

**Öffentlich bestellte und vereidigte
Sachverständige und Prüfsachver-
ständige für Erd- und Grundbau**

Darwinstraße 13 · 10589 Berlin
Tel. +49-30-78 90 89-0 · Fax -89
E-Mail office@gudconsult.de
www.gudconsult.de

Standorte

Berlin | Leipzig | Hamburg
Köln | Frankfurt/M. | Athen

Stellungnahme zu möglichen Erschütterungen im Fernfeld der Windenergieanlagen Windpark Uplengen

**Gutachten
Beratung
Planung
Bauüberwachung**

Auftraggeber: ENOVA Power GmbH
Steinhausstraße 112
26831 Bunderhee

Bearbeiter: Dr.-Ing. F. Kirsch
Dr.techn. A. Tributsch

Geschäftsführer und Prokuristen
Dr.-Ing. Silke Appel
Dr. rer. nat. Götz Hirschberg
Dr.-Ing. Fabian Kirsch¹
Dr.-Ing. Jens Mittag¹
Dipl.-Ing. Univ. Nikolaus Schneider
Dipl.-Ing. Kerstin Deterding (ppa.)⁴
Dipl.-Ing. Hilmar Leonhardt (ppa.)
Dr. techn. Bert Schädlich (ppa.)

Senior-Berater
Prof. Dr.-Ing. Kurt-M. Borchert²
Dipl.-Ing. Hans L. Hebener
Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter³
em. Univ. Prof. Dr.-Ing. Stavros Savidis

¹ Anerkannter Prüfsachverständiger für den Erd- und Grundbau.
² von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baugruben, Injektionen und Bauwerksabdichtungen im Untergrund.
³ von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gründungen, Wasserhaltungen, Erschütterungen im Baugrund.
⁴ EBA-Gutachter für Geotechnik bei Baumaßnahmen im Eisenbahnbau.

Berlin, den 27.09.2023

Berichtsnummer: G186_23_STN03_Rev00

Diese Stellungnahme umfasst inkl. Deckblatt 10 Seiten.

K:\WP_Uplengen_G186.23\BERICHTE-GUTACHTEN\STN03_Schwingungsaustrag Fernfeld\G186_23_STN03_Rev00_SchwingungenFernfeld_Ki,AlTr.docm

Revisionsblatt für Bericht G186_23_STN03_Rev00

Revision	Datum	Bemerkung	erstellt	geprüft / freigegeben
00	27.09.2023	Übergabe	Ki/AlTr	Ki

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG / AUFGABENSTELLUNG	4
2	UNTERLAGENVERZEICHNIS	6
2.1	Unterlagen	6
2.2	Normen und Richtlinien	6
3	STELLUNGNAHME	7
3.1	Bewertung des Dokuments „Erschütterungsausbreitung durch Windenergieanlagen im geplanten WEA Vorranggebiet Kleinoldendorf I.“	7
3.1.1	Prognosebasis / Anregung	7
3.1.2	Ermittlung von Bodenplattenschwingungen in einem Gebäude	7
3.1.3	Ermittlung von Deckenschwingungen in einem Gebäude	8
3.2	Sachverständige Abschätzung einer plausiblen Größenordnung für Gebäude- und Deckenschwingungen	9

1 VERANLASSUNG / AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für den Windpark Uplengen-Firreler Weg wurden im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung Stellungnahmen erstellt, die den potenziellen Eintrag von Schadstoffen entlang der Pfahlgründung thematisieren.

Zwei der drei geplanten Windenergieanlagen (WEAs) stehen in einem Wasserschutzgebiet (Schutzzone IIIB). Durch die Pfahlgründung wird eine Geschiebelehmschicht durchstoßen, die eine Sperrschicht zwischen dem oberen Grundwasserstockwerk und dem unterem Hauptgrundwasserleiter bildet. Für die Gründung der Windenergieanlagen sind Fertigteil-Rammpfähle (42 Stück je WEA, 40 cm x 40 cm, Länge 18 m bis 20 m) vorgesehen.

Mit [U 1] erhielten wir eine Zusammenfassung der Einwendungen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens.

Mit Schreiben vom 06.09.2023 wurden wir von der ENOVA Power GmbH auf der Grundlage unseres Angebotes A 524/23 vom 06.09.2023 beauftragt, zu den folgenden Punkten sachverständig Stellung zu beziehen:

1. Besteht ein hydraulischer Kurzschluss beim Einsatz der Fertigteil-Rammpfähle, bzw. ist die Sperrwirkung zwischen beiden Grundwasserstockwerken nicht mehr gewährleistet bzw. besteht die Möglichkeit einer Wasserwegigkeit zwischen unterschiedlichen Baugrundsichten infolge der Pfahlherstellung?
2. Wie verhält sich der Geschiebelehm unter den durch die WEA eingetragenen Bodenschwingungen und ist eine Bodenverflüssigung mit dem Verlust der abdichtenden Wirkung möglich bzw. besteht die Möglichkeit einer Wasserwegigkeit entlang von Pfählen aufgrund dynamischer Anregungen der Windenergieanlagen, die für eine Verflüssigung des Baugrundes im Nahbereich der Pfähle sorgen.
3. In welchem Umfang entstehen aus dem Betrieb der WEA Schwingungen, welche auch in weiter entfernten Gebäuden als Erschütterungen spürbar sind?

Mit [U 2] liegt ein zugehöriger geotechnischer Entwurfsbericht inkl. Baugrundbeschreibung und Gründungsempfehlung vor. Eine Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse ist in [U 3] enthalten.

Der vorliegende Bericht behandelt unsere sachverständige Beantwortung der Fragestellung 3.

2 UNTERLAGENVERZEICHNIS

2.1 Unterlagen

- [U 1] Datei: 230712_UPL_Zusammenfassung Stellungnahmen Bodenschwingungen Wasserschutz.pdf, ENOVA per E-Mail, ohne Datum
- [U 2] Geotechnischer Entwurfsbericht, Errichtung Windpark mit 3 Windenergieanlagen, Firreler Weg, 26670 Uplengen, Geonovo, 21.12.2021
- [U 3] Hydrogeologisches Gutachten, WP Uplengen H&M Ingenieurbüro 23.11.2021
- [U 4] J. Langeheine, „Erschütterungsausbreitung durch Windkraftanlagen im geplanten WEA Vorranggebiet Kleinoldendorf I.“, als Anlage 1 in [U 1] beigelegt, ohne Datum

2.2 Normen und Richtlinien

- [R 1] DIN 4150-1, „Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Dezember 2022
- [R 2] DIN 4150-2, „Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999
- [R 3] DIN 4150-3, „Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Dezember 2016

3 STELLUNGNAHME

Mit dem Dokument [U 4] liegt eine Ausarbeitung vor, gemäß welcher sich für Gebäude im Abstand von 500 m einer Windenergieanlage deutlich spürbare Schwingungen in Gebäuden ergeben sollen.

Einzelne Teilabschnitte der Ausarbeitung sind nicht korrekt, weshalb die Schwingungseinwirkungen um ein Vielfaches überschätzt werden. Nachfolgend wird zunächst auf drei wesentliche Aspekte aus [U 4] eingegangen und anschließend eine realistische Abschätzung vorgestellt.

3.1 Bewertung des Dokuments „Erschütterungsausbreitung durch Windenergieanlagen im geplanten WEA Vorranggebiet Kleinoldendorf I.“

3.1.1 Prognosebasis / Anregung

Im letzten Absatz auf Seite 11 von [U 4] wird für eine Entfernung von 500 m zur WEA eine Schwinggeschwindigkeit im Baugrund (schluffig / lehmig) von $0,03 \cdot 10^{-6}$ m/s bei 20 Hz angegeben.

Schwingungsmessungen von GuD im Abstand von 120 m bis 200 m von flach gegründeten WEAs unterschiedlicher Hersteller mit rund 120-140 m Nabenhöhe und Leistungen um die 3 MW ergaben im Frequenzband um 20-25 Hz Schwingungsamplituden ähnlicher Größenordnungen bzw. bis zu etwa Faktor 10 größer. Bei Vergrößerung des Abstandes auf 500 m ist eine Schwingungsabnahme um 1 bis 2 Größenordnungen (d.h. Abnahme um den Faktor 10 bis 100) zu erwarten. Demzufolge ergeben sich aus den Messungen GuD im Abstand von 500 m tendenziell etwas geringere Amplituden. Anzumerken ist jedoch, dass der Untergrund im Umfeld der von GuD messtechnisch untersuchten WEAs (vorwiegend zerklüfteter Kalkstein mit geringmächtiger Überlagerung) vom aktuellen Planungsgebiet abweicht.

Die als Referenz herangezogene, offenbar messtechnisch ermittelte Schwingungsamplitude von $0,03 \cdot 10^{-6}$ m/s bei 20 Hz erscheint tendenziell eher auf der höheren, hinsichtlich des Immissionsschutzes sicheren Seite für Anwohner zu liegen, aber nicht in einer unplausiblen Größenordnung.

3.1.2 Ermittlung von Bodenplattenschwingungen in einem Gebäude

Auf den Seiten 13 und 14 von [U 4] wird ein Zusammenhang zwischen dem Druck quer zur Ebene einer an den Rändern aufliegenden Platte und deren Durchbiegung

ermittelt. Zunächst wird im Abschnitt „6. Deckenschwingungen“ in [U 4] von einer „Geschossdecke“ gesprochen, später von einer „Fundamentplatte“ und „Bodenplatte“.

Da als Eingangsgröße ein (auf fragliche Art ermittelter) Druck im Boden dient, kann die Berechnung wohl nur als Abschätzung einer Fundamentplattenschwingung verstanden werden. Auf eine klassische Decke (Kellerdecke über Untergeschoss oder Geschossdecke über Erdgeschoss) erfolgt keine derartige, vollflächige Aufbringung eines Drucks aus dem Erdreich.

Die Auswertung der hergeleiteten Formel für $W(x,y)_{\max}$ ([U 4], Seite 14 unten) unter Ansatz eines Druck im Boden von $p_0 = 7 \cdot 10^{-3}$ Pa (500 m Abstand zur WEA, Anregung bei 20 Hz, [U 4], Seite 13 oben) ergibt eine maximale Plattendurchbiegung von $W(x,y)_{\max} = 1,855 \cdot p_0 \cdot 10^{-7} \text{ m} = \underline{13 \cdot 10^{-10} \text{ m}}$.

Rechnet man hingegen die am selben Ort anzusetzende Schwinggeschwindigkeit von $0,03 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ bei 20 Hz in einen Schwingweg um, so erhält man maximale Verschiebungsamplituden des Bodens von $\underline{2,4 \cdot 10^{-10} \text{ m}}$.¹

Die Fundamentplattenschwingung wäre demnach 5,4-mal so hoch wie die Bodenschwingung unterhalb. Dies ist nicht möglich, da die Fundamentplatte demzufolge in jedem Schwingungszyklus zunächst deutlich vom Baugrund abheben und anschließend in diesen eindringen müsste.

Der Ansatz eines theoretisch ermittelten Drucks (Druckwelle im Boden) auf die nachgiebige Fundamentplatte ist ungeeignet, um deren Schwingungen zu ermitteln. Die ermittelten Schwingungsamplituden sind physikalisch nicht sinnvoll.

3.1.3 Ermittlung von Deckenschwingungen in einem Gebäude

Auf Seite 15 in [U 4] wird anhand des Modells eines Ein-Masse-Schwingers eine Amplitudenvergrößerung im Resonanzfall bei harmonischer Anregung ermittelt.

Der in der Differenzialgleichung herangezogene Dämpfungswert α wird hierbei falsch – sowohl hinsichtlich Größenordnung und Einheit – angesetzt. Die bereits deutlich überschätzten Bodenplattenschwingungen (vgl. vorherigen Abschnitt) werden

¹ Dieser Wert stimmt mit der auf Seite 12 in [U 4] angegebenen Schwingungsamplitude von $\xi_0 = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ mm} = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ näherungsweise überein.

demzufolge in [U 4] mit einer Überhöhung um etwa den Faktor 6.300 (sechstausenddreihundert²) beaufschlagt.

In realen (Wohn-)Gebäuden ist selbst bei sehr niedrig angesetzter Dämpfung, idealen Übertragungsverhältnissen im Gebäude und perfekt harmonischer Anregung eine derartige Überhöhung niemals zu erreichen. Eine plausible Größenordnung für ungünstig starke Überhöhungen von Fundamentalschwingungen (im Bereich der Außenwände, nicht in Bodenplattenmitte!) beim Überhang auf Deckenfelder liegt nicht höher als 50.

Das Modell eines Ein-Masse-Schwingers wurde nicht korrekt angewendet und daher die Schwingungsüberhöhung um mehr als den Faktor 100 überschätzt.

3.2 Sachverständige Abschätzung einer plausiblen Größenordnung für Gebäude- und Deckenschwingungen

Mangels vorhandener Messdaten für den tatsächlich zu betrachtenden Immissionsort und nach Plausibilitätsprüfung der in [U 4] angesetzten Anregung, vgl. Abschnitt 3.1.1 des vorliegenden Dokuments, wird im Baugrund in 500 m Entfernung zur WEA eine Schwingungsamplitude von $0,03 \cdot 10^{-6}$ m/s bei 20 Hz als Berechnungsbasis herangezogen.

Beim Übergang von Bodenschwingungen auf das Fundament tritt über einen breiten Frequenzbereich eine Schwingungsreduktion auf. Für einen weichen Baugrund ist davon auszugehen, dass die sogenannte Boden-Bauwerks-Eigenfrequenz deutlich unterhalb von 20 Hz liegt und demnach gemäß DIN 4150-1 [R 1] ein mittlerer Übertragungsfaktor von 0,5 angesetzt werden darf.

Zur Abschätzung von Deckenschwingungen eines einfachen Gebäudes kann auf das Modell eines fußpunkterregten Ein-Masse-Schwingers zurückgegriffen werden. Das korrekt angewendete Modell führt bei realistischen Dämpfungsansätzen (1 % bis 3 % Materialdämpfung) zu Schwingungsüberhöhungen von etwa 17 bis 50 zwischen den Schwingungen am Fußpunkt und jenen der abgebildeten Decke.

Als realistische Größenordnung von Deckenschwingungen in einem Gebäude im Abstand von 500 m einer WEA ergeben sich demnach unter Berücksichtigung des

² $\pi \cdot f_0 \cdot W(x,y)_{\max} / \alpha = 3,142 \cdot 20 \cdot W(x,y)_{\max} / 0,01 = 6.284 \cdot W(x,y)_{\max}$

Schwingungsübergangs auf das Fundament und der Weiterleitung im Gebäude maximal

$$0,03 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \cdot 0,5 \cdot 50 = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} = 0,00075 \text{ mm/s.}$$

Bei 20 Hz entspricht diese Schwinggeschwindigkeit einem Schwingweg von

$$6 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,000006 \text{ mm.}$$

Diese Werte fallen grob um den Faktor 2.000 (zweitausend) kleiner aus als die in [U 4] dargelegten Immissionen.

Die Bewertung nach DIN 4150-2 [R 2] und DIN 4150-3 [R 3] ergibt, dass die im vorliegenden Dokument abgeschätzten Schwingungsamplituden in einem 500 m von einer WEA entfernt liegenden Gebäude

- mit sehr hoher Sicherheit (Faktor 200 bis 400) unterhalb der menschlichen Fühlschwelle liegen und
- um mehr als den Faktor 10.000 unterhalb der Anhaltswerte für zulässige Schwingungseinwirkungen auf Geschossdecken liegen.

Bei den o.g. Abständen zu WEAs sind erhebliche Belästigungen von Gebäudenutzern und das Auftreten von Schäden an Gebäuden durch über den Baugrund weitergeleitete Schwingungen aus dem WEA-Betrieb auszuschließen.

Für Erläuterungen und Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Berlin, den 27.09.2023



Dr.-Ing. F. Kirsch



Dr.techn. A. Tributsch