

BRANDRISIKOGUTACHTEN

Bewertung des Risikos
durch Brand von Windkraftanlagen im Wald



Im Zuge dieses Gutachtens erfolgt eine Bewertung des Risikos durch mögliche Brandfälle von Windkraftanlagen in Waldgebieten. Genehmigungsrechtlich wird die Gefährdung infolge Brand sowohl für Leben und Gesundheit von Menschen als auch für dingliche Rechte (Sachwerte und Grundeigentum) bewertet. Dabei wird untersucht, ob das gesellschaftlich anerkannte (alltägliche) Risiko überschritten wird. Die dabei zugrunde gelegte Betrachtungsperspektive ist ein ‚Brandfall nach außen‘, also ein Brand, der sich auf die Umgebung der WKA z.B. durch herunterfallende, brennende Anlagenteile ausbreitet.

Auftraggeber: IG Windkraft Österreich
Wiener Straße 19
3100 St. Pölten

Kontakt: Mag. Stefan Moidl

Auftragnehmer: Energiewerkstatt
Technisches Büro und Verein zur Förderung erneuerbarer Energie
Heiligenstatt 24
5211 Friedburg/Austria
Tel.: +43 7746 28212
office@energiewerkstatt.org

Ansprechpartner: DI Andreas Krenn
ak@energiewerkstatt.org
Tel.: +43 7746 28212-17

Verfasser: DI Andreas Krenn, DI Johannes Klappacher
Prüfung: Mag. Hans Winkelmeier

Revision Nr. 01

Friedburg, 7. Oktober 2015



DI Andreas Krenn



Mag. Hans Winkelmeier

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
2.	Kurzbeschreibung	5
3.	Aufgabenstellung.....	7
4.	Brandschutz von Windkraftanlagen	9
4.1.	Mögliche Ursachen von Gondelbränden	9
4.2.	Brandlasten in Windkraftanlagen	9
4.3.	Maßnahmen zur Brandvermeidung	10
4.3.1.	Konstruktiver Brandschutz.....	11
4.3.2.	Maßnahmen zur Störungsüberwachung.....	12
4.3.3.	Automatische Löschsyste me	13
4.4.	Brandschutztechnische Merkmale der aktuellen Windkraftanlagetechnik	16
4.4.1.	Allgemeine Unterscheidungsmerkmale der vier untersuchten Baureihen.....	16
4.4.2.	Triebstrang und elektrisches Konzept VESTAS 3.3 MW.....	18
4.4.3.	Triebstrang und elektrisches Konzept SENVION 3.x MW	19
4.4.4.	Triebstrang und elektrisches Konzept ENERCON 3.0 MW	20
4.4.5.	Triebstrang und elektrisches Konzept SIEMENS 3.x MW	21
4.5.	Bewertung der brandschutztechnischen Maßnahmen an den aktuellen Baureihen	22
5.	Risikoanalyse	24
5.1.	Datengrundlage zur Wahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes	24
5.1.1.	Gesammelte weltweite Medienberichte von CWIF	25
5.1.2.	Gesammelte deutsche & österreichische Medienberichte auf Wikipedia.....	25
5.1.3.	Gesammelte weltweite Medienberichte der Bürgerinitiative Gegenwind-Vogelsberg	26
5.1.4.	Landtag Nordrhein-Westfalen zur Situation in Deutschland.....	26
5.1.5.	Vorfälle in Österreich	27
5.2.	Aus Datenquellen ausgewertete Wahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes	28
5.3.	Waldbrandwahrscheinlichkeit nach einem Gondelbrand.....	30
5.4.	Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen	32
5.5.	Schadensausmaß	34
5.5.1.	Todesfall	34
5.5.2.	Sachschaden	34
6.	Risikobewertung.....	35
6.1.	Grenzwerte für die akzeptierte Risikobelastung	35
6.1.1.	Akzeptiertes Todesfallrisiko für betriebsfremde Personen	35
6.1.2.	Akzeptiertes Todesfallrisiko für Wartungspersonal	36
6.1.3.	Akzeptiertes Sachrisiko für unbeteiligte Personen	36
6.2.	Ermittlung des Todesfallrisikos durch Brände von WKA im Wald	37
6.2.1.	Direktes Todesrisiko für Unbeteiligte durch herabfallende Teile	38
6.2.2.	Direktes Todesfallrisiko für Wartungspersonal	38
6.2.3.	Indirektes Todesfallrisiko durch Waldbrand.....	38
6.3.	Ermittlung des Sachrisikos durch Waldbrand	40

7.	Ergebnisbewertung und empfohlene Maßnahmen	42
7.1.	Alarm- und Brandschutzpläne.....	42
7.2.	Automatische Brandlöscheinrichtungen	43
8.	Verweise.....	44
8.1.	Literaturverzeichnis	44
8.2.	Abbildungsverzeichnis	46
8.3.	Tabellenverzeichnis	46

1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Selbst bei den bisher in Deutschland und Österreich eingesetzten Anlagentypen, die nicht dem neusten Stand der Technik entsprechen, liegt das Gesamtrisiko für betriebsfremde Personen und für das Wartungspersonal, durch einen Gondelbrand an einer Windkraftanlage (WKA) im Wald zu Schaden zu kommen deutlich unter den jeweiligen, konservativen und gesellschaftlich akzeptierten Grenzwerten. Dies gilt ebenso für das Sachrisiko infolge eines möglichen Waldbrandes durch WKA.

2. Kurzbeschreibung

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens wird eine umfassende Bewertung des Risikos infolge eines Gondelbrandes an einer Windkraftanlage (WKA) im Wald vorgenommen.

Im Anschluss an die Beschreibung der Aufgabenstellung werden in Kapitel 3 die Brandursachen und -lasten für WKA allgemein beschrieben. Dabei wird auf die für einen Gondelbrand relevanten Merkmale im Aufbau der Anlage und der Anlagentechnik eingegangen. Des Weiteren findet sich hier eine detaillierte Betrachtung der vier, in Österreich primär verwendeten WKA-Baureihen. Als wesentliche Kernaussage aus diesem Kapitel kann abgeleitet werden, dass die brandschutztechnischen Standards moderner WKA mindestens jenes Niveau erreichen, welches auch für ältere Anlagentypen gilt. Somit hat eine Risikobetrachtung anhand der Brandwahrscheinlichkeit für die in der Vergangenheit eingesetzten WKA auch Gültigkeit für aktuell eingesetzte Anlagentypen.

In dieser Hinsicht wird im darauffolgenden Abschnitt als wesentlicher Input für die Risikoanalyse die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes an einer WKA dargestellt. Da keine offiziellen Statistiken für Gondelbrände existieren, dienten neben Publikationen vor allem Datenbanken mit gesammelten Medienberichten als Grundlage. Aufgrund der erheblich größeren Turbinenanzahl und längerer Erfahrungszeiträume wurde primär auf die Zahlen aus Deutschland zurückgegriffen, und darauf aufbauend eine detaillierte Statistik zu Gondelbränden in den letzten elf Jahren erstellt. Dabei ergibt sich für Deutschland eine, vom Trend her leicht sinkende, Wahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes von 0,17‰ pro Anlage und Jahr.

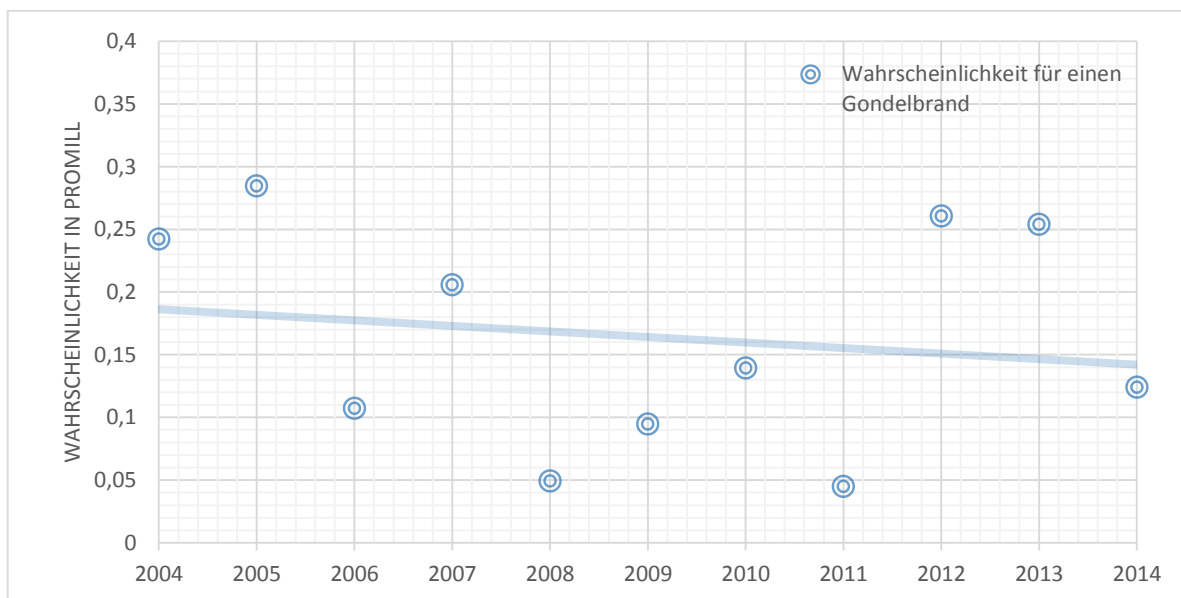


Diagramm 1: Eintrittswahrscheinlichkeit für einen Gondelbrandes in Deutschland in Promille pro Anlage und Jahr von 2004-2014 mit Trendlinie

Um einen konservativen Wert für die Wahrscheinlichkeit von Gondelbränden zu erhalten, wurden auch eventuelle Dunkelziffern mit berücksichtigt. Die sich ergebende und im Gutachten verwendete Brandwahrscheinlichkeit beträgt so 0,34 Promille pro Anlage und Jahr.

Neben der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes wurde bewertet, in wie vielen Fällen ein Waldbrand infolge eines Gondelbrandes ausgelöst wird. Hierbei wurde neben den Hemmnissen für unmittelbare Löscharbeiten am Brandherd auch die zum Brandzeitpunkt herrschende Waldbrandgefahr berücksichtigt. Darauf aufbauend konnte die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gondelbrand auf den Baumbestand übergreift, mit 50% bestimmt werden.

Als weiterer wesentlicher Faktor wurde die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von betriebsfremden Personen (Passanten, Spaziergänger, Waldarbeiter,...) sowie von Wartungspersonal im möglichen Gefahrenbereich ermittelt. In diesem Zusammenhang wurde einerseits der Bereich unterhalb der WKA mit einem Radius von 150m untersucht, da dieser eine direkte Gefahr für Personen durch herunterfallende, brennende Teile darstellt. Andererseits wurde ein zweiter, indirekter Gefährdungsbereich mit einem Radius von 500m analysiert, für den im ungünstigsten Fall ein Waldbrand angenommen werden muss. Für diese beiden Zonen wurde - ausgehend von Durchschnittswerten für den normalen Betriebsfall - abgeschätzt, welche Aufenthaltswahrscheinlichkeiten während eines Brandereignisses realistisch sind.

Anhand der Eintrittswahrscheinlichkeiten für einen Gondelbrand bzw. eines daraus resultierenden Waldbrandes sowie der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen, lässt sich sowohl für den direkten Gefährdungsbereich unter der WKA als auch für den erweiterten, indirekten Gefährdungsbereich im Umkreis von 500m ein Todesfallrisiko errechnen. Dieses wird getrennt für betriebsfremde Personen und Betriebspersonal ermittelt und mit Grenzwerten des akzeptierten Todesfallrisikos verglichen, wobei für beide Grenzwerte jeweils ein weiterer zusätzlicher Sicherheitskoeffizient von Faktor 0,1 berücksichtigt wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 angeführt.

Ermittelte Todesfallrisiken pro Jahr		Grenzwerte (inkl. Sicherheitskoeffizient)
Für betriebsfremde Personen	$1,98 * 10^{-7}$	$1 * 10^{-6}$
Für Wartungspersonal (In und um die WKA)	$5,36 * 10^{-7}$	$1 * 10^{-5}$

Tabelle 1: Ermitteltes Todesfallrisiko pro WKA und Jahr mit Grenzwerten für betriebsfremde Personen und für Wartungspersonal

Ergänzend zu den Untersuchungen zum Todesfallrisiko wurde auch das Gefährdungspotential für dingliche Rechte betriebsfremder Personen (i.e. Sachrisiko) bewertet. Für eine allgemeingültige Betrachtung wurde davon ausgegangen, dass nur der Waldbestand als relevanter Sachwert gefährdet ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 angeführt.

Ermitteltes Sachrisiko (Schaden durch möglichen Waldbrand)	Grenzwert	
Baumbestand im gesamter Gefahrenbereich (r<500m)	153,5 €	1.160 €

Tabelle 2: Ermitteltes Sachrisiko für das Eigentum „Wald“ pro WKA und Jahr

3. Aufgabenstellung

Der steigende Energiebedarf und der gesellschaftliche wie auch politische Wille der Klimaerwärmung entgegenzutreten, bringen einen jährlichen Anstieg an installierten Windkraftanlagen mit sich. Eine bessere Anlagentechnologie mit größeren Turmhöhen ermöglicht mittlerweile auch die Nutzung von Waldstandorten, womit die Anzahl an möglichen Standorten mit guten Windverhältnissen erheblich erweitert werden kann.

So steigen aber auch die Anforderungen der Behörden für das bisher genehmigungsrechtlich nicht relevante Risiko eines Gondelbrandes und seiner möglichen Folgen bei Standorten im Wald.

Brände von Windkraftanlagen sind bisher wenig untersucht und statistisch nicht umfassend erfasst. Möglich sind diese, da alle drei Komponenten des Verbrennungsdreiecks erfüllt sind, nämlich das Vorhandensein von Brennstoff, Sauerstoff und Wärme. Als Brennstoff können Windkraftanlagen Getriebeöl, Kabelisierungen und auch Kompositwerkstoffe beinhalten. Sauerstoffzufuhr gibt es durch den Wind, wobei die Zündung sowohl durch elektrische oder mechanische Teile als auch durch Blitzschlag und Heißenarbeiten erfolgen kann. Brennt die Gondel einer Windkraftanlage, gibt es wenige Möglichkeiten zur Eindämmung des Brandes durch die Feuerwehr. Die Anlage ist zu hoch, um sie mit Löschwerkzeugen zu erreichen, so bleibt nur der kontrollierte Abbrand.

Vor diesem Hintergrund geht das vorliegende Gutachten der Frage nach, wie hoch die tatsächliche Wahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes und das damit verbundene Risiko für Menschen und Sachgüter ist. Im ersten Abschnitt werden die mögliche Brandquellen und -lasten exemplarisch für vier, in Österreich primär verwendete WKA-Typen genauer beschrieben. Dabei wird auf die für einen Gondelbrand relevanten Unterschiede im Aufbau der Anlage und der Anlagentechnik eingegangen. In der anschließenden Risikoanalyse werden Eintrittswahrscheinlichkeiten, Schadensausmaß und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen im Gefahrenbereich ermittelt. Dabei werden sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Gondelbrandes wie auch eines eventuell daraus resultierenden Waldbrandes analysiert. Die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten erfolgt über die Auswertung von national und international recherchierten Daten. Aufbauend auf die Datengrundlage aus der Risikoanalyse erfolgt die Risikobewertung. Dafür werden das Todesfallrisiko und auch das Risiko für Sachwerte errechnet und anhand der Grenzwerte (allgemein akzeptiertes Todesfallrisiko sowie allgemein akzeptiertes Sachrisiko) beurteilt. Abschließend werden Empfehlungen zu weiterführenden Maßnahmen formuliert und eine Gesamtbewertung abgegeben.

Folgende Punkte werden im Rahmen dieses Gutachtens explizit nicht abgedeckt:

- Die erweiterte Gültigkeit des Gutachtens für WKA mit einer Leistung von $< 1,5$ MW und einem Rotordurchmesser < 70 m, für andere WKA-Hersteller als Vestas, Senvion, Siemens und Enercon sowie für WKA, die hinsichtlich des Brandschutzkonzeptes nicht dem Stand der Technik entsprechen.
- Anlagenspezifische Ausarbeitungen zu brandschutztechnischen Eigenschaften der jeweils in den Projekten geplanten Windkraftanlagen, wie Brennbarkeit der Baustoffe und mögliche Brandlasten, Schutzvorkehrungen zur Brandvermeidung usw.

Das Risikogutachten wurde nach folgenden Standards durchgeführt:

- ÖVE/ÖNORM EN 31010 „Risikomanagement Verfahren zur Risikobeurteilung“ Ausgabe: 2010-12-01, ÖVE/Komitee TK IT-EG Informationstechnik, Telekommunikation und Elektronik
- ÖVE/ÖNORM EN 61400-1 „Windenergieanlagen -- Teil 1: Auslegungsanforderungen“ 2011-09-01
- CENELEC Norm EN 50126, „Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS);“ Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung, 2010#
- ÖNORM EN ISO 12100-2 Sicherheit von Maschinen — Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze
- DIN EN ISO 14971 „Medizinprodukte – Anwendung des Risikomanagements auf Medizinprodukte“ 2013 → Anwendung des Risikomanagements hinsichtlich eines gesellschaftlich akzeptierten Todesfallrisikos
- ÖNORM EN 13501-1 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“
- ÖVE/ÖNORM EN 60076-11 „Leistungstransformatoren -- Teil 11: Trockentransformatoren“
- IEC 60332-1-2 „Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfaserkabeln im Brandfall“
- ÖBFV-RL VB-01 „Löschwasserversorgung“ Richtlinie des österreichischen Feuerwehrverbandes
- TVRB 121/15 "Brandschutzpläne für den Feuerwehreinsatz" Richtlinie des österreichischen Feuerwehrverbandes

4. Brandschutz von Windkraftanlagen

Die Technik von Windkraftanlagen hat in den letzten Jahrzehnten eine starke Weiterentwicklung erfahren. Wurden im Jahr 2000 erstmals Anlagen mit einer Leistung von einem Megawatt installiert, liegt die Durchschnittsleistung der aktuell in Österreich genehmigten Anlagen bereits im Bereich von drei Megawatt. Diese Weiterentwicklung hat auch den Brandschutz einbezogen, und so wird im folgenden Kapitel auf den aktuellen Stand der Anlagentechnik im Hinblick auf Brandursachen, Brandlasten und Brandschutzeinrichtungen an Windkraftanlagen eingegangen.

4.1. Mögliche Ursachen von Gondelbränden

Gondelbrände können an verschiedenen Komponenten in der Gondel der Windkraftanlage entstehen. Eine besondere Gefährdung für die Entstehung von Bränden geht von allen leicht entflammaren Bau- und Betriebsstoffen aus. Jedoch können auch Baustoffe mit normaler Entflammbarkeit (z.B. Kabelisolierungen, Kunststoffbauteile...) in Verbindung mit geeigneten Zündquellen eine Brandlast darstellen.

Als mögliche Zündquellen für Brände an Windkraftanlagen können genannt werden:

- **Mechanisches Versagen**
Entzündung von Fetten oder Ölen durch Hitzeentwicklung an beschädigten mechanischen Bauteilen (z.B. heiß gelaufene Lager oder überbeanspruchte Bremsen).
- **Blitzschlag**
Entzündung von leicht oder normal entflammaren Bauteilen durch Hitzeentwicklung nach Blitzeinschlägen.
- **Kurzschluss/Lichtbogen**
Entzündung von entflammaren Bauteilkomponenten an elektrischen Geräten und Verkabelungen infolge von Kurzschlüssen.
- **Wartungsfehler und Wartungsmängel**
Entzündung von Bauteilen infolge von Reparaturarbeiten mit heißen Zündquellen (z.B. Löt- oder Schweißarbeiten), vergessene Kleinteile in kritischen Bereichen oder anderwärtige Wartungsmängel wie Kabelquetschungen.

Nach Informationen der Gothaer Versicherung stellen Wartungsfehler und Wartungsmängel die Hauptursache von Gondelbränden dar (Warda 2015). Durch die steigende Professionalisierung bei Wartungsarbeiten in den letzten Jahren ist von einem Rückgang von Wartungsfehlern und damit verbundenen Gondelbränden auszugehen.

4.2. Brandlasten in Windkraftanlagen

Sämtliche tragenden Teile des Maschinenhauses und der Turm von WKA sind in der Regel aus Stahl bzw. Gusseisen oder Beton gefertigt. Die im Maschinenhaus befindlichen mechanischen Komponenten (Nabe, Hauptwelle, Hauptlager, eventuell ein Getriebe, Bremse, Hydraulikanlagen, Kühl- und Klimaanlage...) sind aus unterschiedlichen Metallen gefertigt und können aufgrund der in diesen Teilen eingesetzten Öle, Schmierstoffe und Kühlflüssigkeiten gemäß ÖNORM EN 13501-1 als „nicht brennbar mit Anteilen von brennbaren Baustoffen“ oder als „schwerentflammbar“ eingestuft werden. Die im Maschinenhaus oder im Turmfuß befindlichen elektrischen Komponenten (Generator, evtl. Umrichter, Schaltschränke, evtl. Transformator, Schaltanlage...) sind aus metallischen Baustoffen und Kunststoffen gefertigt und entsprechen ebenfalls diesem Brandverhalten.

Neben dem Aufstellungsort des Transformators ist dessen Bauweise relevant. Da Öl-Transformatoren erheblich brandgefährlicher sind, dürfen in der Gondel nur Transformatoren in Trocken-Gießharzbauweise installiert werden. Diese sind als „schwer entflammbar“ einzustufen.

Eine weitere Brandlast stellt das Material der Verkleidung der Maschinengondel dar. Diese besteht meist aus glasfaserverstärktem Polyester und stellt somit einen brennbaren Baustoff dar. Die Brandeigenschaften dieses Baustoffes werden gemäß ÖNORM EN 13501-1 als „schwer entflammbar“ eingeschätzt. Alternativ kann die Gondelverkleidung auch aus Metall (z.B. Aluminium) gefertigt sein. Dieses gilt als „nicht brennbar“.

Die Rotorblätter sind aus Epoxidharz mit Glas- und eventuell Kohlefasereinlagen gefertigt und werden gemäß ÖNORM EN 13501-1 als „schwer entflammbar“ eingeschätzt.

Teile der elektrischen Ausstattung (Kabelisolierungen, einzelne Maschinenbestandteile aus Kunststoffen...) sind der Kategorie „normal entflammbar“ zuzuordnen. Für Hochspannungsleitungen werden Hochspannungskabel verwendet, welche nach IEC 60332-1-2 als flammwidrig und selbstverlöschend eingestuft werden. Flammwidrig (selbstverlöschend) werden Kabel bezeichnet, die zwar durch eine Zündflamme gemäß der Prüfanordnung nach IEC 60332-1 zum Brennen gebracht werden können, deren Brand sich aber beim Einzelkabel nur wenig über den Brandbereich hinaus ausbreitet und nach Entfernen der Zündflamme von selbst erlöscht. Aufgrund des schwer entflammbaren Kabelmantels und der Materialeigenschaften kann ein Hochspannungskabel in die Kategorie „schwer entflammbar“ eingeordnet werden.

Eine besondere Brandlast stellen die eingesetzten Getriebe- und Hydrauliköle und Schmiermittel dar, welche laut ÖNORM EN 13501-1 als „leicht entflammbar“ kategorisiert werden müssen. Die für Getriebe, Hydraulikanlagen, Generator und Umrichter verwendeten Kühlflüssigkeiten können als nicht brennbar eingestuft werden.

4.3. Maßnahmen zur Brandvermeidung

Die wichtigste Maßnahme in Bezug auf den Brandschutz ist grundsätzlich die Reduktion der Anzahl von Bauteilen. Jeder Bauteil, der sich nicht in der Maschinengondel befindet, kann auch keine Brandquelle oder Brandlast darstellen. Die Entscheidung, welche und wie viele Bauteile in der Gondel untergebracht werden müssen, wird mit der Wahl des Maschinenkonzeptes getroffen (siehe Kapitel 3.4). Allerdings stehen beim Entwurf des Maschinenkonzeptes meist wirtschaftliche und betriebstechnische Überlegungen im Vordergrund und nicht die Frage des Brandschutzes.

Trotzdem stellen konstruktive Maßnahmen den ersten und wichtigsten Schritt für die Vermeidung von Bränden dar. Der Einsatz von elektrischen und mechanischen Bauteilen, deren Anordnung in der Maschinengondel und ihre räumliche und konstruktive Abschirmung gegenüber anderen Bauteilen kann darüber entscheiden, wie leicht ein Brand ausbricht und ob sich ein Brandherd weiter ausbreiten kann.

Eine weitere Maßnahme zur Brandvermeidung ist die Überwachung von Betriebszuständen. Mit der kontinuierlichen Überwachung von Temperaturen und Schwingungszuständen oder der Positionierung von Lichtbogensensoren an gefährdeten Stellen können Material- und Maschinenschäden zeitgerecht diagnostiziert und der Ausfall oder die Zerstörung von Bauteilen verhindert werden.

In letzter Konsequenz können durch die Einbindung von Rauch- und Brandmeldesensoren in die Fernüberwachung der Windkraftanlage mögliche Brandherde frühzeitig erkannt und über die Anlagensteuerung Schritte zur Unterbindung oder Eindämmung von Bränden in die Wege geleitet werden.

4.3.1. Konstruktiver Brandschutz

Die Auswahl und Anordnung von Bauteilen, der Einsatz nicht brennbarer oder schwer entflammbarer Werk- und Betriebsstoffe sowie die Vermeidung von Zündquellen sind die wichtigsten Maßnahmen zu Gewährleistung eines konstruktiven Brandschutzes. Ob sich gewisse Komponenten in der Gondel oder im Turmfuß befinden, hat dabei ebenso Auswirkungen auf das Risiko eines Gondelbrandes, wie verwendete Materialien oder Bauteiltypen. Folgende anlagentechnisch relevanten Punkte sollten bei der Konzeption von Brandschutzmaßnahmen bedacht werden:

- Wo befindet sich der Transformator und welche Bauart wird eingesetzt? Werden Transformatoren in der Maschinengondel angeordnet, besteht dort eine potentielle Brandlast und die Gefahr von Kurzschlüssen oder Lichtbögen.
- Besitzt die Anlage ein Getriebe und wie wird der Gefahr von Ölleckagen und Überhitzung an schnell drehenden Teilen begegnet?
- Welche Generatoren werden eingesetzt? Sind Schleifringe zur Übertragung von Strömen erforderlich und wie wird der möglichen Gefahr von Überhitzung, Verschleiß oder dem Einfluss von klimatischer Bedingungen begegnet?
- Aus welchem Material besteht die Gondelverkleidung und stellt diese eine Brandlast dar?
- Wo befinden sich die sensiblen elektronischen Bauteile, wie Wechselrichter, Filterschränke oder Kondensatoren und wie ist deren Anordnung und Unterbringung aus brand- und blitzschutztechnischer Sicht zu bewerten? Wie werden diese Anlagenteile im Hinblick auf Kurzschlüsse, Lichtbögen oder Überhitzung geschützt?
- Welche Hilfsaggregate werden eingesetzt? Wie ist deren Anordnung im Maschinenhaus und an welchen Stellen besteht die Gefahr des Austritts von entflammbaren Betriebsstoffen oder des Übergriffs von Entstehungsbränden auf benachbarte Anlagenkomponenten?
- Wo befinden sich Nieder- und Hochspannungsschaltanlagen und wie ist deren Anordnung aus brandschutztechnischer Sicht zu bewerten? Wie werden diese Anlagenteile im Hinblick auf Blitzschläge, Kurzschlüsse oder Lichtbögen geschützt?
- Welche Mengen an Fetten und Schmierstoffen werden eingesetzt und wie wird gewährleistet, dass Leckagen zeitgerecht erkannt und austretende Betriebsstoffe nicht mit möglichen Zündquellen in Verbindung kommen können?
- Entsprechen Blitzschutz und Erdung den Anforderungen der relevanten Normen (Blitzschutzklasse 1)? Wurde eventuell im Rotor verbauter Kohlefaserwerkstoff blitzschutztechnisch berücksichtigt? Als exponierteste Bauteile der Windkraftanlage sind die Rotorblätter und der Tragrahmen für die Windmessgeräte und die Luftsicherheitsbefeuerng auf der Gondel mit einem Blitzschutzsystem ausgestattet, welches Blitzeinschläge schadlos über den Turm nach unten in das Erdungssystem ableiten, und somit eine Überhitzung und ggf. Entzündung dieser Anlagenteile weitgehend verhindern muss.

Die Spezifizierung dieser Fragestellungen in Bezug auf die vier untersuchten Anlagenbaureihen der Hersteller VESTAS, SENVION, ENERCON und SIEMENS ist in Kapitel 3.4 dargelegt. Dabei wird auch bewertet, ob die angewendeten brandschutztechnischen Maßnahmen dem Stand der Technik entsprechen und welche grundsätzlichen Änderungen und Verbesserungen gegenüber der älteren Anlagentechnik darstellbar sind.

4.3.2. Maßnahmen zur Störungsüberwachung

Die kontinuierliche Überwachung von Betriebszuständen ist neben dem konstruktiven Brandschutz eine wichtige anlagentechnische Maßnahme zur Vermeidung von Bränden. Eine Voraussetzung dafür ist, dass diese Systeme über eine Kopplung mit der Anlagensteuerung verfügen.

Zustandsüberwachung

Die Überwachung von Bauteilen im Hinblick auf den Brandschutz kann vorbeugend erfolgen indem gewisse Parameter wie Temperaturen oder Schwingungen kontinuierlich aufgezeichnet und über die Anlagensteuerung mit definierten Schwellwerten in Bezug gesetzt werden. Dadurch können kritische Betriebszustände an Bauteilen frühzeitig erkannt und vorbeugend entsprechende Maßnahmen gesetzt werden. Die Zustandsüberwachung wird von allen Herstellern in Form von Schwellwertüberwachung an diversen Bauteilen eingesetzt und eher selten in Form von CMS (Condition-Monitoring-Systemen) innerhalb einzelner Windkraftanlagen.

Bisher wurde die Zustandsdiagnose hauptsächlich zur Störungserkennung an wichtigen mechanischen Bauteilen eingesetzt, kaum aber für brandschutztechnische Aspekte. Der gezielte Einsatz von Sensoren an ausgewählten Schutzzonen zum Zweck des Brandschutzes und für Früherkennung von Überhitzungszuständen wird von einigen Anlagenherstellern erstmals in den aktuellen Anlagenbaureihen verwendet.

Detektion von Ereignissen

Windkraftanlagen können in jenen Bereichen, in denen eine hohe Entzündungswahrscheinlichkeit besteht, mit diversen Wärme-, Rauch- und Lichtbogensensoren überwacht werden. Dabei überwachen Temperatursensoren wichtige Teilsysteme der Windkraftanlage auf übermäßige Wärmeentwicklung und Rauchmelder werden an besonders gefährdeten Stellen (Schutzzonen) zur direkten Detektion von Bränden eingesetzt. Lichtbogendetektoren kommen meist in den Hochspannungsbereichen oder im Netz-schnittstellenbereich zum Einsatz.

Auch diese Überwachungseinheiten arbeiten steuerungsgekoppelt und bewirken, dass die Anlage nach dem Ansprechen von einzelnen Sensoren schrittweise abgeschaltet und nach der Detektion eines Brandes über die Mittelspannungs-Schaltanlage vom Netz getrennt und stromfrei geschaltet wird. Im Fall von Lichtbogendetektionen erfolgt in der Regel eine sofortige Trennung der Anlage vom Netz. Nachdem die Anlage automatisch vom Netz genommen wurde, sollte eine Backup-Stromversorgung zur Verfügung stehen, damit Kommunikation mit der Betriebsführungszentrale aufrechterhalten werden kann und weiterhin Informationen über die Betriebszustände vorliegen. Die Wahl und Einbindung der Sensoren der Brandmeldeanlage in die Anlagensteuerung sind anlagen- und projektbezogen zu betrachten und können im Brandrisikogutachten nicht allgemein bewertet werden. Auch die Brandfallsteuerung kann nur projektbezogen beschrieben werden.

Brandmeldungen des steuerungsgekoppelten Brandmeldesystems werden in der Regel über ein SCADA System an die Betriebsüberwachungszentrale weitergeleitet. Ein Anschluss an eine öffentliche alarmnehmende Stelle ist bisher sowohl in Österreich als auch in Deutschland nicht üblich.

Überwacht werden vor allem folgende Schutzzonen in der Anlage, welche eine hohe Entzündungswahrscheinlichkeit besitzen:

- Triebstrang mit Getriebe und Bremsvorrichtung
- Generator mit den dazugehörigen Zusatzeinrichtungen
- Wechselrichter und Filtereinheiten
- Anlagensteuerung mit Hilfstransformator
- Transformator und Schaltanlage

4.3.3. Automatische Löschsyste

Einige Hersteller bieten automatische Löschsyste an, die Brände direkt innerhalb verschiedener brandrelevanter Komponenten bekämpfen (Einrichtungsschutz). Diese umfassen meist den Schutz von Schaltschränken, Filterschränken, Umrichtermodulen und teilweise auch des Transformatorraums.

Rein gasförmige Löschmittel zur Brandbekämpfung (z.B.: Stickstoff bei Siemens) eignen sich nur für einen Einsatz innerhalb geschlossener Komponenten wie Schaltschränke oder innerhalb des Trafogehäuses. Für eine Raumlöschung in Onshore Anlagen sind gasförmige Löschmittel aufgrund der fehlenden Abdichtung der Gondel ungeeignet. Das Löschmittel würde verweht werden. Flüssige Löschmittel besitzen diese Einschränkung nicht, sofern ausreichend große Tropfen versprüht werden. Allerdings sind Löschsyste, die einen Raumschutz für die gesamte Gondel bieten, derzeit auf dem Markt nicht verfügbar.

Sprinklersysteme

Der mögliche Aufbau eines Löschsystems über Sprinkleranlagen, welches ähnlich den in Gebäuden zum Einsatz kommenden Sprinklersystemen konzipiert ist, wird im Folgenden anhand des Systems von Protectfire erläutert. Dieses wurde bisher in ca. 700 Anlagen verbaut (z.B.: bei Enercon, Vestas). Hierbei handelt es sich nicht um einen Raumschutz, sondern um den gezielten Schutz einzelner Komponenten (Einrichtungsschutz).

Das System ist für eine zu schützende Komponente in Abbildung 1 schematisch abgebildet.

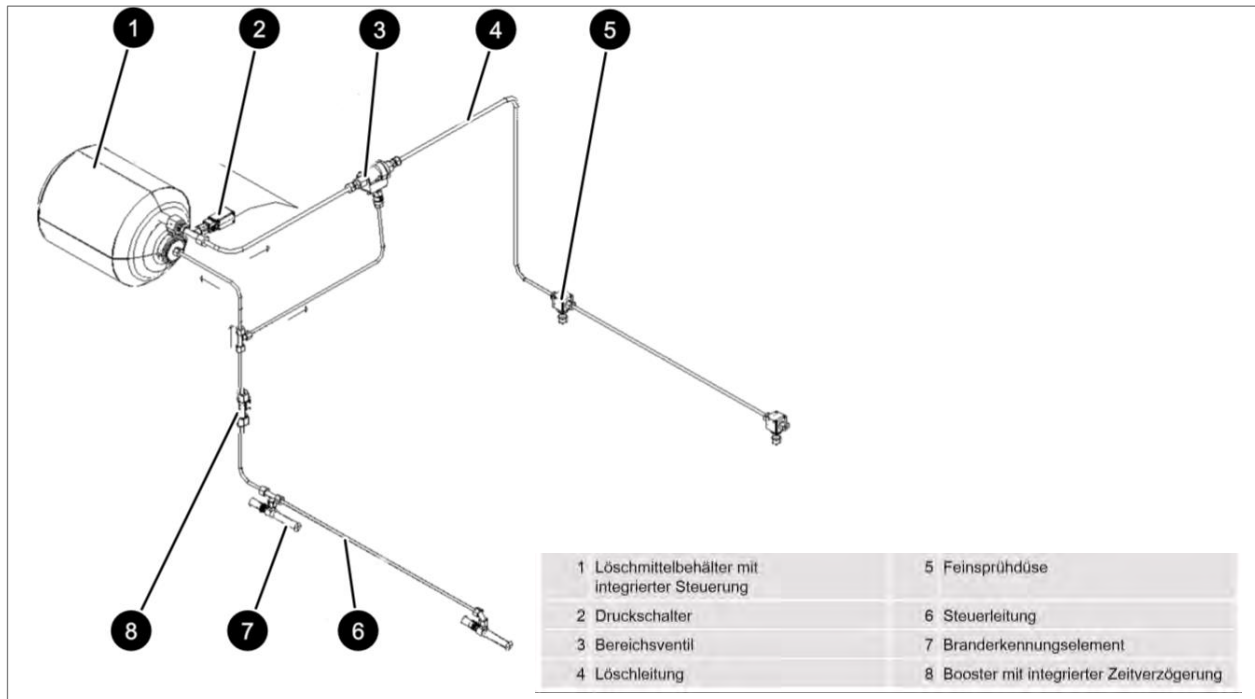


Abbildung 1: Schema des automatischen Löschsystems von Protectfire (ENERCON GmbH 2015)

In den Branderkennungselementen befinden sich wärmeempfindliche Ampullen, die beim Überschreiten einer festgelegten Temperatur auslösen. Die Auslösetemperatur wird so gewählt, dass ein Branderkennungselement ab einer Temperatur von 30° C über der maximal zu erwartenden Betriebstemperatur der Komponente anspricht. Das Auslösen eines Branderkennungselements bewirkt einen Druckanstieg in der Steuerleitung. Durch den Druckanstieg wird zunächst der Booster aktiviert. Mit einer zeitlichen Verzögerung erhöht der Booster den Druck in der Steuerleitung. Innerhalb des Verzögerungszeitraums erkennt ein Druckschalter vor dem Booster das Auslösen des Branderkennungselements und gibt ein Signal an die Steuerung wodurch die Windkraftanlage unverzüglich angehalten wird. Durch den verstärkten Druck in der Steuerleitung wird das Bereichsventil des zu löschenden Bereichs geöffnet und die pneumatische Steuerung des automatischen Gondellöschsystems aktiviert. Innerhalb des Löschmittelbehälters löst eine Treibgaspatrone aus und das freigesetzte Treibgas im Löschmittelbehälter presst das Löschmittel in die Löschleitung. Das Löschmittel strömt durch das geöffnete Bereichsventil in die Feinsprühdüsen und wird als feiner Nebel auf den Brandherd gegeben. Weitere Druckschalter an der Steuer- und Löschleitung melden, dass der Löschvorgang eingeleitet und ausgelöst wurde. Elektronische Komponenten zur Steuerung und Überwachung des automatischen Gondellöschsystems sind nicht erforderlich, da es sich um ein mechanisch-pneumatisches System handelt (ENERCON GmbH 2015).

Löschsysteme mit wärmeaktiven Schläuchen

Der Aufbau eines über wärmeempfindliche Schläuche arbeitenden Löschsystems, wird im Folgenden anhand des Vestas-Brandbekämpfungssystems erläutert.

Die Löschflüssigkeit wird bei diesem System über hitzeempfindliche Schläuche direkt an die ausgewählten Komponenten verteilt. Diese Schläuche sind wärmeaktiv und bersten bei offener Flamme oder einer Umgebungswärme von 175 °C und das Mittel wird bei 1,34 MPa direkt über dem Brandherd freigesetzt. Abbildung 2 zeigt eine solche schleifenförmige Schlauchverlegung beispielhaft für einen Oberschwingungsfilterschrank (Vestas Wind Systems 2014).

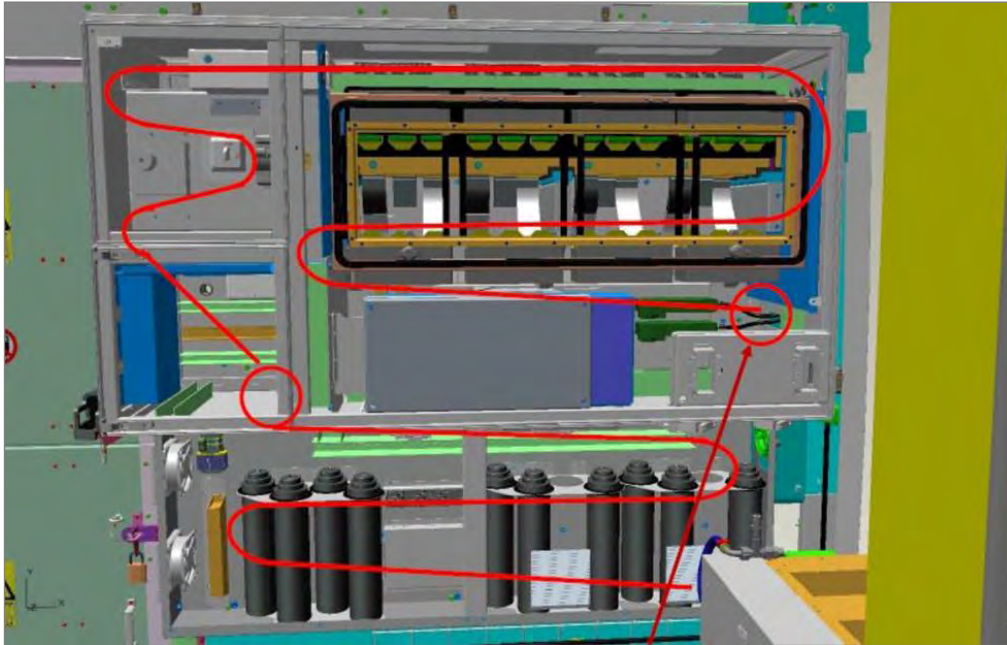


Abbildung 2: Schlauchverlegung für den Oberschwingungsfilterschrank für das Vestas Brandbekämpfungssystem (Vestas Wind Systems 2014)

Laut Vestas Wind Systems (2014) treten im Fall einer Fehllöschung keine Nebeneffekte für Komponenten auf und es ist keine Entfernung von Rückständen erforderlich.

4.4. Brandschutztechnische Merkmale der aktuellen Windkraftanlagentechnik

Bei den derzeit in Österreich zur Bewilligung beantragten Windparkprojekten werden fast ausschließlich Anlagen im Leistungsbereich von drei Megawatt eingesetzt. Diese Anlagen wurden in den letzten fünf Jahren als sogenannte „Drei-Megawatt-Plattformen“ entwickelt und verfügen über eine Generatorleistung zwischen 3 und 3,5 MW und Rotordurchmesser zwischen 100 und 130 m.

Die vier am häufigsten auf dem österreichischen Markt vertretenen Hersteller bieten im Bereich der „Drei-Megawatt-Plattformen“ unterschiedliche Anlagengrößen an, welche sich im Wesentlichen durch Varianten mit unterschiedlichen Rotordurchmessern unterscheiden:

- VESTAS: V105-3.3MW / V112-3.3MW / V117-3.3MW / V126-3.3MW
- SENVION 3.xM-104 / 3.xM114 / 3.xM122
- ENERCON: E-101-3.0 MW / E115-3.0 MW
- SIEMENS: SWT 101-3.xMW / SWT 108-3.xMW / SWT 113-3.xMW

Nachdem davon auszugehen ist, dass diese Anlagenbaureihen auch in den nächsten 5 bis 10 Jahren in Österreich eingesetzt werden und sich etwaige Neuentwicklungen an den Brandschutzkonzepten dieser Anlagen, sowie am bestehenden Stand der Technik orientieren werden, wird in diesem Kapitel eine überblicksmäßige Zusammenstellung der brandschutztechnischen Eigenschaften dieser Anlagen erstellt.

4.4.1. Allgemeine Unterscheidungsmerkmale der vier untersuchten Baureihen

Die vier zu untersuchenden Baureihen unterscheiden sich sowohl im Aufbau ihres mechanischen Triebstranges als auch in ihrer elektrischen Gesamtkonzeption. Nachdem diese Merkmale einen entscheidenden Einfluss auf den konstruktiven Brandschutz darstellen, werden im Folgenden die mechanischen und elektrischen Konzepte gegenüber gestellt:

Triebstranganordnung

Die Anordnung des Triebstranges der beiden Hersteller VESTAS und SENVION erfolgt nach der klassischen aufgelösten Bauweise. Bei dieser Bauweise sind alle Bauteile des Triebstranges auf einem tragenden Maschinenrahmen angeordnet und können im Fall von Störungen einzeln getauscht werden ohne die gesamte Maschinengondel demontieren zu müssen. Nachdem schnell laufende Generatoren eingesetzt werden, ist der Einsatz von Getrieben zur Übersetzung erforderlich, um die langsame Drehzahl des Rotors auf die höhere Drehzahl des Generators zu übersetzen.

Im Gegensatz zur genannten aufgelösten Bauweise setzen die beiden Hersteller ENERCON und SIEMENS eine integrierte Bauweise mit vielpoligen Ringgeneratoren als Herzstück der Maschinenanordnung ein. Durch die große Polzahl können diese Generatoren mit geringer Drehzahl betrieben werden, wodurch der Einsatz von Getrieben entfallen kann. Bei dieser Bauweise ist der Triebstrang reduziert auf Lagerbock, Welle und Generator.

Hersteller	Triebstrang	Leistung	Durchmesser	Turmkopfmasse
VESTAS	aufgelöst	3,3 MW	105m / 112m / 117m / 126m	ca. 190 t
SENVION	aufgelöst	3,0 / 3,4 MW	104m / 114m / 122 m	ca. 275 t
ENERCON	getriebelos	3,0 MW	101m / 115m	ca. 250 t
SIEMENS	getriebelos	3,0 / 3,2MW	101m / 108m / 113m	ca. 160 t

Tabelle 3: : Mechanische Konzepte und Turmkopfmassen der untersuchten Windkraftanlagenbaureihen

Elektrische Konzepte

Alle vier untersuchten Anlagenbaureihen arbeiten mit variabler Rotordrehzahl und entsprechenden Umrichtersystemen zur Netzeinspeisung. Obwohl grundsätzlich ähnliche Betriebskonzepte eingesetzt werden, lassen sich jedoch in der Art und Anordnung der elektrischen Baukomponenten deutliche Unterschiede darstellen.

Die Hersteller VESTAS und SENVION setzen schnell laufende Generatoren in Kombination mit Getrieben ein, während ENERCON und SIEMENS langsam laufende, vielpolige Generatoren verwenden. Wesentliche Unterschiede bestehen auch bei der Anordnung der elektrischen Bauteile. Während VESTAS annähernd die gesamten elektrischen Komponenten inklusive Trafo in der Gondel anordnet, sind bei ENERCON und SIEMENS Wechselrichter, Filterschränke oder Trafo im Bereich des Turmfußes untergebracht und stellen somit keine Brandlast in der Gondel dar.

Hersteller	Generator	Umrichter	Transformator
VESTAS	Asynchron	Vollumrichter in der Maschinengondel	Maschinengondel
SENVION	Asynchron doppelgespeist	Teilumrichter (20%) in der Gondel	Turmfuß
ENERCON	Synchron fremderregt	Vollumrichter im Turmfuß	Turmfuß
SIEMENS	Synchron permanenterregt	Vollumrichter im Turmfuß	Turmfuß

Tabelle 4: Elektrische Konzepte und Situierung der Komponenten

Materialien und Brandschutzmaßnahmen

Beim Einsatz von Materialien und Betriebsstoffen unterscheiden sich die vier Anlagentypen nicht wesentlich. Rotorblätter werden aus Kunstharzen mit unterschiedlichen Laminaten, Türme aus Stahl oder Beton, Gondeltragrahmen, Lager, Wellen, Generatoren und Rotornabe aus Metallen, elektrische Bauteile und Kabel großteils aus Metall-Kunststoffkombinationen ausgeführt. Die markantesten Unterschiede in der Wahl von Materialien und Betriebsstoffen bestehen in der Verkleidung der Maschinengondel und in der Menge der eingesetzten Öle und Schmierstoffe. In Bezug auf Bauteilüberwachung werden bei VESTAS die größten Anstrengungen zur vorbeugenden Branderkennung unternommen. Löschanlagen werden von allen Herstellern optional angeboten.

Hersteller	Material Gondelverkleidung	Gesamtmenge Öle/Schmierstoffe	Bauteilüberwachung mit Steuerungseinbindung (zusätzlich zu den Standardsensoren)
VESTAS	GFK	Öle 1.450 l Fette 130 l	Temperatur- und Lichtbogensensoren, Optische Rauchmelder
SENVION	GFK	Öle 1.400 l Fette 140 l	Optische Rauchmelder und Temperatursensoren in der Gondel
ENERCON	Aluminium	Öle 210 l Fette 60 l	Optische Rauchmelder und Temperatursensoren in der Gondel
SIEMENS	GFK schwer entflammbar	Öle 200 l Fette 50 l	Optische Rauchmelder und Temperatursensoren in der Gondel

Tabelle 5: Materialien und Bauteilüberwachung

4.4.2. Triebstrang und elektrisches Konzept VESTAS 3.3 MW

Die Anlagenbaureihe VESTAS 3.3 MW verfügt über einen Triebstrang in aufgelöster Bauweise. Neben den erforderlichen Maschinenkomponenten sind bei dieser Baureihe auch alle elektrischen Komponenten bis hin zum Transformator in der Gondel angeordnet.



Abbildung 3: Maschinenhaus mit Triebstrang und elektrischen Komponenten der Baureihe VESTAS 3.3 MW

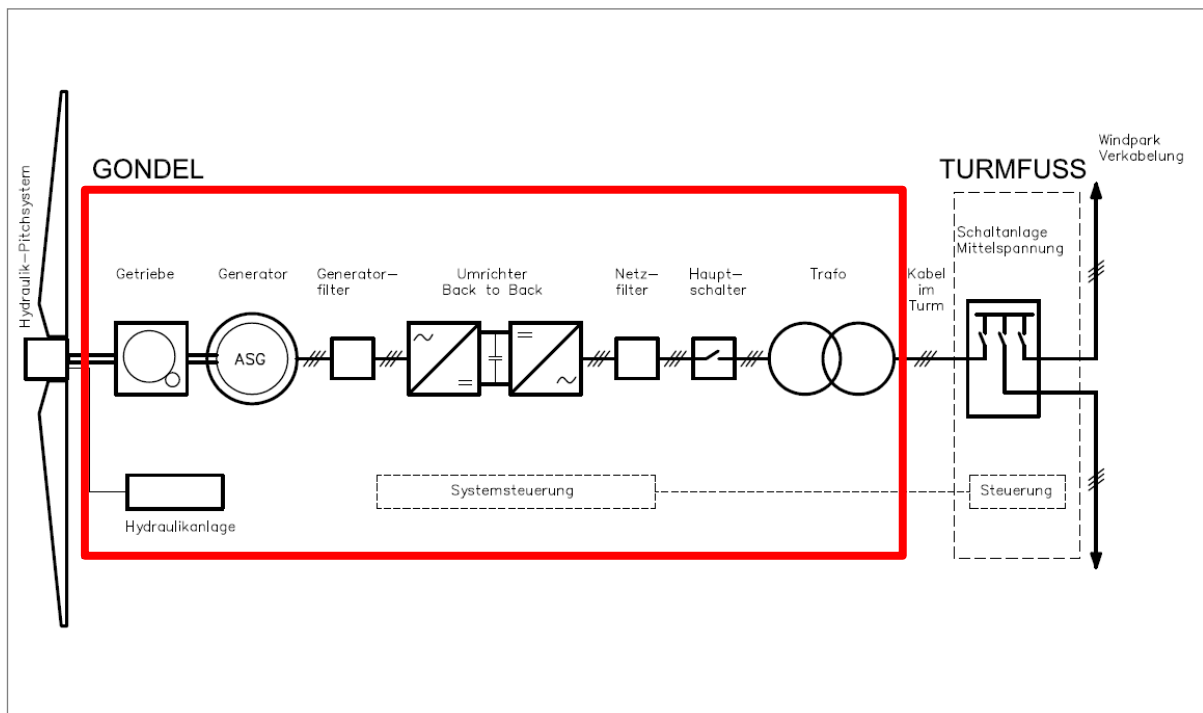


Abbildung 4: Schemadarstellung der elektrischen Komponenten der Baureihe VESTAS 3.3 MW

4.4.3. Triebstrang und elektrisches Konzept SENVION 3.x MW

Die Anlagenbaureihe SENVION 3.x MW verfügt über einen Triebstrang in aufgelöster Bauweise. Neben den erforderlichen Maschinenkomponenten sind bei dieser Baureihe auch alle niederspannungsseitig erforderlichen elektrischen Komponenten in der Gondel angeordnet. Der Transformator und die MS-Schaltanlage sind im Turmfuß untergebracht.

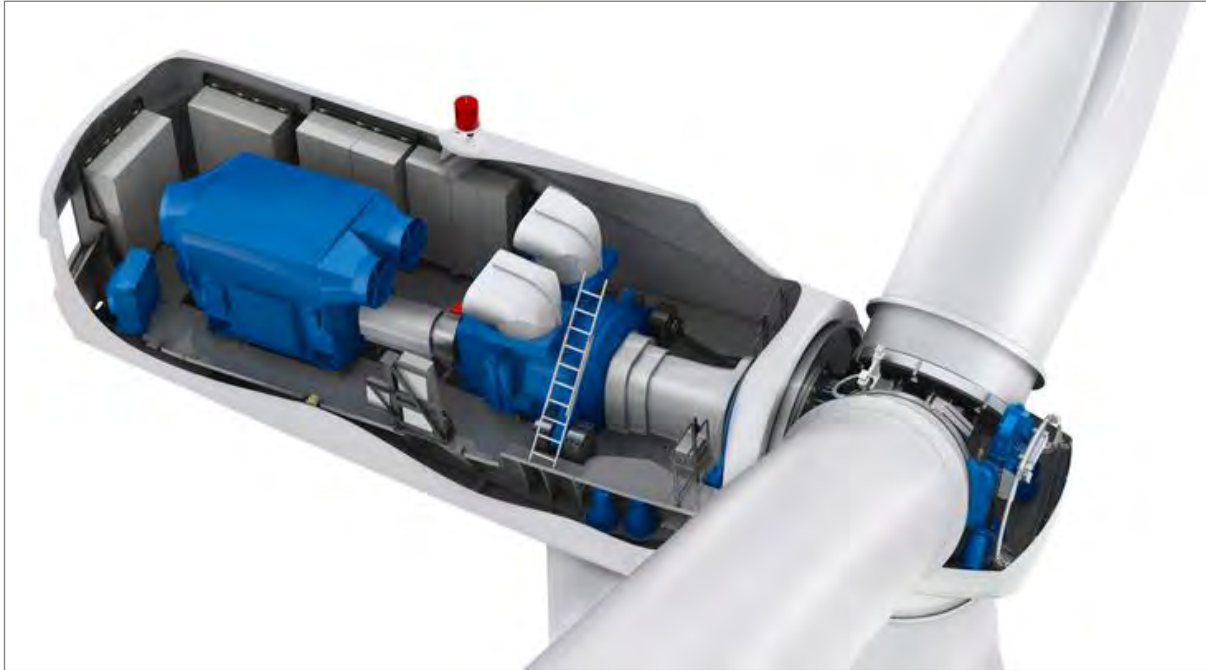


Abbildung 5: Maschinenhaus mit Triebstrang und elektrischen Komponenten der Baureihe SENVION 3.x MW

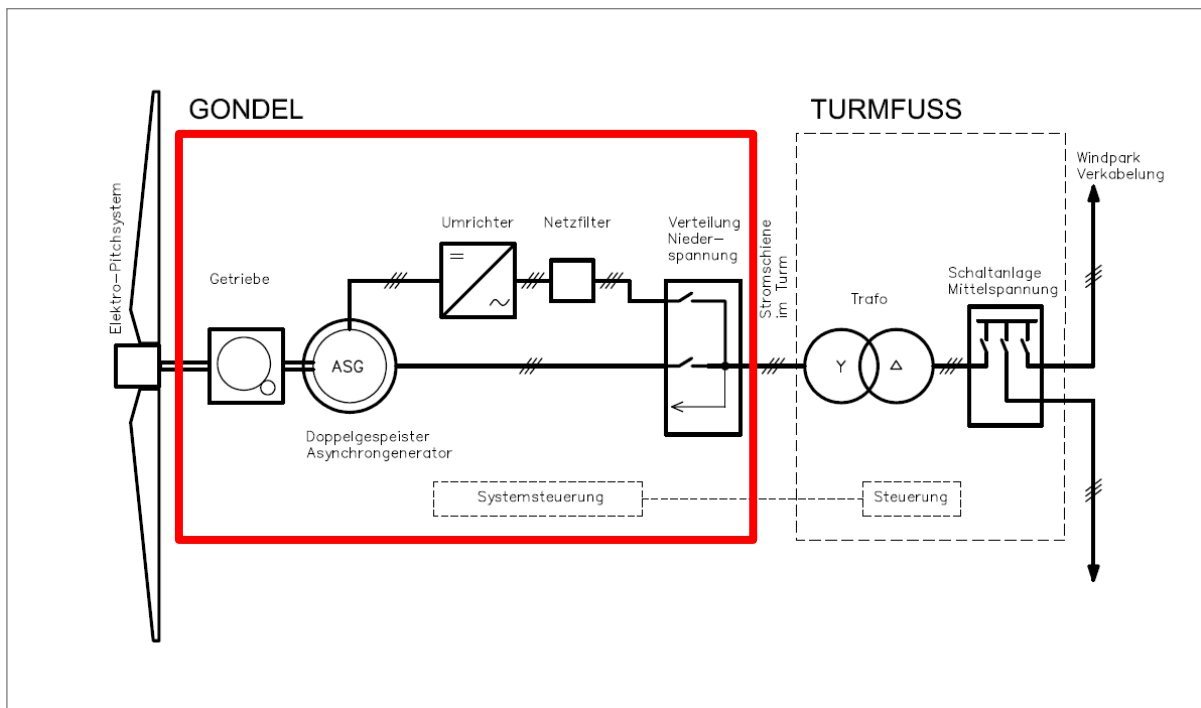


Abbildung 6: Schemadarstellung der elektrischen Komponenten der Baureihe SENVION 3.x MW

4.4.4. Triebstrang und elektrisches Konzept ENERCON 3.0 MW

Die Anlagenbaureihe ENERCON 3.0 MW verfügt über einen Triebstrang in integrierter Bauweise. Neben dem Generator und dessen Erregungseinrichtung sind bei dieser Baureihe lediglich der Gleichrichter und Hilfsaggregate (z.B. Lüfter, Azimutantrieb...) in der Gondel angeordnet. Alle übrigen nieder- und hochspannungsseitigen elektrischen Komponenten sind im unteren Teil des Turmes untergebracht. Die Gondelverkleidung ist in Aluminiumblech ausgeführt.

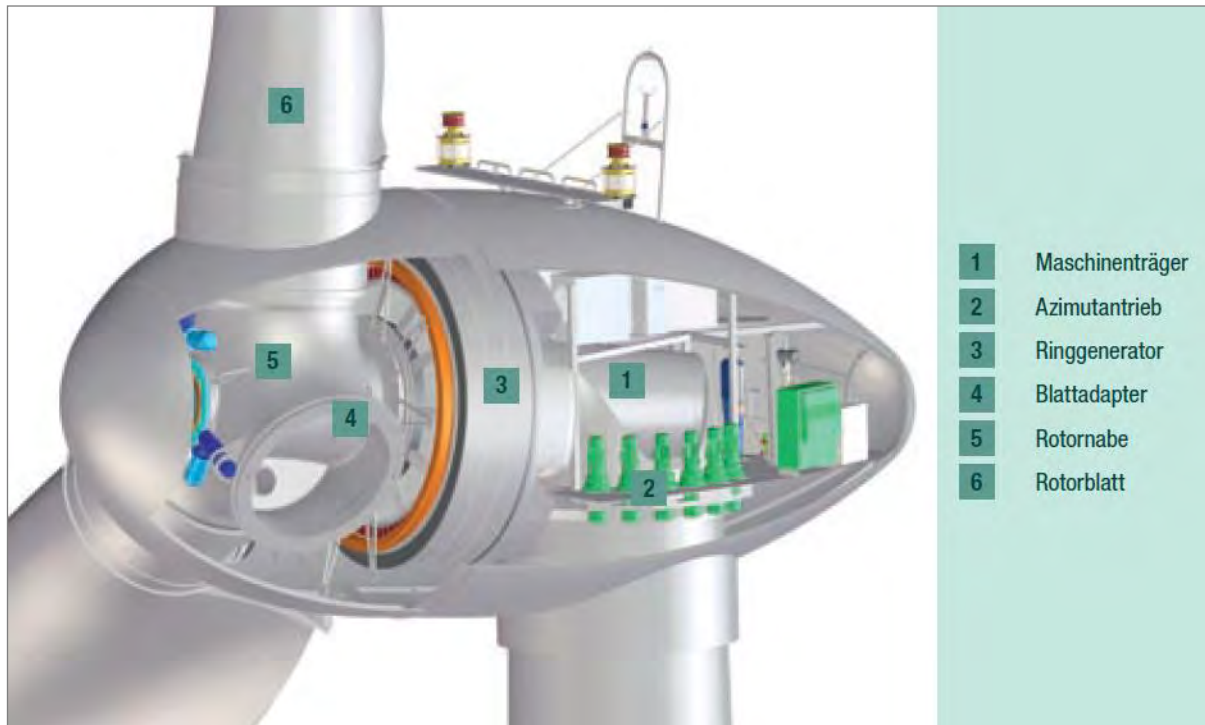


Abbildung 7: Maschinenhaus mit Triebstrang und elektrischen Komponenten der Baureihe ENERCON 3.0 MW

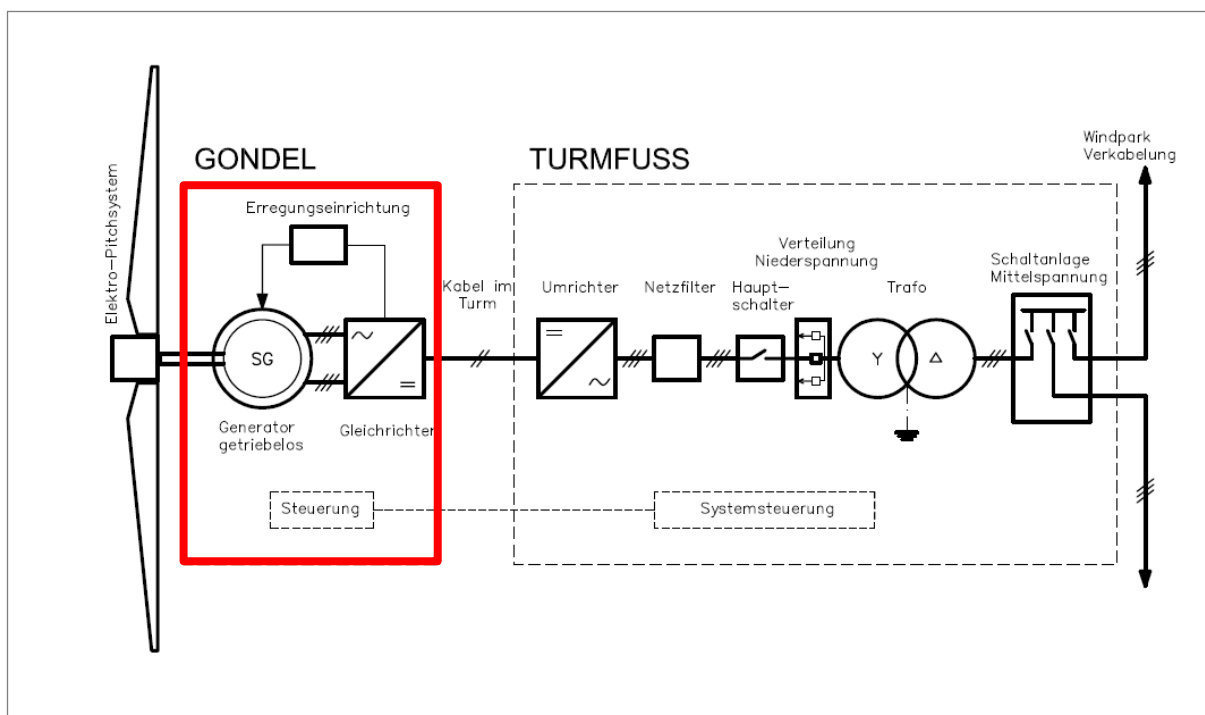


Abbildung 8: Schemadarstellung der elektrischen Komponenten der Baureihe ENERCON 3.0 MW

4.4.5. Triebstrang und elektrisches Konzept SIEMENS 3.x MW

Die Anlagenbaureihe SIEMENS 3.x MW verfügt über einen Triebstrang in integrierter Bauweise mit einem vielpoligen Synchrongenerator mit Permanentterregung. Neben dem Generator sind bei dieser Baureihe lediglich der Gleichrichter und Hilfsaggregate (z.B. Kühler, Hydraulikanlage und Azimutantriebe) in der Gondel angeordnet. Alle übrigen nieder- und hochspannungsseitigen elektrischen Komponenten sind im unteren Teil des Turmes untergebracht.



Abbildung 9: Maschinenhaus mit Triebstrang und elektrischen Komponenten der Baureihe SIEMENS 3.0 MW

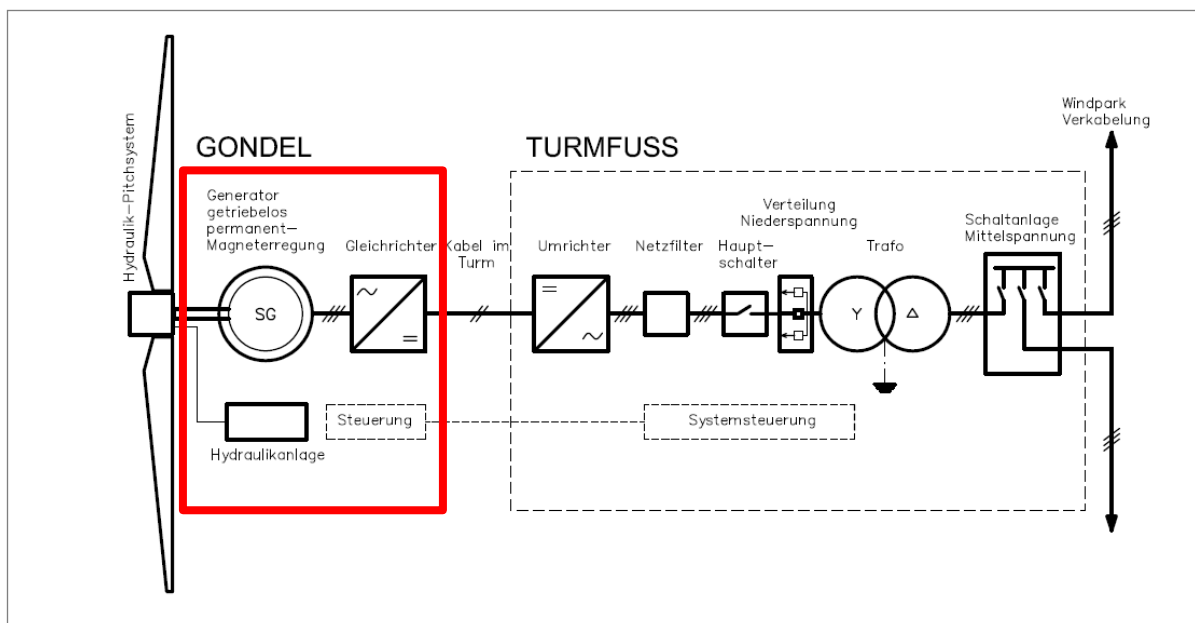


Abbildung 10: Schemadarstellung der elektrischen Komponenten der Baureihe SIEMENS 3.xMW

4.5. Bewertung der brandschutztechnischen Maßnahmen an den aktuellen Baureihen

Die untersuchten 3-MW Plattformen weisen in ihrem technischen Aufbau unterschiedliche Konzepte auf. Die Firmen VESTAS und SENVION haben in der Maschinengondel sowohl den gesamten mechanischen Triebstrang, als auch die wesentlichen elektrischen Bauteile bis hin zum Transformator (VESTAS) angeordnet. Hingegen verwenden die Firmen ENERCON und SIEMENS ein Anlagenkonzept mit vielpoligen Ringgeneratoren als Herzstück der Maschinenanordnung, wodurch der Einsatz von Getrieben entfallen kann. Bei dieser Bauweise ist der Triebstrang reduziert auf Lagerbock, Welle und Generator. Wechselrichter, Filterschränke oder Trafo sind bei diesen Herstellern im Bereich des Turmfußes untergebracht und stellen somit keine Brandlast in der Gondel dar.

VESTAS 3.3 MW

Der technische Aufbau der Baureihe VESTAS 3.3 MW zeichnet sich dadurch aus, dass sich in der Maschinengondel sowohl der gesamte mechanische Triebstrang, als auch die wesentlichen elektrischen Bauteile bis hin zum Transformator befinden. Aufgrund dieser spezifischen Gegebenheiten wurde bei VESTAS großes Augenmerk auf die Platzierung und gegenseitige Abschottung der Bauteile und Maßnahmen zur Störungsüberwachung und Detektion von Brandereignissen gelegt. So ist u.a. der Transformator in einem abgetrennten und rauchdicht ausgeführten Raum untergebracht und die Umrichtermodule befinden sich in einem abgeschotteten Hohlraum unterhalb der Arbeitsebene.

Gegenüber der von VESTAS seit etwa 15 Jahren eingesetzten Baureihe der 2-MW-Plattformen (V66 / V80 / V90 / V100) wurden aus konstruktiver Sicht wesentliche Verbesserungen vorgenommen:

- Entfall von brandgefährdeten Komponenten durch den Einsatz eines geänderten Generator-Umrichtersystems (z.B. Entfall von Schleifringen).
- Verbesserte Abschottung des Traforaumes durch rauchhemmende Abdichtung.
- Umstellung auf Passivlüftung und daher Entfall von Lüftermotoren als mögliche Brandquelle und Brandbeschleuniger.
- Einsatz eines MS-Trossenkabels mit größerem Querschnitt und brandhemmenden Eigenschaften
- Verbesserungen beim Erdungs- und Blitzschutzsystem.
- Gezielter Einsatz von Wärme- und Rauchsensoren an ausgewählten Schutzzonen zum Zweck des Brandschutzes und für Früherkennung von Überhitzungszuständen und Brandereignissen.
- Einsatz von Lichtbogendetektoren in jenen Bereichen, in denen eine hohe Entzündungswahrscheinlichkeit besteht. Diese Überwachungseinheiten arbeiten steuerungsgekoppelt und bewirken, dass die Anlage in letzter Konsequenz über die Mittelspannungs-Schaltanlage vom Netz getrennt und stromfrei geschaltet wird.

SENVION 3.x MW

Die Anlagenbaureihe SENVION 3.x MW ist aus maschinenbautechnischer Sicht ähnlich aufgebaut wie jene der Firma VESTAS. Im Bereich des elektrischen Konzeptes ist hervorzuheben, dass ein doppeltgespeister Asynchrongenerator mit Teilumrichter eingesetzt wird. Der Transformator ist bei dieser Baureihe im Bereich des Turmfußes untergebracht.

Auch die Firma SENVION legt großes Augenmerk auf die Platzierung und gegenseitige Abschottung der Bauteile und auf Maßnahmen zur Störungsüberwachung und Detektion von Brandereignissen. Durch den gezielten Einsatz von Wärme- und Rauchsensoren an ausgewählten Schutzzonen können Überhitzungszustände oder Brandereignisse frühzeitig erkannt und Störungsmeldungen abgegeben werden.

SENVION setzt in den Umrichterschränken und im Trafogehäuse Lichtbogendetektoren ein. Allerdings befinden sich diese Komponenten im Turmfuß der Windkraftanlage.

ENERCON 3.0 MW

Die Anlagenbaureihe ENERCON 3.0 MW verfügt über ein integriertes Triebstrangkonzept mit einem vielpoligen Ringgenerator. Dadurch entfallen schnell rotierende Bauteile, welche in Bezug auf Überhitzung eine größere Gefahrenquelle darstellen. Neben dem Generator und dessen Erregungseinrichtung sind bei dieser Baureihe lediglich der Gleichrichter und Hilfsaggregate in der Gondel angeordnet. Alle übrigen nieder- und hochspannungsseitigen elektrischen Komponenten sind im unteren Teil des Turmes untergebracht. Hervorzuheben ist bei dieser Anlagentechnik, dass durch den Wegfall des Getriebes und dem Einsatz von elektromechanischen Stellantrieben nur sehr kleine Mengen an brennbaren Betriebsstoffen eingesetzt werden.

In Bezug auf den baulichen Brandschutz kann neben der reduzierten Anzahl an mechanischen und elektrischen Bauteilen in der Gondel auch die räumliche Trennung der einzelnen Komponenten angeführt werden. Der Ringgenerator wird als zentraler Bauteil der Anlage an verschiedenen Stellen auf seine Betriebstemperaturen überwacht und zusätzlich mit externen Übertemperaturwächtern vor Überhitzung geschützt. Der Innenraum der Gondel wird mit zwei Rauchdetektoren und Temperatursensoren überwacht.

Gegenüber der von ENERCON seit etwa 15 Jahren eingesetzten Baureihe der 2-MW-Plattformen (E66 / E70 / E82 / E92) wurden aus konstruktiver Sicht folgende Verbesserungen vorgenommen:

- Ersatz der GFK Gondelverkleidung durch eine Verkleidung mit Aluminiumschalen.
- Automatische Unterbrechung der Zuluft bei der Detektion eines Brandereignisses.
- Kontinuierliche Überwachung von wichtigen Bauteilen auf Temperaturschwellwerte und Einsatz von zusätzlichen Übertemperaturschaltern.
- Verwendung von schwer brennbaren bzw. selbstverlöschenden Kabeln im Bereich der Nabe.

SIEMENS 3.x MW

Die Anlagenbaureihe SIEMENS 3.x MW verfügt über einen Triebstrang in integrierter Bauweise mit einem vielpoligen Synchrongenerator mit Permanentterregung. Neben dem Generator sind bei dieser Baureihe lediglich der Gleichrichter und Hilfsaggregate (z.B. Kühler, Hydraulikanlage und Azimutantriebe) in der Gondel angeordnet. Alle übrigen nieder- und hochspannungsseitigen elektrischen Komponenten sind im unteren Teil des Turmes untergebracht. Auch bei dieser Anlage werden wegen des fehlenden Getriebes sehr geringe Mengen an brennbaren Betriebsstoffen eingesetzt.

Der Betrieb der Anlage wird standardmäßig über die Erfassung von Betriebsparametern kontrolliert. Der Innenraum der Gondel wird mit Rauchmeldern und Hitzesensoren überwacht. Zusätzliche Rauchmelder befinden sich im Kühlkreislauf des Generators und in allen elektrischen den Schaltschränken.

Ein direkter Vergleich der Baureihe SWT 3.xMW mit früher eingesetzten Windkraftanlagen ist insofern nicht möglich, weil SIEMENS mit der Entwicklung der 3-MW-Anlagenbaureihe vom ursprünglichen Konzept einer Getriebeanlage abgegangen ist und nun mit einem integrierten Triebstrang arbeitet.

Zusammenfassend kann bestätigt werden, dass die brandschutztechnischen Standards der vier in diesem Kapitel exemplarisch betrachteten WKA (der Firmen VESTAS, SENVION, ENERCON und SIEMENS) mindestens jenes Niveau erreichen, welches sich für Anlagentypen ergibt, die in den vergangenen elf Jahren in Österreich und Deutschland in Betrieb waren.

Daher sind die im vorliegenden Gutachten getroffenen Aussagen zur Brandwahrscheinlichkeit von bisher eingesetzten Anlagentypen (siehe nachfolgendes Kapitel) jedenfalls auch für diese Anlagentypen gültig und anwendbar.

5. Risikoanalyse

Um die Risiken durch Gondelbrand in Waldgebieten zu analysieren, müssen zunächst die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß, die beiden Grundsteine einer Risikoanalyse, ermittelt werden.

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} * \text{Schadensausmaß}$$

Das folgende Kapitel schafft mit der Risikoanalyse eine Datengrundlage für eine spätere Risikobewertung. Bei der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Ausmaß eines Schadensfalls sind mehrere Faktoren entscheidend. Die relevanten Wahrscheinlichkeiten sind:

- Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes
- Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes
- Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen

Das relevante Schadensausmaß umfasst:

- Tötung einer betriebsfremden Person
- Tötung von Betriebspersonal/Wartungspersonal
- Schaden an Sachwerten

5.1. Datengrundlage zur Wahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes

Dieses Kapitel stellt das Ergebnis der durchgeführten Recherche zur Wahrscheinlichkeit von Großbränden an Windkraftanlagen dar.

Über Brände von Windkraftanlagen sind keine belastbaren Statistiken von Anlagenherstellern oder Versicherungen verfügbar. Eine Möglichkeit, Daten über Brände von WKAs zu erheben, ist es, auf Medienberichte zurückzugreifen. Das führt dazu, dass hauptsächlich große, sichtbare und von der Bevölkerung bemerkte Brände erfasst werden, welche auch in entsprechenden Lokalnachrichten landen. Bei diesen großen, sichtbaren Bränden handelt es sich fast ausschließlich um Gondelbrände, welche in diesem Gutachten primär betrachtet werden sollen. Die recherchierten Datenquellen, welche zum Großteil auf solchen Medienberichten beruhen, werden im Folgenden genauer behandelt:

1. Gesammelte weltweite Medienberichte von CWIF
2. Gesammelte deutsche & österreichische Medienberichte auf Wikipedia
3. Gesammelte weltweite Medienberichte der Bürgerinitiative Gegenwind-Vogelsberg
4. Beantwortung einer Anfrage an den Landtag Nordrhein-Westfalen zur Situation in Deutschland
5. Vorfälle in Österreich

5.1.1. Gesammelte weltweite Medienberichte von CWIF

Die, so weit bekannt, vollständigste Datenbank über aus Medienberichten zusammengetragene Unfälle im Zusammenhang mit Windkraftanlagen wird von der britischen Anti-Windkraft Lobby Gruppe *Caithness Windfarm Information Forum (CWIF)* zu Verfügung gestellt. Dort findet sich eine Sammlung aller weltweiten Unfälle seit den 80er Jahren (Young 2015). In Diagramm 2 findet sich diese Unfallstatistik in graphisch aufbereiteter Form.

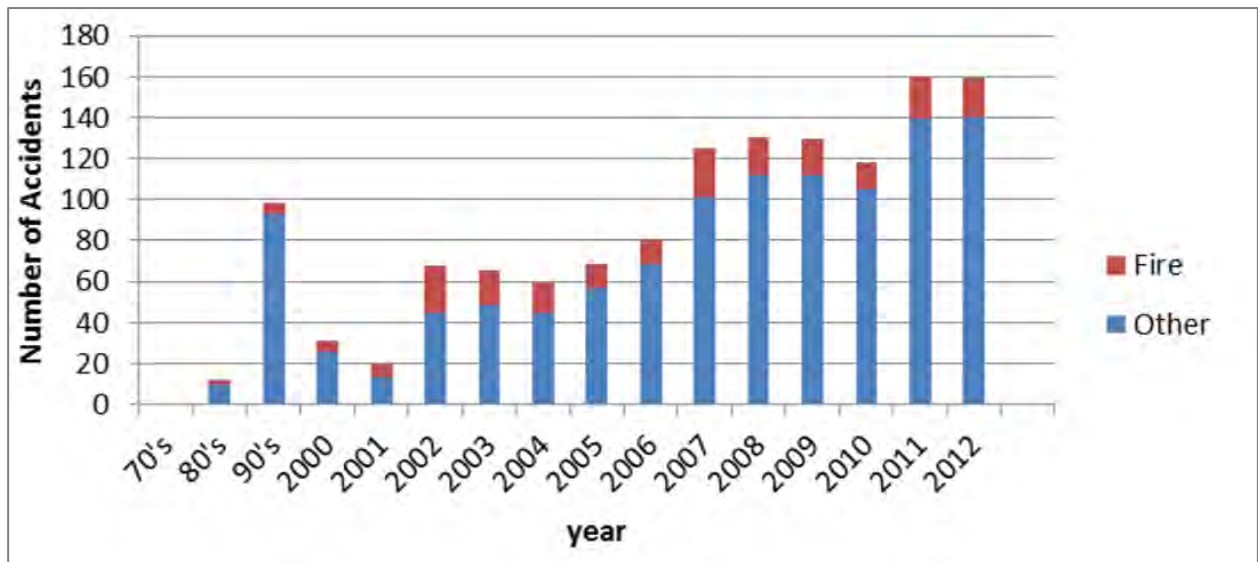


Diagramm 2: Unfallstatistiken inklusive Gondelbrand für Windkraftanlagen weltweit. Gesammelt von der britischen Anti-Windkraft-Lobby Gruppe *Caithness Windfarm Information Forum* (Uadiale, et al. 2013)

Aufbauend auf den gesammelten Daten von Young (2015) haben Forscher der University Edinburgh, des Technical Research Institute of Sweden und des Imperial College London eine wissenschaftliche Bewertung von Brandwahrscheinlichkeiten in Windkraftanlagen erstellt (Uadiale, et al. 2013).

In dieser wissenschaftlichen Bewertung kamen Uadiale, et al. (2013) im untersuchten Zeitraum von 1995-2012 auf durchschnittlich einen Gondelbrand pro Monat weltweit. Gleichzeitig waren im Jahr 2011 weltweit ca. 200.000 WKA installiert.

Es liegen für die einzelnen Länder von CWIF aufgezeichnete Daten vor. Aus diesen ergibt sich die Wahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes für Deutschland im Zeitraum 2004-2014 zu 0,128 Promille und für Österreich zu 0,15 Promille pro Anlage und Jahr. Errechnet wurden diese Wahrscheinlichkeiten über die jeweilige, zum Brandzeitpunkt installierte Anlagenanzahl.

5.1.2. Gesammelte deutsche & österreichische Medienberichte auf Wikipedia

Eine weitere umfangreiche Statistik zu Bränden in Deutschland und Österreich findet sich in der „Liste von Unfällen an WKA in Deutschland und Österreich“ auf Wikipedia (Wikipedia 2015). Diese deckt die Jahre 2005 bis 2014 ab und beruht auf im Internet verfügbaren Medienberichten. Vergleiche mit anderen Quellen haben gezeigt, dass verlässliche Daten in dieser Statistik erst ab dem Jahr 2008 verfügbar sind. Bei den gelisteten Brandvorfällen in Österreich handelt es sich zum Großteil um kleine Trafobrände, die meist außerhalb der WKA auf Freistellflächen aufgetreten sind und nur eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit aufweisen auf die Windkraftanlage oder den Wald überzugreifen. Trafobrände, die nicht zu Gondelbränden führen, werden im gegenständlichen Gutachten nicht weiter berücksichtigt.

Für Deutschland lässt sich aus den Daten eine Brandwahrscheinlichkeit für Gondelbrände berechnen. Im von der Statistik verlässlich erfassten Zeitraum 2008-2014 gab es in Deutschland 21 Gondelbrände, also durchschnittlich 3 pro Jahr. Dies entspricht einer Brandwahrscheinlichkeit von 0,136 Promille pro Anlage und Jahr. Errechnet wurde diese Wahrscheinlichkeit wieder über die jeweilige, zum Brandzeitpunkt installierte Anlagenanzahl.

5.1.3. Gesammelte weltweite Medienberichte der Bürgerinitiative Gegenwind-Vogelsberg

Die Bürgerinitiative Gegenwind-Vogelsberg hat für die letzten Jahre eine nur teilweise zuverlässige Sammlung an Medienberichten erstellt (Teegelbeckers 2015). Diese konzentriert sich vor allem auf Deutschland und ist erst ab 2008 konsequent geführt. Darüber hinaus sind Brände teilweise schlecht mit Quellen belegt oder doppelt angeführt.

Im Zeitraum 2008-2014 sind in Deutschland 20 mit verlässlichen Quellen belegte Gondelbrände vermerkt, was durchschnittlich 2,9 Bränden pro Jahr entspricht. Das ergibt eine Brandwahrscheinlichkeit von 0,13 Promille pro Anlage und Jahr.

5.1.4. Landtag Nordrhein-Westfalen zur Situation in Deutschland

Der Landtag Nordrhein-Westfalen beruft sich in einer Aussendung auf Fachpublikationen zur Brandgefahr von WKAs (NRW 2012). Diese gehen von 6-8 Gondelbränden pro Jahr aus, was einer Brandwahrscheinlichkeit von ca. 0,3 Promille pro Anlage und Jahr entspricht.

Die von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen genannten Zahlen sind mehr als doppelt so hoch, als die durch verfügbare Medienberichte bekannten Brandfälle. Dies spricht für einen schon in Abschnitt 5.1.1 diskutierten Faktor für Dunkelziffern aufgrund fehlender Statistiken und schwankender medialer Wahrnehmung.

Nachfragen beim zuständigen Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, auf welche Fachpublikationen für die ermittelte Brandwahrscheinlichkeit Bezug genommen wurde, blieben leider ergebnislos.

5.1.5. Vorfälle in Österreich

In Österreich sind laut Gesprächen mit Experten und der Datenbank von CWIF zwei Gondelbrände bekannt (Young 2015).

Am 2.5. 2000 brannte in Zurndorf bei Eisenstadt der Prototyp einer Windtec Anlage ab, und am 25.2.2012 brannte eine DeWind D6 bei Gols ab.

Beim ersten Brand wurde von Blitzschlag oder einem technischen Defekt ausgegangen, beim Gondelbrand in Gols ging der Brand vom Gleichrichter aus. In beiden Fällen erfolgte ein kontrollierter Abbrand ohne Übergreif auf die Umgebung.

Eine Brandwahrscheinlichkeit für Österreich lässt sich mit diesen beiden Bränden innerhalb von 15 Jahren erheben. Es kann eine Brandwahrscheinlichkeit von 0,27 Promille pro Anlage und Jahr angenommen werden, wenn man die Brände jeweils auf die zum Brandzeitpunkt installierte Anlagenzahl umrechnet und den Betrachtungszeitraum mit Zeitpunkt des ersten Brandes im Jahr 2000 beginnt.

Zusammenfassend zeigt Tabelle 6 die Übersicht der Brandwahrscheinlichkeiten in Promille pro Anlage und Jahr, welche sich aus den fünf verschiedenen Quellen ergibt:

Quelle	Wahrscheinlichkeit Deutschland	Wahrscheinlichkeit Österreich
CWIF 2004-2014	0,128 ‰	0,15 ‰
Wikipedia 2008-2014	0,136 ‰	0,20 ‰
Bürgerinitiative Gegenwind-Vogelsberg 2008-2014	0,13 ‰	-
Landtag NRW	0,3 ‰	-
Vorfälle in Österreich 2000-2014	-	0,27 ‰

Tabelle 6: Brandwahrscheinlichkeit von WKA in Deutschland und Österreich ermittelt anhand verschiedener Quellen

5.2. Aus Datenquellen ausgewertete Wahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes

Um eine zuverlässige Aussage für die Brandwahrscheinlichkeit für Österreich zu erhalten, wird Deutschland als statistisches Referenzland herangezogen. Neben der in Abschnitt 5.1 beschriebenen, hohen medialen Wahrnehmung ist der deutsche „Onshore“ Windkraftanlagenpark im Vergleich zum österreichischen auch um ein vielfaches größer, sodass sich jedes Jahr Brandfälle ereignen. Dies begünstigt eine möglichst zuverlässige statistische Auswertung für eine jährliche Brandwahrscheinlichkeit. Des Weiteren sind die Marktanteile der Hersteller in beiden Ländern ähnlich, was einen stichhaltigen Vergleich erleichtert (vgl. Abbildung 11).

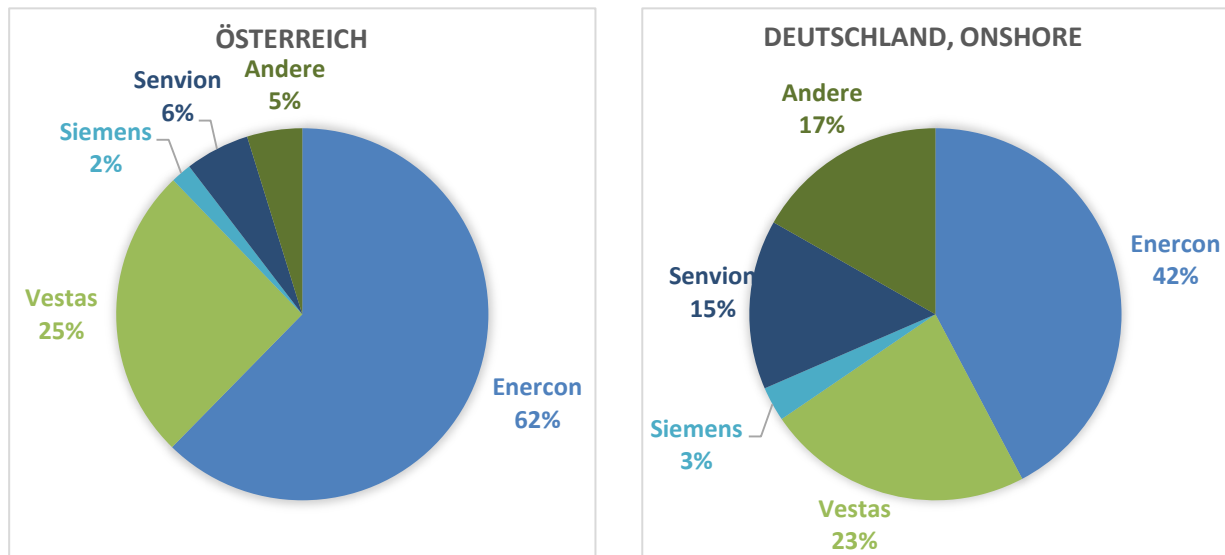


Abbildung 11: Vergleich der Marktanteile „Onshore“ von Österreich und Deutschland 2014 (IEA-Wind 2015)

Keine der während der Recherchen gefundenen Quellen umfasste tatsächlich alle Brandfälle. Deshalb wurde durch Verschneidung der Quellen eine aktuelle, möglichst umfassende Statistik der letzten 11 Jahre zu Gondelbränden in Deutschland erstellt (siehe Diagramm 3).

Folgende Datenbanken dienten dafür als Quellen:

- Caithness Windfarm Information Forum (CWIF) (Young, 2015)
- „Liste von Unfällen an Windkraftanlagen in Deutschland und Österreich“ (wikipedia.org, 2015)
- „Liste mit Brandereignissen“ der Bürgerinitiative Gegenwind-Vogelsberg (Teegelbeckers 2015) (nur als Ergänzung verwendet, da Datenbank an vielen Stellen unverlässlich und unvollständig)

Dem gegenübergestellt ist die absolute Anlagenzahl an „Onshore“-WKAs für denselben Zeitraum in Deutschland (vgl. Diagramm 4).

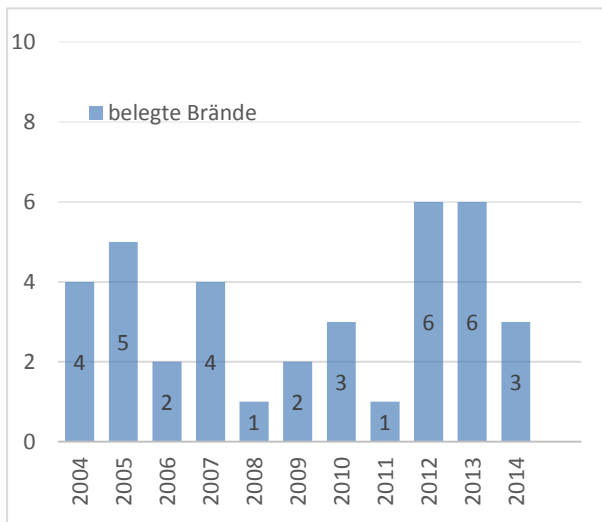


Diagramm 3: Absolute Anzahl der Gondelbrände in Deutschland 2004-2014 aus der Verschneidung der Datenquellen

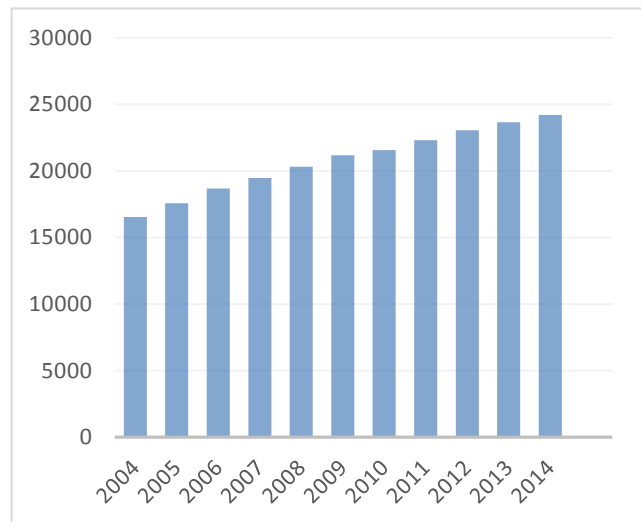


Diagramm 4: Anzahl installierter Onshore-Windkraftanlagen in Deutschland (Statista 2015)

Aus der absoluten Anzahl an Gondelbränden und der zum jeweiligen Jahr gesamten Anlagenanzahl ergibt sich die prozentuale Brandwahrscheinlichkeit für jedes Jahr. Diese ist in Diagramm 5 in Kombination mit einer linearen Trendlinie dargestellt. Die Trendlinie zeigt dabei eine Abnahme des Brandrisikos, wie es durch technologische Weiterentwicklung und einer Professionalisierung der Wartung auch zu erwarten ist.

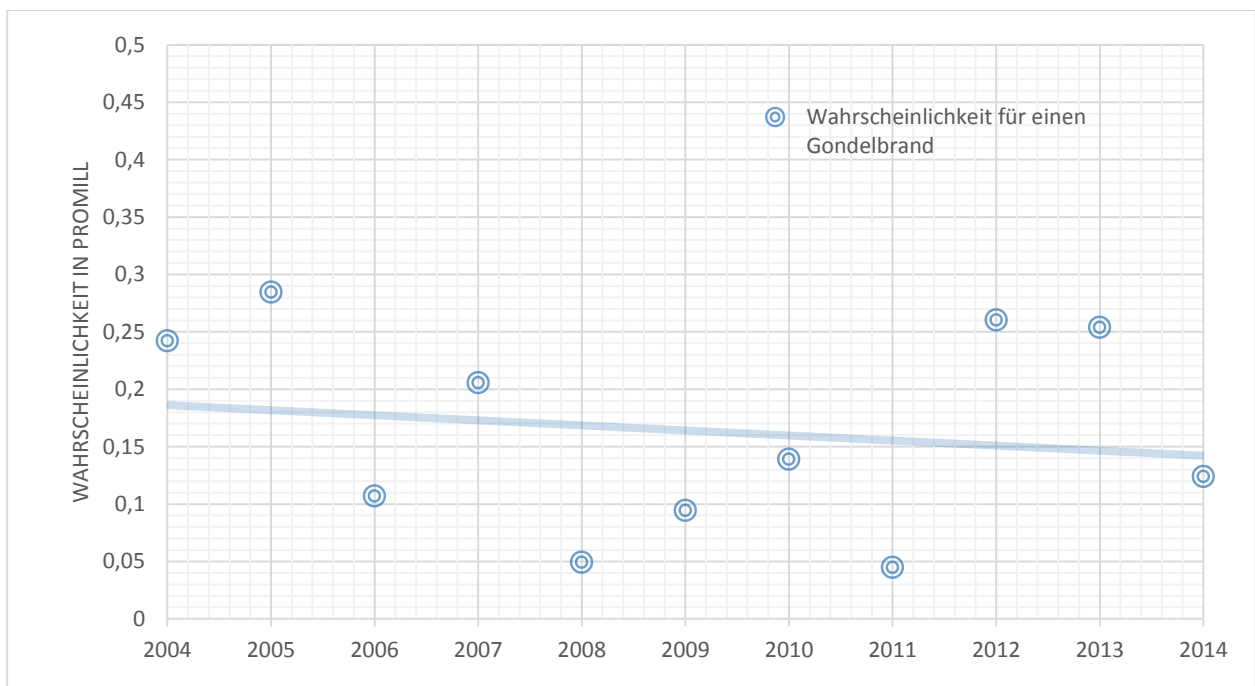


Diagramm 5: Wahrscheinlichkeit für einen Gondelbrand in Promille pro Anlage und Jahr von 2004-2014 mit Trendlinie

Die durchschnittliche Brandwahrscheinlichkeit ergibt sich über den betrachteten Zeitraum von 11 Jahren zu 0,17‰ pro Anlage und Jahr (entspricht $1,7 \cdot 10^{-4}$).

Berücksichtigung einer Dunkelziffer:

In der in Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Studie der University Edinburgh, des Technical Research Institute of Sweden und des Imperial College London wird von einer Dunkelziffer zu Gondelbränden bis zum Faktor 10 ausgegangen (Uadiale, et al. 2013).

Diese Annahme ist in einem weltweiten Kontext aus verschiedenen in Uadiale, et al. (2013) erläuterten Gründen denkbar, kann aber nicht ohne weiteres auf die Situation in Deutschland oder Österreich übertragen werden. Vor allem die von Land zu Land stark unterschiedliche mediale Wahrnehmung von Gondelbränden lässt einen direkten Vergleich nicht zu. Zum Beispiel haben im Jahr 2013 ein Viertel aller weltweit von Young (2015) aufgezeichneten Brandfälle in Deutschland stattgefunden, obwohl nur ca. 10% der weltweit installierten Anlagen in Deutschland zu finden sind. Dies ist insbesondere auffällig, da in Deutschland der Standard für Wartung und Betriebsführung besonders hoch ist. Die Brandhäufung in der Statistik für Deutschland lässt sich vor allem auf die große mediale Wahrnehmung von Unglücksfällen im Zusammenhang mit WKAs in Deutschland zurückführen. Eine höhere Schätzung der Anzahl der Gondelbrände bis zu einem Faktor von 10 aufgrund von Dunkelziffern, wie von Uadiale, et al. (2013) vorgeschlagen, ist daher für Deutschland unwahrscheinlich. Gleichzeitig bietet Deutschland, aufgrund dieser starken medialen Wahrnehmung, eine verlässliche Datengrundlage zu Gondelbränden.

Betrachtet man die Angaben der Landesregierung Nordrhein-Westfalen (vgl. Abschnitt 5.1.4) zur Brandwahrscheinlichkeit von WKA (0,27‰) und die vollständig erfassten Gondelbrände in Österreich (0,3‰, vgl. Abschnitt 5.1.5), liegt die Dunkelziffer maximal bei einem Faktor von 2.

Um einen konservativen Wert zu erhalten, welcher auch eventuelle Dunkelziffern berücksichtigt, wird die oben ermittelte Wahrscheinlichkeit mit diesem Sicherheitskoeffizienten von 2 beaufschlagt. Die sich ergebende Brandwahrscheinlichkeit beträgt so 0,34 Promille.

Für die ermittelten Zahlen muss ergänzt werden, dass zurzeit fast keine automatischen Löschsysteeme in neuen Anlagen installiert werden und in der Vergangenheit auch nicht wurden. Schätzungen des „Wind & Special Hazards competence centre, Minimax GmbH & Co KG“ gehen bei den optional zu installierenden, automatischen Löschsysteemen von nur 3% der bisher installierten Anlagen aus (Iken 2014). Aufgrund der geringen Anzahl können Anlagen mit automatischen Löschsysteemen für die Erhebung der Brandwahrscheinlichkeit vernachlässigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass diese Auswertung für alle WKA ohne automatisches Löschsysteeme gültig ist.

5.3. Waldbrandwahrscheinlichkeit nach einem Gondelbrand

Die folgende quantitative Abschätzung erfolgt, um einen Richtwert für die Wahrscheinlichkeit eines Waldbrandes zu erhalten, der durch einen Gondelbrand resultieren könnte. Da keine Statistiken über den Zusammenhang von Gondelbränden und Waldbränden existieren und für den europäischen Raum auch nicht zu erheben sind, wird eine Risikoanalyse nach ÖVE/ÖNORM EN 31010 durchgeführt (OEV Austrian Standards Institute 2010).

Damit aus einem Gondelbrand ein Waldbrand wird, müssen mehrere Gegebenheiten zutreffen. Um ausgehend von einem auslösenden Ereignis die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Folgeereignisses bestimmen zu können, eignet sich nach ÖVE/ÖNORM EN 31010 eine Risikoanalyse über einen Ereignisbaum (OEV Austrian Standards Institute 2010). Mit der Ereignisbaumanalyse können die sich nach einem anfänglichen Ereignis ergebenden potenziellen Szenarien dargestellt und analysiert werden. Zu beachten gilt dabei, dass jeweils dann eine quantitative Schätzung erfolgt, wenn für bestimmte Ereignisse

keine statistischen Daten vorliegen. Folgende Ereignisse sind ausschlaggebend für das Ausbrechen eines Waldbrandes:

- **Die herunterfallenden Teile können nicht gelöscht werden:** Es ist möglich, dass die Feuerwehr zum Zeitpunkt des Herabfallens erster brennender Teile/Stoffe noch nicht vor Ort ist oder dass sie aus Sicherheitsgründen nicht zu den brennenden Teile vordringen kann, da eine Gefährdung für die Feuerwehrleute durch weitere herabfallende Teile besteht. Empfehlungen des deutschen Feuerwehrverbandes raten einen Sicherheitsabstand von 500 Metern um die WKA einzuhalten (DFV 2008). Dieser Sicherheitsabstand kann das Löschen von brennenden Teilen in Anlagennähe verhindern. Ein Vordringen der Feuerwehr innerhalb dieses Bereichs kann von der Einsatzleitung für kleine Löschtrupps nach Beurteilung der Lage genehmigt werden, was aber erst bei Übergreifen des Feuers auf den Waldbestand oder hoher Waldbrandgefahr notwendig ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass herunterfallende Teile und Stoffe nicht gelöscht werden können, wird sehr konservativ mit 100% angenommen.
- **Es herrscht Waldbrandgefahr:** Die Waldbrandgefährdung hängt in Österreich stark von der Wetterlage und vor allem den Niederschlägen vergangener Tage ab. Von Waldbrandgefahr spricht man, sobald ein Wert höher als die niedrigste Gefahrenwarnstufe des 5-stufigen Waldbrandgefahrenindex angegeben wird. An diesen Tagen ist das Übergreifen des Brandes auf eine größere Waldfläche wetterbedingt überhaupt möglich.

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass die Waldbrandgefahr auch mit der Waldbrandgefahrenklasse des Waldstandortes in Verbindung gebracht werden muss. Laubwälder besitzen zum Beispiel eine weit geringere Waldbrandgefahrenklasse als reine Nadelholzwälder. Da im gegenständlichen Gutachten eine allgemeine standortunabhängige Aussage getroffen werden soll, wird bei der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes von einem Standort mit erhöhter Waldbrandgefahrenklasse ausgegangen, bei der sich ein Brand immer ausbreitet sobald wetterbedingt möglich. Somit wird konservativ für jeden Waldstandort angenommen, dass es, sobald die täglich ausgegeben wetterbedingte Waldbrand-Gefahrenwarnstufe über 1 liegt, zur Ausbreitung eines Gondelbrandes kommen kann. Dies ist laut Badeck, et al. (2003) an ca. 50% der Tage im Jahr der Fall.

In Abbildung 12 ist die Risikoanalyse anhand eines Ereignisbaumes dargestellt. Die Kette an Ereignissen, welche von einem Gondelbrand ausgehend zu einem Waldbrand führt, ist mit den jeweiligen quantitativen Wahrscheinlichkeiten aufgeführt. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine WKA, einen Gondelbrand mit anschließendem Waldbrand verursacht, liegt nach dieser Analyse bei 0,17 Promille pro Jahr und Anlage. Es führt also jeder zweite Gondelbrand im Wald auch zu einem Waldbrand. Die Annahmen zu dieser Wahrscheinlichkeit sind als konservativ anzusehen, da weltweit bisher nur in sehr trockenen Regionen Fälle von Waldbränden aufgrund von Gondelbränden aufgetreten sind (z.B. im Juli 2012 in Kalifornien, siehe (Raftery, 2012)). Des Weiteren befinden sich in direkter Umgebung der WKA größere Flächen, welche baumfrei gehalten werden, zum Beispiel als Kranstellflächen oder die direkte Umgebung um den Turmfuß. Landen brennende Teile dort, können sie kontrolliert abbrennen ohne einen Waldbrand auszulösen. Diese baumfreien Flächen nehmen laut Anforderungen der Hersteller etwa 20% der Rotorkreisfläche ein.

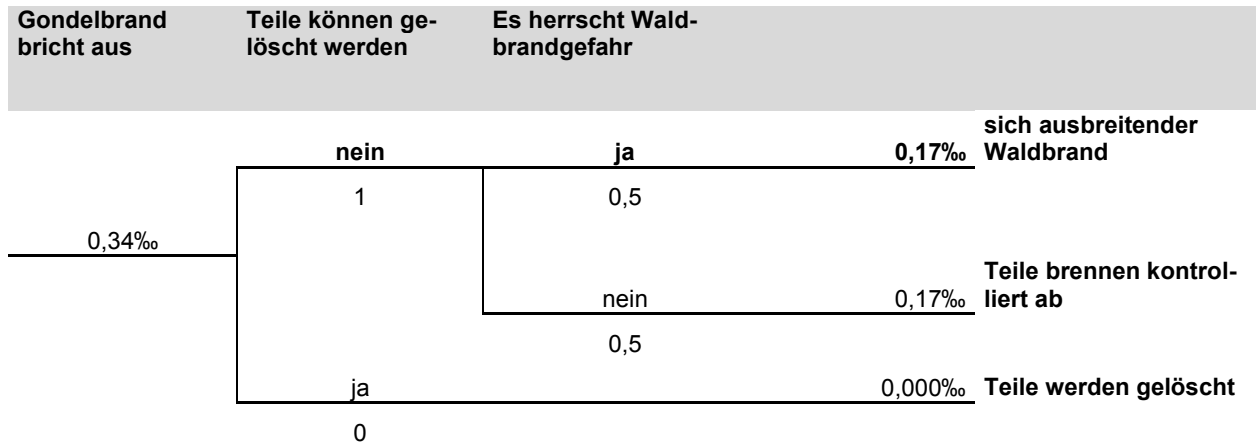


Abbildung 12: Ereignisbaumanalyse zur Waldbrandwahrscheinlichkeit nach einem Gondelbrand im Wald

5.4. Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen

Um die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Schadensfalles mit Todesfolge bestimmen zu können, wird im Folgenden untersucht, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass sich eine Person zum Zeitpunkt des Brandfalls in unmittelbarer Umgebung der WKA befindet.

Dabei wird zwischen drei Gefahrenbereichen unterschieden. Im Umkreis von 150 Metern um die Anlage gibt es den direkten Gefahrenbereich des Gondelbrandes, in dem, abhängig vom Wind, die herabfallenden Teile landen. Zusätzlich gibt es noch den Gefahrenbereich eines eventuell durch einen Gondelbrand ausgelösten Waldbrandes. Für einen Waldbrand sollte, laut Empfehlungen des Fachausschuss Brandschutz des Hessisches Ministerium des Innern und für Sport (2013) der gesamte, von der Feuerwehr abgesperrte Bereich als Gefahrenbereich angenommen werden. Dieser erstreckt sich in einem Radius von 500 Metern um die WKA. Für Betriebspersonal, das zum Brandzeitpunkt die Anlage wartet, stellt die Anlage selbst den Gefahrenbereich dar.

Für die jeweiligen Gefahrenbereiche muss eine eigene Aufenthaltswahrscheinlichkeit für Personen ermittelt werden.

- Direkter Gefahrenbereich herunterfallender Teile (bis 150m um WKA)
- Gefahrenbereich eines Waldbrandes (bis 500m um WKA)
- Gefahrenbereich für Wartungspersonal (Aufenthalt in und um die Anlage)

Als potenzielle Personengruppen, die sich mit einer statistisch relevanten Wahrscheinlichkeit in einem Wald aufhalten, kommen vor allem Jogger, Wanderer/Mountainbiker und Forstarbeiter infrage. Um deren statistische Aufenthaltswahrscheinlichkeit bestimmen zu können, müssen eine Reihe von Abschätzungen getroffen werden. Dazu wurden Daten über Freizeitaktivitäten der Österreicher von Statistik Austria (2015) und Daten über die Beschäftigungsverhältnisse in der Forstwirtschaft ausgewertet (Land&Forst Betriebe Österreich 2015).

Ausgegangen wird von einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit im Wald von einer halben Minute pro Österreicher pro Tag. Diese ergibt sich aus den Daten zu den Freizeitaktivitäten Wandern und Radfahren der Österreicher von Statistik Austria (2015). Hinzu kommen laut Land&Forst Betriebe Österreich (2015) ca. 8.000 Forstarbeiter, die an einem Werktag ihre gesamte Arbeitszeit im Wald verbringen.

Um eine konservative, allgemein gültige Betrachtung zu gewährleisten, wird vom Standort einer WKA in stark frequentierten Waldgebieten mit Rad- und Wanderwegen ausgegangen. Dem gegenüber steht, dass die meisten Personengruppen sich nur entlang dieser Wege im Wald aufhalten, was den Aufenthaltsbereich für Wanderer, Jogger usw. im Gefahrenbereich stark einschränkt. So ergibt sich die in Tabelle 7 aufgeführte Anzahl an Personenstunden in den Gefahrenbereichen einer WKA pro Jahr.

Für das Wartungspersonal können durchschnittliche jährliche Wartungszeiten herangezogen werden. Das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES gibt den durchschnittlichen jährlichen Stillstand einer WKA für Wartungsarbeiten mit 68 Stunden an (Patzke 2010). Es wird angenommen, dass sich immer Personal in und um die WKA aufhält, wenn diese zu Wartungszwecken stillsteht. Da ein Wartungsteam aus zwei Personen besteht, ergibt sich eine Aufenthaltszeit von 136 Personenstunden pro Anlage und Jahr.

Betriebsfremdes Personal			Betriebspersonal
Personengruppen	Direkter Gefahrenbereich (Teile bis 150m um WKA)	Indirekter Gefahrenbereich (Waldbrand bis 500m um WKA)	In und um die Anlage
<i>Wanderer und Radfahrer</i>	44 Personenstunden/Jahr	489 Personenstunden/Jahr	<i>Wartungspersonal</i> 136 Personenstunden/Jahr
<i>Forstarbeiter</i>	36 Personenstunden/Jahr	375 Personenstunden/Jahr	

Tabelle 7: Aufenthaltszeiten in Personenstunden in den Gefahrenbereichen pro Jahr für verschiedene Personengruppen

Aus den Aufenthaltszeiten können Aufenthaltswahrscheinlichkeiten zu einem bestimmten Brandzeitpunkt berechnet werden, vgl. Tabelle 8.

	Betriebsfremdes Personal		Betriebspersonal
	Direkter Gefahrenbereich (Teile bis 150m um WKA)	Indirekter Gefahrenbereich (Waldbrand bis 500m um WKA)	Wartungspersonal in und um die Anlage
Gesamt	0,89%	9,85%	1,58%

Tabelle 8: Aufenthaltswahrscheinlichkeit einer Person im Gefahrenbereich zum Zeitpunkt des Brandes pro Jahr

Abschließend sei gesagt, dass die hier errechneten Aufenthaltswahrscheinlichkeiten allgemeine Werte für jeden Zeitpunkt darstellen. Es ist davon auszugehen, dass diese Werte im Zeitraum eines Brandes um ein Vielfaches niedriger sind, da genannte Personengruppen das Gefahrengbiet verlassen werden.

5.5. Schadensausmaß

Abbildung 135 stellt die Beziehung des Gondelbrandes zum verursachten Schadensausmaß grafisch dar.

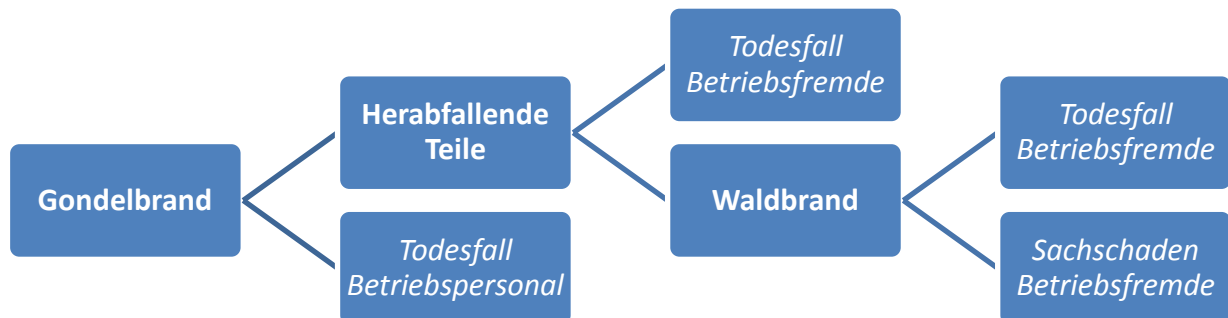


Abbildung 13: Grafische Darstellung vom Gondelbrand zum Schadensausmaß

5.5.1. Todesfall

Es ist in der Risikoanalyse üblich, vom schlimmsten Szenario auszugehen. Somit ist das größte, bei einem Gondelbrand eintretende Schadensausmaß der Tod einer oder mehrerer Personen.

Ein Todesfall von unbeteiligten Personen kann sowohl direkt durch herabfallende Teile/Stoffe, wie auch indirekt durch einen eventuell ausgelösten Waldbrand verursacht werden.

Wartungspersonal kann direkt bei Aufenthalt in der Anlage zum Brandzeitpunkt ums Leben kommen, etwa durch Ersticken bzw. Verbrennen.

5.5.2. Sachschaden

Für ein Schadensausmaß am Eigentum oder sonstigen dinglichen Rechten von dritten/unbeteiligten Personen muss in einem Wald primär der Baumbestand betrachtet werden. In einem relevanten Ausmaß wird dieser nur durch einen Waldbrand gefährdet und nicht durch herabfallende Teile.

Es ist auszuschließen, dass sich weitere gefährdete Objekte, wie Häuser in der in Abschnitt 5.4 definierten Gefahrenzone eines Waldbrandes befinden, da bewilligungsrechtlich ein Sicherheitsabstand der WKA zur nächsten Bebauung eingehalten werden muss. Davon sind lediglich kleine Wald- und Jagdhütten ausgenommen. Für eine allgemein gültige Betrachtung ist davon auszugehen, dass nur der Waldbestand als relevanter Sachwert gefährdet ist.

6. Risikobewertung

Mittels Risikobewertung wird, nach ÖNORM EN ISO 12100-2, das vom System ausgehende Risiko bezüglich der gesellschaftlichen Akzeptanz geprüft.

Für das gegenständliche Gutachten wird beurteilt, ob das Risiko, das vom Betrieb der WKA im Wald ausgeht, unter den gegebenen Rahmenbedingungen akzeptabel ist. Dies geschieht anhand des Vergleichs der für das Vorhaben errechneten Risiken mit den Grenzwerten des akzeptierten Risikos.

6.1. Grenzwerte für die akzeptierte Risikobelastung

Um eine akzeptierte Risikobelastung anhand von Grenzwerten definieren zu können, sollen für dieses Gutachten sowohl plausible Grenzwerte betreffend des akzeptierten Todesfallrisikos, wie auch des akzeptierten Sachrisikos ausgewählt werden. Akzeptiert verweist in diesem Zusammenhang auf die gesellschaftliche Akzeptanz. Die übliche Betrachtungsweise für die Zulassung von technischen Systemen erfolgt mittels des allgemein akzeptierten Todesfallrisikos, weniger üblich ist die Betrachtung des akzeptierten Sachrisikos.

6.1.1. Akzeptiertes Todesfallrisiko für betriebsfremde Personen

Das schlimmste anzunehmende Schadensausmaß in der Risikoethik ist nach Bachmann (2006) der Tod. Das akzeptierte Todesfallrisiko stellt somit den wichtigsten Grenzwert in der Risikobewertung dar und wird im Rahmen dieses Gutachtens auch dementsprechend gewichtet. Die Höhe des Grenzwerts ist am strengsten gesetzt, sodass andere Schäden, wie etwa Leidenszustände öfter eintreten dürfen, bzw. bei geringerer Eintrittswahrscheinlichkeit nicht weiter betrachtet werden müssen (Bachmann 2006).

Der Grenzwert eines gesellschaftlich akzeptierten Todesfallrisikos wird für dieses Gutachten über die Minimale Endogene Mortalität (MEM) nach CENELEC-Norm EN 50126 ermittelt. Die MEM ist dabei ein Maß für das allgemein akzeptierte Risiko, durch eine Technologie zu Tode zu kommen. Definiert wird sie über das statistische Sterberisiko eines europäischen Jugendlichen, welches bei 0,0002 ($2 * 10^{-4}$) Todesfällen pro Person und Jahr liegt (CENELEC 2000).

Die MEM dient bei der Zulassung kompletter Systeme als Risikogrenzwert und wird vor allem dann zuzugrunde gelegt, wenn für die jeweilige Technologie keine konkreten Grenzwerte vorliegen (CENELEC 2000). Dies ist im vorliegenden Gutachten der Fall, da keine Risikogrenzwerte betreffend der Brandgefahr von WKA definiert sind.

Nach der CENELEC-Norm EN 50126 muss davon ausgegangen werden, dass jeder Mensch einer Vielzahl von technischen Systemen gleichzeitig ausgesetzt ist. Die Norm setzt die Anzahl auf 20 technische Systeme womit ein Grenzwert von $1/20$ MEM als untere Grenze für das allgemein akzeptierte Todesfallrisiko anzusetzen ist. Dies entspricht $0,00001$ ($1 * 10^{-5}$) Toten/Jahr für jedes System und wird für das aktuelle Gutachten übernommen (CENELEC 2000).

Grenzwert: Gesellschaftlich akzeptiertes Todesfallrisiko für unbeteiligte Personen $\leq 1 * 10^{-5}$

Laut Zapf, Klein und Weidl (2004) stellt dieser Wert in verschiedenen Ländern mit einem hohen technischen Zivilisationsstand ein zumutbares Risiko dar und dient zur Orientierung in Branchen ohne festgelegte Risikoakzeptanzkriterien.

Die Festlegung eines fixen Grenzwertes für gesellschaftlich akzeptierte Risiken ist trotz der vorgestellten Methodik über die MEM nie genau möglich, da die Auffassung, ob etwas zu riskant ist, von zahlreichen Faktoren abhängt. Zum Beispiel ob eine Alternative existiert oder ob es erst kürzlich größere Unfälle gegeben hat, welche die Gesellschaft sensibilisieren. Um auch noch solche Schwankungen in der Akzeptanz zu berücksichtigen, wird der Grenzwert für das gegenständliche Gutachten mit einem weiteren Sicherheitsfaktor von 0,1 beaufschlagt. So erhält man einen sehr konservativen, oberen Grenzwert. Verschiedene in der Literatur zu findende Studien sprechen von einem gesellschaftlich akzeptierten Todesfallrisiko im Bereich zwischen $1 * 10^{-4}$ bis $1 * 10^{-6}$. Eine Auflistung verschiedener Risikostudien findet sich zum Beispiel in Hess (2011). Der im Gegenständlichen Gutachten gewählte Grenzwert von $1 * 10^{-6}$ bewegt sich somit an der obersten Grenze der in der Literatur zu findenden Werte.

Oberer Grenzwert inklusive Sicherheitsfaktor:

Konservatives, gesellschaftlich akzeptiertes Todesfallrisiko betriebsfremder Personen $\leq 1 * 10^{-6}$

6.1.2. Akzeptiertes Todesfallrisiko für Wartungspersonal

Bei der Ausübung eines Berufes geht man bewusst ein Risiko ein, und so wird allgemein angenommen, dass das Risiko am Arbeitsplatz zu sterben höher sein darf, als das Risiko „unfreiwillig“ zu Tode zu kommen. Dies gilt insbesondere für Berufe mit Kontakt zu Gefahrenquellen, wie z. B. Wartung von Maschinen.

Für akzeptierte Todesfallrisiken am Arbeitsplatz gilt verbreitet ein Wert von $1 * 10^{-4}$, siehe dazu Wilhelm (1999), Bienz und Niederhäuser (2000), Paté-Cornell (2002) und Hess (2011). Dieser Wert entspricht 1/2 MEM, und folgt so der Argumentation, dass das akzeptierte Todesfallrisiko am Arbeitsplatz nicht über dem natürlichen Todesfallrisiko liegen darf.

Auch dieser Grenzwert wird, wie schon beim Todesfallrisiko für betriebsfremde/unbeteiligte Personen, mit einem zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 0,1 beaufschlagt, um einen möglichst konservativen Wert zu erhalten.

Oberer Grenzwert inklusive Sicherheitsfaktor:

Konservatives, akzeptiertes Todesfallrisiko für Wartungspersonal $\leq 1 * 10^{-5}$

6.1.3. Akzeptiertes Sachrisiko für unbeteiligte Personen

Für die Ermittlung eines allgemein akzeptierten Risikos bezüglich Sachwerten gibt es kaum Publikationen und keine Empfehlungen aus Normen. Der Grenzwert für das akzeptierte Sachrisiko wird für dieses Gutachten nach Hess (2011) hergeleitet. Dabei wird ein Ansatz verfolgt, bei dem die durch das Risiko entstehenden Kosten das durchschnittliche Einkommen eines Individuums nicht unter das Existenzminimum reduzieren dürfen (Hess, 2011). Dieser Ansatz entstand durch Überlegungen zu Naturrisiken und bietet sich daher für Waldbrände im Besonderen an.

Für die Bewertung des Einkommensverlustes wird vom durchschnittlichen netto Pro-Kopf-Einkommen ausgegangen. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit und um eine objektive und rechtsgleiche Risikobewertung zu gewährleisten, bleiben die individuellen wirtschaftlichen Verhältnisse unberücksichtigt (Hess 2011).

Das jährliche pro Kopf Einkommen in Österreich lag für das Jahr 2014 nach Statistik Austria (2015) bei 21.900 Euro/Person. Der allgemeine Grundbetrag für das Existenzminimum beträgt nach

Bundesministerium für Justiz (2014) 10.300 Euro/Person. Für eine Privatperson kann so der Grenzwert für ein akzeptiertes Sachrisiko zu 11.600 Euro/ Person und pro Jahr ermittelt werden.

Da sich die Bewertung des akzeptierten Sachrisikos nach Hess (2011) auf Naturrisiken bezieht, ist eine Umrechnung auf vom Menschen verursachte Risiken notwendig. Die Umrechnung für technische Anlagen sollte laut Angaben von (Hess 2015) mit dem Faktor 0,1 geschehen und ergibt für den vorliegenden Fall ein akzeptiertes Risiko von 1.160 €/Person und Jahr. Der Faktor von 0,1 wurde in der Literatur auch für die Umrechnung des akzeptierten Todesfallrisikos von Naturkatastrophen zu technischen Anlagen verwendet und stimmt mit dem Wert aus der Ermittlung über die MEM überein.

Der Sachschaden muss für diese Methodik einem Individuum zugeordnet sein, was im Einzelfall anhand der Eigentumsverhältnisse abzuklären wäre. Für eine konservativere Herangehensweise wird der schlimmste Fall angenommen, dass der gesamte, vom Waldbrand verursachte Schaden bei einer einzigen Person entsteht.

Grenzwert: Akzeptiertes Sachrisiko für unbeteiligte Personen \leq 1.160 € pro Person und Jahr

Für die akzeptierte Risikobelastung ergeben sich die in Tabelle 9 zusammengefassten Grenzwerte.

Grenzwerte	
Akzeptiertes Todesfallrisiko für Passanten (inkl. Sicherheitsfaktor)	$1 * 10^{-6}$ pro Person und Jahr
Akzeptiertes Todesfallrisiko für Wartungspersonal (inkl. Sicherheitsfaktor)	$1 * 10^{-5}$ pro Person und Jahr
Akzeptiertes Sachrisiko	1.160 € pro Person und Jahr

Tabelle 9: Ermittelte Grenzwerte für gesellschaftlich akzeptierte Risiken

6.2. Ermittlung des Todesfallrisikos durch Brände von WKA im Wald

In der Risikobewertung wird das Risiko über das Schadensausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeit berechnet.

$$\text{Risiko} = \text{Schadensausmaß} * \text{Eintrittswahrscheinlichkeit}$$

Beim Todesfallrisiko beträgt das Schadensausmaß gleich 1 (für einen Toten) und die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmt direkt das Todesfallrisiko.

Um der Besonderheit eines Waldstandortes gerecht zu werden, wird in den folgenden Abschnitten zwischen einem direkten und einem indirekten Todesfallrisiko unterschieden.

- **Direktes Todesfallrisiko für Unbeteiligte** durch Gondelbrand → Gefahrenbereich herunterfallender Teile (bis 150m um WKA)
- **Direktes Todesfallrisiko für Wartungspersonal** durch Gondelbrand → Gefahrenbereich in und um die Anlage
- **Indirektes Todesfallrisiko** durch eventuellen Waldbrand → Gefahrenbereich eines Waldbrandes (bis 500m um WKA)

6.2.1. Direktes Todesrisiko für Unbeteiligte durch herabfallende Teile

Die Annahme, dass alle Personen, die sich zum Brandzeitpunkt im Gefahrenbereich herabfallender Teile ($r < 150\text{m}$) aufhalten ums Leben kommen, ist unrealistisch. Vor allem, da nie der gesamte Bereich von ca. 71.000 m^2 gleichzeitig von herabfallenden Teilen betroffen ist. Herabfallende Teile sind als singuläre Ereignisse über eine Branddauer verteilt zu sehen. Diesen Umständen wird über einen Korrekturfaktor ($K_{\text{Korrekturfaktor, Trümmer}} = 0,1$) Rechnung getragen. Der Korrekturfaktor gibt an, dass nie mehr als 10% der Fläche unter der WKA gleichzeitig von herabfallenden Teilen betroffen ist.

Des Weiteren wird im Brandfall der betroffene Bereich weiträumig von der Feuerwehr abgesperrt und vernünftige Personen haben Hemmungen, sich einer stark brennenden Windkraftanlage soweit zu nähern. Erfahrungswerte bei Gondelbränden in Deutschland haben gezeigt, dass brennende Teile erst nach ca. einer Stunde von der Anlage abfallen. Aufgrund genannter Gründe ist es realistisch, die in Abschnitt 5.4 hergeleitete Aufenthaltswahrscheinlichkeit mit einem weiteren Korrekturfaktor ($K_{\text{Korrekturfaktor, Aufenthaltswahrscheinlichkeit}} = 0,1$) zu beaufschlagen. Dieser Korrekturfaktor gibt an, dass nur jeder Zehnte sich weiterhin, trotz Gondelbrand und Absperrung in direkter Nähe zur WKA aufhält.

$$P_{\text{Tod, Trümmer}} = P_{\text{Gondelbrand}} * P_{\text{Aufenthalt, Zone1}} * K_{\text{Korrekturfaktor, Trümmer}} * K_{\text{Korrekturfaktor, Aufenthaltswahrscheinlichkeit}}$$

Für eine Gondelbrandwahrscheinlichkeit von $0,34\text{‰}$ ergeben sich die in Tabelle 11 aufgeführten Todesfallrisiken.

6.2.2. Direktes Todesfallrisiko für Wartungspersonal

Konservativ wird für dieses Gutachten angenommen, dass das gesamte Wartungspersonal ums Leben kommt, wenn diese zum Brandzeitpunkt in der Anlage ist. Todesfälle von Arbeitern an einer WKA durch einen Gondelbrand gab es bereits 2013 in den Niederlanden. Dabei kamen, nach unsachgemäßen Wartungsarbeiten, zwei von vier Wartungsarbeitern ums Leben, da die Fluchtwege durch die Flammen versperrt waren (Rafferty 2013).

Es ist allerdings zu beachten, dass während der Wartungsarbeiten viele Brandursachen entfallen, da die WKA während dieser Zeit abzuschalten ist. Übrig bleibt nur mehr ein Brand direkt infolge unsachgemäßer Wartungsarbeiten. Dies wird über einen Korrekturfaktor von $0,1$ berücksichtigt. Dieser Korrekturfaktor gibt an, dass die Brandwahrscheinlichkeit in einer abgeschalteten WKA auf ein Zehntel sinkt.

$$P_{\text{Tod, Wartungspersonal}} = P_{\text{Gondelbrand}} * P_{\text{Aufenthalt, Wartungspersonal}} * K_{\text{Korrekturfaktor, Wartungsp.}}$$

6.2.3. Indirektes Todesfallrisiko durch Waldbrand

Im Fall eines Waldbrandes muss ein erheblich weitläufigeres Gefahrengebiet betrachtet werden ($r < 500\text{m}$). Die Fläche ist 10-mal größer als beim Gefahrenbereich durch herabfallende Teile und somit auch die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen in diesem Bereich. Allerdings kann nicht argumentiert werden, dass jeder ausgelöste Waldbrand den Tod aller sich im betrachteten Gefahrenbereich befindlichen Personen zur Folge hat, da sich ein Waldbrand erst vom Brandherd ausbreiten muss. Je nach Brandtyp und vorherrschender Windgeschwindigkeit geschieht dies verschieden schnell, und so ist die Flucht oder auch die Bergung von gefährdeten Personen durch die Feuerwehr möglich. Waldbrände in

Österreich, vor allem bei Anwesenheit der Feuerwehr, brachten in der Vergangenheit keine Todesopfer mit sich. Aus den genannten Gründen wird ein Korrekturfaktor für Todesopfer durch einen Waldbrand von 0,01 gewählt. Dieser Korrekturfaktor gibt an, dass jede hundertste Person, die sich im weiträumigen Gefahrenbereich aufhält, bei Ausbruch eines Waldbrandes zu Tode kommt.

$$P_{Tod,Waldbrand} = P_{Waldbrand} * P_{Aufenthalt,Zone2} * K_{Korrekturfaktor,Waldbrand}$$

In Tabelle 10 sind die Eingangsparameter für die Ermittlung des Todesfallrisikos zusammengefasst.

Eingangsparameter			
Wahrscheinlichkeit Gondelbrand	$P_{Gondelbrand}$	0,34 ‰	Vgl. 5.2
Aufenthaltswahrscheinlichkeit Teile- Gefahrenbereich	$P_{Aufenthalt,Zone1}$	0,89 %	Vgl. 5.4
Aufenthaltswahrscheinlichkeit Waldbrand-Gefahrenbereich	$P_{Aufenthalt,Zone2}$	9,85 %	Vgl. 5.4
Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Wartungspersonals	$P_{Aufenthalt,Wartungspersonal}$	1,58 %	Vgl. 5.4
Wahrscheinlichkeit Waldbrand	$P_{Waldbrand}$	0,17 ‰	Vgl. 5.3
Korrekturfaktor für Todesfälle durch Teile	$K_{Korrekturfaktor,Trümmer}$	0,01	Vgl. 6.2.1
Korrekturfaktor für Todesfälle beim Wartungspersonal	$K_{Korrekturfaktor,Wartungsp.}$	0,1	Vgl. 6.2.2
Korrekturfaktor für Todesfälle durch Waldbrand	$K_{Korrekturfaktor,Waldbrand}$	0,01	Vgl. 6.2.3

Tabelle 10: Eingangsparameter für die Risikoermittlung

Für eine Waldbrandwahrscheinlichkeit von 0,17‰ ergeben sich für betriebsfremde Personen die in Tabelle 11 aufgeführten Todesfallrisiken.

Todesfallrisiken pro Jahr für betriebsfremde Personen			Grenzwert (inkl. Sicherheitskoeffizient)
Direkt für betriebsfremde Personen (r<150m)	$P_{Tod,Trümmer}$	$3,02 * 10^{-8}$	$1 * 10^{-6}$
Indirekt für betriebsfremde Personen (r<500m)	$P_{Tod,Waldbrand}$	$1,68 * 10^{-7}$	
Gesamt für betriebsfremde Personen		$1,98 * 10^{-7}$	

Tabelle 11: Todesfallrisiko pro Jahr und Anlage für betriebsfremde Personen

Die Summe der beiden Risiken für unbeteiligte Personen liegt trotz der konservativ getroffenen Annahmen mit $1,98 * 10^{-7}$ deutlich unter dem gesellschaftlich akzeptierten Todesfallrisiko von $1 * 10^{-6}$ (inkl. dem gewählten zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 0,1).

In Tabelle 12 ist das Todesfallrisiko für Wartungspersonal durch einen Gondelbrand pro Jahr und Anlage angegeben.

Todesfallrisiken pro Jahr für Wartungspersonal			Grenzwert (inkl. Sicherheitskoeffizient)
Wartungspersonal	$P_{Tod,Wartungspersonal}$	$5,36 * 10^{-7}$	$1 * 10^{-5}$

Tabelle 12: Todesfallrisiko für Wartungspersonal pro Jahr und Anlage

Das Todesfallrisiko für Wartungspersonal liegt ebenfalls unter dem akzeptierten Todesfallrisiko am Arbeitsplatz (inkl. dem gewählten zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 0,1 und trotz konservativer Annahmen).

6.3. Ermittlung des Sachrisikos durch Waldbrand

Um das Sachrisiko im Vergleich zum gesellschaftlich akzeptierten Sachrisiko (vgl. Kapitel 6.1.2) abschätzen zu können, müssen die Sachschäden von Dritten, sprich nicht die der WKA Betreiber, betrachtet werden. Bei Waldstandorten sind das für Gondelbrände vor allem Sachschäden am Baumbestand der umliegenden Wälder, insbesondere bei Ausbruch eines Waldbrandes, wie in Abschnitt 5.5.2 erläutert. Bei Sachschäden wird eine monetäre Bewertung des Schadens herangezogen.

Der Verkehrswert eines Waldes liegt im Durchschnitt bei 0,95 – 1,65 €/ m², wobei der Bodenwert in diesem Fall noch abgezogen werden muss (ca. 0,5 €/m²), um den Wert des Baumbestandes zu erhalten (Bayerischer Waldbesitzerverband e.V. 2015). Der durchschnittliche Sachschaden bei einem Waldbrand liegt also im Bereich 0,45-1,15 €/m² und wird als weitere Berechnungsgrundlage für das Sachrisiko herangezogen.

Die maximale Fläche des Waldbrandes wird, wie oben erwähnt, auf Empfehlung des des deutschen Feuerwehrverbandes (DFV 2008), in einen Bereich von 500 Metern um die WKA angenommen. Dieser Gefahrenbereich umfasst eine Fläche von 785.400 m² auf welcher ein Totalverlust an Waldbestand im Falle eines Waldbrandes angenommen wird, was einem Schadensausmaß von 903.210 € entspricht.

$$P_{Sachrisiko,Waldbrand} = \text{Schadensausmaß} * P_{Waldbrand}$$

Berechnungsgrundlagen für Sachrisiko		
Durchschn. Verkehrswert Wald		1,65 €/m ²
Durchschn. Bodenwert Wald		0,5 €/m ²
Durchschn. Wert des Baumbestandes		1,15 €/m ²
Waldfläche Gefahrenbereich		785.400 m ²
Wert des Baumbestandes im Gefahrenbereich	Schadensausmaß	903.210 €
Eintrittswahrscheinlichkeit Waldbrand	$P_{Waldbrand}$	0,17 ‰

Tabelle 13: Zusammengefasste Berechnungswerte zur Ermittlung des Sachrisikos

Ermitteltes Sachrisiko			Grenzwert
Baumbestand im gesamten Gefahrenbereich (r<500m)	$P_{Sachrisiko,Waldbrand}$	153,5 €	1.160 €

Tabelle 14: Ermitteltes Sachrisiko für das Eigentum „Wald“

Mit den in Tabelle 13 angeführten Werten ergibt sich ein Sachrisiko von 153,5 € für den gesamten durch Waldbrand gefährdeten Bereich. Dieser Wert liegt weit unter dem konservativen Grenzwert von 1.160 € (vgl. Abschnitt 6.1.3), bei dem der gesamte Schaden am Wald einer Person zugerechnet wird.

7. Ergebnisbewertung und empfohlene Maßnahmen

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass selbst beim bestehenden Anlagenpark, der nicht dem neusten Stand der Technik entspricht, das Gesamtrisiko für betriebsfremde Personen und für das Wartungspersonal, durch einen Gondelbrand an einer WKA im Wald zu Schaden zu kommen, im Bereich von $<10^{-6}$ liegt und somit deutlich unter den jeweiligen, konservativen und gesellschaftlich akzeptierten Grenzwerten.

Die Sicherheit von Personen und dinglichen Rechten kann durch zusätzliche Maßnahmen zur weiteren Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. des Ausmaßes eines Schadensfalles gewährleistet und ggf. weiter erhöht werden. Bei den in diesem Kapitel dargestellten Empfehlungen wurde auf die Vorschläge folgender Organisationen eingegangen:

- „Fachausschuss Brandschutz“ des Hessischen Ministerium für Inneres und für Sport
- European Fire Protection Association
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft GDV
- Empfehlungen des deutschen Feuerwehrverbandes
- Merkblatt des niederösterreichischen Landesfeuerwehrverbandes

7.1. Alarm- und Brandschutzpläne

Waldstandorte liegen oft in unübersichtlichen Gebieten. Daher empfiehlt es sich, genaue Orientierungshilfen und schnell erfassbare Informationen für Feuerwehrleute und Rettungsmannschaften zur Unterstützung bereitzustellen. Dafür sollte im Zuge der Anlagenkollaudierung und vor der ersten Inbetriebnahme der Anlage, in Zusammenarbeit zwischen Einsatzkräften und dem Windparkbetreiber, ein Alarm- und Brandschutzplan entsprechend TRVB 121 erstellt werden.

Dabei können für WKA an Waldstandorten folgende Punkte beachtet werden:

- Übersichtskarte mit Angaben zu den Standorten der einzelnen Windkraftanlagen (Koordinaten, Bezeichnung, Nummer), zu benachbarten Windkraftanlagen, Zufahrtswegen, Löschwasserstellen, Absperrbereichen und einsatzrelevanten Höhenangaben
- Erfordernis von Anzahl und Art der Einsatzfahrzeuge im Ernstfall
- Sofortmaßnahmen seitens des Windparkbetreibers (z.B. Trennung der Windkraftanlage vom Stromnetz)
- Informationen für die Feuerwehr über mögliche Brandereignisse (z.B. Brand in der Gondel, Trafobrand, Brand der Schaltanlage im Turmkeller...)
- Festlegung der Kommunikationskanäle zwischen Betreiber und Einsatzkräften inklusive Kontakinfo zu verantwortlichen Personen in der Betriebsstelle des Windparkbetreibers. Brandmeldungen durch das Brandmeldesystem der Windkraftanlage sollten direkt an die Betriebsüberwachungszentrale des Anlagenbetreibers geleitet und von dieser erst nach Überprüfung der aktuellen Situation mittels Fernüberwachung an die zuständigen Stellen der Feuerwehr weitergeleitet werden. Für den Fall, dass die durchgehende Betriebsüberwachung einer Anlage nicht gegeben ist, müssen in Absprache mit der Feuerwehr geeignete Alarmierungswege konzipiert werden.

Im Zuge der Inbetriebnahme der Windkraftanlagen sollten die hilfeleistenden Feuerwehren entsprechend den Alarm- und Brandschutzplänen über die entsprechenden Orts- und Gefahrenbedingungen informiert und der Alarmplan im Rahmen einer Übung geprüft werden.

7.2. Automatische Brandlöscheinrichtungen

Eine Möglichkeit, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadensfalles weiter zu reduzieren, ist die Installation einer Brandlöscheinrichtung in der WKA. Dabei kommen je nach Anlagenhersteller unterschiedliche Technologien zum Einsatz, deren Ziel es ist, einen eventuellen Brand im Inneren der WKA bereits in der Entstehungsphase zu löschen und so ein Übergreifen des Feuers auf die Umgebung zu unterbinden.

Aus Sicht des Gutachtens ist es aufgrund des in diesem Gutachten ermittelten niedrigen Risikopotentials eines Gondelbrandes, welches für WKA ohne zusätzliche Brandlöscheinrichtungen erhoben wurde, nicht zwingend erforderlich, ein automatisches Löschesystem vorzuschreiben.

Des Weiteren ist die Akkreditierung/Zertifizierung solcher Systeme durch Prüfinstitute bisher nicht klar geregelt. Falls die Behörde Prüfberichte als unerlässlich ansieht, könnte in Form eines Auflagepunktes festgehalten werden, dass ein Prüfbericht zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme vorzulegen ist.

Eine Bewertung des Restrisikos trotz Verwendung von automatischen Sprinkleranlagen zur automatischen Brandbekämpfung, wie in Abschnitt 4.3.3 genauer beschrieben, wurde von Thompson (2011) durchgeführt. Dabei wurde auf Daten zu wasserbasierten Sprinklersystemen in Häusern zurückgegriffen und daraus Rückschlüsse auf die Effektivität von Sprinklersysteme in WKA gezogen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Sprinklersystem im Brandfall auch wirklich auslöst, wird mit 96% angegeben. Die Wahrscheinlichkeit, dass das ausgelöste Sprinklersystem auch wirklich den Brand eindämmen kann, wird ebenfalls mit 96% angegeben, womit sich insgesamt eine Effektivität dieses Löschesystems mit 92% ergibt (Thompson 2011). Somit würde sich die Wahrscheinlichkeit eines Gondelbrandes mit einem Raumlöschungs-Sprinklersystem um den Faktor 10 senken lassen.

Da die für WKA angebotenen Sprinklersysteme, anders als beim Einsatz in Häusern, spezifisch einzelne Komponenten schützen, kann die Aussage von Thompson (2011) mit einer Reduktion der Brandwahrscheinlichkeit um den Faktor 10 zumindest für die geschützten Komponenten angenommen werden.

Über die Wirksamkeit von Löschesystemen mit wärmeaktiven Schläuchen wurden bisher noch keine Erfahrungen gesammelt. Eine Reduktion des Brandrisikos für die geschützten Komponenten um einen Faktor 10, ähnlich dem Reduktionsfaktor von Sprinklersystemen, ist aufgrund der spezifischen Anpassung des Löschesystems an die jeweils geschützte Komponente als realistisch anzunehmen.

8. Verweise

8.1. Literaturverzeichnis

- Vestas Wind Systems. „Brandschutz 3-MW-Plattform.“ 2014.
- Bachmann, A., et al. „Elemente der Risikoethik.“ 2006.
- Badeck, Franz-W., Petra Lasch, Ylva Hauf, Joachim Rock, Felicitas Suckow, und Kirsten Thonicke. „Steigendes klimatisches Waldbrandrisiko.“ *AFZ-Der Wald*, 2003.
- Bayerischer Waldbesitzerverband e.V. „Waldwert für Privatwaldbesitzer und Kommune.“ 2015.
- Bienz, A. F., und F. R. Niederhäuser. „Sicherheitskonzept für den Umgang mit Munition und Explosivstoffen in der Armee und Militärverwaltung.“ Bern, 2000.
- Bundesforschungszentrum Wald. „<http://bfw.ac.at>.“ 2013. http://bfw.ac.at/030/pdf/diverse_67.pdf.
- Bundesministerium für Justiz. „justiz.gv.at.“ 2014. justiz.gv.at/web2013/file/2c9484852308c2a60123ec387738064b.de.0/2014drittschuldnerbroschue.pdf.
- CENELEC, Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung. „Norm EN 50126.“ 2000.
- Confederation of Fire Protection Associations in Europe, CFPA. „Wind Turbines Fire Protection Guideline.“ 2010.
- DFV. „DFV-Empfehlung: Einsatzstrategien an Windenergieanlagen.“ 2008.
- Dürbeck, Manfred. „Windrad bei Lahr brennt komplett ab - Feuerwehr machtlos.“ *Badische Zeitung*, 2013.
- ENERCON GmbH. „Technische Beschreibung Automatisches Gondellöschsystem.“ 2015.
- Fachausschuss Brandschutz, Hessisches Ministerium des Innern und für Sport. „Merkblatt Windenergieanlagen - Hinweise für Planung und Ausführung.“ 2013.
- Hess, Josef Th., Interview geführt von Andreas Krenn. (2015).
- Hess, Josef Th. „Schutzziele im Umgang mit Naturrisiken in der Schweiz.“ Doktorarbeit, 2011.
- IEA-Wind. „Exco 75.“ 2015.
- Iken, Jörn. „A neglected risk.“ *Sun and Wind Energy*, 2014.
- Land&Forst Betriebe Österreich. <http://www.landforstbetriebe.at>. 2015. <http://www.landforstbetriebe.at/content.php?p=75>.
- NÖ LFV. „Merkblatt vom Niederösterreichischem Landesfeuerwehrverband für die Feuerwehren in Hinblick auf die brandschutztechnischen Einrichtungen und die Einsatztaktik bei Windenergieanlagen.“ 2015.
- NRW, Landesregierung. „Bauaufsicht und Brandgefahr bei Windrädern – Was tut die Landesregierung für die Kommunen? Anfrage an den Landtag NRW.“ 2012.
- OEV Austrian Standards Institute . „ÖVE/ÖNORM EN 31010.“ *Risikomanagement Verfahren zur Risikobeurteilung* . 2010.
- Paté-Cornell, E. „Risk and Uncertainty Analysis in Government Safety Decisions.“ 2002, 633-646.

- Patzke, Uwe. *Abschlussbericht für das Verbundprojekt „Erhöhung der Verfügbarkeit von Windkraftanlagen“*. Ingenieurgesellschaft Zuverlässigkeit und Prozessmodellierung Dresden; Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES; SAG Erwin Peters GmbH, Hamburg; ENERTRAG AG, Dauerthal, 2010.
- Raftery, Miriam. „Cal Fire: Wind Turbine Generator Caused Wildland Fire that Charred 367 Acres.“ *San Diego Free Press*, 2012.
- . „Dual Deaths in Wind Turbine Fire highlight Hazards.“ *East County Magazin*, 2013.
- Smith, Nancy, und Eize de Vries. „Wind and fire - Reducing the risk of fire damage in wind turbines.“ *Renewable Energy World*, 2004.
- Statista. *statista.com*. 9. 7 2015. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/20116/umfrage/anzahl-der-windkraftanlagen-in-deutschland-seit-1993/>.
- Statistik Austria. *Statistik-Austria*. 2015. statistik.at.
- Teegelbeckers, Hans. „GEGENWIND-VOGELSBER.“ 2015. <http://www.gegenwindvogelsberg.de/informationen/unfall/brand/>.
- Thompson, Richard P. *CALCULATING THE RISK OF WILDFIRE FOR FIRE SUPPRESSION-EQUIPPED WIND TURBINES*. San Luis Obispo, CA 93407 : Natural Resources Management Department California Polytechnic State University , 2011.
- Uadiale, Solomon, Evi Urban, Ricky Carvel, David Lange, und Guillermo Rein. „Overview of Problems and Solutions in Fire Protection Engineering of Wind Turbines.“ 2013.
- Warda, P., Interview geführt von J. Klappacher. *Persönliches Telefonat* (30. 09 2015).
- Wikipedia. „Liste von Unfällen an Windkraftanlagen in Deutschland und Österreich.“ *wikipedia.org*. 2015. https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Unf%C3%A4llen_an_Windkraftanlagen_in_Deutschland_und_%C3%96sterreich#cite_note-6.
- Wilhelm, C. *Kostenwirksamkeit von Lawinenschutzmassnahmen an Verkehrsachsen*. Bundesamt für Umwelt, Bern, 1999.
- Young, Stuart. *Caithness Windfarm Information Forum*. 6. Juli 2015.
- Zapf, B., G. Klein, und T. Weidl. *Risikomanagement, Verfahren zum Fliegen in Flughafennahbereich*. Bremen: TÜV Industrie Service GmbH TÜV Süd Gruppe, 2004.

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema des automatischen Löschsystems von Protectfire (ENERCON GmbH 2015)	14
Abbildung 2: Schlauchverlegung für den Oberschwingungsfilterschrank für das Vestas Brandbekämpfungssystem (Vestas Wind Systems 2014)	15
Abbildung 3: Maschinenhaus mit Triebstrang und elektrischen Komponenten der Baureihe VESTAS 3.3 MW	18
Abbildung 4: Schemadarstellung der elektrischen Komponenten der Baureihe VESTAS 3.3 MW	18
Abbildung 5: Maschinenhaus mit Triebstrang und elektrischen Komponenten der Baureihe SENVION 3.x MW	19
Abbildung 6: Schemadarstellung der elektrischen Komponenten der Baureihe SENVION 3.x MW	19
Abbildung 7: Maschinenhaus mit Triebstrang und elektrischen Komponenten der Baureihe ENERCON 3.0 MW	20
Abbildung 8: Schemadarstellung der elektrischen Komponenten der Baureihe ENERCON 3.0 MW	20
Abbildung 9: Maschinenhaus mit Triebstrang und elektrischen Komponenten der Baureihe SIEMENS 3.0 MW	21
Abbildung 10: Schemadarstellung der elektrischen Komponenten der Baureihe SIEMENS 3.xMW	21
Abbildung 11: Vergleich der Marktanteile „Onshore“ von Österreich und Deutschland 2014 (IEA-Wind 2015).....	28
Abbildung 12: Ereignisbaumanalyse zur Waldbrandwahrscheinlichkeit nach einem Gondelbrand im Wald	32
Abbildung 13: Grafische Darstellung vom Gondelbrand zum Schadensausmaß	34

8.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ermitteltes Todesfallrisiko pro WKA und Jahr mit Grenzwerten für betriebsfremde Personen und für Wartungspersonal	6
Tabelle 2: Ermitteltes Sachrisiko für das Eigentum „Wald“ pro WKA und Jahr.....	6
Tabelle 3: : Mechanische Konzepte und Turmkopfmassen der untersuchten Windkraftanlagenbaureihen.....	16
Tabelle 4: : Elektrische Konzepte und Situierung der Komponenten.....	17
Tabelle 5: Materialien und Bauteilüberwachung.....	17
Tabelle 6: Brandwahrscheinlichkeit von WKA in Deutschland und Österreich ermittelt anhand verschiedener Quellen	27
Tabelle 7: Aufenthaltszeiten in Personenstunden in den Gefahrenbereichen pro Jahr für verschiedene Personengruppen	33
Tabelle 8: Aufenthaltswahrscheinlichkeit einer Person im Gefahrenbereich zum Zeitpunkt des Brandes pro Jahr	33
Tabelle 9: Ermittelte Grenzwerte für gesellschaftlich akzeptierte Risiken.....	37
Tabelle 10: Eingangsparmeter für die Risikoermittlung	39
Tabelle 11: Todesfallrisiko pro Jahr und Anlage für betriebsfremde Personen	39
Tabelle 12: Todesfallrisiko für Wartungspersonal pro Jahr und Anlage.....	40
Tabelle 13: Zusammengefasste Berechnungswerte zur Ermittlung des Sachrisikos.....	40
Tabelle 14: Ermitteltes Sachrisiko für das Eigentum „Wald“	41