

# **Pilotanlage SkyPower100 zur Energieerzeugung aus Höhenwind**

Teilprojekt:  
Kommerzialisierungsstrategie einer Flugwindkraftanlage zur  
Verwertung der Höhenwindenergie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Förderkennzeichen:** 0324217C

**Abschlussberichtsstand:** 30.11.2021

**Laufzeit des Vorhabens:** 01.01.2018 – 30.09.2021

**Zuwendungsempfänger:**

EnBW Energie Baden-Württemberg AG  
Durlacher Allee 93  
76131 Karlsruhe

**Autor:** Dr. Alois Kessler

Kontakt: 0721/63-17884 – a.kessler@enbw.com

**Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor**

---

# 1 Kurzdarstellung

## 1.1 Aufgabenstellung

Bei der weiteren Entwicklung und Kommerzialisierung von Flugwindkraftanlagen spielt das zu durchlaufende Genehmigungsverfahren eine entscheidende Rolle. Ziel dieses Teilprojekts ist es deshalb, anhand einer generischen Analyse der Genehmigungsverfahren ausgewählter Länder (Märkte) frühzeitig Hinweise für die weitere Entwicklung der Technologie zu gewinnen.

- Im 1. Schritt sind Zielländer und -märkte auszuwählen.
- Im 2. Schritt erfolgt eine Analyse und Gegenüberstellung des deutschen Genehmigungsverfahrens mit den Verfahren in diesen Zielländern.
- Im 3. Schritt werden aus diesen Ergebnissen Handlungsempfehlungen für die weitere Entwicklung abgeleitet.

## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen (WKA) in Deutschland ist aufgrund der langen Tradition bei der Windenergienutzung sehr ausgereift. Die Analyse der Genehmigungsabläufe in den Zielländern war dagegen schwieriger als erwartet. Bei der Auswahl der Märkte sind bewusst auch Märkte ausgewählt worden, die noch ein großes Entwicklungs- und Ausbaupotenzial der konventionellen Windenergie versprechen. Entsprechend schwach war bzw. ist dort der bisher ausgeprägte genehmigungstechnische Rahmen.

Zu Beginn des Vorhabens war geplant, die Analyse allein mit internen Personalressourcen durchzuführen. Bereits in ersten Projektjahr ist aber klar geworden, dass unsere eigenen Spezialisten durch kommerzielle Projekte stark gebunden sind und kaum Arbeitskapazität für das Projekt bereitstellen können. In Abstimmung mit den Projektpartnern und dem Zuwendungsgeber ist deshalb zur Unterstützung die Fa. DNV GL in Hamburg mit einer Analyse beauftragt worden.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

### 1.3.1 Zeitlicher Ablauf

Im Förderantrag war als Bearbeitungszeitraum für das Teilprojekt (Arbeitspaket 11, AP11) gemäß der nachfolgenden Tabelle der Zeitraum von Juli 2019 bis Juni 2020 vorgesehen. Mit dem tatsächlichen Projektstart zum 01.01.2018 hat sich auch der Bearbeitungszeitraum für AP11 um 3 Monate verzögert. Bereits 2018 wurde mir Vorarbeiten begonnen. Im Juni 2019 wurde die Unterstützung durch DNV GL beauftragt.

Für die **Auswahl der Zielländer** wurden Kriterien festgelegt. Es wird angenommen, dass sich die Kriterien nicht grundsätzlich von denen für konventionelle Windenergieprojekte unterscheiden.

- Attraktivität des Windenergiemarktes (Potenziale, Fördermechanismen, Ausbauziele ...)
- Investitionsklima (politische Stabilität, Rechtssicherheit ...)
- Einschlägige Forschungsaktivitäten im Bereich der FWKA

Als Nebenbedingung soll dabei auch berücksichtigt werden, dass von der Länderauswahl möglichst viele Kontinente abgedeckt werden. Insgesamt wurden rd. 50 Länder untersucht.

Die Kriterien wurden in einem 5-stufigen Raster bewertet. Auf dieser Basis sind die Länder Frankreich, USA/Kalifornien und Taiwan für die weitere Analyse ausgewählt worden.

Nicht zuletzt durch die CORONA-Pandemie hat sich die inhaltliche Bearbeitung des Teilvorhabens bis Mitte 2021 verzögert, ohne Auswirkungen auf andere Arbeitspakete. Auch Ergebnisse der Projektpartnern aus dem Verfahren in Klixbüll wurden berücksichtigt.

### 1.3.2 Inhaltlicher Ablauf

Das Genehmigungsverfahren in Deutschland hat sich in den letzten Dekaden stetig entwickelt. Der aktuelle Stand wird von M. Agatz im Windenergie-Handbuch (<http://windenergie-handbuch.de/>) ausführlich dargestellt [9]. Auf dieser Basis sind die wichtigsten Punkte zusammengefasst und mit dem Stand in den ausgewählten Ländern verglichen worden.

Hinsichtlich der **Schallimmissionen** konnten aus einem Schallgutachten am Standort Klixbüll erste Erkenntnisse gewonnen werden. Die Schallbelastung ist während der Richtungswechsel des Kites am höchsten, liegt aber mehr als 6 dB unter dem Immissionswert im Nachtzeitraum und kann damit als nicht relevant eingestuft werden. Eine Ton- und Impulshaltigkeit konnte nicht festgestellt werden. Dies bezieht sich konkret auf das untersuchte Projekt und stellt keine allgemeine Einschätzung der Schallimmissionen als irrelevant dar.

**Schattenwurf** kann als unbedeutend eingestuft werden. Auf ein einschlägiges Gutachten kann aller Voraussicht nach verzichtet werden. Die Sorge von DNV GL bzgl. „flickering“, wie es bei konventionellen Rotoren durch den in kurzer Folge wiederkehrenden Schattenwurf im Gegenlicht erfolgt, konnte ausgeräumt werden. Ein „flickering“ bei Flugwindkraftanlagen ist technisch nicht möglich, weil durch die aufsteigende Flugbewegung ein Beobachter praktisch nie mehrmals in kurzem Abstand vom Schatten getroffen werden kann.

In der neuesten Version des Advisory Circular AC 70/7460 (M) – Obstruction Marking and Lighting der FAA wird explizit erwähnt, dass Vorschriften zur **Markierung** für AWE in Erarbeitung sind. Aktuell soll der zuständige FAA OE Specialist konsultiert werden. Beim Kite von Skysails ist die Sichtbarkeit durch breit gestreiftes Design (ähnlich einem Absperrband) maximiert.

Um eine Baugenehmigung zu erhalten, werden bei konventionellen WKA üblicherweise **Typenzertifizierungen** (nach IEC 61400) verlangt. Für Testanlagen können Ausnahmegenehmigungen auf Basis von Einzelnachweisen erlangt werden wie im Fall von Klixbüll, was aber auf Dauer einen großen Aufwand darstellen würde. Die Entwicklung von Normen für die Auslegung von Bauteilen, die in der IEC 61400 bisher nicht erfasst sind (bspw. Zugseil, Kite, Flugregler ...) und für die Typenzertifizierung der Gesamtanlage ist deshalb eine **wesentliche Voraussetzung für die Kommerzialisierung** von Flugwindkraftanlagen.

Eine Besonderheit für die Zertifizierung ergibt sich in den Gebieten erhöhter seismischer Aktivität oder erhöhtem Risiko von Wirbelstürmen (USA, Taiwan). Die IEC/TS 61400-3-2 enthält Angaben zu schwimmenden Offshore-WEA. Im Anhang I wird dabei auf Besonderheiten für Zyklone eingegangen, die sich in erhöhten Sicherheitsbeiwerten niederschlagen. Die Zusatzbelastungen durch Erdbeben wird für Flugwindkraftanlagen als eher gering eingeschätzt und deswegen nicht gesondert behandelt. Da FWKA auch in tropischen Wirbelsturm-Gebieten eingesetzt werden sollen ist zu erwarten, dass für die windexponierten Bauteile der Flugwindkraftanlage erhöhte Sicherheitsbeiwerte anzusetzen sein werden.

Die **Genehmigung des Netzanschlusses** obliegt in allen untersuchten Ländern dem örtlichen Netzbetreiber. Dieser muss einen möglichst kostengünstigen Plan unterbreiten und bei fehlendem Netzzugang oder nicht ausreichender Netzkapazität entsprechend ausbauen. Die Kosten trägt der Antragssteller.

Im Offshore-Bereich ist für den Netzanschluss ein Planfeststellungsverfahren notwendig. Der Planfeststellungsbeschluss darf nur erteilt werden, wenn dieser „mit bestehenden und geplanten Kabel-, Offshore-Anbindungs-, Rohr- und sonstigen Leitungen vereinbar ist“.

Die Einhaltung der **Netzanschlussbedingungen** muss seitens der Antragsstellers nachgewiesen werden. Die Flugwindkraftanlagen sind zwar hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften nach den geltenden Normen und „Gridcodes“ ausgelegt (und ggf. zertifiziert), aber zwischen der Anlage und dem Netzanschlusspunkt liegt immer noch ein mehr oder weniger langes Kabel, was als Kapazität wirkt und entsprechend kompensiert werden muss, wenn der Netzbetreiber dies für notwendig erachtet.

Die **Raumbedeutsamkeit** von Flugwindkraftanlagen ist ein Begriff aus der Regionalplanung. DNV GL hat die Raumbedeutsamkeit zunächst etwas höher eingeschätzt als die Projektpartner. Die Bewegung des Drachens wird als ruhig und gleichmäßig wahrgenommen und die Bodenstation an sich ist weniger massiv. Trotz der weiten Sichtbarkeit durch nötige Flugsicherheits-einrichtungen ist die Raumbedeutsamkeit von FWKA insgesamt kleiner als die konventioneller WKA. Denkbar wäre allerdings, dass die Raumbedeutsamkeit für einen Park mit mehreren größeren (multi-MW-)Flugwindkraftanlagen doch relevant wird.

### **Vergleichende Übersicht der internationalen Genehmigungspraxis**

Windenergie wird ein wesentlicher Pfeiler der globalen Versorgung mit Erneuerbaren Energien. Allein für den Ausbau von offshore Windenergie wird von IRENA ein globales Ausbauziel von 228 GW bis 2030 und 1000 GW bis 2050 angegeben. Auch Flugwindkraftanlagen werden diesem Trend folgen. Die regulative Situation für diese neue Technologie muss in allen Ländern geklärt werden. Die von den Regierungen der beteiligten Länder autorisierten Behörden und Interessenvertreter sind größtenteils den erneuerbaren Energien verpflichtet und haben daher möglicherweise ein Interesse daran, diese neue Technologie zu unterstützen. Die wichtigsten Punkte, die geklärt werden müssen, sind:

**Flugsicherheit:** Flugverkehrsbehörden sind sehr restriktiv bei der Duldung von Störungen im Luftraum. Radaranlagen dürfen unter keinen Umständen gestört werden, so dass ausreichende Abstände von einigen Kilometern einzuhalten sind. Es wird vermutet, dass aufgrund der geringen Radarsignatur keine Störung von einer SkySails-FWKA ausgeht. Außerdem entsteht kein "Radarschatten", wie es bei konventionellen WKAs hinter dem Turm der Fall ist.

Die Einteilung von FWKA differiert zwischen EASA und FAA. Während die EASA „Tethered Aircraft“ als unbemanntes Flugobjekt anerkennt, schließt die FAA es explizit aus.

**Sicherheitsüberlegungen des technischen und strukturellen Systems.** Drachen und Bord-systeme, die sich bei Sturm oder durch unerwartete Störungen lösen oder beschädigt werden und abstürzen können, können eine Gefahr darstellen. Bei FWKA mit on-board-Stromerzeugung ist ein zusätzliches Risiko durch abstürzende Stromkabel zu bedenken. Mehrstufige Sicherheits-konzepte müssen entwickelt und umgesetzt werden.

**Konstruktionsstandards und ein Zertifizierungsschema** sind erforderlich, wenn eine Kommerzialisierung in großem Maßstab erwartet wird. Normative Vorschriften sind erforderlich, um eine akzeptierte und kontrollierte Überprüfung und Bewertung der Technologie und der strukturellen Integrität zu ermöglichen. Neben den Behörden, die ein Interesse an der Sicherheit haben, werden auch Investoren und Versicherungsgesellschaften verlangen, dass diese vorhanden sind, bevor sie diese Technologien mit ihren Dienstleistungen unterstützen. Darüber hinaus sind auf der Grundlage der Konzeptbeschreibung die derzeit offensichtlichen Barrieren für die einzusetzende Technologie:

- Zugang zum Luftraum,
- Betriebssicherheit,
- Auswirkungen auf die Umwelt,
- Konzept der Durchführbarkeit des Betriebs,

- Skalierungspotenzial der Energieproduktion.

Ein wichtiger Unterschied, der sich auf Auslegung und Konstruktion der FWKA auswirken kann, sind die variierenden Grenzwerte der Zielländer. Da die Immissionen der Anlage nicht nur durch Konstruktion oder Betriebsweise bestimmt werden, sondern auch über Abstände der Anlage zu Immissionsaufpunkten, kann ein einhüllender maximaler Anlagen-Emissionswert für die Auslegung ohnehin nicht vorgegeben werden.

Weiterhin gibt es Unterschiede in der notwendigen und gewünschten Sichtbarkeit von Flugdrachen und Seil. Konkurrierend ist dabei die maximale Sichtbarkeit hinsichtlich des Flugverkehrs mit der Eingliederung ins Landschaftsbild, um den Einfluss auf Sichtflächen und das optische Störpotential gering zu halten.

Hinsichtlich der **Markierung** ist die Anwendung von bestehenden Normen und Vorschriften nicht verlässlich, da FWKA bei der Erstellung dieser nicht berücksichtigt wurden. Die Arbeit der betreffenden Behörden sollte im Blick behalten oder aktiv der Kontakt gesucht werden, um mit gut ausgearbeiteten Konzepten auf den zu setzenden Standard einwirken zu können. So wird in dem entsprechenden Empfehlungsschreiben der FAA auf eine aktuelle Erarbeitung von Vorgaben für AWE hingewiesen.

Für die Markierung und weitere Flugsicherheitsbelange ist grundlegend, ob die FWKA als Lufthindernis oder als unbemanntes Flugobjekt eingeordnet wird (siehe Flugsicherheit).

Schließlich muss in aktuellen und kommenden Projekten jeweils **projektspezifisch** untersucht werden, was die ökologischen Auswirkungen von FWKA besonders auf den **Vogelflug** sind. Vorhergehende Untersuchungen gründen sich auf viele unsicherheitsbehaftete Annahmen und geben keine ausreichende Auskunft über Vogelschlag, Scheuchwirkung und weitere Faktoren.

**Aus den Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen ableiten:**

Genehmigungen beruhen auf regionalen, nationalen und internationalen Regeln.

- Internationale Standards (IEC-Normen, Flugsicherheit ...) bilden nur einen Teil der zu beachtenden Regeln.
- Nationale oder regionale Regeln (UVP/EIA, Abstandsregeln, Artenschutz für spezifische Flora und Fauna ...) sind zu vielfältig für eine einhüllende Betrachtung.
- Lokale Gegebenheiten (Artenschutz, Netzanschlusslänge, Hintergrundlärm, Erdbebenklasse ...) müssen ohnehin einzeln bearbeitet und begutachtet werden, auch wenn nur geringe Auswirkungen erwartet werden.
- Genehmigungsbedingungen sind außerdem größenabhängig. Für Einzelanlagen gelten weniger strenge Vorschriften als für Windparks.

Eine einhüllende Auslegung erscheint nach den bisherigen Erkenntnissen nicht zielführend.

- Die Standardisierung für die Auslegung der Zugseile, der Kites etc. sollte intensiviert werden. Damit wird die Typ- und Projektzertifizierung erleichtert.
- Windparks sind kommerziell deutlich attraktiver als Einzelanlagen. Bei Flugwindkraftanlagen werden sich die Flugbereiche einzelner Anlagen überschneiden. Bisher fehlen hierzu Auslegungsverfahren sowie Park-Steuerungen zur Ertragsoptimierung.

## 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Zu Beginn der Untersuchungen haben sich auf der Basis des „Windenergie-Handbuch“ von M. Agatz (2017) [8] drei Schwerpunkte abgezeichnet (wobei die Quelle inzwischen mehrfach aktualisiert wurde [9]):

- Einflüsse auf Flora-Fauna-Habitat (FFH)
- Einflüsse auf die Luftraumsicherheit.
- Visuelle und auditive Störwirkung auf den Menschen

Erste Hinweise zu möglichen Genehmigungsbelangen sind auch im Buch über „Airborne Wind Energy“ von R. Schmehl [68] in Kapitel 28 enthalten. Im Bereich Flora und Fauna wird während des Anlagenbetriebs der Schwerpunkt auf der Kollision von Vögeln mit der FWKA und der Fragmentierung von Jagd- und Brutgebieten vermutet, wobei eine Kollisionsrate von 5-15 Vögeln pro Jahr und Anlage angenommen wird.

Hier ist anzumerken, dass es sich in dem in [68] beschriebenen Fall um eine Untersuchung von Ampyx Power mit schnell fliegendem Starrflügler handelt. Soft-Kites fliegen langsamer und geben bei einem Aufprall nach (etwa wie ein Airbag). Für Soft-Kites dürfte die Mortalität daher deutlich kleiner ausfallen und nur dem Zugseil zuzuschreiben sein.

Für die Genehmigungsverfahren zur Flugraumsicherheit gibt es bislang wenig belastbare Aussagen der Behörden. Während FWKA bisher in verschiedenen Kategorien für experimentelle und Forschungszwecke genehmigt wurde (unbemanntes Flugobjekt, Luftraumhindernis, unbemannter Ballon), waren wir zu Beginn davon ausgegangen, dass diese zukünftig ausschließlich als unbemannte Flugobjekte genehmigt werden (Grund u.a. die Möglichkeit, dass das Zugseil reißt). Der für Drohnen zuständige Bereich der EASA wertet FWKA als unbemannte Flugsysteme, während die FAA und das BMVI FWKA als Luftraumhindernis betrachten. Für die weitere Betrachtung werden wichtige Beiträge von der „Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems“ (JARUS) erwartet, einem Zusammenschluss aus Experten der regionalen und nationalen Luftsicherheitsbehörden.

Zuletzt müssen die Lärm-Emissionen der FWKA gemessen werden. Während die Normen und Vorschriften zur Schallmessung für WKA nicht direkt anwendbar sind (z.B. FGW-Richtlinie 1), ist anzunehmen, dass die Grenzwerte der TA Lärm gelten.

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wie bereits im Abschnitt 1.2 dargestellt, wurde DNV GL mit einer Studie zur Unterstützung der hier vorliegenden Arbeit beauftragt. Die Ergebnisse sind von P. Frohböse in einem DNV GL Bericht beschreiben [45]. Der Bericht wurde von den Projektpartnern mit einem Kommentar versehen und ist als vertraulicher Anhang zum internen EnBW-Arbeitsbericht zum AP11 auf Anfrage verfügbar.

---

## 2 Eingehende Darstellung der Projektergebnisse

### 2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen

Flugwindkraftanlagen erhalten seit etwa einer Dekade vermehrte Aufmerksamkeit in Forschung und Entwicklung sowie von staatlichen und privaten Innovationsförderern. Für Gesetzgebung und Bürokratie ein kurzer Zeitraum, was sich in der unausgereiften Gesetzeslage widerspiegelt. Dazu kommt, dass sich existente Vorschriften nur bedingt auf FWKA übertragen lassen. Bisherige Genehmigungen beschränken sich auf Demonstrations- oder Testanlagen, für die vereinfachte und zeitlich befristete Sondergenehmigungen erteilt wurden. Eine erste kommerzielle Anlage von Skysails auf Mauritius befindet sich derzeit im Bau. Sie hat ebenfalls eine befristete Betriebsgenehmigung erhalten, die später entfristet werden soll.

Im Rahmen des Vorhabens wurden die genehmigungsrelevanten Aspekte von FWKA für ausgewählte Länder analysiert. Die Länderauswahl wurde anhand der Kriterien Marktattraktivität, Investitionsklima und FWKA-Forschung getroffen. Für die Untersuchung wurden die Länder Frankreich, Kalifornien/USA und Taiwan ausgewählt und mit der deutschen Situation verglichen.

#### 2.1.1 Typenzertifizierung und Baugenehmigung

Um eine Baugenehmigung zu erhalten, ist eine Typenzertifizierung notwendig. Hierbei müssen auch Anforderungen an Standfestigkeit und Sicherheit erfüllt werden. Anwendbare Normen für die Typenzertifizierung entstammen der IEC 61400 Reihe. Besonders relevant sind die Dokumente IEC 61400-1, 61400-3, 61400-22. Die IEC 61400-3 ist zweigeteilt. T1 bezieht sich auf feste und T2 auf Schwimmfundamente.

Die zuständigen Behörden variieren bei On- und Offshore-Standorten, genauer gesagt ab einer festgelegten Entfernung von der Küste. Liegt das Projekt innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone, ist die nationale Behörde für die Erteilung der Baugenehmigung zuständig, bei Onshore-Anlagen die kommunale Baubehörde. Zusätzlich zum Nachweis der Standsicherheit sind die standortspezifischen Bebauungspläne einzuhalten. Sollte der Bebauungsplan keine Windkraftanlagen am geplanten Standort vorsehen, muss eine entsprechende Änderung des Bebauungsplans beantragt werden. Bei potenziellen Gefährdungen der Luftraumsicherheit ist die Genehmigung der zuständigen Luftfahrtbehörde Bestandteil der Baugenehmigung.

#### 2.1.2 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

Innerhalb der Europäischen Union (EU) muss ein Windenergie-Projekt, das bestimmte Kriterien erfüllt, einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterzogen werden. In Deutschland gilt dies für Windparks mit mehr als 19 Windkraftanlagen (WKA) mit mehr als 50 m Höhe, bei denen erhebliche Auswirkungen auf die Schutzgüter (§1 Absatz 6 Nr. 7 BauGB) zu erwarten sind. Bei mehr als 3 WKA mit mehr als 50 m Höhe besteht die Pflicht zur Vorprüfung, ob eine UVP notwendig ist. In Frankreich muss bei Überschreitung von 50 m Höhe oder einer Gesamtleistung von 20 MW eine UVP durchgeführt werden. Auch wenn die Grenzwerte nicht überschritten werden, kann eine UVP beantragt werden, um die Rechtssicherheit zu erhöhen. In Taiwan und den USA ist es ähnlich. Im National Environmental Policy Act (NEPA) der USA wurde die UVP für Projekte mit „signifikanten Auswirkungen auf die Umwelt“ festgeschrieben.

Die meisten Genehmigungsbestandteile, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden, sind Bestandteil der UVP. In Frankreich ist darüber hinaus die Umweltgenehmigung entstanden, die viele relevante Verwaltungsverfahren umfasst (u.a. Baugenehmigung und UVP).

### 2.1.3 Netzanschluss

Für die Genehmigung des Netzanschlusses ist der jeweilige Verteilnetzbetreiber zuständig. Nach Antragsstellung muss der Netzbetreiber entweder darlegen, aus welchen Gründen ein Netzanschluss nicht möglich ist (z.B. unzureichende Netzkapazität), oder einen Plan vorlegen, an welchem Netzanschlusspunkt und unter welchen technischen Voraussetzungen der Anschluss durchgeführt wird. Sollte ein Netzanschluss am beantragten Standort nicht möglich sein, müssen seitens des Netzbetreibers, sofern wirtschaftlich vertretbar, Anstrengungen unternommen werden, dieses Gebiet zu erschließen. Bei der Planung des Anschlusses muss der Netzbetreiber die gesamtwirtschaftlich (für Anlagen- und Netzbetreiber) günstigste Lösung ermitteln. Die Kosten für einen Ausbau der Netzkapazität trägt der Netzbetreiber, die Kosten für den Anschluss der Anlagenbetreiber.

Je nach Anlage geht ein Stromabnahmevertrag mit der Netzanschlussgenehmigung einher oder muss gesondert geschlossen werden. Entweder mit dem Netzbetreiber, einem Stromhändler oder einem Direktabnehmer.

Seitens des Antragsstellers müssen bestimmte (elektro-)technische Vorgaben erfüllt werden, damit die Anlage ans Netz angeschlossen werden darf. Die Voraussetzungen werden vom zuständigen Netzbetreiber festgelegt und unterliegen standortspezifischen Besonderheiten, die auf Nachfrage gesondert ermittelt werden müssen.

Für die technische Konstruktion muss berücksichtigt werden, dass zwischen der Anlage und dem Netzanschlusspunkt z.T. ein beträchtliches Stück Kabel liegen kann, das als Kapazität wirkt und dessen Blindleistungsbedarf vom Netzanschlussnehmer kompensiert werden muss. Insofern besteht ein relevanter Unterschied zwischen den elektrischen Eigenschaften der WKA selbst und deren elektrischem Verhalten am Netzanschlusspunkt.

In Deutschland variieren die elektrotechnischen Vorgaben für den Netzanschluss von Erzeugungsanlagen je nach Leistung und Netz. Vom VDE gibt es sog. Technische Anschlussbedingungen „TAB“ oder Technische Anschlussregeln (TAR) für Hochspannung (110kV), Mittelspannung und Niederspannung, jeweils für Kunden und Erzeuger (VDE-AR-N 4105, 4100, 4110, 4120). Da die Anschlussrichtlinien auf Europäischen Grid Codes basieren, sind die Vorgaben in Frankreich ähnlich zu denen in Deutschland. In Kalifornien wurden die Vorgaben zum Netzanschluss seitens der North American Electric Reliability Corporation (NERC) vom California Independent System Operator (CAISO) ergänzt und sind u.a. im VAR-001-5 Voltage and Reactive Control und Appendix DD, Generator Interconnection and Deliverability Allocation Procedures (GIDAP) zu finden. In Taiwan müssen für den Netzanschluss folgende Richtlinien berücksichtigt werden: a) Renewable Energy Power Generation System Grid Connection Regulation, b) Renewable Energy Power Acquisition Operation Regulation, c) Regulations of Permission on Delineation of Course for Laying, Maintaining, or Modifying Sub-marine Cables or Pipelines on the Continental Shelf of the Republic of China.

### 2.1.4 Ökologie

Die Wirkung von FWKA auf Flora und Fauna wurde vor Projektstart als ein **genehmigungstechnischen Kernthema** identifiziert. Der Schwerpunkt für FWKA liegt auf dem Betrieb der Anlagen und der Auswirkung auf Avifauna (= alle in der Region vorkommenden Vogelarten). Für jedes Zielland und spezifisch für die gewählten Standorte gibt es Listen besonders gefährdeter,

schützenswerter oder sensibler Arten (z.B. EU-Artenschutzverordnung, EU-Vogelschutzrichtlinie, Liste des USFWS). Aufgrund der technischen Beschaffenheit des Fundaments bzw. der Bodenstation von FWKA bewegen sich die negativen Auswirkungen auf Benthos (Offshore) oder Landsäugetiere (Onshore) während der Konstruktionsphase maximal im Bereich konventioneller WKA. Für FWKA sind weder große Kräne, große Montageflächen noch tiefe Fundamente notwendig. Gleiches gilt für Fledermäuse: Solange nur tagsüber gebaut wird, werden Fledermäuse nicht gestört. Für das zu genehmigende Projekt muss ein Zugriffs-, Tötungs-, Beschädigungs- und Störungsverbot beachtet werden (Deutschland, BImSchG). Neben einer Vielzahl von möglichen Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen verspricht eine geschickte Standortwahl den höchsten Erfolg für einen geringen ökologischen Einfluss. Eine Minimierung der negativen Effekte ist notwendig, um die Genehmigung für das Projekt zu erhalten. Darüber hinaus kann dem Antragssteller ein Monitoring für die Auswirkungen während der Betriebsphase auferlegt werden.

Schmehl [68] hat auf Grundlage von Proxysystem (Drachenflieger, Stromleitungen, Halteseile) mögliche Gefährdungen untersucht. Auf dieser Basis wurde eine Kollisionsrate mit dem flugzug-ähnlichen Starrflügler von Ampyx Power von 2-13 pro Jahr und ca. 11 mit dem Seil ermittelt. Die Sterberäte läge unter Berücksichtigung der Abschaltzeiten bei 5-15 Exemplaren pro FWKA und Jahr. Zu möglichem Meideverhalten und resultierend daraus Fragmentierung von Brut- und Jagdgebieten wird keine Aussage getroffen.

Für den Standort Lista wurde von Kitemill eine Vogelbeobachtungsstudie durchgeführt (Haland, 2018). Hier wurden in den Jahren 2016-2019 Testflüge einer 30 kW Anlage abgehalten und im Juni und September 2018 ein Monitoring durchgeführt. Bei Vogelbeobachtungen während der Testflüge konnte lediglich zwei Mal Meideverhalten von Vögeln in unmittelbarer Nähe des Seils festgestellt werden. Zumeist waren keine Reaktionen wahrnehmbar, wenn ein Vogel das Testgebiet durchflog bzw. unter dem Kite passierte. Gleiches gilt für menschlichen Aktivitäten am Teststandort, was als Gewöhnung an den menschlichen Eingriff in die Natur gewertet werden kann. Es wurden keine Effekte auf die lokale Brutpopulation der an diesem Standort ansässigen Vogelarten ausgemacht, wegen der Begrenztheit des Untersuchungsumfangs ist dies aber nur bedingt aussagekräftig. Insgesamt war der Betrieb der Anlage in weiten Teilen azyklisch zur Aktivität von Zugvögeln oder ansässiger Arten, die hauptsächlich nachts oder in den frühen Morgenstunden und bei Schwachwind aktiv sind. Dies beschränkt die Aussagekraft hinsichtlich Interaktion mit dem Kite, zeigt aber auch auf, dass Gefahren für die Avifauna durch entsprechende Betriebsweise minimiert werden können. Diese Studie ist ein erster Schritt, um den Einfluss von FWKA auf die Ökologie zu untersuchen. Um weitere Erkenntnisse zu gewinnen, müssen der zeitliche Rahmen (besonders für Erkenntnisse hinsichtlich Fragmentierung der Brut- und Jagdgebiete) und die Maße der Anlage(n) erweitert werden, um praxisnähere Ergebnisse zu erzielen. **Generischen Untersuchungen auf die Auswirkungen von FWKA können dabei nicht die standortspezifischen Studien ersetzen.**

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens wurden in Klixbüll zwischen März und November 2020 Vogelbeobachtungen und Begehungen zur Erfassung von Brut- und Rastvögeln durchgeführt. Für Fledermäuse mit ihrer leistungsfähigen Echoortung besteht wenig Gefahr, zumal die auftretenden Geschwindigkeiten und Druckunterschiede deutlich geringer sind als bei konventionellen WKA. Bei Lerchen und Regenpfeifern wurde kaum Scheuchwirkung wahrgenommen, bei Rabenvögeln hat sich ein Ausweichverhalten gezeigt. Die Kürze der Untersuchung lässt keine Rückschlüsse auf eine mögliche längerfristige Gewöhnung zu.

### 2.1.5 Schattenwurf

Hinsichtlich des Schattenwurfs können allgemein die Grenzwerte für konventionelle WKA angenommen werden, d.h. eine Beschattungsdauer von 30 h/a und 30 min/d darf nicht überschritten werden. Eigene Überlegungen zeigen, dass Schattenwurf aufgrund der Relation Drachfläche/Flugraum vernachlässigbar ist und auf ein Schattengutachten verzichtet werden kann. Der Austausch mit den Behörden bestätigt das. Ein „flickering“ ist bei FWKA technisch nicht möglich, weil durch die aufsteigende Flugbewegung ein Beobachter praktisch nie mehrmals in kurzem Abstand vom Schatten getroffen werden kann.

### 2.1.6 Schall

Die Vermessung von Schallimmissionen findet stets am relevanten Immissionsaufpunkt statt, was ja nach Topografie, Bebauung oder Windrichtung nicht das am nächsten gelegene Gebäude sein muss. Schalldruckpegel werden bei laufender WEA und Fremdgeräusche bei abgeschalteter WEA über einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich gemessen. Akustisch auffällige Einzelereignisse müssen separat aufgeführt werden.

In **Deutschland** gilt für die Messung die DIN 61400-11 ed.3 (Windgeschwindigkeit), DIN 45465-1 (Impulshaltigkeit) und DIN 45681 (Tonhaltigkeit). Dazu ist eine subjektive Beschreibung des Höreindrucks unerlässlich. Grenzwerte sind der TA Lärm zu entnehmen. Zum Vergleich urbane Gebiete: tags 63 dB(A), nachts 45 dB(A). Zeitweise Überschreitungen von bis zu 35 dB(A) tags und 25 dB(A) nachts sind zulässig.

In **Frankreich** darf in jedem Gebiet mit mindestens 35 dB(A) Vorbelastung durch einen Zubau maximal eine Emergenz von 5 dB(A) tags und 3 dB(A) nachts erzeugt werden. Auch hier gelten Abweichungen für zeitweise Überschreitungen.

In den **USA** variieren die Grenzwerte von Staat zu Staat und von County zu County und müssen deswegen für jeden Standort gesondert betrachtet werden. Zum Vergleich urbane Gebiete San Bernardino: tags 55 dB(A), nach 45 dB(A) mit kurzzeitigen Abweichungen um bis zu 15 dB(A).

In **Taiwan** werden die Grenzwerte für WKA im Noise Control Standard festgehalten. Da Taiwan ein großes Problem mit Lärmbelästigung hat, sind die Vorschriften sehr restriktiv. Der Noise Control Act schreibt je nach Gebietsklasse und Tageszeit Grenzwerte von 36-47 dB(A) für Frequenzen von 20-200 Hz vor. Für den Bereich bis 20 kHz gilt eine Grenze von 50 dB(A) tags und 40 dB(A) nachts. Für die Bauphase gelten höhere Grenzwerte.

Für die Testanlage in Klixbüll wurde ein Schallgutachten durchgeführt, bei dem die Geräuschimmissionen um mehr als 6 dB unter dem Immissionsrichtwert lagen und demnach als nicht relevant einzustufen sind.

Vom FWKA Hersteller Kitemill wurde für Lista zwar kein Schallgutachten erstellt, der subjektive Höreindruck wurde dennoch dokumentiert und bewertet [49]. Während der Looping-Flüge wurden von der Anlage geringe Geräusche erzeugt, die für das menschliche Gehör schwach wahrnehmbar gewesen seien (Starrflügler und Seil gleichermaßen). Es konnte aber keine direkte Kausalität zwischen Meideverhalten und Geräuschemissionen festgestellt oder begründet werden. Im Vergleich zum SkySails-Kite haben Starrflügler (bspw. Kitemill) aufgrund der geringeren Fläche eine höhere Fluggeschwindigkeit im Betrieb. Da die Fluggeschwindigkeit überproportional in die Schallentstehung eingeht, liegt die Vermutung nahe, dass Starrflügler im Vergleich höhere Schallemissionen aufweisen könnten.

## 2.1.7 Wirkung auf Landschaft und Menschen

Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Faktor ist die Einwirkung einer WKA auf die umgebende Landschaft und den Menschen. In der Fachsprache hat sich dafür der Begriff der „optisch bedrängenden Wirkung“ etabliert. Zur Beurteilung einer „optisch bedrängenden Wirkung“ muss ein Fachgutachten eingeholt werden. Das Untersuchungsgebiet kann sich je nach Größe der Anlage auf viele (bis zu 40) Kilometer erstrecken. In diesem Gebiet muss die Sichtbeziehung zu bedeutenden Elementen wie Kulturstätten oder Denkmälern sowie der Einfluss auf besondere Aussichtspunkte untersucht werden. Zur Darstellung der Auswirkungen von WKA oder Windparks in der UVP eignen sich Skizzen, Fotomontagen, 3D-Simulationen, Videomontage etc. Da besonders in freier Fläche eine weite Sichtbarkeit möglich ist, werden Offshore-Anlagen in großer Entfernung von der Küste aufgestellt.

Die Bewegung des Drachens wird als ruhig und gleichmäßig wahrgenommen und die Anlage ist insgesamt weniger massiv als eine konventionelle WKA. Trotz der weiten Sichtbarkeit durch nötige Flugsicherheitseinrichtungen ist die „optisch bedrängende Wirkung“ sowie die Raumbedeutsamkeit von FWKA damit deutlich kleiner als die konventioneller Windkraftanlagen.

## 2.1.8 Abstandsregeln

Die Betriebszone und damit die mögliche Gefährdung schützenswerter Strukturen und anderer Schutzgüter ist bei FWKA größer als bei konventionellen WKA.

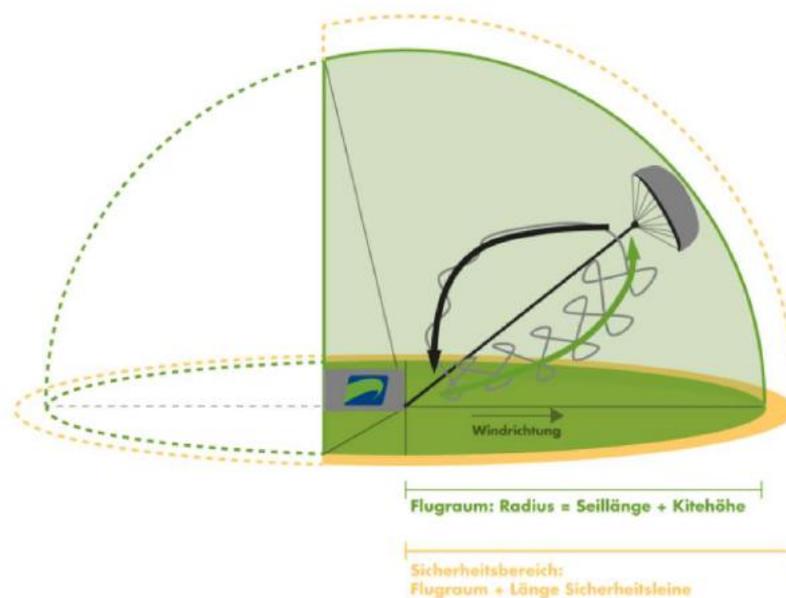


Abbildung 1: Betriebszonen, vereinfacht [190902 Systembeschreibung und Massnahmen]

In Deutschland sind zwischen WKA und Wohngebäuden Mindestabstände von bis zu 1000 m einzuhalten. Die genauen Vorgaben unterscheiden sich zwischen den einzelnen Bundesländern. Da von FWKA ein anderes Gefährdungspotential ausgeht, ist zumindest zu Beginn der Kommerzialisierung ein restriktiveres Verhalten hinsichtlich der Abstandsvorgaben zu erwarten.

In Frankreich sind die Mindestabstände zu Wohngebäuden (500 m), gefährlicher Industrie (300 m), wichtigen Straßen (200 m) und Radaranlagen (bis zu 30 km) mit dem Energiewendegesetz (2015) festgelegt worden. In Kalifornien gibt es ähnlich zum Schall Abweichungen zwischen den einzelnen Countys. Die Mindestabstände basieren auf absoluten Werten oder werden über Rotordurchmesser bzw. Anlagenhöhe berechnet. In Taiwan werden Abstände von den lokalen Behörden festgelegt. Gerade im Hinblick auf die strengen Schall-Grenzwerte könnten in Taiwan die schalltechnischen Vorteile von Flugwindkraftanlagen eine besondere Rolle spielen.

### 2.1.9 Sicherheit

Die Einflüsse von FWKA auf Flugsicherheit und die Sicherheit unbeteiligter Dritter wurde vor Projektstart ebenfalls als **genehmigungstechnisches Kernthemen** identifiziert. Während die Flugsicherheitsbedenken der großen Höhe entstammen, ergibt sich die Gefährdung für Personen innerhalb des Flugraums aus dem möglichen Versagen der Regelungstechnik und auch über den Flugraum hinaus durch ein mögliches Versagen des Seils oder der Kite-Seil-Verbindung.

#### Flugsicherheit

International ist die International Civil Aviation Organisation (ICAO) für die Erteilung von Luftverkehrsgenehmigungen zuständig. Standards and Recommended Practices (SARPs) werden als Grundlage für die nationalen Flugsicherheitsorganisationen erstellt. Sowohl die Federal Aviation Administration (FAA) als auch die European Union Aviation Safety Agency (EASA) ist ermächtigt, Flugobjekte auf internationaler Ebene zu zertifizieren. Auf nationaler Ebene arbeiten die National Aviation Authorities (NAA) bzw. Civil Aviation Authorities (CAA) in Übereinstimmung mit den SARPs. Um eine Basis für die Zertifizierung und Genehmigung von RPAS zu schaffen, hat sich die Vereinigung Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems (JARUS) entwickelt, ein Zusammenschluss aus Mitgliedern der EASA, FAA und NAAs sowie weiteren Experten, die dafür sorgen möchten, Überschneidungen zu vermeiden und ein einheitliches Rahmensystem zu schaffen.

Bestimmte Gebiete unterliegen bei der Genehmigung besonderen Einschränkungen. Dazu gehört die Umgebung von Flughäfen und Flugplätzen sowie militärische Anlagen. In Deutschland bedürfen Bauwerke über 100 m Gesamthöhe der Zustimmung der Luftfahrtbehörde (§14 LuftVG). Flugsicherheitseinrichtungen dürfen nicht gestört werden (§18 LuftVG). Im unbeschränkten Flugraum besteht Kennzeichnungspflicht gemäß allgemeiner Verwaltungsvorschrift. Außerdem muss Sichtbarkeit gemäß Visual Flight Rules (VFR) gewährleistet und eine Command-and-Control-Vorrichtung (C2) vorhanden sein. Auf Grund dessen ist davon auszugehen, dass für FWKA aktuell ein Flugbeschränkungsgebiet benötigt wird. Auch wenn es noch keine festgelegten Klassifizierungen gibt, **sollte der Kite mit Hilfe folgender Eigenschaften definiert werden: Gewicht, Komplexitätslevel, Konfiguration, Geschwindigkeit, Nutzen, Luftraum, Flughöhe, überflogenes Gebiet, kinetische Energie, operationelle Fehlerkonsequenzen.**

Die Einteilung von FWKA differiert zwischen EASA und FAA. Während die EASA „Tethered Aircraft“ als unbemanntes Flugobjekt anerkennt, schließt die FAA es explizit aus. In der EU unterliegen AWES also der Einordnung in die UAS (Unmanned Aircraft System) und den dazugehörigen Verordnungen, die derzeit vielen Veränderungen unterworfen sind. FWKA fallen voraussichtlich in die „specific“-Kategorie, d.h. vorher definierte Flugoperationen müssen genehmigt werden. Eine Risikoanalyse z.B. durch SORA (Specific Operations Risk Assessment) ist empfehlenswert, solange bis Handlungsvorschriften erarbeitet worden sind. Eine mögliche

Genehmigung als Flughindernis spielt ebenfalls eine Rolle und wurde für die Testanlage in Klixbüll bereits erfolgreich durchgeführt.

Um eine Blaupause für die Genehmigung von FWKA zu erhalten, sollten in den kommenden Jahren weitere Teststandorte in Zusammenarbeit mit der deutschen Luftfahrtbehörde erarbeitet werden. Eine weitere Möglichkeit ist, den Kontakt mit der EASA aufzunehmen, um Zertifizierungsspezifikationen und Standardszenarien für den Betrieb festzulegen.

Die EU hat in ihrer Verordnung 2019/947 („Drohnenverordnung“) Rahmenbedingungen definiert, die die Integration von Drohnen in den Luftraum & Luftverkehr erleichtern sollen. Die EASA hat dafür das U-Space-Konzept entwickelt, welches kontrovers diskutiert wird. Die Entwicklung des U-Space wird sich voraussichtlich signifikant auf die Genehmigung und den operativen Flugbetrieb auswirken und muss daher genau beobachtet werden.

### **Markierung**

Um eine ausreichende Flugsicherheit zu gewährleisten, muss die Anlage durch Markierungen oder Leuchten sichtbar gemacht werden. Vorgaben für WKA, Masten oder Abspannseile kann man den entsprechenden Richtlinien entnehmen, es ist aber zu erwarten, dass für FWKA gesonderte Vorschriften entwickelt werden und die Übertragung vorhandener nicht zielführend ist. Die Erarbeitung neuer Regularien wird in FAA AV 70/7460 explizit aufgeführt im Kap. 13.9 „Lighting and Marking of Airborne Wind Turbines“: *The FAA is currently conducting research to develop special lighting and marking standards for Airborne Wind Turbines. Sponsors should consult with their respective FAA OE Specialists for updated information.*

### **Sicherheit Dritter**

Neben der Sicherung des Flugraums besteht eine Gefahr für Personen, die sich am Boden in der Nähe der Anlage aufhalten. Eine Verletzung muss ausgeschlossen werden, da dies besonders bei Einführung der Technologie deren Ende bedeuten könnte. Um zu zeigen, dass keine erhebliche Gefährdung seitens des FWKA-Systems ausgeht, müssen eine Gefahrenanalyse durchgeführt und Mitigationsmaßnahmen aufgezeigt werden. Gefährdungen können in folgende Bereiche fallen:

- Technischer Fehler
- Menschliches Versagen
- Fluggerät auf Kollisionskurs
- Widrige Operationsbedingungen
- Versagen von externen Systemen zur Unterstützung des AUS

Mithilfe eines „*Holistic Risk Model*“ können Gefahren und die verursachenden Fehler modelliert werden:

- Schäden
- Gefahr
- Gefahrenursachen
- Schadensbarrieren
- Gefahrenbarrieren

Gerade am Anfang können Vermeidungsmaßnahmen sinnvoll sein. Nach Entwicklung höherer Standards oder mit zuverlässiger Operation über einen langen Zeitraum können diese u.U. entfernt werden. Mithilfe der Risikobewertung für spezifische Operationen können

Gefährdungen in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Dafür müssen Schwere und Wahrscheinlichkeit der Gefährdungen abgeschätzt sowie Unsicherheiten im Risikomodell herausgestellt werden. Da es noch wenig quantitative Zahlen gibt, die für die Risikobewertung herangezogen werden können, ist der Unsicherheitsfaktor hoch. Durch Vermeidungsmaßnahmen sinkt der Risikofaktor.

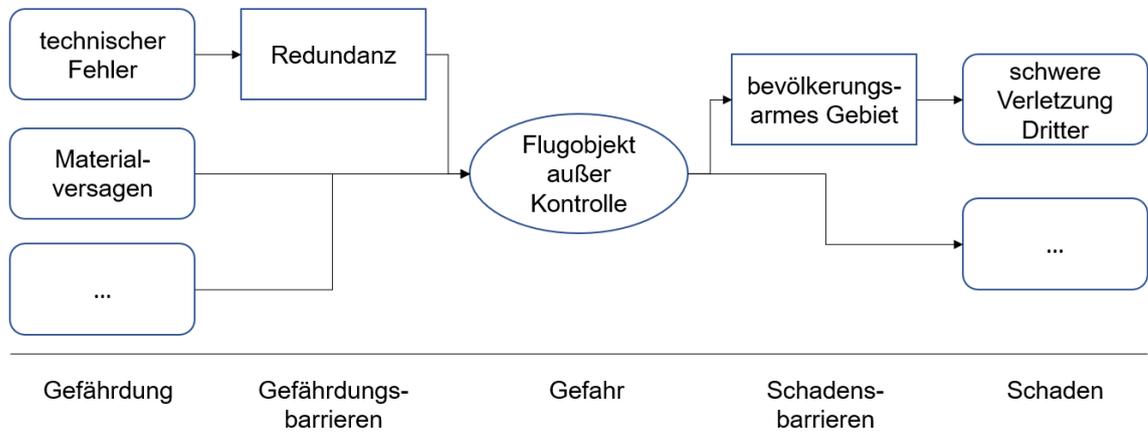


Abbildung 2: "Tie Chart" Specific Operation Risk Assessment

Weitere Möglichkeiten, eine Risikobewertung durchzuführen, sind z.B. FTA und FMEA

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über einzelne Genehmigungsaspekte und die einschlägigen Regeln und Gesichtspunkte in den betrachteten Ländern.

	Deutschland	Frankreich	USA	Taiwan
Wann UVP/EIA?	Vorgeschrieben nach BImSchG (Überführung von EU-Recht) <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;19 WEA mit &gt;50 m, oder</li> <li>• 3 bis 19 WEA mit &gt;50m und erhebliche Auswirkungen auf Schutzgüter, oder</li> <li>• nach Antrag (Rechtssicherheit)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;50m (Code de l'environnement L553-1)</li> </ul> ICPE: <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;50 m, oder</li> <li>• Windparks mit einer Gesamtleistung von mindestens 20 MW</li> </ul> Windparks mit einer maximalen Nabenhöhe zwischen 12 und 50 Metern und einer Leistung unterhalb von 20 MW, sind dagegen nur einer Anmeldepflicht unterworfen.	Notwendigkeit zu EIA erstmals in NEPA festgelegt und in CEQA übernommen. Gilt für Projekte mit „significant environmental impact“	Energieerzeugungsanlage mit mehr als 2 MW. Fällt in die Zuständigkeit von MoEA (BoE) und EPA
Bauge- nehmigung	BauGesetzBuch	L422-2 code de la construction	Offshore: 30 CFR 585.601, COP (Bau und Betriebsplan)	Fällt in den Bereich des BoE. Wichtig in Taiwan kann eine Erdbebenauslegung der Bodenstation und des Systems sein. (CNS 15176-1)
Schall	Grenzwerte nach TA Lärm z.B. 63 dB (A) in urbanen Gebieten tagsüber, oder 70 dB (A) in Industriegebieten jeweils außerhalb der Gebäude. Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen bilden Ausnahmen.	Arrêté du 26 août 2011: Emergenzwerte: Ab einer bereits bestehenden Lärmbelastung von 35 dB (A) darf von dieser nur um 5 dB (A) (tagsüber) bzw. 3 dB (A) (nachts) abgewichen werden. Für kürzere Betriebszeiträume erhöht sich die zulässige Emergenz. Der maximale Pegel darf 70 dB (Tag) und 60 dB (Nacht) nicht überschreiten	Zulässige Bereiche in der California Land Use Compatibility Matrix, ergänzt durch Vorgaben der jeweiligen Counties. Beispiel (San Bernardino/ San Luis Obispo) Residential 55 dB (A) tagsüber, 45/50 dB (A) nachts. Für kurze Betriebszeiträume kann um bestimmte Werte abgewichen werden (z.B. 5 dB (A) für 15 Minuten pro Stunde)	Noise Control Act schreibt je nach Gebietsklasse und Tageszeit Grenzwerte von 36-47 dB(A) für Frequenzen von 20-200 Hz vor. Für den Bereich bis 20 kHz gilt eine Grenze von 50 dB(A) tags und 40 dB(A) nachts. Für die Bauphase gelten höhere Grenzwerte.
Abstands- regeln	BauGB § 249 Sonderregelungen zur Windenergie: Der von den Ländern vorgeschriebene Mindestabstand zu WKA darf maximal 1000 m betragen.	Code de l'environnement L553-1: Mindestens 500 m zu Wohngebäuden Arrêté du 26 août 2011: Abstand zu Radaranlagen	Abstände basierend auf Turmhöhe und/oder Rotordurchmesser, variierend zwischen den jeweiligen Counties	Abstände werden von den lokalen Behörden individuell festgelegt.

	Deutschland	Frankreich	USA	Taiwan
Schattenwurf	WEA-Erlass 15 Kapitel 5.2.1.3: 30 h/a und 30 min/d	Article No 5 Arrêté du 26 août 2011: Schattenwurfgutachten bei weniger als 250m Abstand zu Gebäude Grenzwerte: 30 h/a und 30 min/d	30h/a und 30min/d	n.a.
Ökologie	§44 BNatSchG: Schutz geschützter Arten	Code de l'environnement L411-1	Vorgaben durch CEQA, Vogelschutz ein sehr wichtiges Thema, viele Vorschriften und Listen geschützter Arten	Offshore 1000 m Abstand zu Delfinen und Brutstätten
Flugsicherheit	ICAO, EASA, NAA, CAA §14 LuftVG: Bauwerke über 100m bedürfen Zustimmung der Luftfahrtbehörde §18 LuftVG: Flugsicherheitseinrichtungen dürfen nicht gestört werden	ICAO, EASA, NAA, CAA R.244-1 Code de l'aviation civile	FAA CFR, Title 14, Chapter I, Subchapter E, Part 77 Safe, Efficient Use, and Preservation of the Navigable Airspace Kabelgebundene Fluggeräte werden nicht den unbemannten Fluggeräten zugeordnet.	Aviation Safety Opinion Letter
Kennzeichnung	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen Kontakt mit zuständigen zivilen und militärischen Luftfahrtbehörden empfehlenswert	Kontakt mit zuständigen zivilen und militärischen Luftfahrtbehörden empfehlenswert	Vorgaben werden aktuell von der FAA erarbeitet.	Hindernisfeuer und Markierungen in der Zuständigkeit des MOTC - Verkehrsministerium und Kommunikation in Verbindung mit dem MOI – Innenministerium

## 2.2 Wichtigste Position des zahlenmäßigen Nachweises

Die in der Gesamtvorkalkulation für Personalkosten (0837), Reisekosten (0838) und sonstige unmittelbare Vorhabenkosten (0850) veranschlagten Mittel sind in der nachfolgenden Tabelle der Ist-Kosten der Gesamtnachkalkulation gegenübergestellt.

<b>Position</b>		<b>Vorkalkulation</b>	<b>Nachkalkulation</b>
0837	Personalkosten	58.797,00	79.695,37
0838	Reisekosten	6.036,00	1.614,82
0850	Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	52.500,00	53.350,00
<b>Gesamtsumme</b>		<b>117.333,00</b>	<b>134.660,19</b>

Mit den ursprünglichen Stundensätzen hatte sich in der Nachkalkulation für die Pos. 0837 aus dem SAP-Projektkonto ein Wert von 63.360,57 € ergeben. Die Kostenüberschreitung in Pos. 0837 ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass sich die zu veranschlagenden Stundensätze (und insbesondere die Gemeinkostenzuschläge) ggü. den Planzahlen aus dem Jahr 2017 signifikant erhöht haben. Darüber hinaus waren in der ursprünglichen Kalkulation auch keine Tarifsteigerungen berücksichtigt.

Bedingt durch die CORONA-Krise konnten viele Projekttreffen nur online stattfinden, so dass dafür keine Reisekosten angefallen sind. Der Besuch internationaler Konferenzen war ebenfalls eingeschränkt, so dass in Pos. 0838 insgesamt deutlich weniger Reisekosten beansprucht wurden. Gleichzeitig sind online-Abstimmungsprozesse oft zeitintensiver als persönliche Treffen mit allen Beteiligten, so dass auch hierdurch der Personalaufwand etwas angestiegen ist.

Die Abstimmung des von DNV GL erstellten Berichts hat deutlich mehr Zeit erfordert als ursprünglich erwartet worden war. Bis zur finalen Fassung sind 8 Berichtsversionen kommentiert und diskutiert worden. Dafür wurde bei DNV GL ein Mehraufwand von 850 € anerkannt.

## 2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Nach wie vor gibt es nach unserem Kenntnisstand weltweit keine einzige kommerzielle Flugwindkraftanlage mit einer regulären unbefristeten Betriebsgenehmigung, was womöglich auch auf die Komplexität und die Kosten solcher Verfahren zurückzuführen ist.

Die reinen Verwaltungsgebühren richten sich regelmäßig nach dem behördlichen Aufwand, aber auch nach den wirtschaftlichen Interessen des Antragstellers (gemessen an den prognostizierten Baukosten). Im Unterschied dazu richten sich die Kosten für notwendige Gutachten nur nach dem Aufwand – unabhängig von der Anlagen-/Parkgröße. Insofern sind Genehmigungsprozesse für kleine Einzelanlagen spezifisch immer teurer als für große Anlagen oder Parks. Die Kosten für Genehmigungsverfahren einschließlich Gutachten etc. kann bei größeren Projekten mehrere Millionen Euro betragen. Dieser systematische Nachteil kann ggf. ausgeglichen werden, wenn Flugwindkraftanlagen universell einsetzbar werden und möglichst viele verschiedenen Genehmigungsanforderungen „einhüllend“ abdecken.

Eine frühzeitige Analyse weltweiter Genehmigungsverfahren (bereits vor der Entwicklung leistungsstärkerer Anlagen) ist deshalb gut investiertes Geld, auch um sich mit grundsätzlichen Besonderheiten in den Genehmigungsverfahren anderer Länder vertraut zu machen. Für diese Erkenntnisse ist die Konsultation zahlreicher Experten notwendig, bspw. auch zu Fragen der

Luftraumsicherheit. Die Bündelung dieser Interviews bei einem einschlägigen Zertifizierungs- und Beratungsunternehmen hat sich als vorteilhaft erwiesen. Im Vergleich mit den späteren Kosten für kommerzielle Genehmigungsverfahren erscheint der Forschungsaufwand i.H.v. 117 T€ in diesem Forschungsprojekt eher bescheiden.

## 2.4 Nutzen und Verwertbarkeit, insbesondere im Hinblick auf den fortgeschriebenen Verwertungsplan

Die Arbeit in diesem Vorhaben hat zu wichtigen Erkenntnissen geführt, die sicher über Skysails hinaus der gesamten FWKA-Branche weiterhelfen. Für die weitere Kommerzialisierung als Beitrag zu Energiewende müssen aus unserer Sicht drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- (1) Die Normung (bspw. in der IEC 61400-Reihe) muss auf die spezifischen Belange von FWKA eingehen, so dass eine schlanke Zertifizierung und Genehmigung ohne Sondernachweise möglich sein wird.
- (2) Für die Kommerzialisierung und für einen wirksamen Beitrag zur Energiewende muss sich ein vollständiges FWKA-„Ökosystem“ bilden, das aus mehreren Herstellern und jeweils mehreren Zulieferern für einzelne Komponenten (Winde, E-Maschine, Seile, Fluggerät/Kite, Steuerung ...) besteht.
- (3) Auch konventionelle WKA werden heute fast nur noch in Gruppen gebaut, weil die Projektentwicklung & Genehmigung für Einzelanlagen kaum wirtschaftlich ist. Über erste Nischenanwendungen kleiner Maschinen hinaus muss eine Skalierung hin zu Multi-MW-Anlagen und FWKA-Parks stattfinden.

Vor diesem Hintergrund wird die EnBW die weitere Entwicklung der Branche sowie den technischen Fortschritt einzelner Hersteller aufmerksam beobachten, um mit den hier erarbeiteten Erkenntnissen zum richtigen Zeitpunkt in die Kommerzialisierung einzusteigen. Die Beteiligung an einem Projekt zur Realisierung einer 1MW-offshore-Anlage wird konkret geprüft.

## 2.5 Fortschritt auf dem Forschungsgebiet an anderen Stellen

**DNV GL** hat 2017 im Auftrag des amerikanischen Startups Makani eine Zertifizierung des Makani Energy Kite durchgeführt. DNV GL hat dazu eine interne Richtlinie „DNVGL-SE-0441“ vom Juni 2016 verwendet, die auf der Norm ISO 61400 Teil 22 aufbaut. Makani hat die Untersuchungsergebnisse von DNV GL im September 2020 veröffentlicht. Nachdem die einschlägigen Normen für Windenergieanlagen nicht 1:1 auf Flugwindkraftanlagen übertragen werden können, nutzt DNV GL eine Klassifizierung einzelner Technologien in 4 Stufen:

- (1) „no new technical challenges“
- (2) „new technical uncertainties“
- (3) „new technical challenges“
- (4) „demanding new challenges“

DNV GL hat sich bspw. die verwendeten „simulation tools“ angeschaut (ASWING, CSIM, STAR-CCM+, NASTRAN, RCAS, Kite-FAST, in-house MATLAB Codes, XFOIL, MSES, VSAERO) und dies der Stufe 4 zugeordnet. DNV GL kommt zu dem Ergebnis, dass die Codes zum Teil hinlänglich bekannt sind, aber die in-house Codes einer Validierung bedürfen. Auf diese Weise wurden insgesamt rd. 100 Punkte diskutiert und tabellarisch dokumentiert. Damit ist klar, wie die Zertifizierung einer prototypischen FWKA auch ohne einschlägige Standards durchgeführt werden kann. Gleichzeitig ist mit der Validierung einzelner Codes ein hoher Aufwand verbunden,

so dass die Typenzertifizierung auf dieser Basis sehr aufwändig und teuer wird und einer Kommerzialisierung entgegensteht. Schließlich muss hier aber auch berücksichtigt werden, dass DNV GL als Zertifizierer ein Eigeninteresse an komplexen Zulassungsverfahren hat.

**NREL** (J. Weber et al) hat unter dem Titel „Airborne Wind Energy“ im August 2021 eine Art AWE-Roadmap veröffentlicht. Demnach beträgt das AWE-Potenzial allein in den USA zwischen 1600 und 92.000 TWh. Die Arbeit soll in enger Abstimmung mit der neuen IEA Wind TCP Task 48 „Airborne Wind Energy“ erfolgen. NREL hat einen 10-Jahresplan für die F&E-Aktivitäten vorgeschlagen:

- In den ersten 4 Jahren sieht NREL noch erheblichen Bedarf an Grundlagenforschung zu kritischen Fragen in den Bereichen Aerodynamik, Steuerung, Werkstoffe, Standortwahl, Kosten, Leistungs- und Machbarkeitsfaktoren, Umweltfragen, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Systemdynamik, Steuerung, Flugoptimierung und gesellschaftlicher Akzeptanz.
- Mittelfristig wird die Einrichtung einer IEC Arbeitsgruppe empfohlen, die Standards entwickeln soll: „Zweck dieser Konstruktionsanforderungen ist die Festlegung eines angemessenen Sicherheitsniveaus gegen Schäden durch alle zu erwartenden Gefahren während der geplanten Lebensdauer jeder AWE-Einheit.“
- Langfristig (2027-2031) ist die „Finanzierung der Entwicklung von Demonstrationsprojekten in kommerziellen Märkten, in denen die ersten Anwender tätig sind, wie z. B. in abgelegenen Gemeinden, in der Landwirtschaft, bei Microgrids und bei fortschrittlichen Versorgungsunternehmen“ vorgesehen.

Zur Einordnung der NREL-Punkte muss sicher berücksichtigt werden, dass NREL auch ein hohes Eigeninteresse an Forschungsaufgaben hat.

Die Fa. **IBL auf Mauritius** hat Ende 2020 eine erste Anlage für den kommerziellen Netzeinspeisebetrieb von Skysails erworben. Nach dem Vorbild der Genehmigungsunterlagen für den Standort Klixbüll ist von den Behörden auf Mauritius eine befristete Betriebsgenehmigung erteilt worden. Falls sich die Anlage im Betrieb bewährt, soll die Genehmigung von den Behörden auf Mauritius in eine zeitlich unbefristete Genehmigung umgewandelt werden. Damit wird die Pilotanlage auf Mauritius voraussichtlich die weltweit erste kommerzielle Flugwindkraftanlage mit einer zeitlich unbefristeten Betriebsgenehmigung werden.

## 2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die Erkenntnisse werden in die neu gegründete IEA Wind TCP Task 48 einfließen.

Schall- und Avifauna-Untersuchungen sind von SkyPower100 an Helena Schmidt (Arbeitsgruppe von Prof Schmehl an der TU Delft) zur Nutzung in einem Forschungsprojekt zum Thema „Social Acceptance of AWES“ weitergegeben worden.

Der Abschlussbericht steht auf der Projekt-Internetseite zum Download zur Verfügung:

<https://www.skypower100.de/deutsch/news/>

## 2.7 Quellen & weiterführende Literatur

- (1) 「臺歐離岸風電驗證研討會」 14 日精彩登場 標準檢驗局：規劃引進國外離岸風電驗證技術服務. (14. 3 2018)
- (2) 14 CFR Part 77 - SAFE, EFFICIENT USE, AND PRESERVATION OF THE NAVIGABLE AIRSPACE. (kein Datum). <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/part-77>

- (3) *30 CFR Part 585 - RENEWABLE ENERGY AND ALTERNATE USES OF EXISTING FACILITIES ON THE OUTER CONTINENTAL SHELF.* (o.D.). <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/30/part-585>
- (4) *33 CFR Part 67 - AIDS TO NAVIGATION ON ARTIFICIAL ISLANDS AND FIXED STRUCTURES.* (kein Datum). Von <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/33/part-67>
- (5) *50 CFR § 22.26 - Permits for eagle take that is associated with, but not the purpose of, an activity.* (kein Datum). Von <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/50/22.26>
- (6) Advisory Circular 150/5345-43G Specification for Obstruction Lighting Equipment. (26. 9 2012). *U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration*
- (7) Advisory Circular 70/7460-1 Obstruction Marking and Lighting. (4. 12 2015). *U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration*
- (8) Agatz, M. (2017). *Windenergie Handbuch*. 14.Auflage, Gelsenkirchen: Eigenverlag.
- (9) Agatz, M. (2020). *Windenergie Handbuch*. 17.Auflage, Gelsenkirchen: Eigenverlag.
- (10) [windenergie-handbuch.de/wp-content/uploads/2021/03/Windenergie-Handbuch-2020.pdf](http://windenergie-handbuch.de/wp-content/uploads/2021/03/Windenergie-Handbuch-2020.pdf), zuletzt geprüft am 22.06.2021
- (11) *Arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne* (o.D.) <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000036868993/2019-02-01/>
- (12) *Arrêté du 26 août 2011.* (kein Datum). Von *relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protecti:* <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000024507365/>
- (13) *AVV zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen.* (kein Datum). Von [http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_24042020\\_LF15.htm](http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_24042020_LF15.htm)
- (14) AWEA Offshore Compliance Recommended Practices. (16. 9 2012). *American Wind Energy Association.*
- (15) *Baugesetzbuch.* (kein Datum). Von <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/>
- (16) Bagaber, B., Wang, X., Mertens, A. (2021) Particle Swarm Optimization for Synchronizing Multiple Pumping-Cycle AWES and the Implications on Wind Park Area, Energy Storage Systems and Power Electronics Requirements for Grid Integration, WESC 2021, Hanover
- (17) Bergmann, A. (2015). *Windenergieanlagen*, VDE-Schriftenreihe 158, Erläuterungen zu den Normen der Reihe DIN EN 61400 (VDE 0127) und DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-16) unter Berücksichtigung der VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4105 und weiterer Regelwerke. VDE
- (18) *BImSchG §10.* (kein Datum). Von [https://www.gesetze-im-internet.de/bimSchG/\\_\\_\\_10.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimSchG/___10.html)
- (19) *BImSchG §19.* (kein Datum). Von [https://www.gesetze-im-internet.de/bimSchG/\\_\\_\\_19.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimSchG/___19.html)
- (20) *BImSchG §9.* (kein Datum). Von [https://www.gesetze-im-internet.de/bimSchG/\\_\\_\\_9.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimSchG/___9.html)
- (21) BOEM. (12 2016). *Potential Offshore Wind Energy Areas in California: An Assessment of Locations, Technology, and Costs*
- (22) Boutten, S., & DREAL. (2018). *ICPE Eoliennes terrestres.*
- (23) BSMI Seminar on certification. (29. 11 2018)
- (24) *Bundesartenschutzverordnung.* [https://www.gesetze-im-internet.de/bartschv\\_2005/](https://www.gesetze-im-internet.de/bartschv_2005/)
- (25) *Bundesnaturschutzgesetz.* [https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/](https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/)
- (26) *Cal. Code Regs. tit. 14 § 783.2.* <https://casetext.com/regulation/california-code-of-regulations/title-14-natural-resources/division-1-fish-and-game-commission-department-of-fish-and-game/subdivision-3-general-regulations/chapter-6-regulations-for-implementation-of-the-california-endanger>
- (27) California Energy Commission; California Department of Fish and Game. (2007). *California Guidelines for Reducing Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development.*
- (28) *Code de la construction et de l'habitation.* (kein Datum). Von [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte\\_lc/LEGITEXT000006074096/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074096/) abgerufen

- (29) *Code de l'aviation civile*. (kein Datum). Von [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte\\_lc/LEGITEXT000006074234](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074234) abgerufen
- (30) *Code de l'énergie*. (kein Datum). Von [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte\\_lc/LEGITEXT000023983208](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000023983208) abgerufen
- (31) *Code de l'environnement*. (kein Datum). Von [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte\\_lc/LEGITEXT000006074220/2020-09-24/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074220/2020-09-24/)
- (32) *Code de l'urbanisme*. (kein Datum). Von [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte\\_lc/LEGITEXT000006074075/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074075/)
- (33) *Décret n° 2011-984 du 23 août 2011 modifiant la nomenclature des installations classées*. (kein Datum). Von <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000024497202/> abgerufen
- (34) *Décret n° 2011-985 du 23 août 2011 pris pour l'application de l'article L. 553-3 du code de l'environnement*. (kein Datum). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000024497213>
- (35) *Décret n°2004-835 du 19 août 2004*. (kein Datum). Von relatif aux servitudes d'utilité publique prévues par l'article 12 bis de la loi du 15 juin 1906 sur les distributions d'énergie.: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000440553/2020-11-27/>
- (36) Deutsches Wirtschaftsbüro Taipei; Mittelstand Global - Exportinitiative Energie. (2019). *Taiwan - Offshore-Windenergie*. Taipei: DEInternational Taiwan Ltd.
- (37) DNV GL SE 0441; Service Specification; Type and component certification of wind turbines, Edition June 2016
- (38) DIN EN 61400-22. (kein Datum). „*Windenergieanlagen – Teil 22: Konformitätsprüfung und Zertifizierung (IEC 61400-22:2010, deutsche Fassung EN 61400-22:2011)*“.
- (39) Echeverri, P. (September 2020). The Energy Kite - Selected Results from the Design, Development and Testing of Makani's Airborne Wind Turbines Part III, Technical Artifacts, Makani Technologies LLC.
- (40) Energiewendegesetz. (17. August 2015). Von <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385&categorieLien=id>
- (41) *Energiewirtschaftsgesetz*. (kein Datum). Von [https://www.gesetze-im-internet.de/enwg\\_2005/](https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/)
- (42) *Erneuerbare-Energien-Gesetz*. (kein Datum). Von [https://www.gesetze-im-internet.de/eeg\\_2014/](https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/)
- (43) FAA. (28. Juli 2019). *FAA Regulations and Guidelines*. Von [https://www.faa.gov/air\\_traffic/flight\\_info/aeronav/obst\\_data/structuretypes/](https://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/aeronav/obst_data/structuretypes/) abgerufen
- (44) *Fish and Game Code, Chapter 1.5. Endangered Species § 2081*. (kein Datum). Von [http://leginfo.legislature.ca.gov/faces/codes\\_displaySection.xhtml?sectionNum=2081.&lawCode=FGC](http://leginfo.legislature.ca.gov/faces/codes_displaySection.xhtml?sectionNum=2081.&lawCode=FGC)
- (45) Frohböse, P. (2020) SKYPOWER100, Technical Review of Consent Schemes for Airborne Wind Energy Systems, DNV GL Report 10164056-ECME-R-01, Rev. H, im Auftrag der EnBW AG, vertraulich
- (46) Fröding, V. (Februar 2012). The ICPE Reform in France - Classification of Wind Turbines as Environmentally Hazardous Facilities. *DEWI Magazin No. 40*.
- (47) frz. Baugesetzbuch. (kein Datum). Von <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074075>
- (48) frz. Zivilluftfahrtgesetzbuch. (kein Datum). Von <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074234>
- (49) Haland, A. (2018). *Testing of Kitemill's Airborne Wind Energy System at Lista, Norway. Assessing the impacts on birds. A pilot study*. Bergen, Norway

- (50) IEA Wind Task 48 “Airborne Wind Energy”, Kick-off Meeting (online), 27-28 Oktober 2021, ppt-presentation
- (51) JARUS. (2017). *Doc. 6 - JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)*.
- (52) K&L Gates; SNC-Lavalin Atkins. (2018). *Offshore Wind Handbook*.
- (53) *Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire*, (o.D.) <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000819043/2020-11-27/>
- (54) *LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010*. (kein Datum). Von portant engagement national pour l'environnement: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022470434/2020-11-27/>
- (55) *LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte*. (kein Datum). Von <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000031044385/>
- (56) *Luftverkehrsgesetz*. (kein Datum). Von <https://www.gesetze-im-internet.de/luftvg/>
- (57) Ministerium für Ökologie, Energie, nachhaltige Entwicklung und das Meer. (2010). *Handbuch für die Umweltverträglichkeitsprüfung von Windparks*.
- (58) *Ministry of Foreign Affairs, Republic of China (Taiwan)*. (2019). Von <https://www.mofa.gov.tw/enigo/cp.aspx?n=DA453B2821FF0C19>
- (59) *NEPA 40 CFR §§ 1500-1508*. (kein Datum). Von <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-id.x?tpl=/ecfrbrowse/Title40/40chapterV.tpl>
- (60) *Richtlinie 2004/108/EG*. (kein Datum). Von des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit und zur Aufhebung der Richtlinie 89/336/EWG: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32004L0108>
- (61) *Richtlinie 2006/42/EG*. (kein Datum). Von des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0042>
- (62) *Richtlinie 2006/95/EG*. (kein Datum). Von des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen (kod. Fassung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:32006L0095>
- (63) *Richtlinie 2009/147/EG*. (kein Datum). Von des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0147>
- (64) *Richtlinie 93/68/EWG des Rates vom 22. Juli 1993*. (kein Datum). Von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A31993L0068>
- (65) *Richtlinie 97/23/EG*. (kein Datum). Von des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A31997L0023>
- (66) Salma V, F. F. (2020). Improving reliability and safety of airborne wind energy systems. *Wind Energy*.
- (67) *Sanluisobispo* (28.07.2019) <https://www.sanluisobispo.com/news/local/article228249684.html>
- (68) Schmehl, R. (2018). *Airborne Wind Energy*. Springer
- (69) *Seeanlagengesetz*. (kein Datum). Von <https://www.gesetze-im-internet.de/seeanlg/BJNR234800016.html>
- (70) Shih, P.-H., Wu, K.-T., & Yeh, J.-H. (kein Datum). The Environment Impact Assessment of Renewable Energy in Taiwan. Von [http://fijianstudies.net/wp-content/uploads/FS/9\(1\)/7-taiwan.pdf](http://fijianstudies.net/wp-content/uploads/FS/9(1)/7-taiwan.pdf)
- (71) *SkySails (2020). Raumbedeutsamkeit des Skysails AWES Stellungnahme, 22.12.2020*
- (72) *SkySails (2021). Optische Immissionen von AWES Allgemeine Beschreibung, 25.08.2021*

- (73) *Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm*. (kein Datum). Von [https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwwvbund\\_26081998\\_IG19980826.htm](https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwwvbund_26081998_IG19980826.htm)
- (74) The National Association of Regulatory Utility Commissioners. (2012). *Wind Energy & Wind Park Siting and Zoning*
- (75) Title 30, Chapter V, Subchapter B, Part 585: renewable energy and alternate uses of existing facilities on the outer continental shelf. (kein Datum). *U.S. Code of Federal Regulations*
- (76) Title 33, Chapter I, Subchapter C, Part 67: aids to navigation on artificial islands and fixed structures. (kein Datum). *U.S. Code of Federal Regulations*
- (77) Tu, T.-H. (11. November 2016). Evaluation for noise induced by Wind Turbine Generator. APMP 4th Workshop, Vietnam
- (78) U.S. Environmental Protection Agency of Noise Abatement and Control. (1974). *Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety*
- (79) *UVPG §3*. (kein Datum). Von [https://www.gesetze-im-internet.de/uvpg/\\_3.html](https://www.gesetze-im-internet.de/uvpg/_3.html)
- (80) *Verordnung (EU) 2016/1388 der Kommission vom 17. August 2016 zur Festlegung eines Netzkodex für den Lastanschluss*. (kein Datum). Von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32016R1388>
- (81) *Verordnung (EU) 2016/425*. (kein Datum). Von des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32016R0425>
- (82) *Verordnung (EU) 2016/631 der Kommission vom 14. April 2016 zur Festlegung eines Netzkodex mit Netzanschlussbestimmungen für Stromerzeuger*. (kein Datum). Von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0631>
- (83) *Verordnung (EU) 2017/2196 der Kommission vom 24. November 2017 zur Festlegung eines Netzkodex über den Notzustand und den Netzwiederaufbau des Übertragungsnetzes*. (kein Datum). Von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32017R2196>
- (84) *Verordnung 0198 vom 26. August 2011*. (kein Datum). Von <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000024507365&categorieLien=id>
- (85) Weber, J. et al. (2021) *Airborne Wind Energy*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5000-79992. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/79992.pdf>
- (86) *Windenergie-auf-See-Gesetz*. <http://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/> (ohne Datum)
- (87) 全國法規資料庫. (kein Datum).
- (88) 採購案名稱：離岸風電海事工程危害分析及管理規範探討. (7. 3 2018).
- (89) 離岸風力發電規劃場址容量分配作業要點 - Directions for Allocating Installed Capacity of Offshore Wind Potential Zones. (kein Datum).
- (90) 離岸風力發電規劃場址申請作業要點. (2. 7 2015)