

An den GVV Hardheim-Walldürn,
dessen Gemeinderäte sowie
die Bau- und Betriebs GmbH Verkehrslandeplatz Walldürn

13.08.2019

Veranstaltung am 26.03.2019 – Stellungnahme zum Gutachten Prof. Levedag

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich nehme Bezug auf die Informationsveranstaltung vom 26.03.2019 zur *Vorstellung und Diskussion verschiedener Gefahrenpotenzialanalysen für den Luftverkehr am Verkehrslandeplatz Walldürn, hinsichtlich der geplanten Errichtung von Windenergieanlagen in der Konzentrationszone „Kornberg“*.

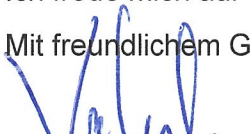
Bei dieser Veranstaltung habe ich die Ergebnisse meiner Analyse vorgestellt. Mein Nachredner Prof. Levedag von der DLR hat zum gleichen Thema ein Gutachten erstellt und kommt zu einem wesentlich anderen Ergebnis. Mittlerweile liegt mir dieses Gutachten vor. Nach gründlicher Durchsicht und Diskussion mit anderen Experten haben wir darin wesentliche physikalische Fehlannahmen festgestellt. Diese sind in der angehängten Stellungnahme detailliert beschrieben. **Die von mir am 26.03.2019 vorgestellten Ergebnisse haben vollumfänglich Bestand. Das aufgezeigte erhebliche Gefährdungspotenzial für den Flugbetrieb wird bestätigt.**

An dieser Stelle möchte ich mir noch folgende Anmerkungen erlauben:

- Der Ablauf der Veranstaltung am 26.03.2019 war nicht ausgewogen. Prof. Levedag kannte meine Analyse bereits vorab und konnte in seiner Präsentation als mein Nachredner vorbereitet darauf antworten. Mir war sein Gutachten nicht bekannt.
- Ich möchte darauf hinweisen, dass die Durchsicht des Levedag Gutachtens sowie die Anfertigung der angehängten Stellungnahme auf eigene Kosten erfolgte.
- Herr Levedag hat in der Diskussion wiederholt die große Erfahrung und Kompetenz der DLR betont. Die CFD Consultants GmbH führt seit über 20 Jahren Berechnungen und Untersuchungen für industrielle Kunden (die Spanne reicht von hoch-innovativen Startups bis zu DAX-Konzernen) durch. Unsere Ergebnisse haben stets auch kritischen Überprüfungen standgehalten und deren Qualität begründet unsere langjährigen Kundenbeziehungen.

Ich freue mich auf die weitere Diskussion und stehe für Fragen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichem Gruß



Dr. Volker Kassera

Numerische Strömungsanalyse • Technologieberatung • Projektentwicklung

Stellungnahme

zum Gutachten

„Verträglichkeit des Nachlaufs von Windenergieanlagen
mit Flugverkehr am Verkehrslandeplatz Walldürn (EDEW)“
von Prof. Dr.-Ing. Stefan Levedag
in der Fassung vom 29.03.2019

erstellt von

Dr.-Ing. Volker Kasserer, CFD Consultants GmbH

13.08.2019

Die vorliegende Stellungnahme wurde unter Berücksichtigung der aktuellen und wissenschaftlich abgesicherten Methoden, Verfahren und Daten erstellt, die für die Bereiche der Windkraft, Aerodynamik, Flugmechanik und Flugbetrieb zur Verfügung stehen.

Der Verfasser ist Luft- und Raumfahrt-Ingenieur, hat auf dem Gebiet der Strömungsberechnung promoviert und ist seit 1991 in diesem Themenfeld tätig. 1998 gründete er die CFD Consultants. Dort werden strömungsmechanische Aufgabenstellungen - unter anderem aus den Bereichen Luftfahrt, Windkraft, Maschinenbau und Medizintechnik - bearbeitet. Mit seinem Team hat er bisher über 500 Projekte erfolgreich abgeschlossen. Er ist seit 2006 Lehrbeauftragter für numerische Strömungsmechanik an der TU Kaiserslautern. Ebenfalls seit 2006 ist er luftrechtlicher Leiter einer durch die europäische Luftfahrtbehörde EASA akkreditierten Organisation für die Zulassung von Luftfahrzeugen (Head of Design-Organization, EASA Part 21J) und Prüflingenieur (EASA-CVE Flight Loads) für die Zertifizierung von Modifikationen an Flugzeugen. Seit 1997 ist er aktiver Privatpilot mit Lehr- und Instrumentenflugberechtigung und in der Pilotenweiterbildung tätig.



Rottenburg, 13.08.2019
Volker Kassera

Vorbemerkungen:

Die nachfolgende Stellungnahme bezieht sich auf folgende Arbeiten:

- „Flugversuche im Nachlauf von großen Windenergieanlagen“ [1] der DLR, im Folgenden „Messungen-DLR“,
- „Analyse des Gefahrenpotentials für den Luftverkehr durch den Nachlauf der am Verkehrslandeplatz Walldürn geplanten Windenergieanlagen“ [2] der CFD Consultants GmbH, im Folgenden „Analyse-CFDC“ sowie
- „Verträglichkeit des Nachlaufs von Windenergieanlagen mit Flugverkehr am Verkehrslandeplatz Walldürn (EDEW)“ [3], im Folgenden „Gutachten-Levedag“.

Ferner werden die am Verkehrslandeplatz Walldürn projektierten Windkraftanlagen mit „WKA“ bezeichnet.

Stellungnahme zum Gutachten-Levedag:

1. Winddefizit

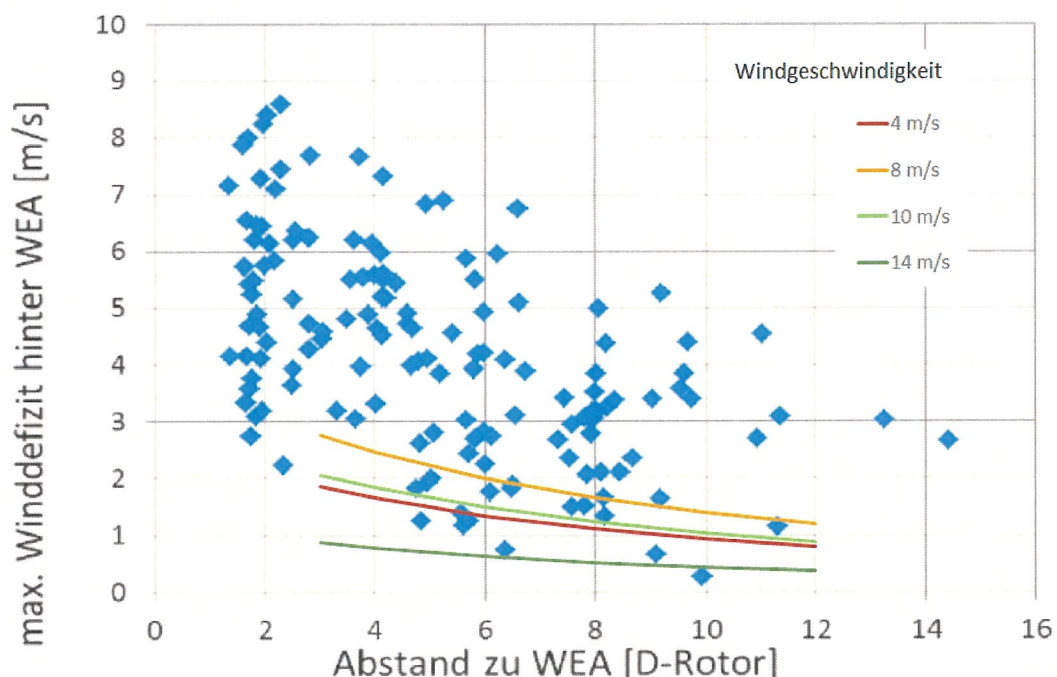
Im Gutachten-Levedag werden die in der Analyse-CFDC getroffenen Aussagen bezüglich des Winddefizits hinter den WKA in Zweifel gezogen. Das dort verwendete Winddefizit wird als viel zu hoch dargestellt. Dies wird mit Hilfe einer empirischen Gleichung zur Berechnung des Winddefizites begründet (Gleichung 2.3, S. 11, Gutachten-Levedag). Diese Gleichung ist allgemein bekannt und wird zur Berechnung eines idealisierten Nachlaufes herangezogen. Sie stammt aus dem Jahr 1986 ist insofern stark vereinfacht, als dass keine zeitlich veränderlichen Größen eingehen. Sie ist dazu geeignet eine obere Grenze der mittleren lokalen Strömungsgeschwindigkeit an einer gegebenen Position im Nachlauf einer WKA zu berechnen. Die starken Schwankungen in diesen Nachläufen, die in Messungen-DLR eindeutig beschrieben sind und auch von anderen Autoren berichtet werden, können damit **nicht** wiedergegeben werden, weil die Gleichung folgende Vereinfachungen enthält:

- a) Die Gleichung berücksichtigt weder die anlagenspezifische Auftriebsverteilung entlang des Rotorblatts in radialer Richtung, noch weitere typische Verluste (induzierter Widerstand, Turmnachlauf, ...), die im Durchschnitt zu größeren Geschwindigkeitsdefiziten im Nachlauf einer Windkraftanlage führen.
- b) Die Windkraftanlage befindet sich in der Bodengrenzschicht (Prandtl-Erkman) – hieraus resultiert einerseits ein vertikal von der Gleichung abweichendes Geschwindigkeitsfeld (ein vertikaler Gradient wird überlagert) und andererseits eine ungleichmäßige Belastung oder Anströmung des Rotorblatts im Laufe einer Umdrehung auf Grund der sich ändernden Anströmgeschwindigkeit. Beide Effekte sorgen zwangsweise dafür, dass das Rotorblatt zu keinem Zeitpunkt an jeder radialen Position gleichzeitig mit dem optimalen Anströmwinkel angeströmt wird und dass der Nachlauf mit zunehmendem Abstand zur Windkraftanlage nicht optimal rotationssymmetrisch ist, sondern eine zunehmend stochastische Erscheinung hat. Dies führt sowohl im Durchschnitt als auch insbesondere lokal zu größeren Geschwindigkeitsabweichungen von der Freiströmung als mit dieser Gleichung berechnet werden kann.
- c) Auf Grund der rotierenden Funktionsweise einer Windkraftanlage erhält die Strömung einen Drall in der Größe des Wellenmoments. Dieser Strömungsdrall überlagert sich dem

Strömungsfeld und erhöht ohne die mittlere Strömungsgeschwindigkeit zu beeinflussen die maximal möglichen Geschwindigkeitsdefizite im Nachlauf einer Windkraftanlage.

- d) Es fehlt die Berücksichtigung der zusätzlichen Geschwindigkeitskomponenten aus dem Blattspitzenwirbel, die eine weitere Erhöhung der Abweichung des lokalen Strömungsfeldes vom ungestörten Freifeld verursachen können. Dieser Effekt ist jedoch gemäß Prof. Levedags anderer Forschungsveröffentlichungen die wichtigste Komponente bezüglich der Sicherheit von Luftfahrzeugen im Nachlauf von WKA.

Die folgende Abbildung zeigt das Winddefizit hinter den WKA, deren Nachlauf in Messungen-DLR vermessen wurde. Die Messflüge fanden bei Windgeschwindigkeiten zwischen 3 m/s und 13 m/s statt. Die maximal gemessenen Winddefizite sind als blaue Punkte in das Diagramm eingetragen. Die durchgezogenen Kurven sind die maximal möglichen Winddefizite unter Anwendung der oben beschriebenen Gleichung bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten. Diese Gegenüberstellung verdeutlicht, dass die im Gutachten-Levedag verwendete Gleichung in keiner Weise die Messergebnisse wiedergibt und damit zur Bestimmung des maximalen Winddefizites (und dieses ist flugmechanisch entscheidend, siehe unten) völlig ungeeignet ist.



2. Flugmechanische Auswirkungen:

Im Gutachten-Levedag wird allgemein der Eindruck erweckt, dass auf Grund seiner flugmechanischen Eigenschaften jedes Flugzeug von selbst derartige Schwankungen der Anströmgeschwindigkeit ausgleicht. Dies ist korrekt, solange

- die Störung gering ist,
- genügend Höhe zur Verfügung steht und
- der Pilot nicht auf Grund eines plötzlich und kurzfristig eintretenden Strömungsabbrisses falsche Steuereingaben macht, welche die Situation drastisch verschärfen.

Zu a): Die mit der im Levedag-Gutachten verwendeten Gleichung berechneten Winddefizite können sicherlich durch die flugmechanische Stabilität ausgeglichen werden. Die tatsächlich gemessenen Winddefizite (siehe Messungen-DLR) führen jedoch zu Geschwindigkeitsverlusten, die im Anfangssteigflug nach dem Start zum Strömungsabriss führen können. Hierzu folgendes Zitat aus Messungen-DLR: „Der Einfluss durch den Nachlauf auf die Fluggeschwindigkeit war kaum spürbar – solange der Flugweg parallel zur Rotorebene verlief. Anders sah dies bei schrägen Durchflügen aus (bis zu 45° zur Rotorebene). Hierbei war eine **deutliche Geschwindigkeitsreduktion** zu sehen und zu spüren“.

Zu b): Die in der Analyse-CFDC beschriebenen kritischen Fälle spielen sich alle in geringer Höhe ab. Ein Strömungsabriss in diesen Höhen ist selbst für erfahrene Piloten nicht ungefährlich.

Zu c): Im Falle eines unerwartet auftretenden einseitigen Strömungsabbrisses verschlimmern intuitive Steuereingaben die Situation drastisch. Beispiel: Abriss am rechten Flügel, das Flugzeug rollt nach rechts und die Nase geht nach unten. Intuitiv würde ein Pilot Querruder links betätigen und am Höhensteuer ziehen. Beide Maßnahmen vergrößern den Anstellwinkel am rechten Flügel und führen zu einer Verstärkung des Strömungsabbrisses. Die Analyse von (meist tödlich verlaufenen) Flugunfällen zeigt, dass selbst sehr erfahrene Piloten im Falle eines überraschend auftretenden Strömungsabbrisses intuitiv (und damit falsch) reagiert haben.

Aus flugbetrieblicher Sicht sind Winddefizite sogenannte Windscherungen. Der Einflug in Windscherungen in Bodennähe hat in der Vergangenheit bereits zu katastrophalen Flugunfällen auch in der Verkehrsfluffahrt geführt. In Bild 4.4.-3 des Gutachten-Levedag (S. 26) wird zur Begründung der flugmechanischen Unbedenklichkeit von Windscherungen von 1 m/s eine Kurve nach dem Start bei konstantem Wind betrachtet. Dieser Fall ist jedem Piloten bekannt, hat jedoch nichts mit dem Einflug in eine Windscherung zu tun, da diese im gezeigten Fall nicht vorliegt. Vielmehr bewegt sich das Luftfahrzeug in der konstant bewegten (unbeschleunigten) Luft. In diesem Fall führt (anders als beim Einflug in eine Windscherung) auch eine größere Windgeschwindigkeit zu keinerlei Fahrtverlust. Die Übertragung des in Bild 4.4-3 gezeigten Falles auf den Einflug in eine Windscherung ist physikalisch grob falsch!

3. Sonstiges:

Im Gutachten-Levedag finden sich mehrere Unklarheiten und Ungenauigkeiten. Es würde den Rahmen dieser Stellungnahme sprengen, auf alle Punkte detailliert einzugehen. Stellvertretend seien zwei Beispiele genannt:

- a) Es wird wiederholt von einem Schubspannungsbeiwert berichtet. Der korrekte Fachausdruck lautet jedoch Schubbeiwert.
- b) In Abschnitt 5.4 (S. 34) wird festgestellt, dass eine Anlage mit einem größeren Rotordurchmesser ein kleineres Winddefizit verursacht als eine Anlage mit einem kleineren Rotordurchmesser. Dies ist schlichtweg falsch. Zur Begründung wird das Bild 2.3-4 (S. 14) herangezogen. Hier werden jedoch zwei Anlagen mit deutlich unterschiedlichen Schubbeiwerten verglichen (siehe Bild 2.3-1 aus Gutachten-Levedag). Der oben genannte Schluss kann somit daraus nicht gezogen werden.

4. Fazit:

Die im Gutachten-Levedag verwendete Gleichung zur Berechnung des Winddefizites ist für die vorliegende Fragestellung ungeeignet und gibt in keiner Weise die in Messungen-DLR beschriebenen Messwerte wieder.

Die im Gutachten-Levedag beschriebenen flugmechanischen Auswirkungen widersprechen praktischen Erfahrungen aus dem Flugbetrieb, den in Messungen-DLR beschriebenen Beobachtungen und werden mit physikalisch falschen Vergleichen begründet.

Sämtliche in der Analyse-CFDC getroffenen Aussagen haben vollumfänglich Bestand!

Dokumentenliste:

- [1] D. Fischenberg et al.
Flugversuche im Nachlauf von großen Windenergieanlagen
DLR-Kongress, 2017
- [2] V. Kassera, B. Hanna
Analyse des Gefahrenpotentials für den Luftverkehr durch den Nachlauf der am Verkehrslandeplatz Walldürn geplanten Windenergieanlagen
CFD Consultants GmbH, 08.08.2018
- [3] S. Levedag
Verträglichkeit des Nachlaufs von Windenergieanlagen mit Flugverkehr am Verkehrslandeplatz Walldürn (EDEW)
Gutachten vom 29.03.2019