

# Analyse des Gefahrenpotentials für den Luftverkehr durch den Nachlauf der am Verkehrslandeplatz Walldürn geplanten Windenergieanlagen

für die  
Bau- und Betriebs GmbH Verkehrslandeplatz Walldürn  
Friedrich Ebert-Str. 4a; 74731 Walldürn  
Ansprechpartner: Oliver Stumpf

## CFD Consultants GmbH

Die CFD Consultants GmbH entwickelt und optimiert seit 20 Jahren strömungstechnische Bauteile aller Art. Neben zehn hochqualifizierten und erfahrenen Mitarbeitern stehen hierzu modernste Simulationswerkzeuge zur Verfügung. Die meisten Berechnungsanalysen können auf dem hauseigenen Cluster durchgeführt werden, sehr große Simulationsmodelle werden auf einem der schnellsten Computer der Welt, der Cray der Universität Stuttgart, berechnet.

CFD Consultants GmbH hat in den vergangenen Jahren unter anderem umfangreiche Analysen zur Bestimmung der Windhöffigkeit in komplexen Geländestrukturen durchgeführt und war an der aerodynamischen Auslegung von Vertikalachs-Windenergieanlagen federführend beteiligt. Der geschäftsführende Gesellschafter Dr. Volker Kassera ist Luft- und Raumfahrtingenieur, Head of Design-Organization einer EASA Design-Organisation (Part 21J) und hält eine PPL-IR Lizenz mit CRI Berechtigung.

Diese Analyse ist nach bestem Wissen und Gewissen und dem derzeitigen Stand der Technik erfolgt. Grundlage der Berechnungen sind anerkannte veröffentlichte Dokumente und Daten.

Rottenburg, 08.08.2018

  
CFD Consultants GmbH  
Gartenstr. 82  
72108 Rottenburg  
Tel. 07472 969 46-0  
Fax 07472 969 46-11

Dr. Volker Kassera

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Vorbemerkungen</b> .....	- 4 -
<b>2</b>	<b>Projektierte Windenergieanlagen</b> .....	- 4 -
2.1	Enercon E-138 EP3 .....	- 4 -
2.2	Standorte der projektierten Windenergieanlagen .....	- 5 -
<b>3</b>	<b>Verkehrslandeplatz Walldürn</b> .....	- 5 -
3.1	Standort des Verkehrslandeplatzes Walldürn .....	- 5 -
3.2	Hindernisbegrenzung und Gefahren für den Flugplatzverkehr in der Platzrunde.....	- 6 -
<b>4</b>	<b>Einfluss der projektierten WEAs auf die Platzrunde am Verkehrslandeplatz Walldürn</b> .....	- 7 -
4.1	Drei beispielhaft ausgewählte Luftfahrzeuge des Verkehrslandeplatzes Walldürn .....	- 7 -
4.2	Platzrunde am Verkehrslandeplatz Walldürn.....	- 9 -
4.3	Winddefizit und Windscherung hinter WEAs .....	- 10 -
4.4	Einflug in bzw. Ausflug aus dem Nachlauf der WEAs .....	- 12 -
<b>5</b>	<b>Geländetopografie</b> .....	- 13 -
5.1	Numerische Strömungsberechnung (virtueller Windkanal) .....	- 14 -
<b>6</b>	<b>Sensitivitätsanalyse</b> .....	- 16 -
6.1	Abweichungen in den Flugparametern.....	- 16 -
6.2	Aufgrund der Topografie auftretende Abwindzonen .....	- 20 -
6.3	Übertragbarkeit der Ergebnisse aus der DLR-Untersuchung.....	- 20 -
6.4	Kumulation der Risiken und Gefahren .....	- 21 -
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	- 22 -
<b>8</b>	<b>Dokumentenliste</b> .....	- 23 -

## 1 Vorbemerkungen

Die EE Bürgerenergie Höpfingen GmbH und Co.KG und die EE Bürgerenergie Hardheim GmbH planen insgesamt sechs Windenergieanlagen vom Typ Enercon E-138 EP3 auf ihren jeweiligen Gemeindegebieten zu errichten. Die projektierten Standorte der Windenergieanlagen befinden sich östlich der Motorflugplatzrunde des Verkehrslandeplatzes in Walldürn.

Basierend auf der Untersuchung „*Flugversuche im Nachlauf von großen Windenergieanlagen*“ der DLR (2017) [1] sollen die Strömungsverhältnisse und Windscherungen im Nachlauf der geplanten Windenergieanlagen prognostiziert werden. Darauf aufbauend werden für drei typische, am Verkehrslandeplatz in Walldürn betriebene Luftfahrzeuge, die in der Platzrunde fliegen, die Gefährdungspotentiale durch Einflug in die Windscherungszonen ermittelt. Grundlage für die angenommenen Betriebsparameter der Luftfahrzeuge sind jeweils die Verfahren im zertifizierten Flughandbuch (AFM) des betreffenden Luftfahrzeuges. Ferner wird eine Sensitivitätsanalyse für Abweichungen von den vorgegebenen Flugparametern und der voröfentlichten Platzrunde durchgeführt.

Für die Berücksichtigung der örtlichen Strömungsverhältnisse (Auf- und Abwinde) bei Ostwind werden numerische Strömungssimulationen (virtueller Windkanal) hinzugezogen.

## 2 Projektierte Windenergieanlagen

### 2.1 Enercon E-138 EP3

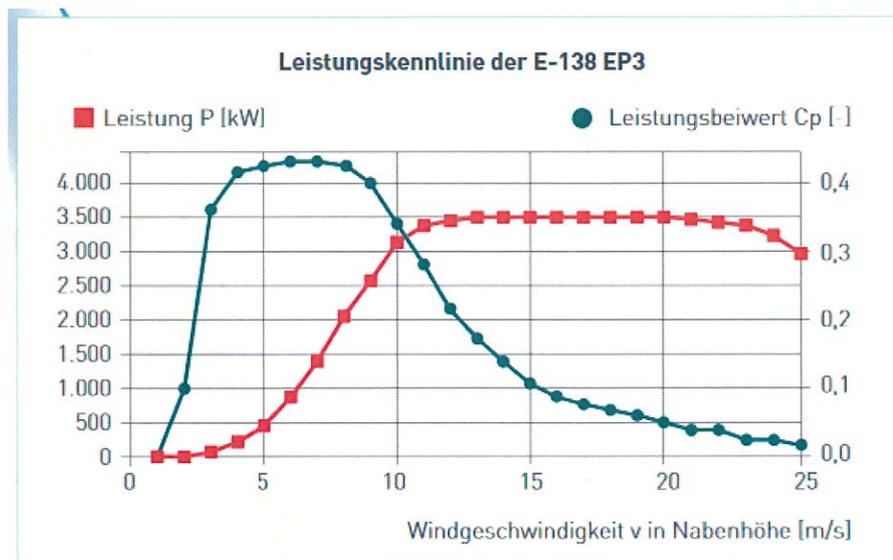


Abb. 1: Leistungskennlinie der Enercon E-138 EP3 [2]

Die Enercon E-138 EP3 ist eine Schwachwindanlage, ausgelegt für Windklasse IIIa. Ihre Nennleistung beträgt 3.5 MW. Ihre Nennwindgeschwindigkeit liegt bei 13 m/s. Die Leistungskennlinie ist in Abb.1 dargestellt [2].

Die Windenergieanlagen (WEAs) haben einen Rotordurchmesser von 138.6 m. Die auf dem Gemeindegebiet Höpfigen projektierten Anlagen haben eine Nabenhöhe von 160 m, die auf dem Gemeindegebiet Hardheim projektierten Anlagen haben eine Nabenhöhe von 131 m.

## 2.2 Standorte der projektierten Windenergieanlagen

Zwei der projektierten Windenergieanlagen befinden sich auf dem Gemeindegebiet Höpfigen, die weiteren vier Anlagen auf dem Gemeindegebiet Hardheim. Insgesamt liegt der Windpark östlich des Verkehrslandeplatzes in Walldürn.

Die genauen Standorte und Abmaße der projektierten WEAs sind in Tabelle 1 zusammengefasst [3].

	Hö 1	Hö 2	Ha 1	Ha 2	Ha 3	Ha 4
Standort (WGS-84 Koordinaten)	49° 35' 19.08" N 9° 27' 1.54" E	49° 34' 43.60" N 9° 27' 1.22" E	49° 35' 9.56" N 9° 27' 49.75" E	49° 35' 6.12" N 9° 28' 1.36" E	49° 34' 59.59" N 9° 27' 9.03" E	49° 34' 38.85" N 9° 27' 32.98" E
Anlagentyp	Enercon E-138	Enercon E-138	Enercon E-138	Enercon E-138	Enercon E-138	Enercon E-138
Nabenhöhe in m	160.0	160.0	131.0	131.0	131.0	131.0
Rotordurchmesser in m	138.6	138.6	138.6	138.6	138.6	138.6
Gesamthöhe in m	229.3	229.3	200.3	200.3	200.3	200.3
Höhe Baugrund über NN in m	428.6	424.3	396.0	395.0	411.0	387.0
Nabenhöhe WEA über NN in m	588.6	584.3	527.0	526.0	542.0	518.0
Gesamthöhe WEA über NN in m	657.9	653.6	596.3	595.3	611.3	587.3

Tabelle 1: Standorte und Abmaße der projektierten WEAs [3]

## 3 Verkehrslandeplatz Walldürn

### 3.1 Standort des Verkehrslandeplatzes Walldürn

Der Verkehrslandeplatz Walldürn ist in einer Höhe von 1322 ft (402.9 m) gelegen und verfügt über eine 820 m lange und 20 m breite Start- und Landebahn mit Asphaltbelag in der Orientierung 06/24 [4]. Er ist mit der ICAO Codezahl 1 klassifiziert. (Siehe Tab. 2 und Abb. 2).

Flugplatzbezugspunkt:	49° 34.9' N	
	9° 24.13' E	
Flugplatzhöhe über NN:	402.9 m	1322 ft
max. Platzrunden Höhe über NN:	640.1 m	2100 ft
Flugplatzbezugscode:	1	

Tabelle 2: Standort Verkehrslandeplatz Walldürn [4]

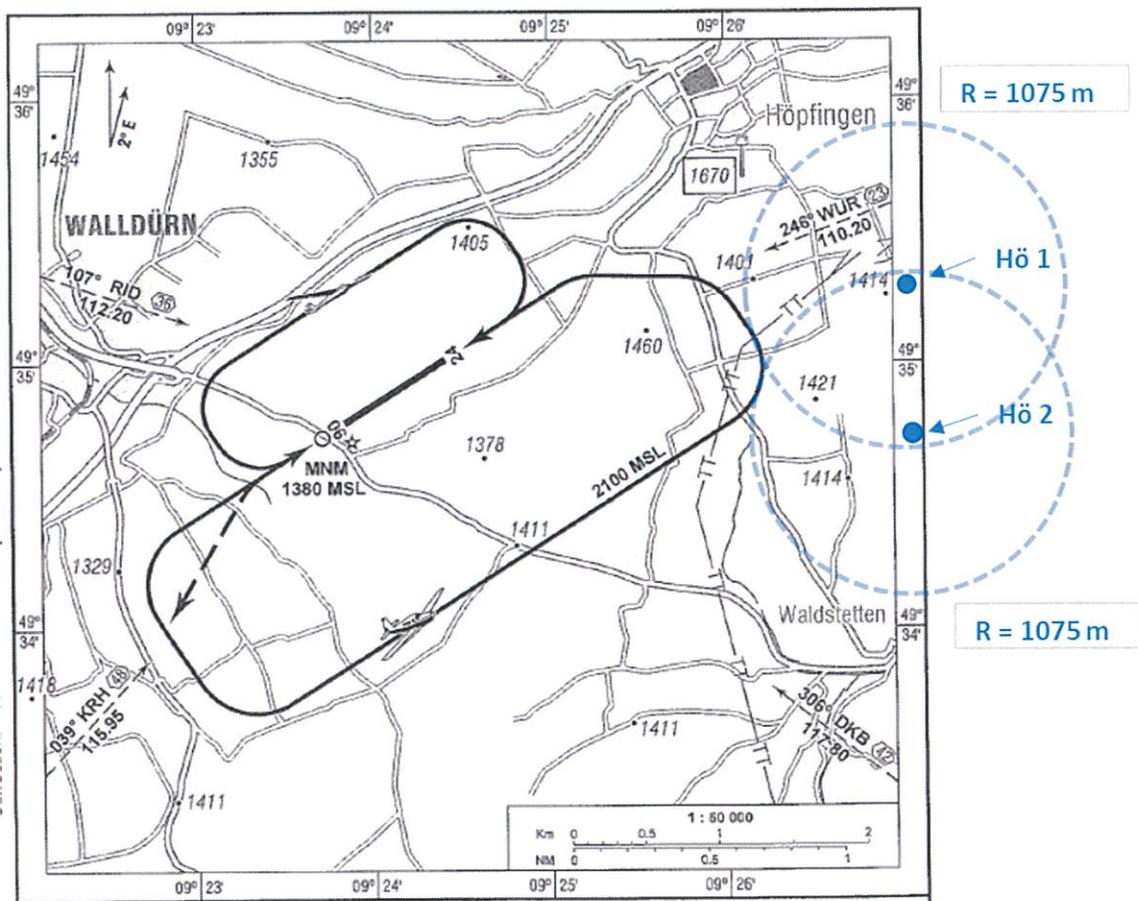


Abb. 2: Sichtflugkarte Walldürn (EDEW) [4]

### 3.2 Hindernisbegrenzung und Gefahren für den Flugplatzverkehr in der Platzrunde

In den „Nachrichten für Luftfahrer“ nFl I 92/13 [5] sind die Vorgaben sowohl für die äußere Hindernisbegrenzungsfläche als auch für Gefahren für den Flugplatzverkehr in der Platzrunde festgehalten. Tabelle 3 und 4 geben diese, auf den Verkehrslandeplatz in Walldürn bezogenen Angaben wieder.

<b>Äußere Hindernisbegrenzungsfläche (NfL I 92/13)</b>	
Radius Horizontalfläche:	2000 m
Höhe Horizontalflächen:	45 m
Neigung obere Übergangsfläche:	1/20
Radius obere Übergangsfläche:	3100 m
max. Höhe obere Übergangsfläche:	100 m

Tabelle 3: Äußere Hindernisbegrenzungsfläche [5]

<b>Gefahren für den Flugplatzverkehr in der Platzrunde (NfL I 92/13)</b>	
Mindestabstand	
zum Gegenanflug	400 m
zu anderen Teilen der Platzrunde	850 m

Tabelle 4: Gefahren für den Flugplatzverkehr in der Platzrunde [5]

Die beiden nächstgelegenen WEAs Hö-1 und Hö-2 stehen in einem Abstand von ca. 1075 m von der Platzrunde (Abb. 2) und erfüllen damit den Mindestabstand von 850 m. Keine der sechs projektierten WEAs befindet sich innerhalb der äußeren Hindernisbegrenzungsfläche. Die Anlagen Hö-1 und Hö-2 sind an der Grenze der äußeren Hindernisbegrenzungsfläche positioniert.

Die in NfL I 92/13 [5] genannten Vorgaben beziehen sich auf Bauwerke, Erhebungen und sonstige Anlagen, dabei wird jedoch kein Unterschied gemacht, ob diese einen signifikanten Einfluss auf die Wind- und Strömungsverhältnisse hinter dem Bauwerk, der Erhebung oder der Anlage haben.

## **4 Einfluss der projektierten WEAs auf die Platzrunde am Verkehrslandeplatz Walldürn**

### **4.1 Drei beispielhaft ausgewählte Luftfahrzeuge des Verkehrslandeplatzes Walldürn**

Um das Gefährdungspotential durch Einflug in die Windscherungszone hinter den projektierten WEAs bestimmen zu können, wurden drei typische, am Verkehrslandeplatz in Walldürn betriebene Luftfahrzeuge, die in der Platzrunde fliegen, ausgewählt. Diese sind

- eine Cessna - Modell 172S,
- eine Cessna - Modell F 150 M, als typisches Schulungs-Luftfahrzeug
- und eine Robin-DR400 mit 155 PS Dieselmotor, die als Schleppmaschine eingesetzt wird.

Grundlage für die angenommenen Betriebsparameter der Luftfahrzeuge sind jeweils die Verfahren im zertifizierten Flughandbuch (AFM) des betreffenden Luftfahrzeugs [6], [7], [8] und [9]. Die in diesem Zusammenhang relevanten Daten sind in den Tabellen 5-7 dargestellt.

Cessna - Model 172S		
Total distance over 50 foot obstacle (short field)	1910 ft	582.0 m
Take off normal climb airspeed	75.0 kias	38.6 m/s
Rate of climb	654 ft/min	3.3 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 0°)	53.0 kcas	27.3 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	57.0 kcas	29.3 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 45°)	63.0 kcas	32.4 m/s

Tabelle 5: Relevante Betriebsparameter des Luftfahrzeugs Cessna – Modell 172S [6]

Cessna - Model F 150 M		
Total distance over 50 foot obstacle (short field)	1530 ft	466.4 m
Take off normal climb airspeed	65.2 kias	33.5 m/s
Rate of climb	617 ft/min	3.1 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 0°)	47.8 kcas	24.6 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	52.1 kcas	26.8 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 45°)	58.0 kcas	29.8 m/s

Tabelle 6: Relevante Betriebsparameter des Luftfahrzeugs Cessna – Modell F 150 M [7]

Robin - DR400 mit 155 PS Dieselmotor als Schleppmaschine		
Total distance over 50 foot obstacle	2255 ft	687.2 m
Take off normal climb airspeed	62.5 kias	32.2 m/s
Rate of climb	458 ft/min	2.3 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 0°)	54.0 kcas	27.8 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	58.0 kcas	29.8 m/s
stall speed (flaps up; angle of bank 45°)	76.0 kcas	39.1 m/s

Tabelle 7: Relevante Betriebsparameter des Luftfahrzeugs Robin-DR400 als Schleppmaschine [7], [8]

## 4.2 Platzrunde am Verkehrslandeplatz Walldürn

Die Platzrunde am Verkehrslandeplatz Walldürn ist in Abb. 2 bereits dargestellt. Um eine relative Höhe des auf Startbahn 06 startenden Luftfahrzeugs auf seiner Platzrunde gegenüber den WEAs abschätzen zu können wurde die Platzrunde in 6 Segmente unterteilt wie in Abbildung 3 dargestellt.

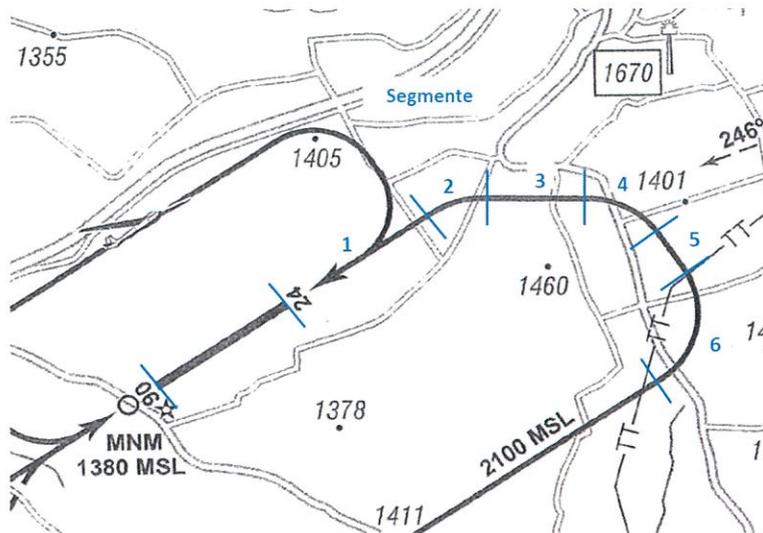


Abb. 3: Sichtflugkarte Walldürn (EDEW) [4] - in Segmente unterteilte Platzrunde

Von der Länge der Startstrecke über 50 ft Hindernis, der Geschwindigkeit im Steigflug beim Start und der Steiggeschwindigkeit des Luftfahrzeuges hängt es ab in welcher relativen Höhe zum Rotor der WEAs sich das Luftfahrzeug auf seiner Platzrunde befindet und ob es in den Bereich des Winddefizites und der Windscherung hinter der Rotorfläche der WEAs gelangt.

Mit den unter 4.1 angenommenen Betriebsparametern für die Luftfahrzeuge ergeben sich die in den Tabellen 8-10 dargestellten Flughöhen entlang der Platzrunde. Rot gekennzeichnet sind die Höhen, in denen sich das Luftfahrzeug auf Höhe der Rotoren der nächstgelegenen WEAs Hö-1 und Hö-2 befinden (Tab. 1).

Platzrunde	Cessna - Model 172S	
	Höhe in m über NN	Gesamtlänge in m
Start	402.9	0
Ende (Total distance over 50 foot obstacle)	418.2	582
Ende Segment 1	515.7	1715
Ende Bogensegment 2	<b>543.3</b>	2035
Ende Segment 3	<b>589.7</b>	2575
Ende Bogensegment 4	<b>627.2</b>	3010
Ende Segment 5	<b>640.1</b>	3265
Ende Bogensegment 6	<b>640.1</b>	3980

Tabelle 8: Abgeschätzte Flughöhe der Cessna – Model 172S; (rot – auf Höhe der Rotoren der WEAs)

Platzrunde	Cessna - Model F 150 M	
	Höhe in m über NN	Gesamtlänge in m
Start	402.9	0
Ende (Total distance over 50 foot obstacle)	418.2	466
Ende Segment 1	<b>534.9</b>	1715
Ende Bogensegment 2	<b>564.9</b>	2035
Ende Segment 3	<b>615.3</b>	2575
Ende Bogensegment 4	<b>640.1</b>	3010
Ende Segment 5	<b>640.1</b>	3265
Ende Bogensegment 6	<b>640.1</b>	3980

Tabelle 9: Abgeschätzte Flughöhe der Cessna – Model F 150 M; (rot – auf Höhe der Rotoren der WEAs)

Platzrunde	Robin - DR400 mit 155 PS Dieselmotor als Schleppmaschine	
	Höhe in m über NN	Gesamtlänge in m
Start	402.9	0
Ende (Total distance over 50 foot obstacle)	418.2	687
Ende Segment 1	493.2	1715
Ende Bogensegment 2	516.5	2035
Ende Segment 3	<b>555.9</b>	2575
Ende Bogensegment 4	<b>587.7</b>	3010
Ende Segment 5	<b>606.3</b>	3265
Ende Bogensegment 6	<b>640.1</b>	3980

Tabelle 10: Abgeschätzte Flughöhe der Robin-DR400 mit 155 PS Dieselmotor;  
(rot – auf Höhe der Rotoren der WEAs)

Den Tabellen 8-10 ist zu entnehmen, dass sich die Luftfahrzeuge bei Start in Richtung 06 am östlichen Ende der Platzrunde immer auf Höhe der Rotoren und damit direkt im Einflussbereich der WEAs befinden. Diese Aussage bleibt auch bei üblichen Schwankungen in den Betriebsparametern weiterhin bestehen.

### 4.3 Winddefizit und Windscherung hinter WEAs

In ihrer Untersuchung „Flugversuche im Nachlauf von großen Windenergieanlagen“ von 2017 [1] hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) auf Basis von Messdaten aus Flugversuchen die Strömungsverhältnisse und Windscherungen im Nachlauf großer WEAs analysiert. Als WEAs standen zwei Nordex N117-2400 mit einem, im Vergleich zu den in Höpfigen/Hardheim projektierten Anlagen, geringeren Rotordurchmesser von 117 m zur Verfügung. „In einem Versuchszeitraum von 5 Monaten wurden über 330 Nachlaufeinflüge bei verschiedenen Windbedingungen und WEA-Betriebspunkten durchgeführt. Die Entfernung hinter den Rotoren lag dabei im Bereich des 1.5- bis ca. 15-fachen des Rotordurchmessers.“ [1]

Unter anderem wurde in dieser Untersuchung die Höhe der Windreduktion hinter einer WEA (Nachlaufdelle) quantifiziert. Die Ergebnisse zeigen ein maximales Winddefizit hinter der Anlage von ca. 9 m/s. Zunächst erhöht sich das Winddefizit mit höherer Windgeschwindigkeit. Sobald die Anlage konstant geregelt wird und ihre Effizienz nachlässt nimmt jedoch das Winddefizit nicht weiter zu. Im Falle der Nordex N117-2400 liegt das maximale Winddefizit bei Windgeschwindigkeiten von 8 – 11 m/s. Für die Enercon E-138 ist ein ähnlicher Windgeschwindigkeitsbereich für das maximale Winddefizit zu erwarten. Dies sind Windgeschwindigkeiten (auf Nabenhöhe) bei denen ohne weiteres noch geflogen werden kann und wird.

Im Diagramm in Abbildung 4 sind die gemessenen maximalen Winddefizite hinter einer WEA über dem geflogenen Abstand zur WEA aufgetragen. Mit zunehmendem Abstand vom Rotor werden die Winddefizite kleiner. Dabei lassen sich die Maximalwerte der gemessenen Winddefizite als Funktion des Abstands zur WEA linear approximieren. Eine entsprechende Gerade (grün) wurde in das Diagramm eingefügt.

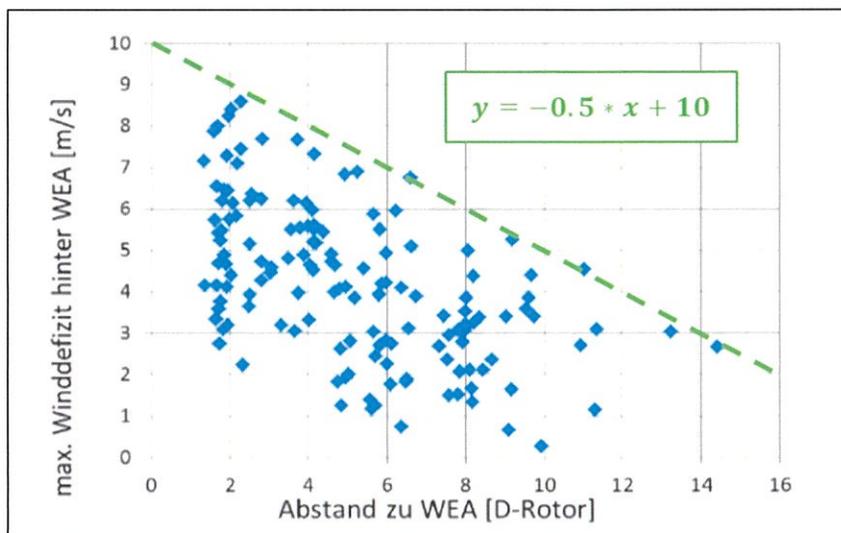


Abb. 4: Winddefizit gemessen (max) als Funktion des geflogenen Abstands zu den Anlagen [1]

Der geringste Abstand zwischen Platzrunde am Verkehrslandeplatz in Walldürn und den projektierten WEAs beträgt ca. 1075 m (Abb. 2). Dies entspricht einem Abstand von 7.8 Rotordurchmessern für den ein Winddefizit von bis zu 6.1 m/s vorhergesagt wird.

Die im Rahmen der DLR-Untersuchung [1] durchgeführten Nachlaufdurchflüge erfolgten in der Mehrzahl parallel zur Rotorebene und nur in Ausnahmen im schrägen Anflug mit einem Winkel von bis zu 45° zur Rotorebene. Zu diesen wenigen schrägen Durchflügen wurden die Pilotenbewertungen wie folgt zusammengefasst: „Besondere Aufmerksamkeit des Piloten erforderten allerdings Nachlaufdurchflüge, die deutlich von einem quasiparallelen Flug zur Rotorebene abwichen. Hier können durch den Anströmverlust bei geringer Eigengeschwindigkeit kurzzeitig Anstellwinkel bis in die Nähe der Stallgrenze auftreten. Dies gilt allerdings nur für solche Schrägdurchflüge, die dicht hinter der Anlage stattfinden, und wo die Nachlaufdelle sehr deutlich ausgeprägt ist. Eine erhöhte Fahrtreserve ist in solchen Fällen angeraten [...]“ [1].

## 4.4 Einflug in bzw. Ausflug aus dem Nachlauf der WEAs

Wie bereits in der DLR-Untersuchung [1] formuliert stellen Schrägdurchflüge durch den Nachlauf einer WEA ein besonderes Risiko dar. In Abbildung 5 beispielhaft eingezeichnete mögliche Nachläufe der WEAs Hö-1 und Hö-2 zeigen, dass bei Nordost-, Ost- und Südostwind Situationen vorliegen, bei denen ein Ein- oder Ausflug in oder aus dem Nachlauf der WEAs nur mit einem sehr geringen Winkel zur oder gegen die Windrichtung erfolgen kann. Das Winddefizit hinter der Anlage wirkt sich somit in vollem Maße auf die Fluggeschwindigkeit aus. Dem kommt noch hinzu, dass das Luftfahrzeug in diesem Teil der Platzrunde Kurven fliegen muss. Die Querneigung erhöht die Überziehgeschwindigkeit des Luftfahrzeugs zusätzlich, wodurch die Situation weiter deutlich verschärft wird

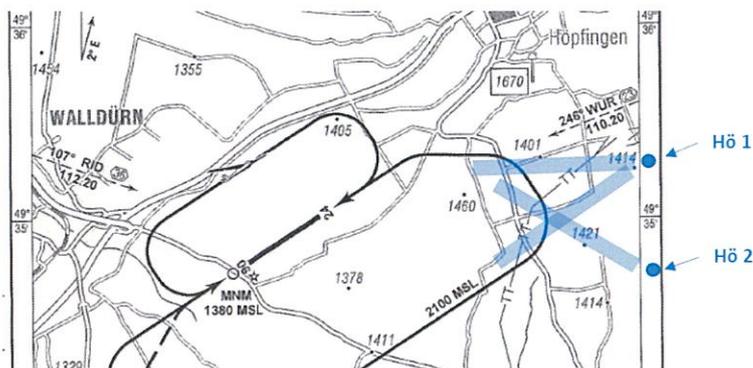


Abb. 5: Mögliche Nachläufe der WEAs Hö-1 und Hö-2 dargestellt in Relation zum Verlauf der Platzrunde

Am Beispiel der Cessna – Modell 172S sind, für den Einflug in und für den Ausflug aus dem Nachlauf der WEAs, in Tabelle 11 und 12 die relevanten Betriebsparameter den Verhältnissen im Nachlauf einer WEA wie sie sich aus der DLR-Untersuchung ergeben gegenübergestellt.

Einflug in den Nachlauf der WEA			
(Einflug annähernd gegen die Windrichtung)			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	maximales Winddefizit hinter der WEA	5.5 m/s	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	38.6 m/s	75.0 kts
	Winddefizit hinter der Anlage	5.5 m/s	10.7 kts
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	33.1 m/s	64.3 kts
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	29.3 m/s	57.0 kts

Tabelle 11: Einflug in den Nachlauf der WEA – Betriebsparameter und Nachlaufverhältnisse

Ausflug aus dem Nachlauf der WEA (Ausflug annähernd in Windrichtung)			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	maximales Winddefizit hinter der WEA	5.5 m/s	
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	38.6 m/s	75.0 kts
	Winddefizit hinter der Anlage	5.5 m/s	10.7 kts
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	33.1 m/s	64.3 kts
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	29.3 m/s	57.0 kts

Tabelle 12: Ausflug aus dem Nachlauf der WEA – Betriebsparameter und Nachlaufverhältnisse

Ein Vergleich zwischen Fluggeschwindigkeit nach dem Einflug in den Nachlauf bzw. nach dem Ausflug aus dem Nachlauf und der Überziehggeschwindigkeit bei einer Querneigung von 30° zeigt, dass die Geschwindigkeiten ca. um 10 % auseinanderliegen. Leichte Abweichungen in der Fluggeschwindigkeit, ein etwas geringerer Abstand zu den WEAs, eine etwas erhöhte Querneigung können sehr schnell dazu führen, dass die Überziehggeschwindigkeit erreicht bzw. unterschritten wird. Analoge Ergebnisse für die anderen Luftfahrzeuge sind in der Sensitivitäts-Analyse dargestellt.

## 5 Geländetopografie

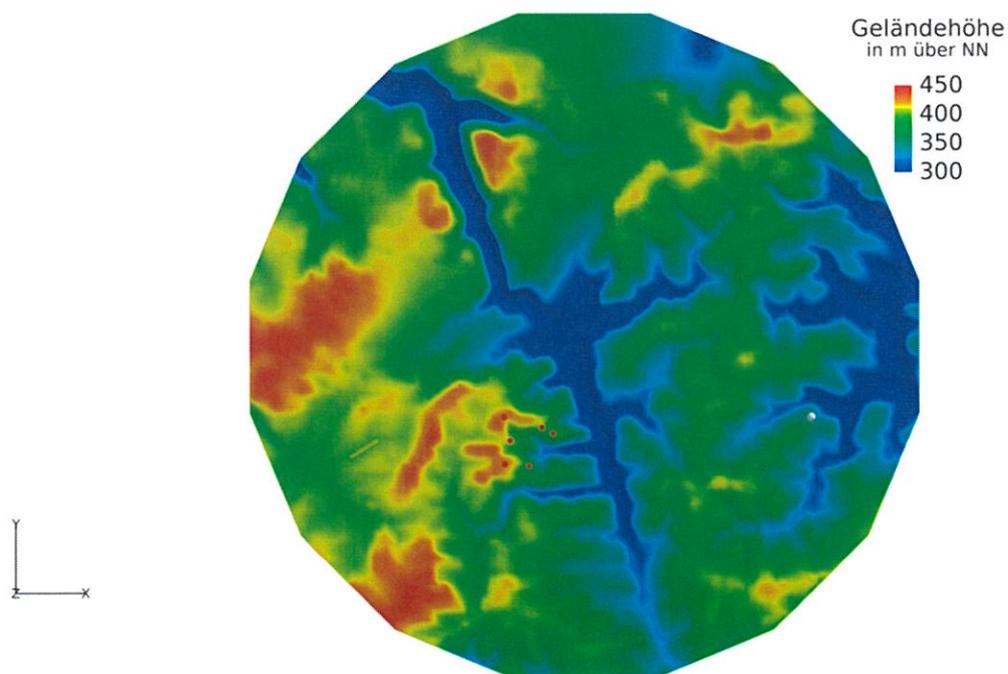


Abb. 6: Modell des Geländes um die WEAs und den Verkehrslandeplatz Walldürn

Ein weiterer zu berücksichtigender Einflussfaktor stellt die Geländetopografie dar. Das Gelände unterhalb der Platzrunde ist nicht eben, so dass sich örtliche Auf- und Abwinde ergeben, die zusätzlich Einfluss auf die Windverhältnisse und damit auf das Gefahrenpotential im Nachlauf der WEAs haben. Um eine Abschätzung dieser Einflussgröße vornehmen zu können, wurden mit Hilfe einer numerischen Strömungsberechnung die Windverhältnisse im Bereich der projektierten Anlagen und der Platzrunde des Verkehrslandeplatzes Walldürn berechnet.

## 5.1 Numerische Strömungsberechnung (virtueller Windkanal)

Das der numerischen Strömungsberechnung zugrundeliegende Modell (Abb. 6) umfasst einen Bereich von ca. 16 km x 16 km mit einer lateralen Gitter-Auflösung von unter 50 m und einer vertikalen Gitter-Auflösung in Bodennähe von 10 m.

In Abbildung 7 ist ein kleinerer Ausschnitt des Berechnungsgebietes dargestellt. Die Positionen der projektierten WEAs sind mit roten Zylindern (in der Draufsicht nur als Kreise erkennbar) markiert, deren Höhe der Gesamthöhe der WEAs und deren Durchmesser dem Rotordurchmesser der WEAs entspricht. Die Start- und Landebahn des Verkehrslandeplatzes Walldürn ist als roter Strich markiert. Das Modell zeigt, dass sich im Bereich der Platzrunde zwischen Start- und Landebahn und den WEAs eine Geländeerhöhung befindet. Die beiden WEAs Hö-1 und Hö-2 sind wiederum auf leicht erhöhtem Gelände projektiert.

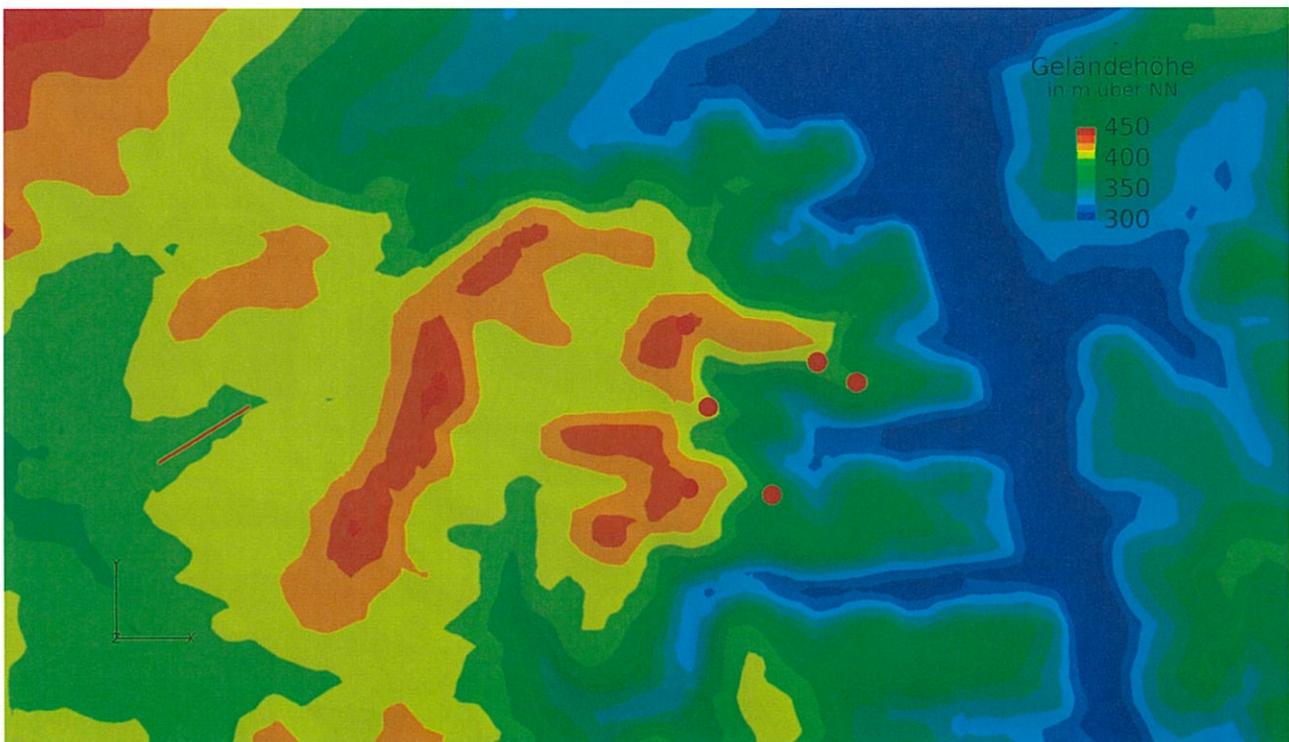


Abb. 7: Modell des Geländes um die WEAs und den Verkehrslandeplatz Walldürn

Das Berechnungsgebiet wird mit einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s aus Osten angeströmt. Dies ist beispielhaft eine der möglichen Windrichtungen, in denen sich die Platzrunde im Nachlauf der WEAs befindet. Auf Nabennposition der WEA Hö-1 ergibt sich aus den Berechnungen eine Windgeschwindigkeit von 10.4 m/s. In einer Höhe von 50 ft oberhalb der Start- und Landebahn ergibt sich eine Windgeschwindigkeit von noch 8.0 m/s; eine Geschwindigkeit, bei der Flugbetrieb stattfindet.

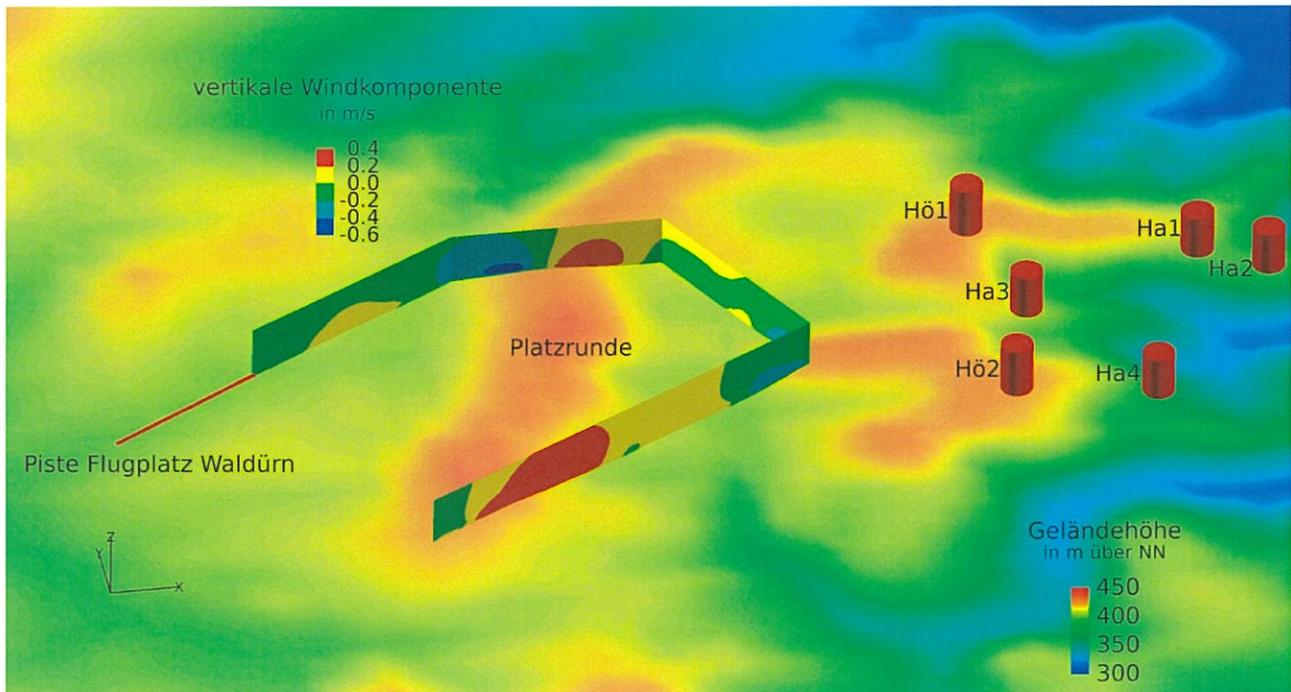


Abb. 8: Ergebnis der numerischen Strömungsberechnung; dargestellt die vertikale Windkomponente entlang der Platzrunde

Eine Darstellung der vertikalen Windkomponente entlang der Platzrunde - vereinfacht ohne Kurven dargestellt - zeigt deutlich die örtlichen Auf- und Abwinde (Abb. 8). Abwinde sind in den Farben grün bis blau dargestellt, Aufwinde in den Farben gelb bis rot. Diese Auf- und Abwinde betragen in bestimmten Bereichen der Platzrunde über 0.5 m/s, unter anderem gerade im Bereich Segment 4 (Abb. 3), dem Bereich, in dem das Luftfahrzeug auf die WEAs zufliegt, in deren Nachlauf hineingerät und gleichzeitig Abdrehen muss, um dem Platzrundenverlauf zu folgen. Weitere Abwinde von bis zu 0.4 m/s treten im Segment 6 (Abb. 3) auf. Auch hier gerät das Luftfahrzeug zusätzlich in den Nachlauf der WEAs und muss gleichzeitig eine Kurve fliegen.

Aufgrund der Geländetopografie muss der Pilot am Verkehrslandeplatz in Walldürn mit spürbaren Abwinden entlang der Platzrunde rechnen. Abwinde führen dazu, dass der Pilot, um steiler zu steigen, langsamer fliegt und sich der Geschwindigkeit für den besten Steigwinkel -  $v_x$  annähert. Diese Reduzierung der Fluggeschwindigkeit führt im Nachlauf der projektierten WEAs auf den Gemeindegebieten Höpfigen und Hardheim zu einem zusätzlichen Gefahrenpotential.

## 6 Sensitivitätsanalyse

Das Gefahrenpotential, das sich aus dem Nachlauf der projektierten WEAs auf den Gemeindegebieten Höpfingen und Hardheim für den Verkehrslandeplatz in Walldürn und deren Platzrunde ergibt, wird durch eine Sensitivitätsanalyse weiter spezifiziert. Dabei werden Abweichungen in den Flugparametern analysiert aber auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus der DLR-Untersuchung [1] auf größere WEAs sowie aufgrund der Topografie auftretende Abwindzonen im Verlauf der Platzrunde.

### 6.1 Abweichungen in den Flugparametern

Um das Gefahrenpotential, das sich aus Abweichungen in den Flugparametern ergibt genauer abschätzen zu können, wird eine Sensitivitätsanalyse für den Einflug in den Nachlauf einer WEA durchgeführt. Dabei werden die folgenden Parameter untersucht:

- Abstand des Luftfahrzeugs von der WEA  
Als Abweichung wird ein um 20 % verringertes Abstand angenommen.
- Fluggeschwindigkeit  
Als Abweichung wird eine Reduktion der minimalen Geschwindigkeit im Steigflug bei normalem Start um 5 % angenommen.
- Querneigung beim Kurvenflug  
Als Abweichung wird eine Querneigung bis zu 45° angenommen.

Die Sensitivitätsanalyse erfolgt für die drei, als am Verkehrslandeplatz in Walldürn häufig betrieben, ausgewählten Luftfahrzeuge wie sie unter 4.1 vorgestellt sind.

Die Cessna – Modell 172S stellt dabei eins der meist verbreitetsten Luftfahrzeuge dar. Die hier bestimmten Standardwerte für den Einflug in den Nachlauf einer WEA sind in Tabelle 13 dargestellt. Die entsprechenden Abweichungen in den Flugparametern sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Cessna - Model 172S			
<b>Standard</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	75.0 kts	38.6 m/s
	Windefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	64.3 kts	33.1 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	57.0 kcas	29.3 m/s

Tabelle 13: Standardwerte für die Sensitivitätsanalyse; Cessna – Modell 172S

Cessna - Model 172S			
<b>Abweichungen im Abstand</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1000 m	
	"	7 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	75.0 kts	38.6 m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	12.4 kts	6.4 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>62.6</b> kts	32.2 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	57.0 kcas	29.3 m/s
<b>Abweichungen in der Fluggeschwindigkeit</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	66.5 kts	34.2 m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>55.8</b> kts	28.7 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	57.0 kcas	29.3 m/s
<b>Abweichungen in der Querneigung</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	75.0 kts	38.6 m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>64.3</b> kts	33.1 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 45°)	63.0 kcas	32.4 m/s

Tabelle 14: Sensitivitätsanalyse für Cessna – Modell 172S

Mit blauer Schrift sind dabei die Parameter markiert, die variiert wurden. Ein Vergleich der Fluggeschwindigkeit im Nachlauf der WEA mit der Überziegeschwindigkeit zeigt, dass bei allen drei Parametervariationen die Fluggeschwindigkeit weniger als 10% von der Überziegeschwindigkeit abweicht (rote Schrift). Im Fall der Abweichung von der Fluggeschwindigkeit singt diese im Nachlauf der WEA sogar unter die Überziegeschwindigkeit, in dieser Höhe ein absolut kritischer Zustand für das Luftfahrzeug.

Die Cessna – Modell F 150 M wird am Verkehrslandeplatz in Walldürn als Schulungs-Luftfahrzeug eingesetzt. Die Standardwerte für den Einflug in den Nachlauf einer WEA sind in Tabelle 15 dargestellt, die Abweichungen in den Flugparametern sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Für dieses Luftfahrzeug stellt sich die Situation als noch kritischer dar. Sowohl in der Abweichung bezüglich der Fluggeschwindigkeit als auch in der Abweichung bezüglich der Querneigung ergibt sich ein Zustand, in dem die Fluggeschwindigkeit unterhalb der Überziegeschwindigkeit liegt.

Cessna - Model F 150 M			
<b>Standard</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
61	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	65.2 kts	33.5 m/s
93%	Winddefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>54.5</b> kts	28.0 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	52.1 kcas	26.8 m/s

Tabelle 15: Standardwerte für die Sensitivitätsanalyse; Cessna – Modell F 150 M

Cessna - Model F 150 M			
<b>Abweichungen im Abstand</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1000 m	
	"	7 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	65.2 kts	33.5 m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	12.4 kts	6.4 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>52.7</b> kts	27.1 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	52.1 kcas	26.8 m/s
<b>Abweichungen in der Fluggeschwindigkeit</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	<b>57.8</b> kts	<b>29.7</b> m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>47.1</b> kts	24.2 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	52.1 kcas	26.8 m/s
<b>Abweichungen in der Querneigung</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	65.2 kts	33.5 m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>54.5</b> kts	28.0 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 45°)	<b>58.0</b> kcas	<b>29.8</b> m/s

Tabelle 16: Sensitivitätsanalyse für Cessna – Modell F 150 M

Robin - DR400 mit 155 PS Dieselmotor als Schleppmaschine			
<b>Standard</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	62.5 kts	32.2 m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>51.8 kts</b>	26.7 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	58.0 kcas	29.8 m/s

Tabelle 17: Standardwerte für die Sensitivitätsanalyse; Robin-DR400 als Schleppmaschine

Robin - DR400 mit 155 PS Dieselmotor als Schleppmaschine			
<b>Abweichungen im Abstand</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1000 m	
	"	7 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	62.5 kts	32.2 m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	12.4 kts	6.4 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>50.1 kts</b>	25.8 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	58.0 kcas	29.8 m/s
<b>Abweichungen in der Fluggeschwindigkeit</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	<b>52.3 kts</b>	<b>26.9 m/s</b>
	Winddefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>41.6 kts</b>	21.4 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	58.0 kcas	29.8 m/s
<b>Abweichungen in der Querneigung</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	62.5 kts	32.2 m/s
	Winddefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>51.8 kts</b>	26.7 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 45°)	<b>76.0 kcas</b>	<b>39.1 m/s</b>

Tabelle 18: Sensitivitätsanalyse für Robin-DR400 als Schleppmaschine

Das dritte untersuchte Luftfahrzeug ist die Robin DR/400, die am Verkehrslandeplatz in Walldürn als Schleppmaschine eingesetzt wird. Die Standardwerte für den Einflug in den Nachlauf einer WEA sind in Tabelle 17 dargestellt, die Abweichungen in den Flugparametern sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

Bereits mit den Standardparametern unterschreitet die Fluggeschwindigkeit hinter einer WEA die Überziehgeschwindigkeit deutlich, so dass das Luftfahrzeug sich bereits mit den Standard-Flugparametern in einem kritischen Zustand befindet. Potentielle Abweichungen in den Flugparametern führen zu einer weiteren Verschlechterung der Situation.

Damit ergibt sich unter dem Einfluss der projektierten WEAs bereits bei einer einzelnen Abweichung in den Flugparametern bei der Mehrzahl der Luftfahrzeuge und Flugparameter ein hohes Gefahrenpotential für ein Luftfahrzeug in der Platzrunde in Walldürn. Für die Robin-DR400, im Einsatz als Schleppmaschine, führt in der vorgegebenen Platzrunde der Nachlauf einer der WEAs auf dem Gemeindegebiet Höpfigen bereits bei Einhaltung der vorgegebenen Flugparameter zu einem kritischen Zustand.

## 6.2 Aufgrund der Topografie auftretende Abwindzonen

Im Bereich der Platzrunde auftretende Abwindzonen führen dazu, dass der Pilot, um einen höheren Steigwinkel zu erreichen, die Fluggeschwindigkeit reduziert. Die Geschwindigkeit für den besten Steigwinkel  $v_x$  liegt bei allen untersuchten Flugzeugtypen deutlich unter der angenommenen Standard-Geschwindigkeit für den Steigflug. Diese indirekt durch die Abwindfelder induzierten Geschwindigkeitsreduktionen führen zu einer weiteren Annäherung an die Überziehgeschwindigkeit und damit zu einer Erhöhung des Gefährdungspotentials.

## 6.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse aus der DLR-Untersuchung

Die in der Sensitivitätsanalyse angesetzten Winddefizite im Nachlauf einer WEA sind der DLR-Untersuchung „*Flugversuche im Nachlauf von großen Windenergieanlagen*“ entnommen. Dies ist keine konservative Betrachtung, da die Flugexperimente in dieser Untersuchung für Anlagen mit einem Rotordurchmesser von 117 m durchgeführt wurden und nur für Anlagen bis zu einem Rotordurchmesser von ca. 120 m übertragbar sind [1]. Die projektierten WEAs auf den Gemeindegebieten Höpfigen und Hardheim sind mit einem Rotordurchmesser von fast 140 m geplant, also mit einem deutlich größeren Rotordurchmesser als untersucht wurde. Extrapoliert man das Winddefizit näherungsweise mit dem Rotordurchmesser ergibt sich ein um ca. 1 m/s erhöhtes Winddefizit. Damit reduziert sich die Fluggeschwindigkeit im Nachlauf einer WEA ca. um weitere 2 kts. Diese können bei Fluggeschwindigkeiten um ca. 50 bis 60 kts und Differenzen zur Überziehgeschwindigkeit von zum Teil deutlich unter 10 % für die Sicherheit des Luftfahrzeugs ausschlaggebend sein.

## 6.4 Kumulation der Risiken und Gefahren

Die Sensitivitätsanalyse zeigt für die beiden Cessna-Modelle, dass bereits Variationen in einzelnen isoliert betrachteten Flugparametern zu kritischen Flugzuständen führen und dass die projektierten WEAs der Gemeinden Höpfingen und Hardheim ein hohes Gefahrenpotential für Luftfahrzeuge auf der Platzrunde darstellen.

Nicht auszuschließen ist eine Kumulation dieser einzelnen ermittelten Risiken. Dazu kommen noch die Unsicherheit aus der Übertragbarkeit der verwendeten Winddefizite aus der DLR-Untersuchung und die aufgrund der Geländetopografie merklichen Abwindzonen im Bereich der Platzrunde. In der Summe führt dies zu einem signifikanten Gefährdungspotential.

Für die Robin-DR400, eingesetzt als Schleppmaschine, ergeben bereits die Standardflugparameter für den Einflug in den Nachlauf der WEAs eine kritische Situation für das Luftfahrzeug. Weitere Variationen der Flugparameter oder eine Kumulation der Risiken sind hier überflüssig um das Gefahrenpotential durch die WEAs zu beurteilen.

## 7 Zusammenfassung

Die Forschungsergebnisse aus der DLR-Untersuchung von 2017 „*Flugversuche im Nachlauf von großen Windenergieanlagen*“ [1] wurden in dieser Stellungnahme auf den Verkehrslandeplatz Walldürn und die auf den Gemeindegebieten Höpfingen und Hardheim projektierten Anlagen übertragen. Dabei wurde für drei typische, am Verkehrslandeplatz Walldürn betriebene Luftfahrzeuge, die in der Platzrunde fliegen, das Gefährdungspotential durch die WEAs genauer untersucht. Die angenommenen Betriebsparameter der Luftfahrzeuge sind dem zertifizierten Flughandbuch (AFM) des jeweiligen Luftfahrzeugs entnommen.

Die Untersuchungen ergeben, dass WEAs in der Größenordnung der projektierten Anlagen (Rotordurchmesser von fast 140 m und Anlagenhöhen von 200 bis 230 m) nicht einfach als Gebäude betrachtet und entsprechend der Vorgaben der NfL I 92/13 abgehandelt werden können. Stattdessen wird eine Berücksichtigung des Nachlaufs der WEAs, insbesondere der damit verbundenen Winddefizite und Windscherungen, als notwendig erachtet. Es zeigt sich, dass auch bei Einhaltung aller Standardverfahren die durch die WEAs generierten Windscherungen die in der Platzrunde fliegenden Luftfahrzeuge erheblich gefährden können.

Für die Robin-DR400, am Verkehrslandeplatz Walldürn als Schleppmaschine im Einsatz, ergeben bereits die Standardflugparameter für den Einflug in den Nachlauf der WEAs eine kritische Situation für das Luftfahrzeug.

Eine durchgeführte Sensitivitätsanalyse für Luftfahrzeuge, die in der Platzrunde am Verkehrslandeplatz Walldürn in die Windscherung der dort projektierten Anlagen einfliegen zeigt, dass bereits übliche Abweichungen von den Standardverfahren bei isolierter Betrachtung zu kritischen Flugzuständen führen. Eine Kumulation der einzelnen ermittelten Risiken würde ein noch höheres Gefahrenpotential bedeuten. Dazu kommen merkliche Abwindzonen entlang der Platzrunde aufgrund der Geländetopografie, demzufolge Piloten um steiler zu steigen eher etwas langsamer fliegen und sich das Risiko durch den Nachlauf der WEAs damit noch weiter erhöht. In der Summe führt dies zu einem erheblichen Gefährdungspotential für den Flugbetrieb am Verkehrslandeplatz in Walldürn.

Eine Unsicherheit besteht in der Übertragung der angesetzten Winddefizite aus der DLR-Untersuchung [1]. Diese Untersuchung ist nicht auf Rotordurchmesser von über 120 m übertragbar, wie sie für die Gemeinden Höpfingen und Hardheim jedoch projektiert sind. Mit einem noch höheren Winddefizit hinter den WEAs als angenommen muss demnach gerechnet werden.

Dass die hier durchgeführten Betrachtungen sich primär auf die beiden WEAs auf dem Gemeindegebiet Höpfingen beziehen, bedeutet nicht, dass die Anlagen auf dem Gemeindegebiet Hardheim kein Gefährdungspotential für den Luftverkehr am Verkehrslandeplatz Walldürn darstellen. Insbesondere die große Nähe der Anlage Ha-3 zur Platzrunde könnte ein zusätzliches Risiko für den Flugverkehr mit sich bringen.

## 8 Dokumentenliste

- [1] D. Fischenberg et al.; Flugversuche im Nachlauf von großen Windenergieanlagen; DLR-Kongress, 2017
- [2] Enercon GmbH; windblatt – das ENERCON Magazin; 03/2017
- [3] Peter C. Beck; 6 Windräder im Bereich Kornberg; Darmstadt,03/2018
- [4] Deutsche Flugsicherung GmbH; AIP VFR-Grundwerk – Sichtflugkarte Verkehrslandeplatz Walldürn (EDEW)
- [5] Deutsche Flugsicherung Langen; Nachrichten für Luftfahrer MfL I 92/13; Langen, 05/2013
- [6] Cessna Aircraft Company; Flughandbuch Cessna 172S; 12/2007
- [7] Reims Aviation S.A.; Flughandbuch Cessna F 150 M; Frankreich 1975
- [8] Apex Aircraft; Flughandbuch DR400/140B; 03/2005
- [9] CEAPR; Aircraft Flight Manual Supplement – Glider towing procedures DR400/155 CDI; 08/2012

Ergänzende Berechnungen zu:

Analyse des Gefahrenpotentials für den Luftverkehr durch den Nachlauf der am Verkehrslandeplatz Walldürn geplanten Windenergieanlagen

Zusätzliches Luftfahrzeug: Diamond DA40 D.

Analog zu den bisherigen Luftfahrzeugen wurde das Gefahrenpotential für eine Diamond DA40 D bestimmt. Analoge Tabellen sind hier dargestellt.

Quellen:

[10] Diamond Aircraft Industries GmbH; Flughandbuch DA40 D; 11/11/2002

Diamond DA40 D			
Total distance over 50 foot obstacle (short field)	2300 ft	701.0 m	
Take off normal climb airspeed	66.0 kias	34.0 m/s	
Rate of climb	620 ft/min	3.1 m/s	
stall speed (flaps up; angle of bank 0°)	52.0 kcas	26.8 m/s	
stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	57.0 kcas	29.3 m/s	
stall speed (flaps up; angle of bank 45°)	66.0 kcas	34.0 m/s	

Relevante Betriebsparameter des Luftfahrzeugs Diamond Da40 D [10]

Platzrunde	Diamond DA40 D	
	Höhe in m über NN	Gesamtlänge in m
Start	402.9	0
Ende (Total distance over 50 foot obstacle)	418.2	701
Ende Segment 1	512.2	1715
Ende Bogensegment 2	<b>541.9</b>	2035
Ende Segment 3	<b>592.0</b>	2575
Ende Bogensegment 4	<b>632.4</b>	3010
Ende Segment 5	<b>640.1</b>	3265
Ende Bogensegment 6	<b>640.1</b>	3980

Abgeschätzte Flughöhe der Diamond DA40 D;  
(rot – auf Höhe der Rotoren der WEAs)

Diamond DA40 D			
<b>Standard</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	66.0 kts	34.0 m/s
	Windefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>55.3</b> kts	28.5 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	57.0 kcas	29.3 m/s

Standardwerte für die Sensitivitätsanalyse; Diamond DA40 D

Diamond DA40 D			
<b>Abweichungen im Abstand</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1000 m	
	"	7 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	66.0 kts	34.0 m/s
	Windefizit hinter der Anlage	12.4 kts	6.4 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>53.6</b> kts	27.6 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	57.0 kcas	29.3 m/s
<b>Abweichungen in der Fluggeschwindigkeit</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	66.5 kts	34.2 m/s
	Windefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>55.8</b> kts	28.7 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 30°)	57.0 kcas	29.3 m/s
<b>Abweichungen in der Querneigung</b>			
	abgeschätzter Abstand zur WEA	1250 m	
	"	9 Rotordurchmesser	
	Fluggeschwindigkeit außerhalb des Nachlaufs	66.0 kts	34.0 m/s
	Windefizit hinter der Anlage	10.7 kts	5.5 m/s
	Fluggeschwindigkeit im Nachlauf	<b>55.3</b> kts	28.5 m/s
	stall speed (flaps up; angle of bank 45°)	66.0 kcas	34.0 m/s

Sensitivitätsanalyse für Diamond DA40 D