließend UTC-synchrone Blinkfolge;</p> <p>Variante C: Aktivieren der Befuerung bei frühzeitiger Erfassung von Luftfahrzeugen außerhalb des Wirkungsraums</p>

18	Für die flugbetriebliche Betrachtung sind im Wirkungsraum alle Luftfahrzeuge relevant, die nach Sichtflugregeln bei Nacht (NVFR) den Luftraum der Klasse G in Sichtflugbedingungen (VMC) nutzen dürfen. Auf die unter diesen Bedingungen zulässige Geschwindigkeit ist eine Rückenwindkomponente von 50 Knoten hinzuzurechnen.
19	Befindet sich der Standort der Windenergieanlagen innerhalb des Nachttiefflugsystems der Bundeswehr, ist bei der Verwendung von Primärradarsystemen zusätzlich von einer Radarrückstrahlfläche von 4 m <sup>2</sup> für Luftfahrzeuge zu Grunde zu legen. Es ist eine Geschwindigkeit von 550 Knoten über Grund zu berücksichtigen.
20	Ist dies technisch nicht realisierbar, ist durch geeignete prozedurale Maßnahmen sicherzustellen, dass bei Aktivierung des entsprechenden Streckenabschnittes des Nachttiefflugsystems die Befeuerung für die Zeitdauer der Aktivierung dauerhaft eingeschaltet ist.
21	Alle Systemkomponenten der BNK müssen die standortspezifischen klimatischen Rahmenbedingungen berücksichtigen und in ihnen arbeitsfähig sein. Zu berücksichtigen sind insbesondere zu erwartende Temperaturen, die Sonneneinstrahlung und die Luftfeuchtigkeit.
22	An den Detektionseinheiten ist die Gefahr von Eisansatz, Schneeablagerungen und Wasseransammlungen sowie in Küstennähe salzhaltige Luft und Gischt zu berücksichtigen.
23	Die Detektionseinheit muss so gestaltet sein, dass Justierbarkeit, Reproduzierbarkeit und Langzeitstabilität gewährleistet sind.
24	Das System muss eine ungenügende Detektionsleistung (beispielsweise durch o.g. Bedingungen) erkennen; die Befeuerung ist dann zu aktivieren.
25	BNK müssen durch eine durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur benannte Stelle anerkannt sein.
29	Der Systemzustand (Signale von den Detektionseinheiten, Aktivierungsbefehle, Zustand der Kommunikationssysteme, Zustand der Steuereinheit und Zustand der Befeuerung) ist für mindestens 30 Tage zu speichern.