

Hannover – Leipzig

Dr.-Ing. Veenker
Ingenieurgesellschaft mbH

Heiligengeiststraße 19
30173 Hannover

Leibnizstraße 25
04105 Leipzig

mail@veenkerghmbh.de
www.veenkerghmbh.de

Gutachten

Windpark Ahrensfeld

Bewertung der Gefährdung der Produktenfernleitung Bramsche - Hodenhagen durch die WEA Ah07 vom Typ Senvion 3.0 M122

Auftraggeber: Windpark Ahrensfeld GmbH & Co. KG

Projekt: 89215

Datum: 19.06.2015

Revision: 01

Vereidigte Sachverständige
Dr.-Ing. Manfred Veenker
Dipl.-Ing. Jörg Himmerich
Dipl.-Ing. Alexander Junge

Amtsgericht Hannover
HRB 57 606
USt-IdNr.: DE 198 708 104

Geschäftsführer
Jörg Himmerich

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
2. Unterlagen	6
2.1 Rechtliche und theoretische Unterlagen	6
2.2 Projektbezogene Unterlagen	6
3. Angaben zu den Daten	8
3.1 Daten zu WEA und Schutzobjekt	8
3.2 Ergänzende Angaben zur Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit - Gefährdung durch Rotorblattabwurf	8
4. Sicherheitsbewertung	9
5. Abwurf des Maschinenhauses	11
6. Beeinträchtigung durch den umstürzenden Turm	12
7. Gesamtbewertung	13

Anlagenverzeichnis

A 1	Theorie, Vorschriften und Unterlagen
A 2	Unterlagen zum Projekt
A 3	Gefährdung durch Abwurf von 30-%-Rotorblatt der WEA Ah07
A 4	Aufprallstelle des herabfallenden Generatorkopfes

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gefährdung der Leitung durch die WEA Ah07 vom Typ Senvion 3.0 M122	10
Tabelle 2:	Gesamtbewertung der Gefährdung der Leitung durch die WEA Ah07 vom Typ Senvion 3.0 M122	13

1. Zusammenfassung

Der Auftraggeber, die Windpark Ahrensfeld GmbH & Co. KG, plant, im Bürgerwindpark Ahrensfeld nördlich von Bramsche Windenergieanlagen (WEA) vom Typ Senvion 3.0 M122 zu errichten. Durch das Gelände des Bürgerwindparks verläuft eine Produktenfernleitung DN 200. In der Produktenfernleitung werden brennbare und/oder wassergefährdende Medien transportiert. Die Leitung wird aktuell für den Transport von Erdölprodukten genutzt. Diese wird im Weiteren als Schutzobjekt bezeichnet.

Das Schutzobjekt befindet sich südlich der WEA Ah07. Aufgrund des geringen Abstandes zwischen dem Schutzobjekt und der Windenergieanlage wird für die WEA Ah07 im vorliegenden Gutachten der Nachweis geführt, dass eine zulässige Gefährdung des vorgenannten Schutzobjekts durch die WEA besteht.

Alle sechs Monate wird gemäß Wartungspflichtenheft (Unterlage U 10) eine Wartung durchgeführt. Dementsprechend wurden die Berechnungen für eine Wartung alle sechs Monate durchgeführt.

Im vorliegenden Gutachten werden die wesentlichen Gefährdungspotenziale nach Anlage A 1, Kapitel 2, untersucht und bewertet:

- Abwurf eines Trumms
 - ein ganzes Rotorblatt (100%-Rotorblatt) oder
 - Teile davon (30%-Rotorblatt),
- Abwurf eines Maschinenhauses,
- Kippen eines Turmes.

Es wird der Grenzwert - die zulässige Eintrittswahrscheinlichkeit (zul Pf) - nach Anlage A 1, Kapitel 3, zugrunde gelegt:

$$\text{zul Pf} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ereignisse/Jahr.}$$

Die Gegenüberstellung der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Schädigung der Produktenfernleitung infolge der vorgenannten Gefährdungspotenziale mit dem angegebenen Grenzwert zeigt, dass der Grenzwert für die betrachtete WEA eingehalten wird.

Der Grenzwert gilt auch für brennbare Süßgase, z. B. Erdgas und Ferngas, sowie Erdöl und Erdölprodukte, z. B. Kerosin und Diesel. Bei eventueller Umwidmung auf diese Medien ergibt sich ebenso ein sicherer Zustand. Ein geringerer Grenzwert gilt für brennbares und giftiges Erdgas (Sauggas). Für diesen Fall ist eine gesonderte Untersuchung erforderlich.

Es wird ausdrücklich empfohlen, spätestens vor Baubeginn die tatsächlichen Abstände zu ermitteln.

Dipl.-Ing. *Svetlana Piskun*

2. Unterlagen

2.1 Rechtliche und theoretische Unterlagen

Die rechtlichen und theoretischen Unterlagen sind in der Anlage A 1 zusammengestellt.

2.2 Projektbezogene Unterlagen

- U 1 Lageplan „WEA-Standorte“ im DGW-Format, übergeben durch 4initia GmbH am 16.06.2015
- U 2 Übersichtsplan „Produktenfernleitung“ im PDF-Format, übergeben durch 4initia GmbH am 11.06.2015
- U 3 Übersichtsplan „Windparks Ahrensfeld und Wittefeld_Maßstab 1:10.000“, Stand vom 07.08.2014 als PDF-Dokument, übergeben durch 4initia GmbH am 18.09.2014
- U 4 Übersichtskarte „Windpark Ahrensfeld_Maßstab 1:10.000“ als PDF-Dokument, übergeben durch 4initia GmbH am 18.09.2014
- U 5 Lageplan „Produktenfernleitung“ im DGW-Format, übergeben durch 4initia GmbH am 16.06.2015
- U 6 Ergänzende Angaben zum Vorhaben, telefonische Auskünfte bzw. E-Mail-Kontakt mit dem Auftraggeber am 11.06.2015, 16.06.2015 und 19.06.2015
- U 7 Technische Hauptdaten der Windenergieanlage vom Typ Senvion 3.0M122, übergeben durch 4initia GmbH am 11.06.2015
- U 8 Windenergieanlage Senvion SE MM/3.XM/5M/&M; Maßnahmen bei Eisansatz; erstellt von Senvion SE Überseering 10, Hamburg, Ausgabedatum: 2011-05-30; Dokumentennummer:T-1.1-SN.ES.01-B-A, übergeben durch 4initia GmbH am 11.06.2015
- U 9 Leistungskennlinie und Schalleistungspegel 3.0M122 (3.0M/122/50Hz), erstellt von Senvion SE Überseering 10, Hamburg, Dokumentennummer: SD-3.5-WT.PC.00-A-D vom 20.01.2014, übergeben durch 4initia GmbH am 11.06.2015

- U 10 Windenergieanlage Senvion 3.XM -3.4M104/3.2M114/3.0M122, Wartungspflichtenheft, Dokumenten-Nr. (Revision): T-3.1-GP.WA.01-A (I), Verfasser Senvion SE TechCenter, Albert-Betz-Straße 1, 24783 Osterönfeld, Datum 21.05.2014, übergeben durch 4initia GmbH am 11.06.2015

- U 11 Hinweise für Arbeiten im Bereich der Produktenfernleitungen der NATO und des Bundes in der Bundesrepublik Deutschland, Fernleitungs-Betriebsgesellschaft mbH (FBG), Stand 10/2013, übergeben durch 4initia GmbH am 11.05.2015

3. Angaben zu den Daten

3.1 Daten zu WEA und Schutzobjekt

In der Anlage A 2 sind entsprechend Unterlagen U 1 bis U 11 die für die Bewertung der Gefährdung relevanten Daten für das Schutzobjekt sowie für die WEA abgelegt.

Für die Leitung nach Unterlage U 11 wird eine Regelüberdeckung von 1,0 m angenommen.

3.2 Ergänzende Angaben zur Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit - Gefährdung durch Rotorblattabwurf

In den folgenden Untersuchungen wird vorausgesetzt, dass der Abwurf eines Rotorblattes während des Auftretens hoher Windgeschwindigkeiten und im Betrieb erfolgt. Es wird der ungünstigste Fall angenommen.

$$\begin{aligned}w &= 22,0 \text{ m/s} \\U &= 11,3 \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

4. Sicherheitsbewertung

Gemäß Anlage A 1 ergeben sich die im Folgenden aufgeführten Eintrittswahrscheinlichkeiten:

- Pf1 = Eintrittswahrscheinlichkeit des Abwurfes eines Gegenstandes, (bei Rotorblatt multipliziert mit dem Anteil für die Berücksichtigung des Teiles eines Rotorblattes),
- Pf2 = Eintrittswahrscheinlichkeit für eine ungünstige Windrichtung je nach WEA,
- Pf3 = Eintrittswahrscheinlichkeit für die Übereinstimmung der Aufprallstellen mit dem Schutzobjekt,
- Pf4 = Eintrittswahrscheinlichkeit für sonstige Einflüsse.

Die Berechnungen wurden entsprechend der Unterlage U 10 für eine Wartung gemäß Wartungspflichtenheft alle sechs Monate durchgeführt.

In der Anlage A 3 sind die grafischen Auswertungen für die Ermittlung von Wurfweiten für die WEA Ah07 bei Abwurf eines 30-%-Rotorblatts aufgezeigt. Der Übersicht halber wird auf die grafischen Darstellungen für den Abwurf eines 100-% Rotorblatts verzichtet, da sich ähnliche Ergebnisdarstellungen zeigen.

In den nachfolgenden Tabellen ist die Gefährdung des Schutzobjektes infolge Rotorblattabwurfs oder Teilen davon der WEA Ah07 vom Typ Senvion 3.0 M122 im Detail zusammengestellt.

WEA Ah07 - Produktenfernleitung		
Eintrittswahrscheinlichkeit	100-%-Rotorblatt	30-%-Rotorblatt
Pf1	$7,00 \cdot 10^{-5}$	$3,50 \cdot 10^{-5}$
Pf2	$1,00 \cdot 10^0$	$1,00 \cdot 10^0$
Pf3	$9,59 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$
Pf4	$6,67 \cdot 10^{-2}$	$6,67 \cdot 10^{-2}$
IPf	$4,48 \cdot 10^{-9}$	$2,93 \cdot 10^{-9}$

Tabelle 1: Gefährdung der Leitung durch die WEA Ah07 vom Typ Senvion 3.0 M122

Die Zusammenstellung der Bewertungsergebnisse erfolgt im Kapitel 7.

5. Abwurf des Maschinenhauses

Die allgemeine Theorie zur Ermittlung der Wurfparabel für den Abwurf des Maschinenhauses ist in der Anlage A 1 aufgezeigt. Nach Anlage A 4 ergeben sich für die WEA Ah07 vom Typ Senvion 3.0 M122 Wurfweiten von

- 11,30 m.

Diesem Abstand werden die halbe Gondellänge und ein Sicherheitszuschlag von 2,0 m hinzugerechnet. Somit ergibt sich für die WEA vom Typ Senvion 3.0 M122 ein Radius von

- 19,85 m für den Aufprallbereich des Maschinenhauses.

Der Abstand der WEA Ah07 zum Schutzobjekt ist größer, siehe dazu Lageplan in Anlage A 2.

Gemäß den Ausführungen in Anlage A 1 ist die Trefferwahrscheinlichkeit der Leitung außerhalb des Kreises von 19,85 m als probabilistisch nicht relevant zu bewerten.

Die Gesamtbewertung erfolgt im Kapitel 7.

6. Beeinträchtigung durch den umstürzenden Turm

Bei geringem Abstand zu einer Leitung kann der umstürzende Turm diese beschädigen. In den folgenden Untersuchungen wird davon ausgegangen, dass allein durch geometrischen Kontakt eine Beschädigung eintritt. Grundsätzlich ist von der gesamten Turmhöhe auszugehen. Bei der Gefährdung ist weiterhin zu berücksichtigen, dass eingeedete Objekte nur dann beschädigt werden, wenn das Rotorblatt in genügend spitzem Winkel in den Boden eindringt. Hier werden die Bedingungen aus Kapitel 5 angewendet. Nach Anlage A 1, Kapitel 2, liegt die Wahrscheinlichkeit für Turmversagen in Höhe des Grenzwertes des hier betrachteten Schutzobjektes.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit der oben beschriebenen Ereignisse liegt bei Bauwerken im technisch vertretbaren Bereich von weniger als:

$$1 \cdot 10^{-6} \text{ Ereignisse/Jahr.}$$

Voraussetzung ist eine Dimensionierung und Konstruktion der gesamten Anlage nach den anerkannten Regeln der Technik. Dies ist mit Vorlage der Typenstatik hinsichtlich der Berechnungen gegeben. Die Anforderungen an die Herstellung sind weiterhin zu beachten. Üblicherweise wird die Einhaltung derartiger Auflagen bei der Bauabnahme überprüft. U. a. ist die Einhaltung der Gründungsmaßnahme auf der Grundlage der örtlichen Bodeneigenschaften zu überprüfen. Im Übrigen sind hinsichtlich Bau und Betrieb die in der Typenstatik aufgeführten Forderungen entsprechend einzuhalten.

Die Gesamtbewertung erfolgt im Kapitel 7.

7. Gesamtbewertung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Gesamtgefährdung des Schutzobjektes infolge Abwurfs eines Trumms, Abwurfs des Maschinenhauses und Kippens des Turmes der WEA Ah07 zusammengestellt.

Gefährdungspotenzial	WEA Ah07 Senvion 3.0 M122
Abwurf 100-% -Rotorblatt	$4,48 \cdot 10^{-9}$
Abwurf 30-%-Rotorblatt	$2,93 \cdot 10^{-9}$
Abwurf Maschinenhaus	-
Kippen Turm	-
Gesamtsumme	$7,41 \cdot 10^{-9}$

Tabelle 2: Gesamtbewertung der Gefährdung der Leitung durch die WEA Ah07 vom Typ Senvion 3.0 M122

Der Nachweis hat die Form:

$$\sum Pf = 7,41 \cdot 10^{-9} \text{ Ereignisse/Jahr} < \text{zul Pf} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ereignisse/Jahr.}$$

Die Gegenüberstellung der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeit für die Produktenfernleitung infolge Abwurfs eines ganzen Rotorblattes oder Teilen davon, Abwurfs des Maschinenhauses und Kippens des Turmes mit dem in der Anlage A 1, Kapitel 2, angegebenen Grenzwert für „Mineralölfernleitung bis max. DN 1000“ zeigt, dass der Grenzwert durch die WEA Ah07 vom Typ Senvion 3.0 M122 eingehalten wird.

Der Grenzwert gilt auch für brennbare Süßgase, z. B. Erdgas und Ferngas, sowie Erdöl und Erdölprodukte, z. B. Kerosin und Diesel. Bei eventueller Umwidmung auf diese Medien ergibt sich ebenso ein sicherer Zustand. Ein geringerer Grenzwert gilt für brennbares und giftiges Erdgas (Sauergas). Für diesen Fall ist eine gesonderte Untersuchung erforderlich.

Anlage

A 1 Theorie, Vorschriften und Unterlagen

Hannover – Leipzig

Dr.-Ing. Veenker
Ingenieurgesellschaft mbH

Heiligengeiststraße 19
30173 Hannover

Leibnizstraße 25
04105 Leipzig

mail@veenkerghmbh.de
www.veenkerghmbh.de

Allgemeine Theorie

Vorschriften

Unterlagen

Vereidigte Sachverständige
Dr.-Ing. Manfred Veenker
Dipl.-Ing. Jörg Himmerich
Dipl.-Ing. Alexander Junge

Amtsgericht Hannover
HRB 57 606
USt-IdNr.: DE 198 708 104

Geschäftsführer
Jörg Himmerich

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines zu Abstandsregelungen zwischen Schutzobjekten und Windenergieanlage	4
2. Schadenshäufigkeiten der Windenergieanlage	5
2.1 Abwurf eines Rotorblattes	5
2.2 Abwurf des Maschinenhauses	6
2.3 Turmbruch	6
2.4 Gefährdung durch Eisfragmente	6
3. Zulässige Grenzwerte	8
4. Aufprall eines Rotorblattes auf ein Schutzobjekt	10
4.1 Darstellung der Beanspruchung	10
4.2 Berechnungsgrundlagen	10
4.2.1 Nachweisform	10
4.2.2 Lage der Aufprallstelle als Funktion der Umdrehungsgeschwindigkeit, der Blattstellung zum Zeitpunkt des Abwurfs und der Windgeschwindigkeit	11
4.2.3 Lage der Aufprallstelle als Funktion der Windrichtung	13
4.2.4 Berücksichtigung der Erdüberdeckung des Schutzobjektes	13
4.2.5 Zerstörung eingerdeter Schutzobjekte beim Aufprall des Rotorblattes	14
4.2.6 Aufprall von Rotorblatt oder Teilen davon und Eis auf ein Fahrzeug	14

4.2.7	Ermittlung des Gefährdungsbereiches	15
4.2.8	Zerstörung des Schutzobjektes beim Aufprall des Trumms	16
5.	Abwurf des Maschinenhauses	17
5.1	Darstellung der Beanspruchung	17
5.2	Berechnungen	17
5.3	Probabilistische Betrachtungen für eingeardete Leitungen	18
6.	Beeinträchtigung durch den umstürzenden Turm	20
7.	Unterlagen	21
7.1	Vorschriften	21
7.2	Schadensstatistiken	23
7.3	Literatur	24

1. Allgemeines zu Abstandsregelungen zwischen Schutzobjekten und Windenergieanlage

Für die Abstandsregelung zwischen Schutzobjekten und Windenergieanlagen (WEA) liegt eine Rundverfügung des Landesbergamtes Clausthal-Zellerfeld vor. Allerdings werden hier nur WEA mit einer Nabenhöhe (NH) bis 120 m berücksichtigt. Die Rundverfügung 4.45 (05/05 – B VI a 8.2 – XXVIII) mit Datum vom 12.01.2005 wurde aus dem Anwendungsdokument Nr. 19003 (Unterlage U 59) ausgegliedert und setzt in Kurzform die notwendigen Sicherheitsabstände zwischen bergbaulichen Anlagen und einer WEA fest. Das Anwendungsdokument Nr. 19003 (Unterlage U 59) wurde unter Mitwirkung der betroffenen Industrie, der ehemaligen Bezirksregierung Weser-Ems und des Landesbergamtes Clausthal-Zellerfeld im Jahr 2003 erarbeitet.

Das o. a. Anwendungsdokument Nr. 19003 (Unterlage U 59) ist überarbeitet worden. Die Überarbeitung ergab sich aufgrund des veränderten Maschinenparks der heute eingesetzten Windenergieanlagen. Unter anderem werden in diesem überarbeiteten Anwendungsdokument, dem Gutachten 97111 Rev07 (Unterlage U 62), Nabenhöhen bis 150 m berücksichtigt. Darüber hinaus wurde die aktuell gültige Vorschriftenlage berücksichtigt, so z. B. die DIN EN ISO 16708.

Im Weiteren werden die Grundlagen gemäß überarbeitetem Anwendungsdokument, dem Gutachten 97111 Rev07 (Unterlage U 62) zusammengestellt. Dabei werden die von der Windenergieanlage ausgehenden Gefährdungspotenziale des Abwurfs von Rotorblättern oder Teilen davon, Eisfalls und Eiswurfs, des Abwurfs des Maschinenhauses sowie des Turmkippens betrachtet. Diese Gefährdungspotenziale werden durch probabilistische, kinematische und meteorologische Betrachtungen bewertet.

2. Schadenshäufigkeiten der Windenergieanlage

2.1 Abwurf eines Rotorblattes

In den Untersuchungen werden die Eintrittswahrscheinlichkeit für den Abwurf eines Rotorblattes sowie die Größe des abgeworfenen Teiles berücksichtigt. Hierbei werden die Daten aus der Unterlage U 27 berücksichtigt. Es handelt sich um eine tabellarische Zusammenstellung der Ereignisse in den Zeiträumen zwischen 1996 und 2003. Die Angaben resultieren aus Presserecherchen bzw. aus Meldungen von Privatpersonen. Es ist davon auszugehen, dass das Ereignis „Abwurf eines Rotorblattes“ grundsätzlich in der Presse mitgeteilt wird. Demzufolge kann diese Zusammenstellung als weitgehend vollständig angesehen werden. Dies wird von den Herstellern der Windenergieanlagen, die ihre Anlagen fernüberwachen, für den Zeitraum 1999 bis 2003 bestätigt. Die Schadensstatistik wurde ab 2003 nicht fortgeführt. Die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit der Schadenstatistik wird durch den DEWI-Report (U 32) bestätigt. Die Anzahl der hier dokumentierten Ereignisse wird dividiert durch den Mittelwert der Anzahl der Anlagen im jeweiligen Jahr. Unter Verwendung des hier beschriebenen Zahlenmaterials ergibt sich eine Schadenshäufigkeit des Ereignisses „Abwurf eines Rotorblattes“ von

$$Pf1 = 7,00 \cdot 10^{-4} \text{ Ereignisse/Jahr.}$$

Der gleichen Statistik ist zu entnehmen, dass der Abwurf eines ganzen Rotorblattes oder der Abwurf eines Kleinteils als vorwiegendes Ereignis zu betrachten ist. Der Abwurf größerer Teile stellt ein nachrangiges Ereignis dar. In den vorliegenden Untersuchungen wird die Aufteilung der Größe des abgeworfenen Gegenstandes nach folgender Tabelle angesetzt (siehe auch Unterlage U 27).

Größe des abgeworfenen Teils	Anteil
ganzes Rotorblatt	0,4
1/3-Rotorblatt	0,2
Kleinteil	0,4

Tabelle 1: Größe des abgeworfenen Teils

2.2 Abwurf des Maschinenhauses

Die Ermittlung für die Eintrittswahrscheinlichkeit für den Abwurf eines Maschinenhauses erfolgt auf Basis der vorgenannten Schadensstatistiken. Berücksichtigt werden die Ereignisse, bei denen das gesamte Maschinenhaus bzw. ein Großteil des Maschinenhauses (z. B. Nabe plus Rotorblätter) abgeworfen wurden. Anhand dieses Zahlenmaterials ergibt sich eine Eintrittswahrscheinlichkeit von

$$Pf1 = 1,80 \cdot 10^{-4} \text{ Ereignisse/Jahr.}$$

2.3 Turmbruch

Für die Festlegung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Turmbruchs wird vorausgesetzt, dass Planung, Errichtung sowie Betrieb der Windenergieanlagen unter den folgenden Vorgaben erfolgen:

- GL IV-Teil 1: „Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen“, Ausgabe 2010 (Unterlage U 16),
- DIBt: „Richtlinie für Windenergieanlagen“, Fassung 10/2012 (Unterlage U 19),
- Beteiligung eines „Anerkannten Sachverständigen nach Bauordnungsrecht“ bei der Erstellung bzw. Prüfung der Boden- und Gründungsgutachten.

Unter den oben genannten Voraussetzungen kann für die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Turmbruchs weniger als 10^{-6} Ereignisse/Jahr angesetzt werden.

2.4 Gefährdung durch Eisfragmente

Die Gefährdung durch Eisfragmente wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Eiserkennung. Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen setzt sich Eis an den Rotorblättern an.

Dieser Eisansatz wird von der Systemsteuerung der Windenergieanlage in der Regel erkannt. In diesem Fall wird die Windenergieanlage abgebremst bis zum Trudelbetrieb oder zum Stillstand des Rotors. Dieser Zustand wird solange ein-

gehalten, bis die Eisfreiheit der Rotorblätter garantiert ist. Während dieser Phase tritt Eisfall auf, d. h. das durch den Tauprozess an den Rotorblättern sich lösende Eis fällt relativ nahe am Standort der WEA auf den Boden. Ein Wiederanfahren ist erst nach Freigabe möglich. Selbst wenn sich noch Eis an den Rotorblättern befindet, wird dieses bei den ersten Drehungen, d. h. bei geringer Drehzahl, abgeworfen.

Erkennt die Systemsteuerung der Windenergieanlage den Eisansatz an den Rotorblättern nicht, bleibt die WEA in Betrieb. Aufgrund der drehenden Bewegung kann sich dieses Eis lösen und in die Umgebung geschleudert werden. Dieses Ereignis wird als Eiswurf bezeichnet.

Aus Versuchen und Erfahrungen ist bekannt (s. auch Unterlage U 51), dass die Loslösung des Eises von den Rotorblättern unter Umständen in großformatigen Teilen stattfinden kann. Spätestens beim Abriss von der Kante zerfallen diese großformatigen Teile jedoch in klein- und kleinstformatige Eisstücke. In den folgenden Untersuchungen wird folglich ein kleinformatiges Eisstück betrachtet.

Für die Eiserkennung wird eine Fehlerrate angesetzt. Diese Fehlerrate wird in Anlehnung an Unterlage U 47 hergeleitet und auf der sicheren Seite liegend festgelegt. Alternativ werden die Angaben des Herstellers mit dem zum Einsatz kommenden Eiserkennungssystem berücksichtigt.

Weiterhin ist die Eintrittswahrscheinlichkeit von Eisansatz zu berücksichtigen. In der Unterlage U 54 ist diese in der Einheit Tag/Jahr angegeben. Es wird im Folgenden angenommen, dass pro Eistag ein Eiswurf möglich ist. Diese Annahme resultiert aus Auswertungen von Betriebsdaten zum Vereisungsereignis und aus Statistiken zum Eiswurf.

Die Gefährdung durch Eiswurf ist nur bei oberirdischen Schutzobjekten und bei Personen zu berücksichtigen. Bei eingedekten Schutzobjekten bietet die Erdüberdeckung genügend Schutz vor dem Eindringen von Eisstücken.

3. Zulässige Grenzwerte

Es werden die zulässigen Grenzwerte aus dem Gutachten 97111 Rev07 (Unterlage U 62) übernommen. Je nach Gefährdungspotenzial des Mediums/Bauwerkes sind die folgenden Grenzwerte anzusetzen:

Schutzobjekt	Grenzwert zul Pf*
Ferngasleitung bis max. DN900	$6,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro km und Jahr
Ferngasleitung größer DN900 bis max. DN1400	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro km und Jahr
Ferngasleitung größer DN900 bis max. DN1400, und DP \geq 84 bar	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro km und Jahr
Ferngasleitung größer DN900 bis max. DN1400, und DP $<$ 84 bar	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro km und Jahr
Schieberstation für Ferngasleitung	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Mineralölfornleitung bis max. DN1000	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro km und Jahr
Schieber-, Abzweig- und Pumpstation einer Mineralölfornleitung	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
E&P-Industrie / Feldleitung (Süßgas) bis max. DN600	$6,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro km und Jahr
E&P-Industrie / Schieberstation einer Feldleitung (Süßgas)	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
E&P-Industrie / Bohrung, Gastrocknungsanlage, Übergabestation, Tanklager und Kompressorstation für Süßgas	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
E&P-Industrie / Feldleitung (Sauergas) bis max. DN500	$1,00 \cdot 10^{-7}$ Ereignisse pro km und Jahr
E&P-Industrie / Schieberstation einer Feldleitung (Sauergas)	$1,00 \cdot 10^{-7}$ Ereignisse pro Jahr
E&P-Industrie / Bohrung für Sauergas	$1,00 \cdot 10^{-7}$ Ereignisse pro Jahr
E&P-Industrie / Feldleitung (Erdöl) bis max. DN400	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro km und Jahr
E&P-Industrie / Schieberstation einer Feldleitung (Erdöl)	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr

Schutzobjekt	Grenzwert zul Pf*
E&P-Industrie / Bohrung, Dreiphasenseparator, Thermalanlage, (Erdöl)	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Kaverne Speicherköpfe (Bohrung)	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Kaverne Betriebsplatz	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Biogasanlage	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Straße	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Bahnstrecke	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Deich	$2,50 \cdot 10^{-5}$ Ereignisse pro Jahr
landwirtschaftliche Produktionsstätte	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Einzelbauwerk (frei stehendes Haus o. Ä.)	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr
Stellplätze	$1,00 \cdot 10^{-6}$ Ereignisse pro Jahr

* Zu den aufgeführten Grenzwerten gelten jeweils die Bemerkungen zu den weiteren Bedingungen, wie z. B. Überdeckung, Abstände, maximaler H₂S-Gehalt bei Sauergasleitungen etc. aus Unterlage U 62.

4. Aufprall eines Rotorblattes auf ein Schutzobjekt

4.1 Darstellung der Beanspruchung

Bei dem Abwurf eines Rotorblattes wird dieses durch die Luft geschleudert. Das Rotorblatt prallt auf dem Erdboden auf. Die Aufprallstelle ist abhängig von der Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors, der Stellung des Blattes zum Zeitpunkt des Abwurfes, der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung. Zum Zeitpunkt des Aufpralls befindet sich das Rotorblatt in einer beliebigen Stellung, welche sich aus der Kinetik des Wurfes unter Berücksichtigung der Massenträgheiten und der angreifenden Windkräfte ergibt. Trifft das Rotorblatt auf das Schutzobjekt auf und ist ausreichend kinetische Energie vorhanden, so kommt es zu einer Schädigung des Schutzobjektes.

Bei eingeebten Schutzobjekten wird der Boden wie folgt berücksichtigt: Je nach Stellung des Rotorblattes dringt dieses mehr oder weniger in den Boden ein. Es ist unmittelbar einzusehen, dass sich die größte Eindringtiefe ergibt, wenn das Blatt lotrecht, ohne jegliche Drehung und mit der Blattspitze voran, auf den Boden aufprallt. Der anstehende Boden setzt der Aufprallenergie einen Widerstand entgegen, der sich aus dem Eindringwiderstand des Bodens und der Reibung an den seitlichen Flächen des Blattes ergibt.

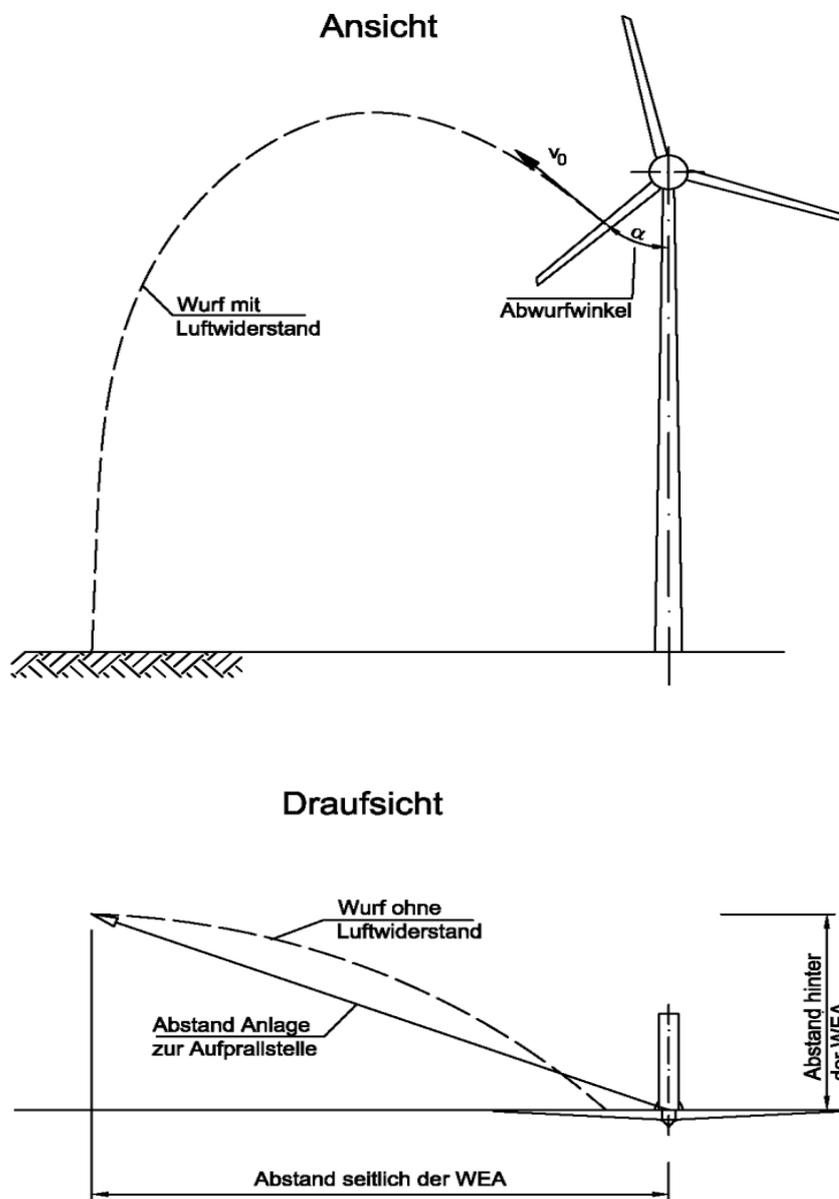
4.2 Berechnungsgrundlagen

4.2.1 Nachweisform

Die Abschätzung der Gefährdung des Schutzobjektes infolge Zerstörung durch ein abgeworfenes Rotorblatt erfolgt durch probabilistische Betrachtungen. Zunächst erfolgt die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit anhand der skizzierten Vorgänge nach Kapitel 4.1. Die Schädigung eines Schutzobjektes tritt nach der Abfolge von diversen Ereignissen ein, für die eine Eintrittswahrscheinlichkeit angegeben werden kann. Das Eintreten des Folgeereignisses ist gekoppelt an die Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses selbst. Daraus ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für die Schädigung des Schutzobjektes aus dem Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen Ereignisse. Die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit wird einer zulässigen Eintrittswahrscheinlichkeit gegenübergestellt.

4.2.2 Lage der Aufprallstelle als Funktion der Umdrehungsgeschwindigkeit, der Blattstellung zum Zeitpunkt des Abwurfs und der Windgeschwindigkeit

Es ist der Fall zu untersuchen, dass sich ein Rotorblatt ablöst und aufgrund der drehenden Bewegung des Rotors und der Windgeschwindigkeit in einer zu bestimmenden Lage auf dem Boden aufschlägt. Es handelt sich also um eine räumliche Wurfparabel, die in der Abbildung 1 dargestellt ist.



Q:\Projektthemen\Windenergieanlagen\
WEA-neues-Konzept\A01_Theorie-
Vorschriften-Unterlagen_R01.docx

Abbildung 1: Systemskizze zur Berechnung der Wurfbahn

Die für die Ermittlung der Wurfweite erforderlichen Gleichungen basieren auf den Grundlagen der Kinetik (Unterlage U 37). Es handelt sich um eine räumliche Wurfbahn, deren Bewegungskomponenten sich aus der senkrecht zur Windrichtung liegenden Ebene der Drehbewegung des Rotors und aus dem durch den Wind erzeugten Staudruck ergeben.

Die Komponente der Wurfbahn senkrecht zur Windrichtung errechnet sich aus der Bewegungsgleichung „Wurf mit Luftwiderstand“. In diese Gleichung gehen die Masse und die Geometrie des abgeworfenen Gegenstandes, der Luftwiderstand, die Anfangsgeschwindigkeit des abgeworfenen Gegenstandes sowie der Abwurfwinkel ein. Die Anfangsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Abwurfes ist abhängig von der Winkelgeschwindigkeit und vom Abstand des Schwerpunktes des abgeworfenen Gegenstandes von der Nabe.

Der Luftwiderstand wird entsprechend der Wurfcharakteristik bestimmt. Bei großen Bauteilen handelt es sich im Wesentlichen um einen fallenden Vorgang. Das abgeworfene Teil wird betrachtet als ein durch Staudruck beanspruchtes Bauteil, sodass Luftwiderstandsbeiwerte in Anlehnung an Unterlage U 9 angesetzt werden. Kleinere Bauteile weisen günstigere aerodynamische Eigenschaften auf, sodass Luftwiderstandsbeiwerte aus der Tragflügeltheorie (Unterlage U 35) angesetzt werden.

Die Komponente der Wurfbahn in Windrichtung hat einen Anfangswert, der sich aus dem Anstellwinkel und der aktuellen Position des Blattes zum Zeitpunkt des Abwurfes ergibt. Der Wert ergibt sich aus der Umfangsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der entsprechenden Transformationsvorschriften. Anschließend wirkt auf das abgeworfene Bauteil der Staudruck, sodass das Bauteil in Windrichtung beschleunigt wird. Der Abwurfwinkel für die Wurfkomponente in Windrichtung ist 0° .

Berechnungsgrundlage ist hier der Impulssatz, sodass sich die Wurfbahn aus der vektoriellen Addition der Wurfgeschwindigkeiten ergibt. Im vorliegenden Fall erfolgt die Ermittlung der Wurfbahn durch inkrementelle Veränderung der Wurfgeschwindigkeit. Der Vergleich mit bekannten Lösungen liefert eine gute Übereinstimmung.

Für die folgenden Untersuchungen ist außerdem die Blattstellung zum Zeitpunkt des Abwurfes probabilistisch zu bewerten. Zunächst ist davon auszugehen, dass das Blatt dann abreißt, wenn es maximal beansprucht wird. Die überwiegende Beanspruchung ergibt sich aus dem Winddruck. In guter Näherung ist es somit zulässig, alle Blattstellungen als probabilistisch gleichwertig zu betrachten.

4.2.3 Lage der Aufprallstelle als Funktion der Windrichtung

Die Aufprallstelle befindet sich auf jeden Fall leeseitig der Windenergieanlage. Eine Gefährdung des Schutzobjektes ergibt sich nur dann, wenn der Wind „ungünstig“ steht. Die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit für den Aufprall auf das Schutzobjekt bei einer ungünstigen Windrichtung erfolgt durch schrittweises Aufzeichnen der Lage der Aufprallstellen in Abhängigkeit der Windrichtung.

Die mögliche Lage der Aufprallstellen umschreibt in etwa eine Ellipse. Verschiebt man diese Ellipse in Abhängigkeit der Windrichtung kontinuierlich um 360° , so ergibt sich ein Kreisring von möglichen Aufprallstellen. Hier wird zunächst angenommen, dass jede Stelle dieses Kreisringes probabilistisch gleichwertig ist. Das Schutzobjekt durchfährt diesen Kreisring über eine bestimmte Länge. Diese Länge wird multipliziert mit einer Einflussbreite, die je nach Schutzobjekt variiert. Das Verhältnis der Einflussfläche des Schutzobjektes mit der Fläche des Kreisringes liefert die Eintrittswahrscheinlichkeit für den Aufprall des Rotorblattes im unmittelbaren Gefährdungsbereich des Schutzobjektes.

Das Schutzobjekt wird nicht bei jeder beliebigen Windrichtung getroffen. Insofern ist die zuvor ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit mit einem Faktor zu multiplizieren, der nur die „ungünstigen“ Windrichtungen berücksichtigt.

4.2.4 Berücksichtigung der Erdüberdeckung des Schutzobjektes

Die Ermittlung der kritischen Stellungen des Rotorblattes im Moment des Aufpralls erfolgt hier näherungsweise. Das sich während des Wurfes beliebig drehende Rotorblatt befindet sich innerhalb einer Kugel mit dem Durchmesser entsprechend der Länge des Rotorblattes. Es wird weiterhin postuliert, dass kritische Stellungen dann eintreten, wenn die Längsachse des Blattes einen Winkel von höchstens 30° zum Geschwindigkeitsvektor hat. Bei größeren Win-

keln ist von einem Bruch des Blattes auszugehen, bei dem wesentliche Teile der Aufprallenergie verzehrt werden. Unter der Annahme, dass jede beliebige Stellung die gleiche Wahrscheinlichkeit hat, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit des Eintretens der kritischen Stellung aus dem Verhältnis der Mantelfläche des Kugelabschnittes und der Oberfläche der gesamten Kugel.

Die Eindringtiefe in den Boden ist abhängig von der Geschwindigkeit und der Masse des aufprallenden Gegenstandes. Bei Rotorblättern mit einer Gesamtmasse von mehr als 15.000 kg wird neben dem Eindringen des gesamten Rotorblattes das Eindringen eines 1/3-Rotorblattes berücksichtigt. Kleinteile und Eisstücke erreichen das Schutzobjekt nicht.

4.2.5 Zerstörung eingerdeter Schutzobjekte beim Aufprall des Rotorblattes

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für die Zerstörung eingerdeter Schutzobjekte unter der Voraussetzung, dass das abgeworfene Rotorblatt in der kritischen Stellung direkt auf das eingerdete Schutzobjekt auftrifft, wird hier näherungsweise und auf der sicheren Seite liegend zu 1,0 gesetzt.

4.2.6 Aufprall von Rotorblatt oder Teilen davon und Eis auf ein Fahrzeug

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für die Übereinstimmung des Zeitpunktes des Aufpralls mit der Durchfahrt eines Kraftfahrzeuges an der Stelle des Aufpralles ergibt sich aus dem Verhältnis der Verweildauer dieses Kraftfahrzeuges an einem bestimmten Punkt zum mittleren Zeitabstand zwischen zwei Fahrzeugen. Die Verweildauer ist abhängig von der Geschwindigkeit und der Länge des Kraftfahrzeuges. Es wird auf der sicheren Seite liegend angenommen, dass es bei einem Aufprall eines Trumms auf jeden Fall zu Fatalitäten kommt.

4.2.7 Ermittlung des Gefährdungsbereiches

4.2.7.1 Oberirdische Schutzobjekte

Die ermittelte Lage der Aufprallstelle entspricht dem Mittelpunkt eines Kreises, innerhalb dessen sich das abgeworfene Teil befindet. Der Radius dieses Kreises ist gleich der halben Länge des Teils. Eine Gefährdung des Schutzobjektes tritt dann ein, wenn der Abstand zwischen der Aufprallstelle und dem gefährdeten Objekt maximal den Radius dieses Kreises beträgt. Allerdings tritt gerade in dem Grenzfall eine Gefährdung nur dann ein, wenn die Achse des aufprallenden Teils senkrecht zur Außenkante des Schutzobjektes steht. Da jede Lage innerhalb des Kreises als probabilistisch gleichwertig zu betrachten ist, wird für die folgende Untersuchung die Breite des Gefährdungsbereiches außerhalb des Schutzobjektes dementsprechend reduziert. Diese Reduktion erfolgt über die Flächengleichheit des Halbkreises und eines Rechtecks mit einer Länge gleich der Länge des Teils.

4.2.7.2 Eingeerdete Schutzobjekte

Die mögliche Lage der Aufprallstellen umschreibt in etwa eine Ellipse. Verschiebt man diese Ellipse in Abhängigkeit der Windrichtung kontinuierlich um 360° , so ergibt sich ein Kreisring von möglichen Aufprallstellen. Hier wird zunächst angenommen, dass jede Stelle dieses Kreisringes probabilistisch gleichwertig ist. Die Leitung durchfährt diesen Kreisring über eine bestimmte Länge. Diese Länge wird multipliziert mit einer Einflussbreite, die je nach Leitungsdurchmesser variiert. Es wird eine Einflussbreite von 1,0 m für die Leitung angesetzt. Das Verhältnis der Einflussfläche der Leitung mit der Fläche des Kreisringes liefert die Eintrittswahrscheinlichkeit für den Aufprall des Trumms im unmittelbaren Gefährdungsbereich der Leitung.

4.2.7.3 Verkehrswege

Die Ermittlung des Gefährdungsbereiches wird bereits im Kapitel 4.2.7.1 beschrieben. Bei Verkehrswegen ist zu beachten, dass sich die Größe des Bereiches aus der Größe des Verkehrsweges zuzüglich eines Einflussbereiches für die Länge des Rotorblattes bzw. des Trumms und Eis ergibt und auf beiden Seiten des Verkehrsweges anzusetzen ist.

4.2.8 Zerstörung des Schutzobjektes beim Aufprall des Trumms

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für die Zerstörung des Schutzobjektes unter der Voraussetzung, dass das abgeworfene Trumm direkt auf das Schutzobjekt trifft, wird bei

- oberirdischen Schutzobjekten näherungsweise und auf der sicheren Seite liegend zu 1,0 gesetzt,
- eingedeten Schutzobjekten mit $6,7 \cdot 10^{-2}$ Ereignisse/Jahr angegeben (gemäß Kapitel 4.2.7.2),
- Schutzobjekten in Einhausungen bei Treffern durch ein ganzes Rotorblatt sowie durch Kleinteile zu 1,0 und bei Treffern durch ein 1/3-Rotorblatt zu 0,0 gesetzt,
- Verkehrswegen für die zeitliche Übereinstimmung des Aufpralls mit der Durchfahrt eines Fahrzeuges angegeben.

5. Abwurf des Maschinenhauses

5.1 Darstellung der Beanspruchung

Da das Maschinenhaus nicht fest mit dem Turm der Windenergieanlage verbunden, sondern drehbar auf diesem gelagert ist, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zum Absturz der gesamten maschinentechnischen Einrichtung kommt. Für diesen Fall muss abgeschätzt werden, in welcher Entfernung zum Mastfuß das abstürzende Maschinenhaus auftreffen wird. Aufgrund der erheblichen Masse dieses Maschinenhauses muss davon ausgegangen werden, dass ein Aufschlagen des Maschinenhauses auf dem Schutzobjekt zur Zerstörung führen wird.

Das Schutzobjekt ist auch dann gefährdet, wenn ein am Maschinenhaus befindliches Rotorblatt aufgrund seiner Stellung dieses erreicht.

5.2 Berechnungen

Der vollständige Abwurfvorgang ist einem einfachen Rechenansatz nicht zugänglich. Die Ermittlung der Wurfparabel erfolgt unter den folgenden Annahmen.

- Der Abwurfwinkel des Maschinenhauses beträgt 45° zur Horizontalen.
- Unmittelbar nach der Loslösung des Maschinenhauses wird ausschließlich die Erdbeschleunigung angesetzt. Die Annahme ist aufgrund des hohen Gewichtes der Anlage bezogen auf die Windangriffsfläche gerechtfertigt.
- Am Maschinenhaus befindliche Rotorblätter schädigen eingeedete Schutzobjekte dann, wenn sie unter einem Winkel von 30° zur Senkrechten in das Erdreich eindringen (vgl. Kapitel 4.2.7.2).
- Das Maschinenhaus wird zunächst als Punkt betrachtet. Daher muss die Aufprallstelle um die Dimension des Maschinenhauses und einen Sicherheitszuschlag erweitert werden. Das Maschinenhaus wird mit 50 % der maximalen Abmessung berücksichtigt und der Sicherheitszuschlag wird mit 2,0 m angesetzt.

- Am Maschinenhaus befindliche Rotorblätter schädigen die oberirdischen Schutzobjekte bis zu einem Abstand des halben Rotordurchmessers von der Aufprallstelle des Maschinenhauses.

5.3 Probabilistische Betrachtungen für eingerdete Leitungen

Bei eingerdeten Leitungen ist zwischen dem Aufprallbereich und dem Eindringbereich zu unterscheiden. Im Aufprallbereich prallt das Maschinenhaus auf den Boden. In diesem Bereich darf keine Leitung verlegt sein. Der Eindringbereich liegt außerhalb des Aufprallbereiches. In diesem Bereich können abstehende Rotorblätter in den Boden eindringen.

Eine eingerdete Leitung ist nur dann gefährdet, wenn eines der drei Rotorblätter in den Boden eindringen kann. Hierbei muss die Eindringstelle des Rotorblattes mit der Leitungslage übereinstimmen. Es handelt sich wiederum um Folgeereignisse, deren Eintrittswahrscheinlichkeiten zu multiplizieren sind.

Die Wahrscheinlichkeit für das Eindringen eines der drei Rotorblätter ergibt sich aus der in der Unterlage U 61, dort Kapitel 6.3.4, festgelegten Annahme über den Winkel zwischen Rotorblattachse und der Wurfbahn. Das fallende Maschinenhaus samt den Rotorblättern befindet sich innerhalb einer Kugel, deren Radius dem Rotordurchmesser entspricht. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreffen eines der Rotorblätter in einem 30°-Kegel ergibt sich nach den Vorgaben in Kapitel 6.3.4 der Unterlage U 62. Dieser Wert ist zu halbieren, da nur der Teil des Kugelabschnittes betrachtet wird, der weiter liegt, als die Aufprallstelle des Maschinenhauses. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich hierfür eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $1,00 \cdot 10^{-1}$ Ereignissen pro Abwurf.

Die Aufprallstellen für die Rotorblattspitze befinden sich in einem zum Turm konzentrischen Kreis, dessen Außenradius die Aufprallstelle zuzüglich der halben Rotorblattlänge beträgt. Die Leitung durchquert diesen Kreis in einem Abstand zum Standort der Windenergieanlage, der sich innerhalb der oben beschriebenen Außengrenzen des Kreises befindet, im Übrigen jedoch beliebig ist. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für die Übereinstimmung der Aufprallstelle der Rotorblattspitze mit der Leitungslage ergibt sich aus dem Verhältnis der Leitungsgrundfläche in diesem Kreisring und der Fläche des oben beschriebenen Kreisringes. Die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit für dieses Ereignis

für unterschiedliche Nabenhöhen und unterschiedliche Leitungslagen innerhalb des Kreisrings liefert einen Mittelwert von $6,00 \cdot 10^{-2}$ Ereignissen pro Abwurf.

Die vorgenannte Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert mit der Eintrittswahrscheinlichkeit für den Abwurf des Maschinenhauses (Unterlage U 62, dort Kapitel 8.2) liefert eine Eintrittswahrscheinlichkeit für die Gefährdung von eingeerdeten Leitungen von

$$P_f = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ Ereignisse/Jahr.}$$

Unter Beachtung der Grenzwerte für Ferngasleitungen, Mineralölleitungen sowie Leitungen der E&P-Industrie (Kapitel 3) bleibt damit dieser Bereich für abstehende Rotorblätter unberücksichtigt.

6. Beeinträchtigung durch den umstürzenden Turm

Bei geringem Abstand zwischen einem eingeebneten bzw. einem oberirdischen Schutzobjekt kann der umstürzende Turm dieses beschädigen. Ursache hierfür sind Versagenserscheinungen des Turmes im Übergang des Fundamentes oder der Grundbruch unterhalb des Fundamentes. In den folgenden Untersuchungen wird davon ausgegangen, dass allein durch geometrischen Kontakt eine Beschädigung eintritt. Für den deterministischen Ansatz ist grundsätzlich von der gesamten Turmhöhe auszugehen. Für den probabilistischen Ansatz gilt die Aufteilung des Turmes 0,67 zu 0,33. Bei der Gefährdung ist weiterhin zu berücksichtigen, dass eingeebnete Schutzobjekte nur dann beschädigt werden, wenn das Rotorblatt in genügend spitzem Winkel in den Boden eindringt. Hier werden die Bedingungen aus den Berechnungen zum Abwurf des Maschinenhauses verwendet.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit der oben beschriebenen Ereignisse liegt bei Bauwerken im technisch vertretbaren Bereich von weniger als:

$$1,00 \cdot 10^{-6} \text{ Ereignisse/Jahr.}$$

Voraussetzung hierfür ist jedoch eine Dimensionierung und Konstruktion des Turmes nach den anerkannten Regeln der Technik. Dies ist mit Vorlage der Typenstatik hinsichtlich der Berechnungen gegeben. Die Anforderungen an die Herstellung sind weiterhin zu beachten. Üblicherweise wird die Einhaltung derartiger Auflagen bei der Bauabnahme überprüft. U. a. ist die Einhaltung der Gründungsmaßnahme auf der Grundlage der örtlichen Bodeneigenschaften zu überprüfen. Im Übrigen sind hinsichtlich Bau und Betrieb die in der Typenstatik aufgeführten Forderungen entsprechend einzuhalten.

7. Unterlagen

7.1 Vorschriften

- U 1 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), in der aktuell gültigen Fassung
- U 2 12. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung – 12. BImSchV), in der aktuell gültigen Fassung
- U 3 RohrFLtgV: „Verordnung über Rohrfernleitungsanlagen (Rohrfernleitungsverordnung)“, in der aktuell gültigen Fassung
- U 4 GasHDrLtgV: „Verordnung über Gashochdruckleitungen (Gashochdruckleitungsverordnung – GasHDrLtgV)“, vom 18.05.2011 (BGBl.I, S. 928)
- U 5 BVOT-Tiefbohrverordnung: „Bergverordnung für Tiefbohrungen, Tiefspeicher und für die Gewinnung von Bodenschätzen durch Bohrungen im Land Niedersachsen, vom 20.09.2006 (Nds. MBl. S. 887)
- U 6 StFV-ch: „Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV)“, die Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Stand 07/2008
- U 7 Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) der Schweizerischen Eidgenossenschaft: „Richtlinien – Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung StFV“, September 1996
- U 8 DIN EN 1990: „Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010“, Ausgabe 12/2010, einschließlich nationaler Anhang
- U 9 DIN EN 1991-1-4: „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005+A1:2010+AC:2010“, Ausgabe 12/2010, einschließlich nationaler Anhang
- U 10 DIN EN 14161: „Erdöl- und Erdgasindustrie - Rohrleitungstransportsysteme (ISO 13623:2009 modifiziert); Deutsche Fassung 14161:2011“, Ausgabe 09/2011

- U 11 DIN EN 50126; VDE 0115-103:2000-03: „Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS); Deutsche Fassung EN 50126:1999“, einschließlich Berichtigung 1:2006-09 und Berichtigung 2:2011-01
- U 12 DIN EN 61400-1; VDE 0127-1:2011-08: „Auslegungsanforderungen, (IEC 61400-1:2005+A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005+A1:2010“, Ausgabe 08/2011
- U 13 DIN EN ISO 16708: „Erdöl- und Erdgasindustrie - Rohrleitungstransportsysteme – Zuverlässigkeitsanalysen (ISO 16708:2006); englische Fassung EN 16708:2006“, Ausgabe 08/2006
- U 14 GL IV-Teil 1: „Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen“, Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Ausgabe 1999
- U 15 GL IV-Teil 1: „Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen“, Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Ausgabe 2003
- U 16 GL IV-Teil 1: „Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen“, Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Ausgabe 2010
- U 17 DIBt: „Richtlinie für Windenergieanlagen“, Fassung 1993, Ausgabe 08/1995
- U 18 DIBt: „Richtlinie für Windenergieanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“, Fassung 3/2004
- U 19 DIBt: „Richtlinie für Windenergieanlagen; Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“, Fassung 10/2012
- U 20 WEG-Richtlinie: „Werkstoffrichtlinie für schwefelwasserstoffbeaufschlagte Systeme“, Ausgabe 03/1987
- U 21 PGS3: „Guidelines for quantitative risk assessment / CPR 18E / Purple Book“, VROM, Ausgabe 12/2005
- U 22 TRFL: „Technische Regel für Rohrfernleitungen“, Ausgabe 03/2010
- U 23 DVGW-Arbeitsblatt G 463: „Gasleitungen aus Stahlrohren für mehr als 16 bar Betriebsdruck; Errichtung“, Ausgabe 12/2001
- U 24 RAS-Q Richtlinien für die Anlage von Straßen – Querschnitte, Ausgabe 1996

- U 25 KTA 2207: „Schutz von Kernkraftwerken gegen Hochwasser“, Fassung 11/2004, Aktualitätsvermerk 11/2009
- U 26 HSE: „Reducing risks, protecting people / HSE’s decision-making process“, Health and Safety Executive, first published 2001

7.2 Schadensstatistiken

- U 27 Zusammenstellung von Unfällen im Zusammenhang mit Windkraftanlagen für den Zeitraum 1996 bis 2003, Internetrecherche, Bearbeitungsstand vom 25.09.2003
- U 28 ISET „Windenergiereport Deutschland 2008“; Herausgeber ISET, 2008
- U 29 Ribrant, J.; Bertling, L. M.: „Survey of failures in windpower systems with focus on Swedish windpower plants during 1997 and 2005“, IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume 22, No. 1, March 2007, Pages 167 to 173
- U 30 Stenberg, A.; Holttinen, H.: „Analysing failure statistics of windturbines in Finland“, European Windenergy Conference and Exhibition 2010 (EWEC 2010), Warsaw Poland, 20th to 23rd April 2010
- U 31 Wilkinson, M. et al: „Methodology and results of the Reliawind reliability fields study“, European Windenergy Conference and Exhibition 2010 (EWEC 2010), Warsaw Poland, 20th to 23rd April 2010
- U 32 Technical Report „Failure rates of Enercon wind turbines“, report no. DEWI-OCC-SO-0704-37, Revision 0, aufgestellt vom DEWI-OCC Offshore and Certification Center GmbH, 02.05.2007
- U 33 EGIG: “8th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group”, 12/2011
- U 34 Davis, B. M., et al: “Performance of european cross-country oil pipelines/ statistical summary of reported spillages in 2009 and since 1971”, Ausgabe 05/2011

7.3 Literatur

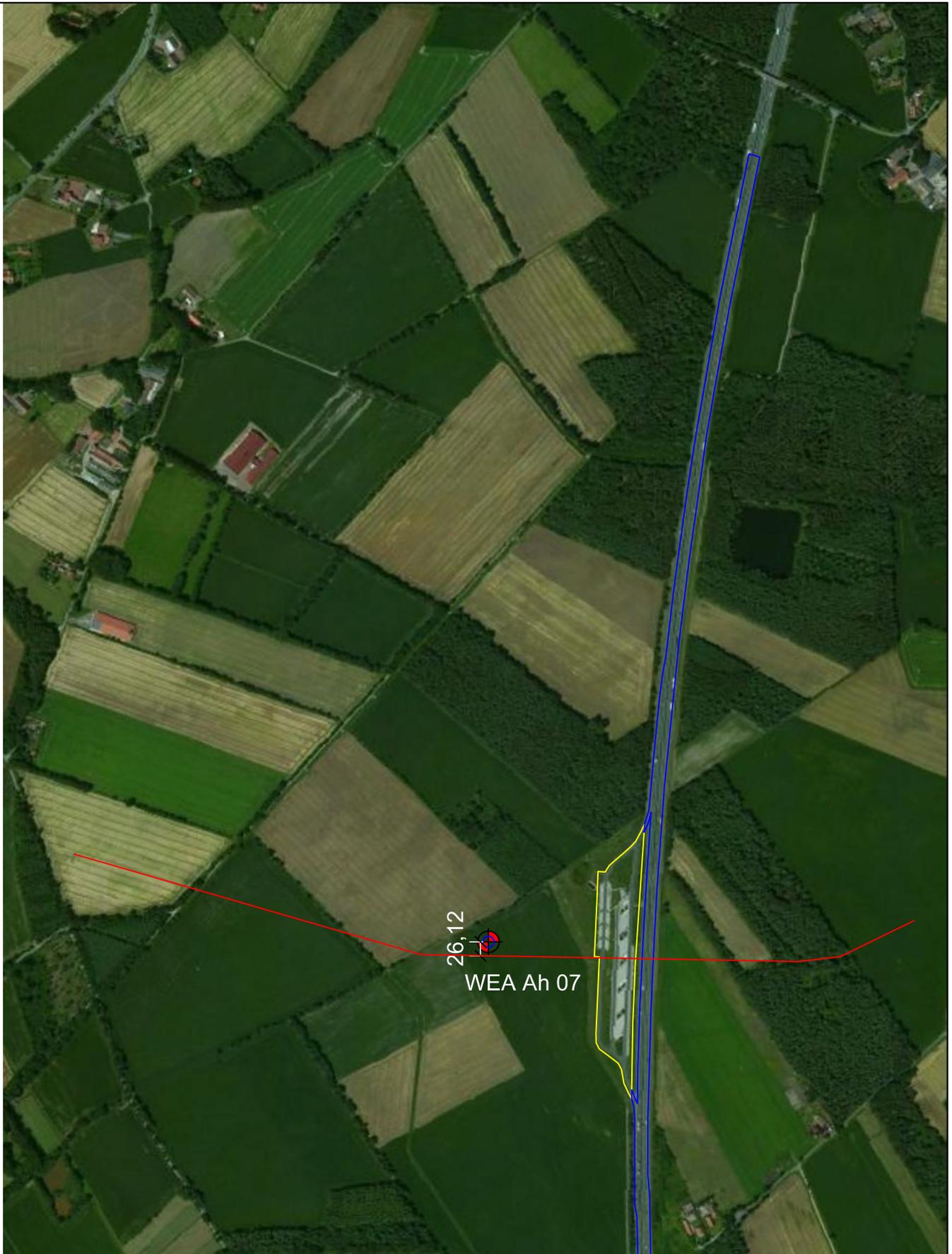
- U 35 Gasch, R.; Twele, J. (Herausgeber): „Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb“, 7. aktualisierte Auflage, Vieweg & Teubner, Wiesbaden 2011
- U 36 Rademakers L., Braam H., Brinkmann H., Ham K., Verheij F., Cleijne H., Folkerts L. (Autoren): „Handboek Risicozonering Windturbines, Versie 1.0“, mei 2002
- U 37 Lehmann, T.: „Elemente der Mechanik III: Kinetik“, Vieweg, 1977
- U 38 Wortmann, F. X.: „Wie weit kann das Blatt einer Windturbine fliegen?“, Institutsbericht 78-10 des Instituts für Aerodynamik und Gasdynamik der Universität Stuttgart, 09/78
- U 39 Bericht SFK-GS-41 „Risikomanagement im Rahmen der Störfallverordnung“, Arbeitskreis Technische Systeme, Risiko und Verständigungsprozesse der Störfall-Kommission, vom 21.04.2004
- U 40 J. C. Consultancy Ltd.: „Risk assessment for hazardous installations“, Publishes for the Commission for the European Communities by Pergamon Press, London, 1986
- U 41 Klaus, E. H.: „Pipeline Integrity“ in Lenz, J.: „Pipeline Integrity – uneingeschränkte Verfügbarkeit und unbegrenzte Nutzungsdauer von Rohrleitungen und Rohrnetzen?“, Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg, Band 16, Vulkan-Verlag Essen, 1999
- U 42 Röllecke, F.-J.: „Sicherheitsmaßnahmen bei der Förderung und Fortleitung von Sauergas“, in Erdöl Erdgas Kohle, 108. Jahrgang, Heft 6, Juli 1992
- U 43 Craig, P. D.: „Sour-Gas Design Consideration“, Richardson, TX, 1993
- U 44 Vereinbarung Oberbergamt / BEB über die Ausbildung eines Sicherheitsstreifens entlang von Sauergasleitungen vom 04.03.1983
- U 45 Zimmermann, T. J. E.; Chen, Q.; Pandey, M. D.: „Limit States and Reliability-based Pipeline Design“, C-FER Report No. 95027, submitted to PRC International

- U 46 Rist, D.: „Dynamik realer Gase: Grundlagen, Berechnungen und Daten für Thermogasdynamik, Strömungsmechanik und Gastechnik“, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1996
- U 47 Smith, D. J.: „Reliability, maintainability and risk“, Butterworth-Heinemann, 6th Edition, 2001
- U 48 Funk, K.: „Expertensystem für Lärm- und Erschütterungsprognosen beim Einbringen von Spundbohlen“, Dissertation, Universität Hannover, Curt-Risch-Institut für Dynamik, Schall- und Messtechnik, 1996
- U 49 Studer, J. A.: Koller, M. G.: „Bodendynamik“, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2. Auflage 1997
- U 50 Smoltczyk, U.: „Grundbautaschenbuch“, 3. Auflage, Teil 1, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 1980
- U 51 Seiffert, H.; Westerhellweg, A.; Kröning, J.: „Risk analysis of ice throw from wind turbines“, BOREAS VI, 09.04.2003 – 11.04.2003, Byhä, Finnland
- U 52 Arnold, T.: „Risikoberechnungen bei Eisfall an WEA“, AWES 2011, 18. und 19.10.2011, St. Pölten, Österreich
- U 53 Schlussbericht „Vereisung WEA St. Brais / Auswirkungen der Vereisung auf das Betriebsverhalten und Energieertrag von Windkraftanlagen im Jurabogen“, aufgestellt von Meteotest, Bern am 15.08.2011
- U 54 Tamelin, B.; Sääntti, K.: „Icing in Europe“, BOREAS IV, 31.03.1998 – 02.04.1998, Hetta, Finnland
- U 55 Vrigling, H.; Gelder, P. van: „Probabilistische Methoden zur Bemessung von Deichen und Küstenschutz in den Niederlanden“, in 2. Dresdener Probabilistik Symposium / Sicherheit und Risiko im Bauwesen, Dresden, 12.11.2004
- U 56 Ermittlung rechnerischer Versagenswahrscheinlichkeiten von Schutzdeichen durch die Bezirksregierung Weser-Ems, übermittelt am 29.04.2004
- U 57 Report 1009-0061-005.R05/AJS: „Windturbines in the Noordoostpolder (Northeast polder)“, aufgestellt von Fugro Engineering B.V. vom 14.04.2011

- U 58 Kemmler, J., et. al.: „Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen / Rahmenbericht zur standardisierten Ausmaßeinschätzung und Risikoermittlung“, Revision 2010
- U 59 Anwendungsdokument Nr. 19003: „Windenergieanlagen in Nähe von Schutzobjekten, Bestimmung von Mindestabständen“, Revision 07, aufgestellt von der Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, vom 11.03.2005
- U 60 Eiskarte Deutschland, Quelle: Finnisches Meteorologisches Institut (FMI), Bengt Tammelin
- U 61 Gasleitungen in der Nähe von Windkraftanlagen „Gefährdung der Leitung durch Gondelabwurf“, Revision 03, aufgestellt von der Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, vom 16.01.2004
- U 62 Gutachten 97111: „Windenergieanlagen in Nähe von Schutzobjekten, Bestimmung von Mindestabständen“, Revision 07, aufgestellt von der Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, vom 11.12.2014

Anlage

A 2 Unterlagen zum Projekt



01	19.06.2015	Änderung Maß		Y. Lindecke	S. Piskun
Rev.	Datum	Revision (Nachtragung)		gezeichnet	geprüft
	Datum	Name		Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH Leibnizstraße 25 04105 Leipzig Tel.: +49 341 / 21737 - 60	
Bearbeitet:	16.06.2015	Y. Lindecke			
Geprüft:	16.06.2015	S. Piskun			
Windpark Ahrensfeld Gefährdung der A1, des Rastplatzes und der Produktenfernleitung DN219 Lageplan Auszug				Maßstab: 1:10.000	
Vee_20140916_WEA-Standorte_.DWG				Proj.-Nr.:	Zeichn.-Nr.:
				89215	A 2.1

Veenker

Windpark Ahrensfeld

Daten für die Untersuchung zur Gefährdung der Personen

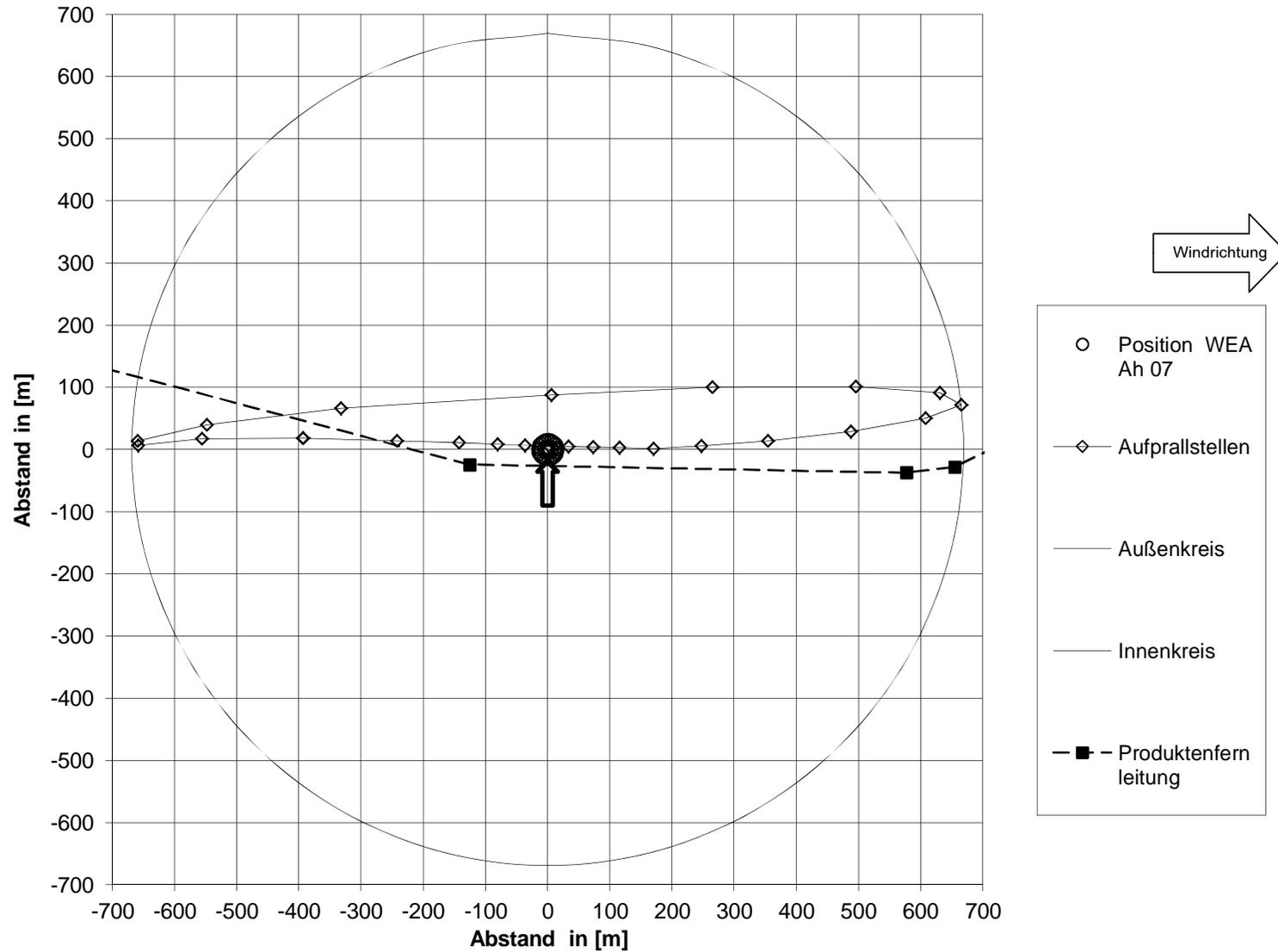
Daten der Windenergieanlage

Bezeichnung:	WEA Ah07 (Nr. o. ä.)	
Fabrikat:	Senvion 3.0M122	
Nabenhöhe:	139,00	m
Rotordurchmesser:	122,00	m
Rotorneigung:	4,00	°
Rotorblattlänge:	59,80	m
Rotorblattgewicht::	15.000,00	kg (ggf. mit Enteisungssyst.)
Drehzahl:	6,20 – 11,30	U/min
Eigengewicht Maschinenhaus:	ca. 148.000	Kg (inkl. Nabe u. Blätter)
Länge Maschinenhaus:	ca. 13,10	m
Höhe Maschinenhaus:	ca. 4,30	m
Breite Maschinenhaus:	ca. 4,20	m
Einschaltgeschwindigkeit:	3,00	m/s
Nenngeschwindigkeit:	11,50	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	22,00	m/s
mit Sturmregelung: die Windgeschwindigkeit, bei der die Drehzahl der WEA reduziert wird:	-	m/s
Eisansatz/Eiserkennung/Abschaltautomatik:		
nein:	<input type="checkbox"/>	
ja (bitte Unterlagen übergeben):	<input checked="" type="checkbox"/>	
WEA wird abgeschaltet/steht still:	Ja	
WEA fährt in den Trudelbetrieb:	Nein	
Angabe der max. Drehzahl im Trudelbetrieb:	-	U/min
Arretierung der Gondel bei Eiserkennung:	Nein	ja/nein
Wenn ja, bis zu welcher Windgeschwindigkeit erfolgt Arretierung der Gondel?		
Windgeschwindigkeit:	-	m/s

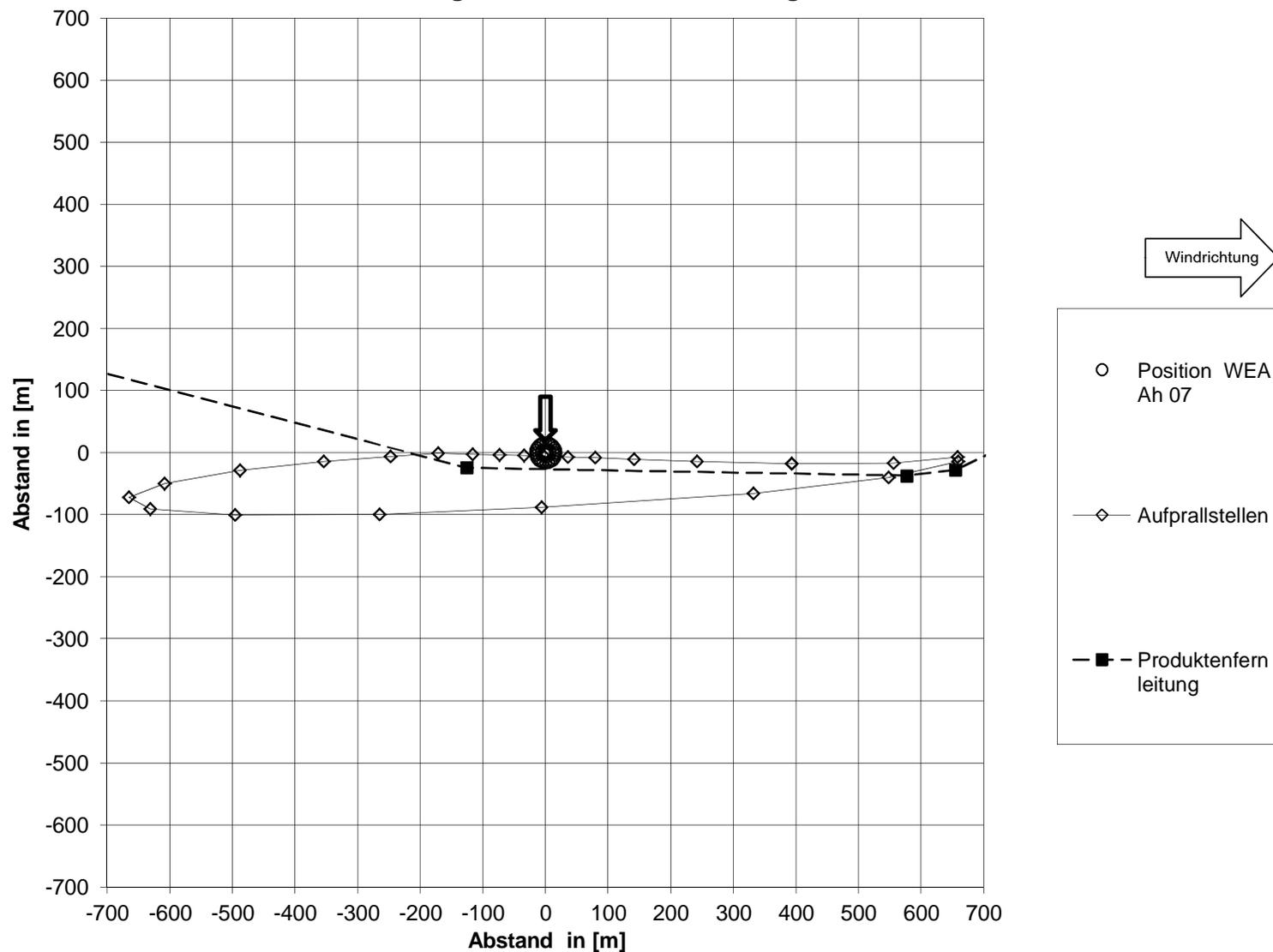
Anlage

A 3 Gefährdung durch Abwurf von 30%-Rotorblatt der WEA Ah07

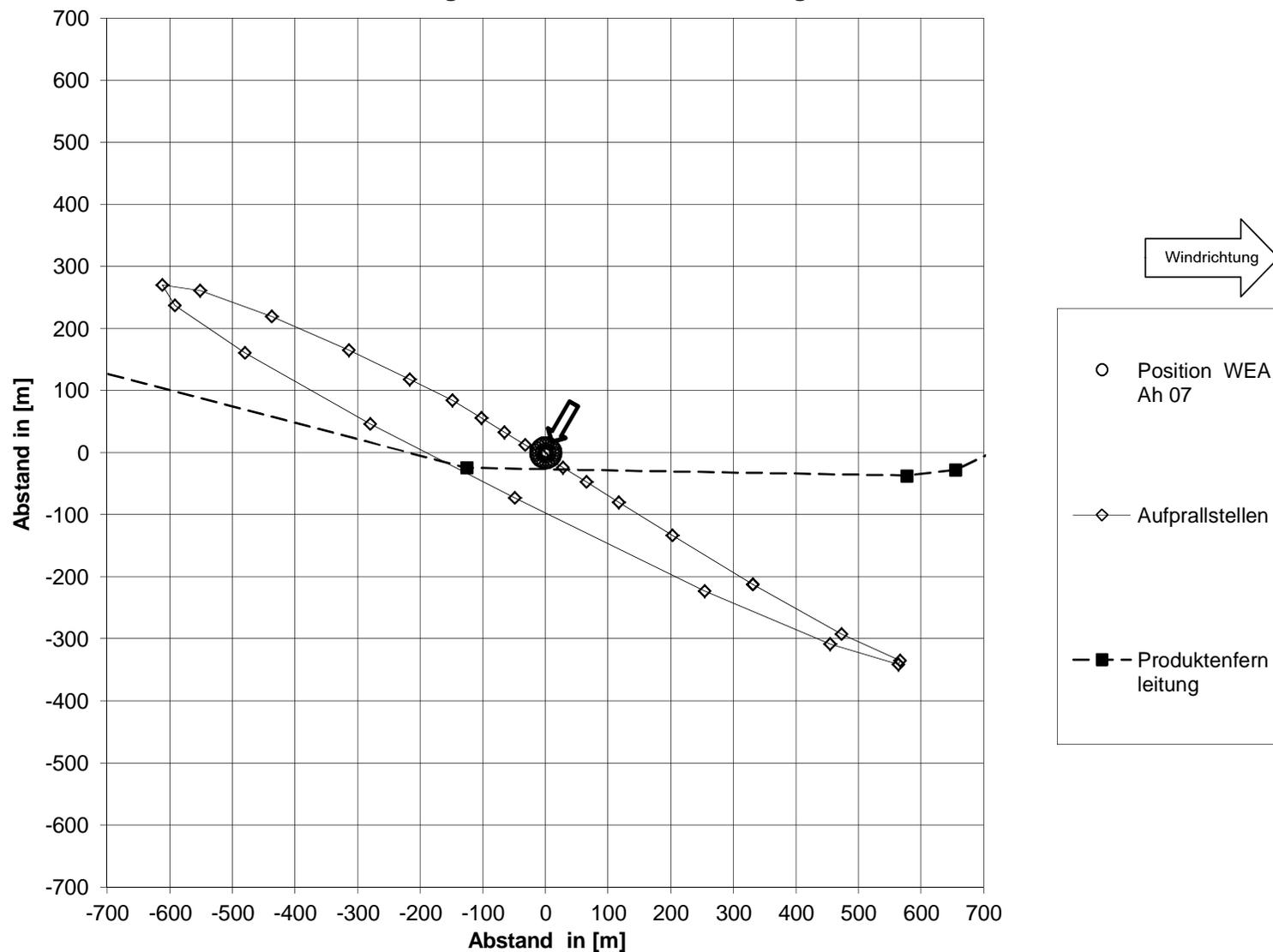
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 180°, 11,30 U/min und Leitung**



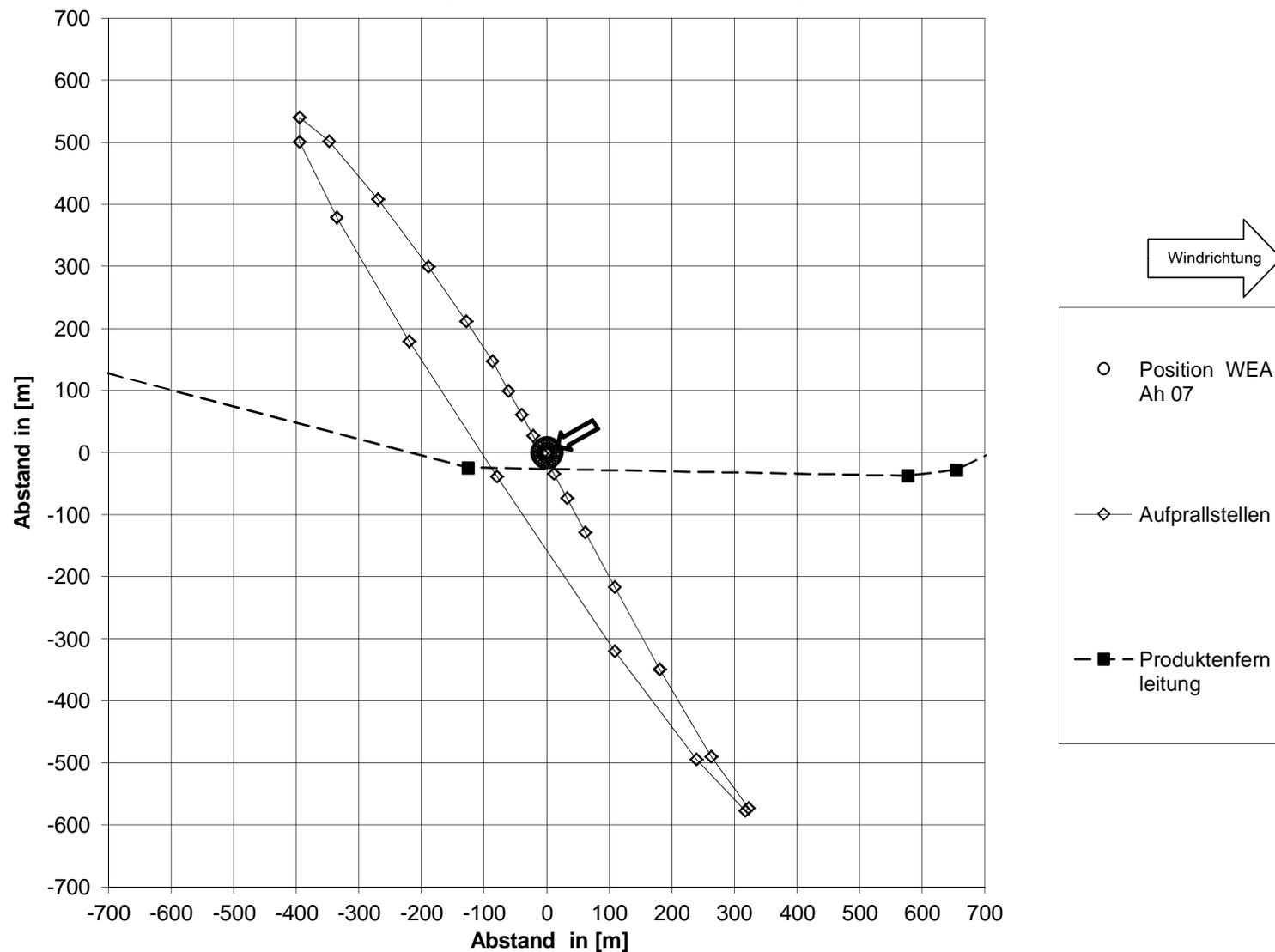
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 0°, 11,30 U/min und Leitung**



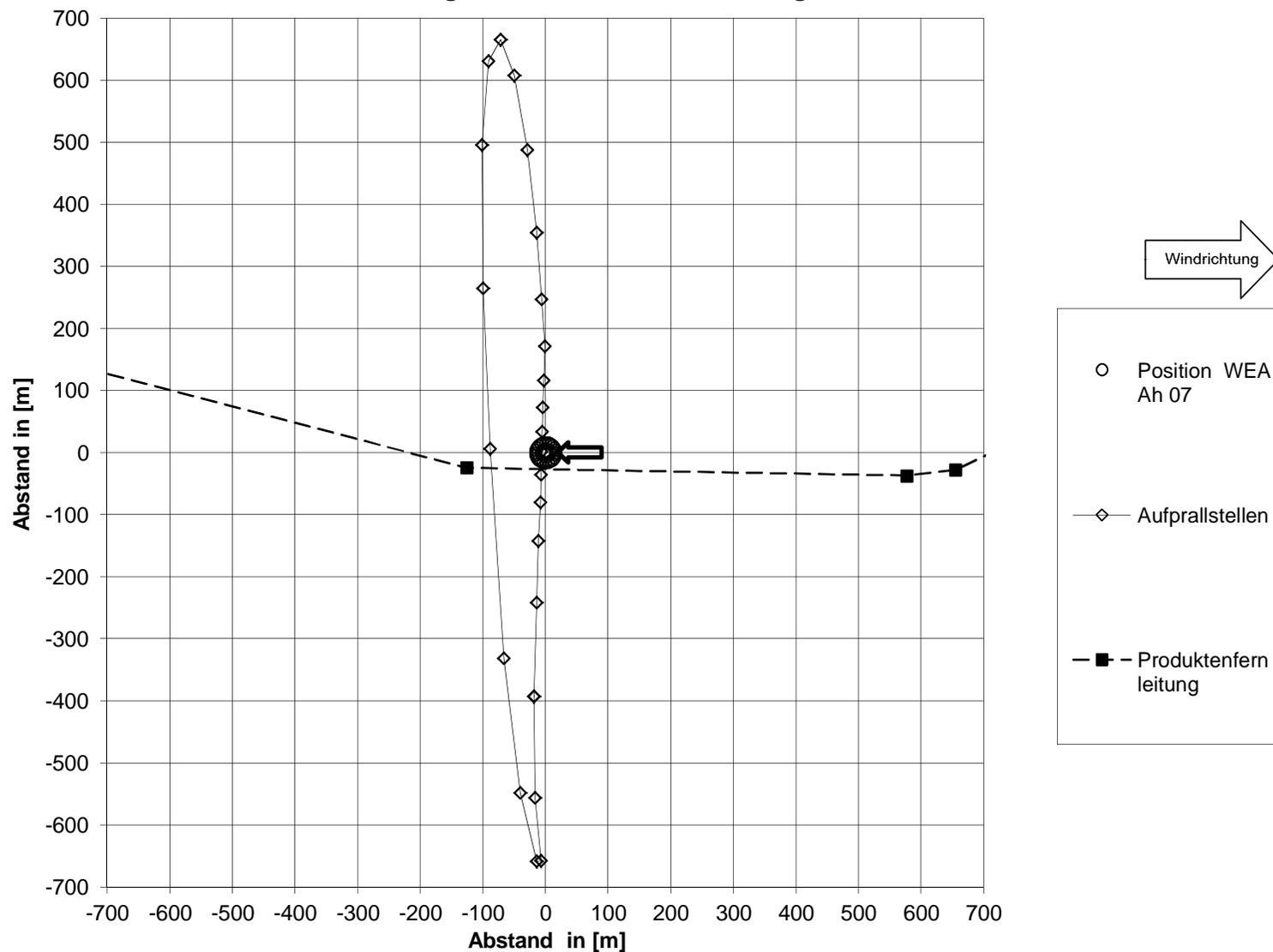
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 30°, 11,30 U/min und Leitung**



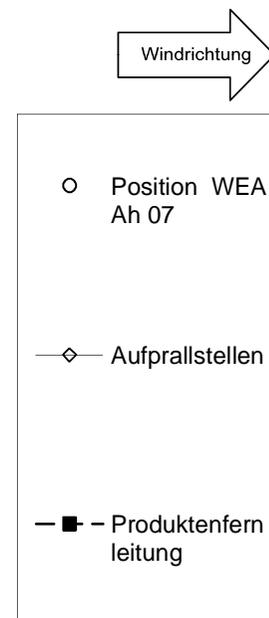
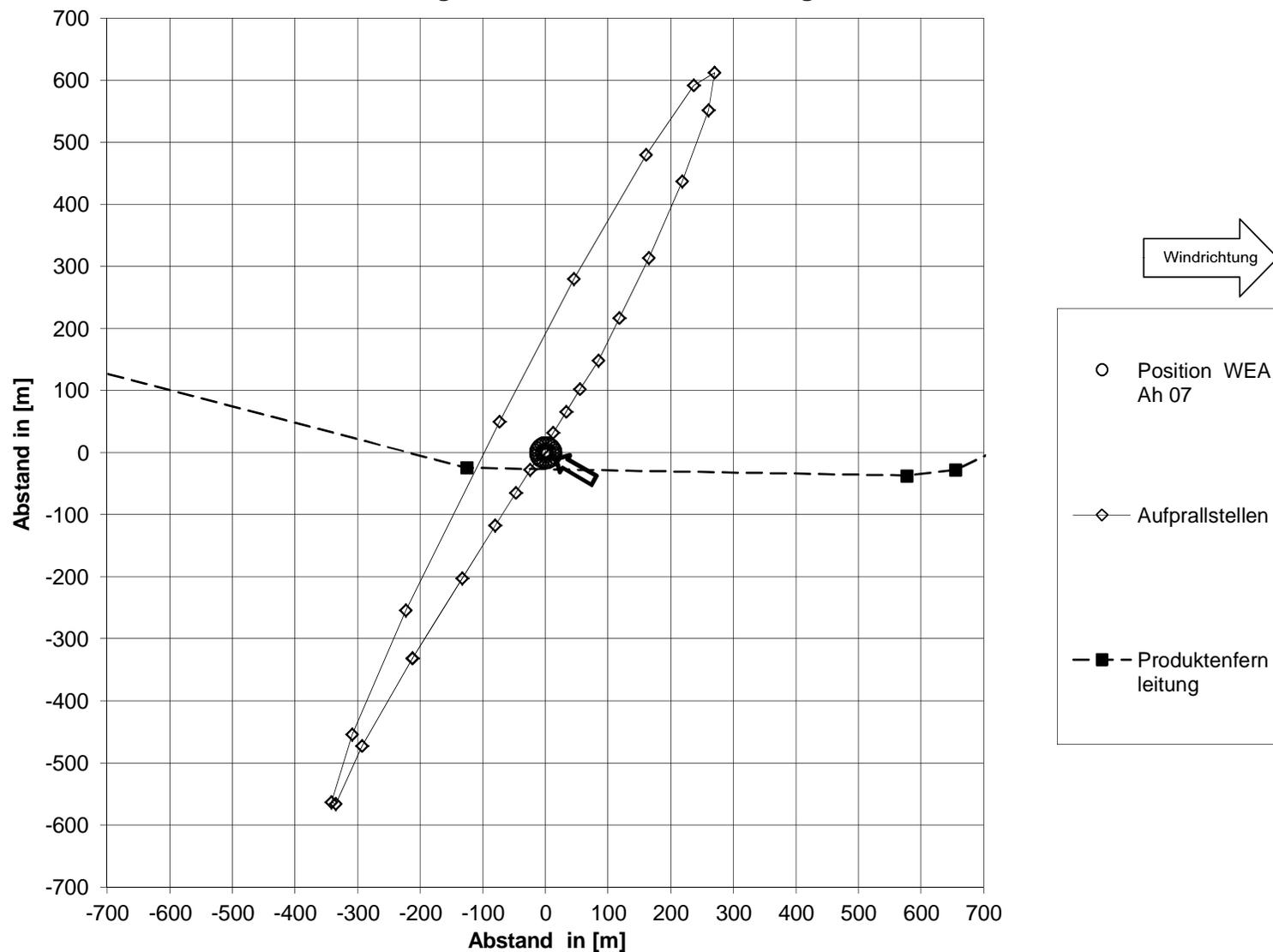
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 60°, 11,30 U/min und Leitung**



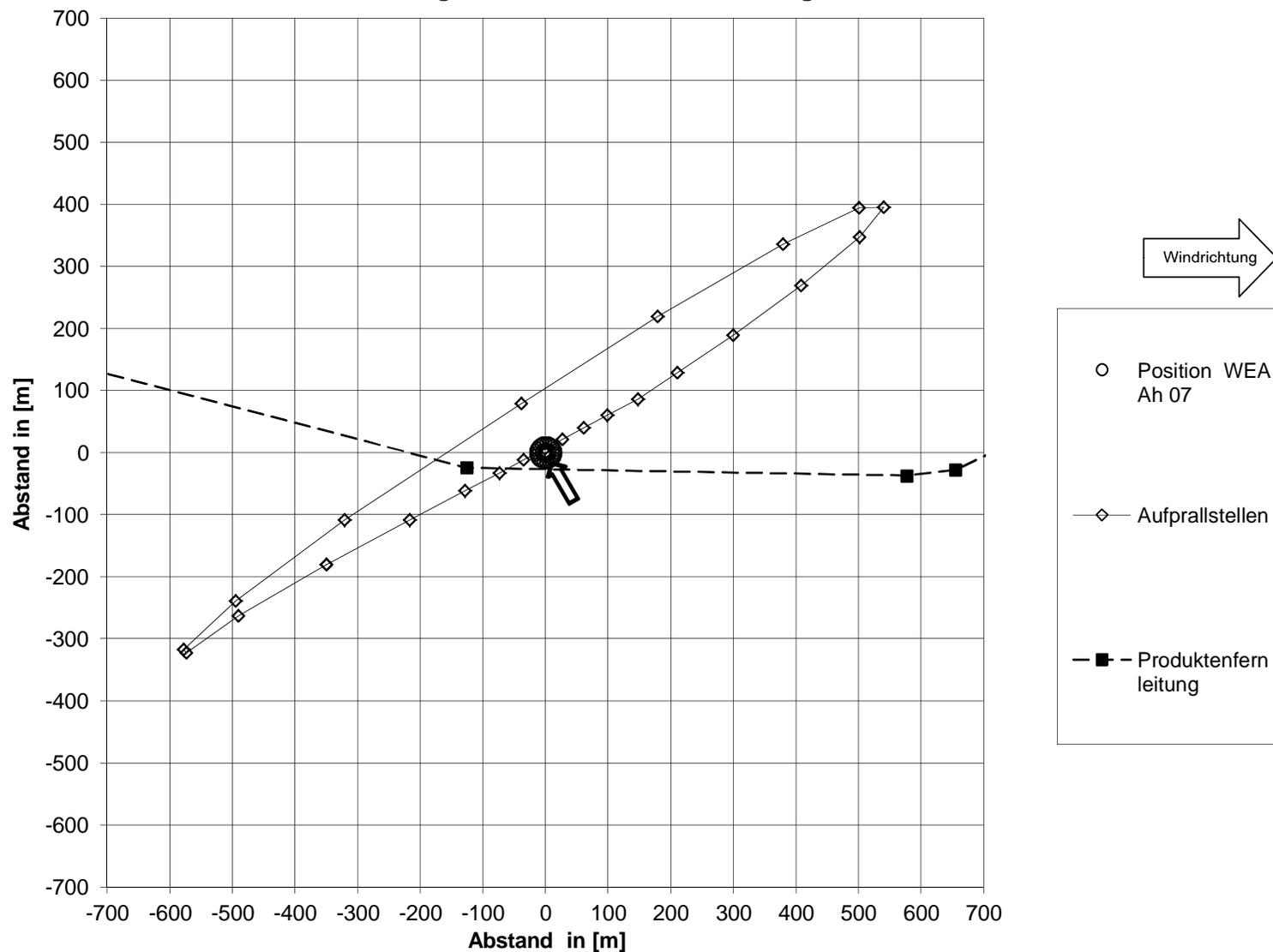
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 90°, 11,30 U/min und Leitung**



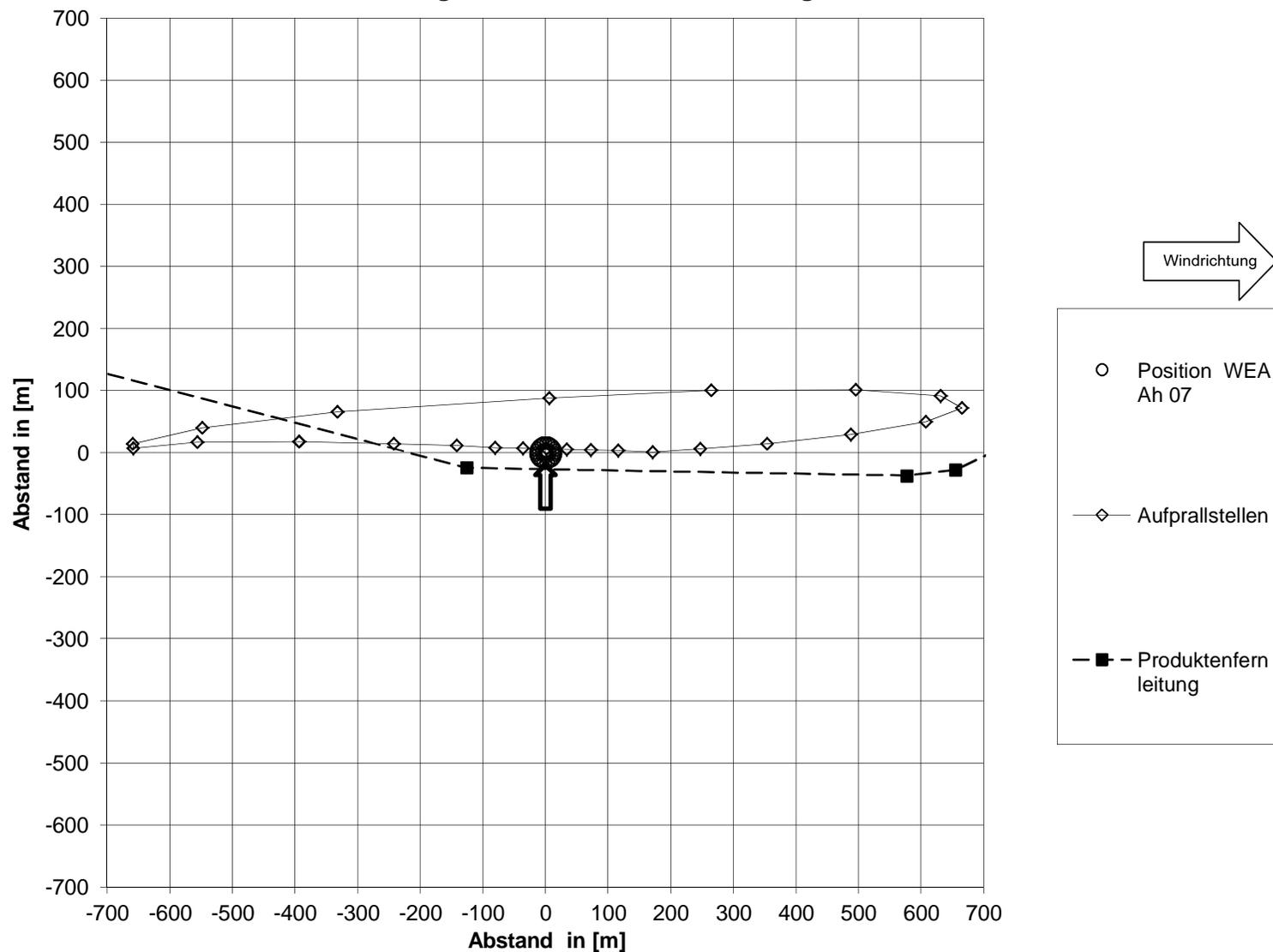
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 120°, 11,30 U/min und Leitung**



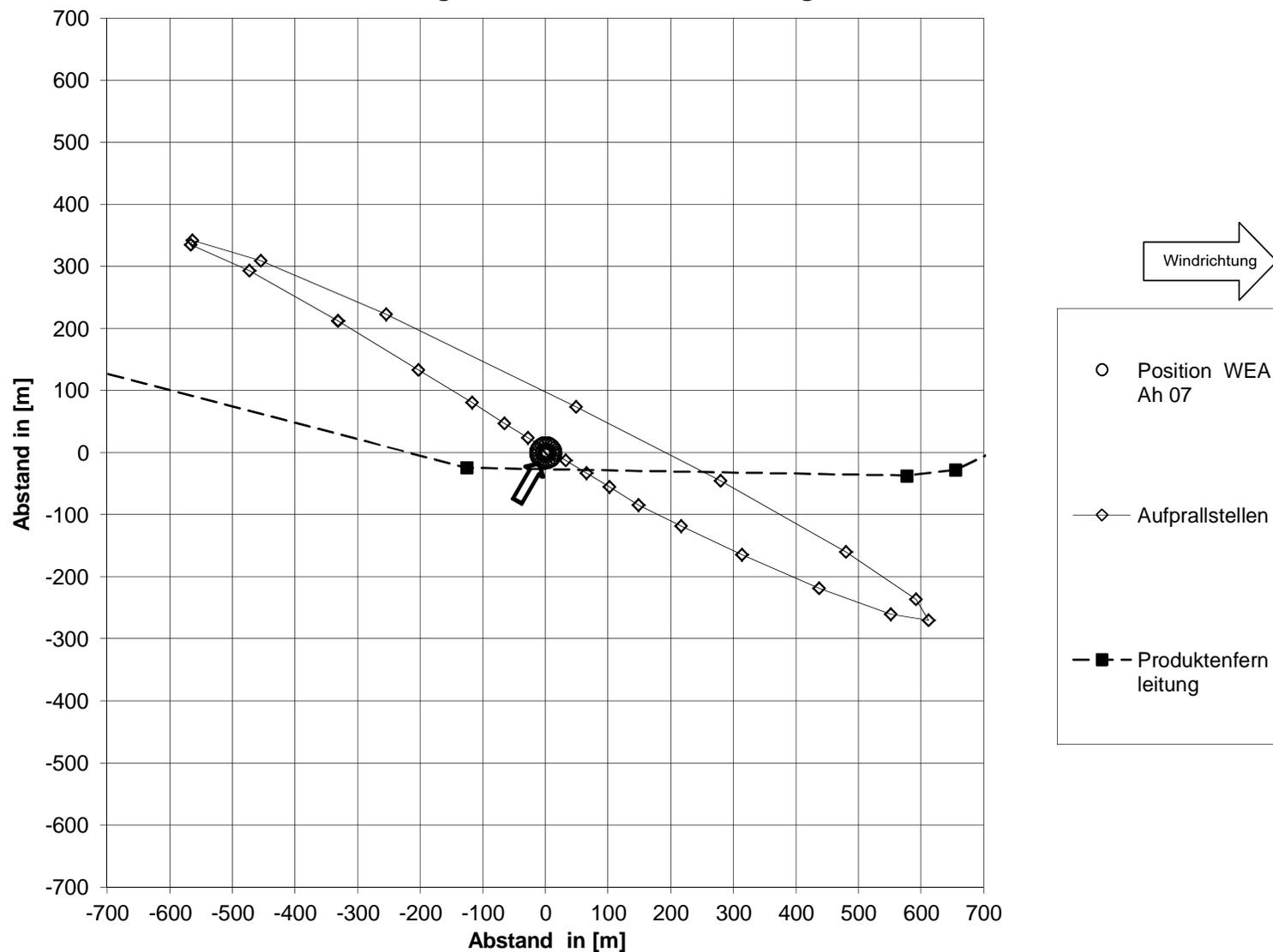
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 150°, 11,30 U/min und Leitung**



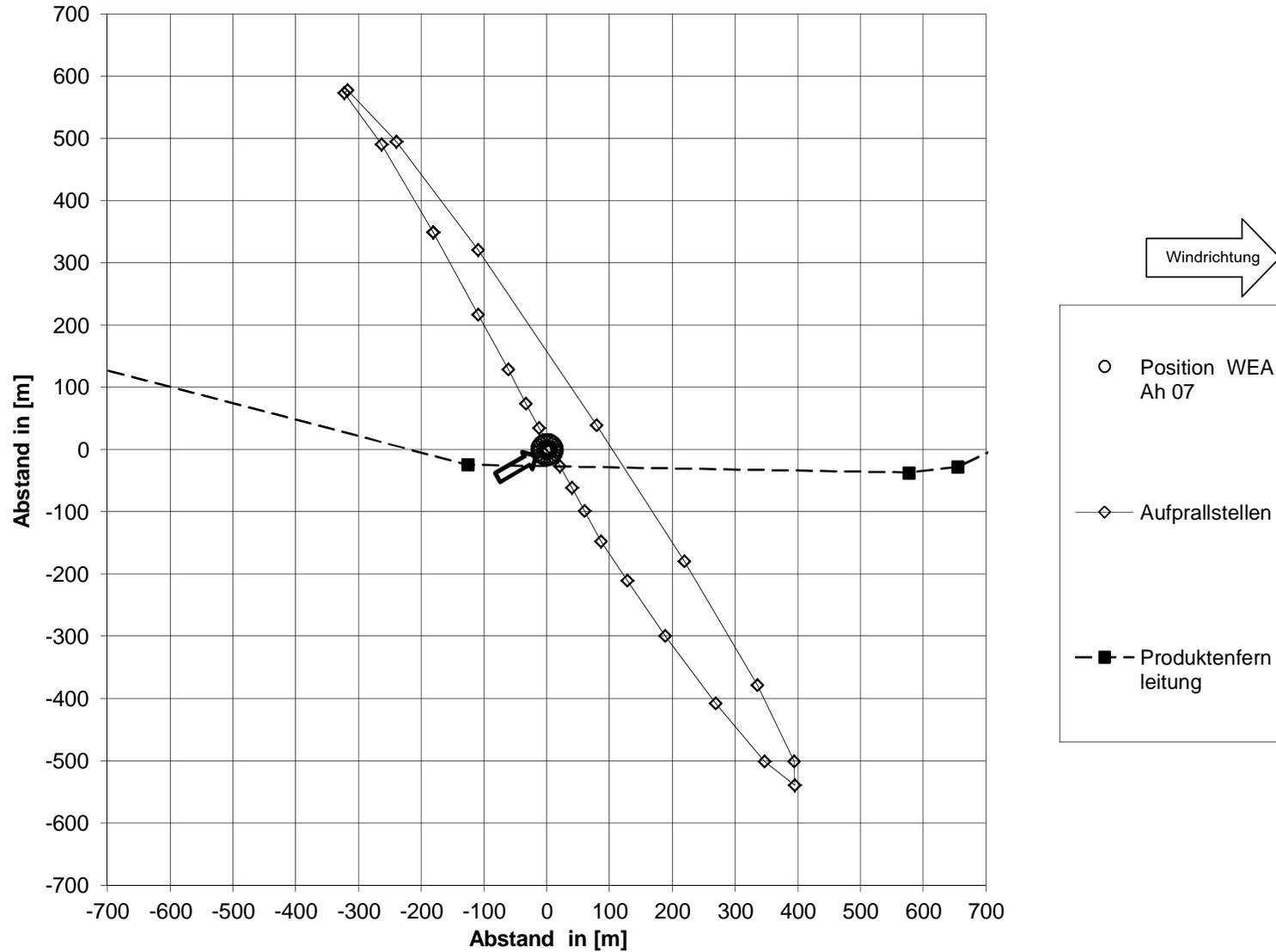
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 180°, 11,30 U/min und Leitung**



**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 210°, 11,30 U/min und Leitung**



**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 240°, 11,30 U/min und Leitung**



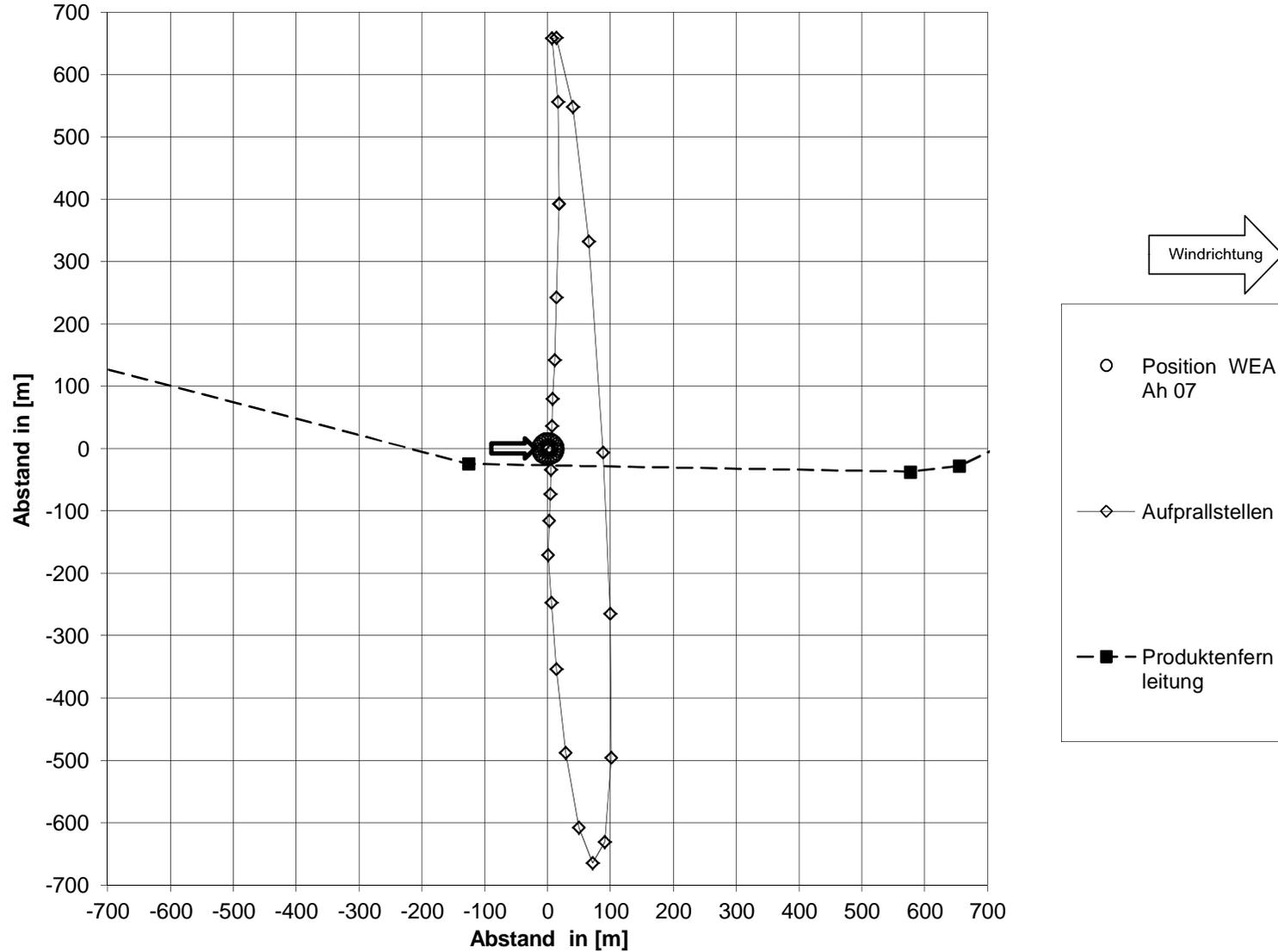
Windrichtung

○ Position WEA Ah 07

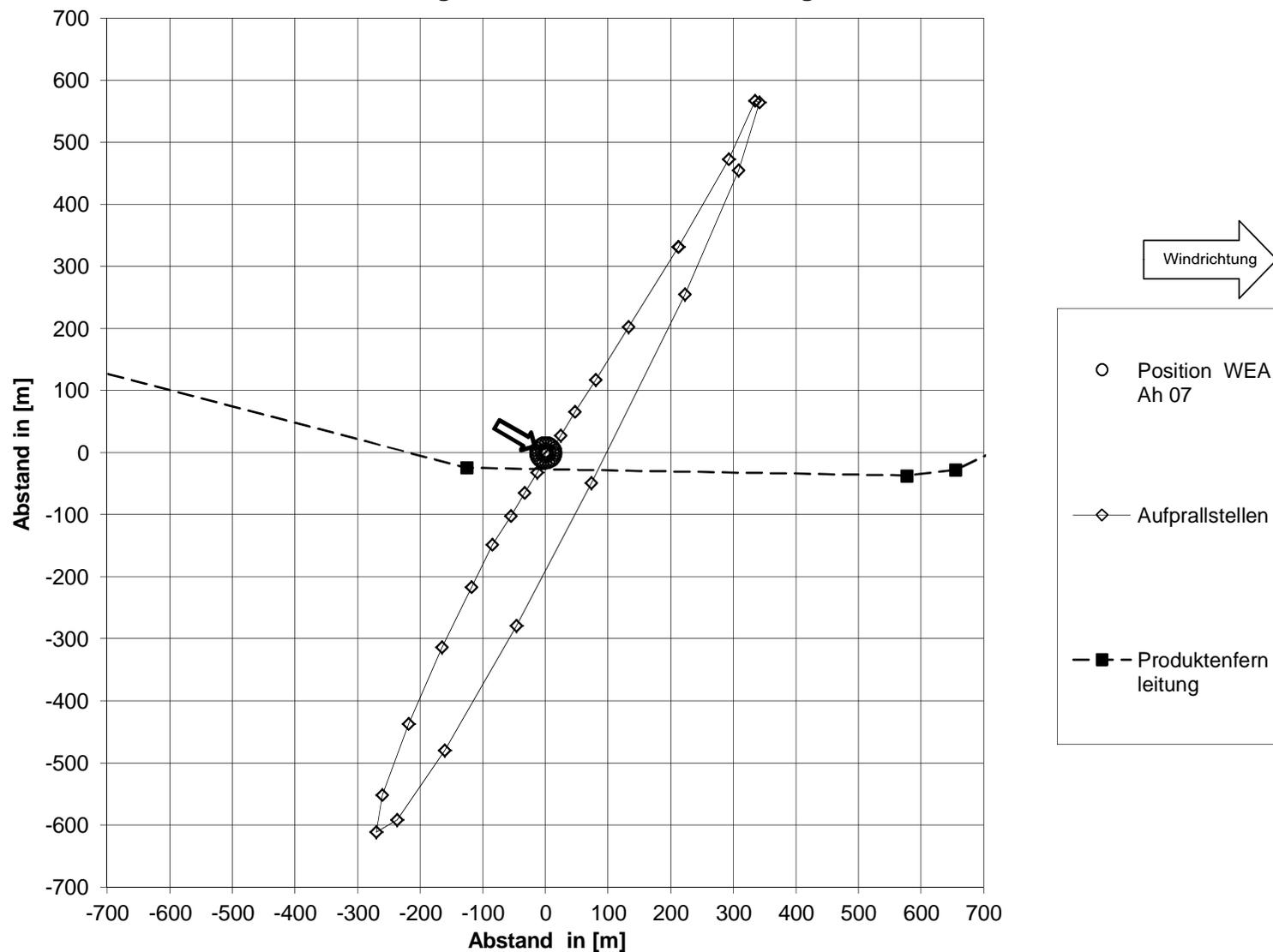
◇ Aufprallstellen

—■— Produktenfernleitung

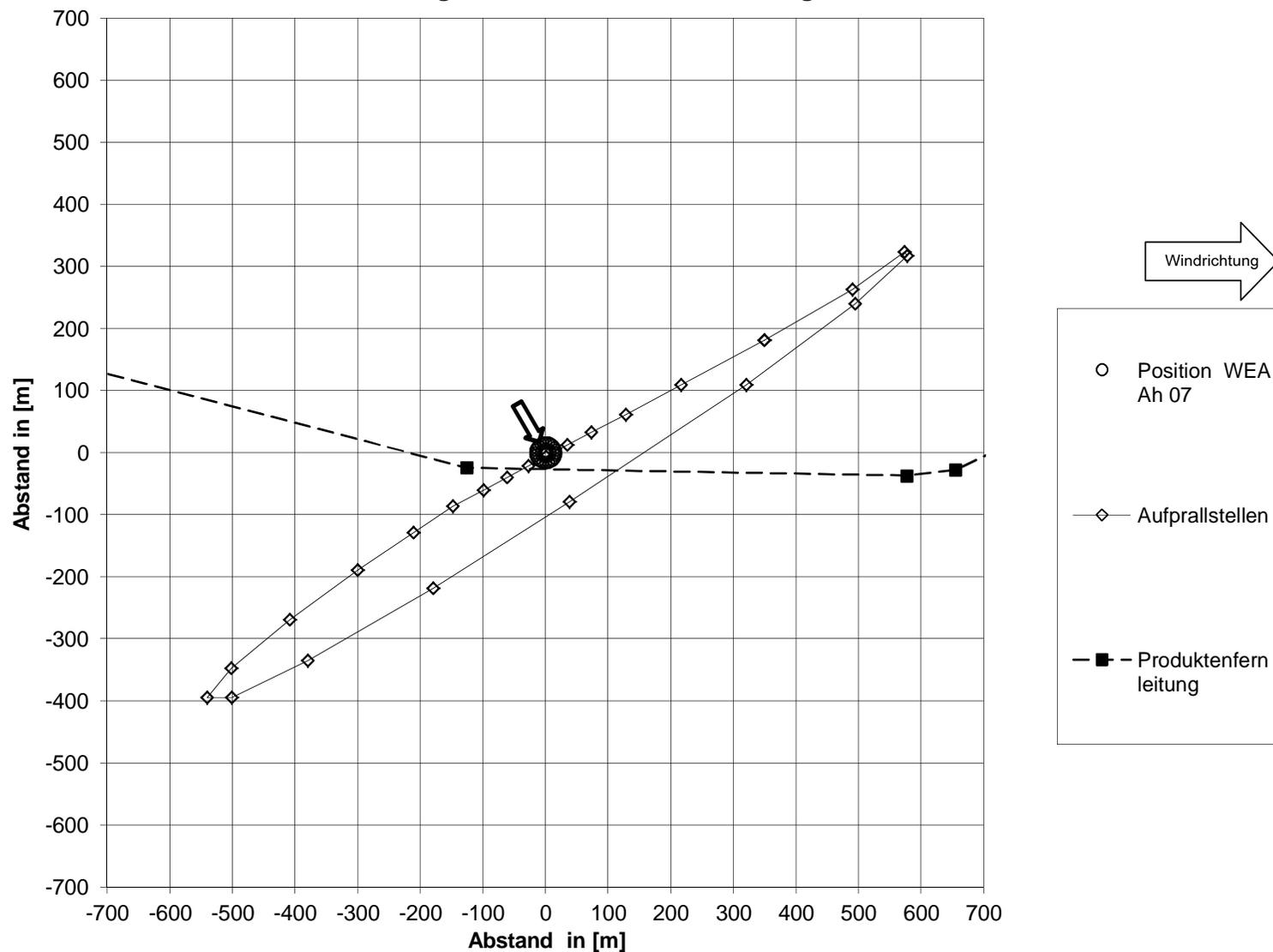
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 270°, 11,30 U/min und Leitung**



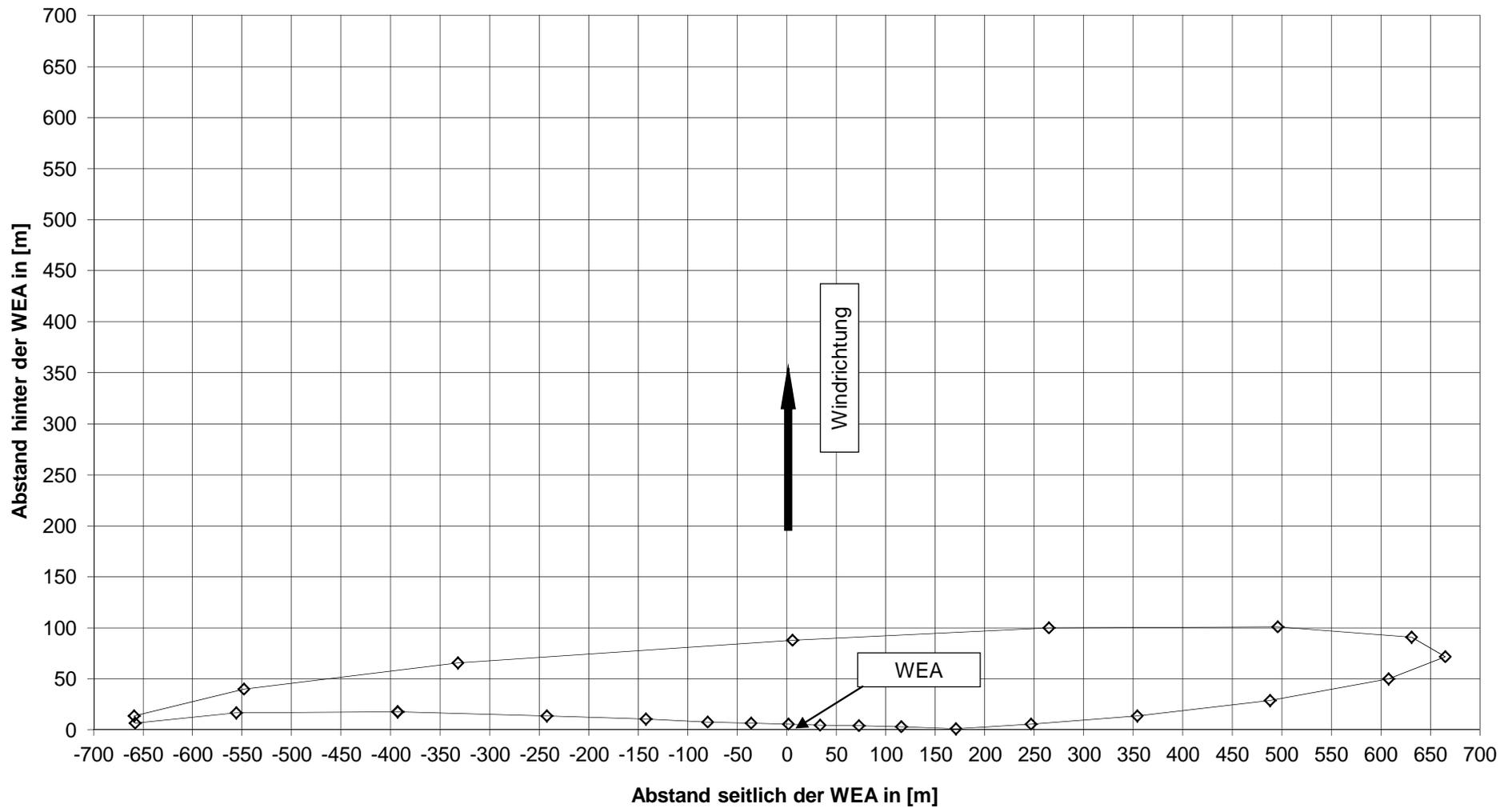
**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 300°, 11,30 U/min und Leitung**



**Mögliche Aufprallstellen für WEA Ah 07 bei Windgeschwindigkeit 22 m/s,
Windrichtung 330°, 11,30 U/min und Leitung**



Wurfweiten bei Windgeschwindigkeit 22 m/s für WEA Ah 07



Anlage

- A 4 Aufprallstelle des herabfallenden Generatorkopfes
 der WEA vom Typ Senvion 3.0 M122

Funktion der Wurflinie

Wurfparabel: $y = x^2$

Steigung: $y' = 2x$

Anfangsparameter

$G \approx H \Rightarrow \alpha = 45^\circ$

$\alpha = 45^\circ \Rightarrow y' \equiv 1,0$

$$y' = 2x_\alpha$$

$$2x_\alpha = 1,0$$

$$x_\alpha = 0,5$$

aus $y = x^2$ folgt:

$$y_\alpha = x_\alpha^2$$

$$= 0,5^2$$

$$y_\alpha = 0,25$$

Abschätzung der Wurfweite

aus $y = x^2$

folgt $h + y_\alpha = (x_\alpha + W)^2$

$$h + y_\alpha = (x_\alpha + W)^2$$

$$W = \sqrt{h + y_\alpha} - x_\alpha$$

$$W = \sqrt{139 + 0,25} - 0,5$$

$$W = 11,30$$

Die Abwurfweite beträgt 11,30 m