

Dr. Wolfgang Hübner
Kohlmeisenweg 7
88410 Bad Wurzach

19.06.2025

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe

z. Hdn. Herrn *

Kopie:

Kompetenzzentrum Windenergie (LUBW) Herren:

** Die Namen des Verfassers sowie der in Kopie genannten Verantwortlichen des Kompetenzzentrums wurden nach Forderung der LUBW entfernt*

Landratsamt Ravensburg LRA-RV

Herrn Neisecke (Leiter Bau- und Umweltamt, Genehmigungsbehörde)

Herrn Dr. Heine (Regionalverband Bodensee Oberschwaben)

Herrn Landrat Harald Sievers LRA-RV

Herrn Abgeordneten Haser (Energiepolitischer Sprecher der CDU im Landtag BW)

Frau Abgeordnete Krebs (der GRÜNEN im Landtag BW)

**Antwort der LUBW vom 27.05.25 zur Frage des Landratsamtes RV vom 20.03.25
bezüglich meines Einspruchs an den RVBO wegen dem nicht gewährleisteten
Gesundheitsschutz im Nachlauf von Windkraftanlagen**

Sehr geehrter Herr *,

zur Planung des Regionalverbandes Bodensee-Oberschwaben (RVBO) zum regionalen Windkraftausbau habe ich fristgerecht einen Einspruch mit Datum 29.01.24 mit Kopie an das Landratsamt als zuständige Genehmigungsbehörde gemacht (Anlage 1). Dem Einspruch liegt meine Kritik „Klärungsbedarf zur Publikation von Koch, Holzheu, Hundhausen“ (Anlage 2) bei (auf diese Publikation von Dr. Stefan Holzheu „Infraschall von Windenergieanlagen-Viel Lärm um nichts“ stützen Sie sich fachlich).

Der Einspruch an den RVBO beruht auf drei ungeklärten Fragen, zu welchen das LRA-RV den fachlichen Rat der LUBW als übergeordnete Fachbehörde eingeholt hat:

- Wie hoch sind die strömungstechnisch bedingten Luftdruckpulse von Windrädern, angegeben in Pascal je nach Abstand und Leistung der Anlage bevorzugt in Windrichtung?
- Ab welcher Höhe in Pascal spürt der Mensch diese Pulse mit seinen vielen auf Wecheldruck empfindsamen und im ganzen Körper verteilten Rezeptoren, mit welchen gesundheitlichen Auswirkungen?

- Welcher Sicherheitsabstand vom Windrad zur Wohnbebauung ist zum Gesundheitsschutz deshalb einzuhalten?

Es sind drei Fragen, welche mit drei einfachen Zahlen beantwortbar sind, wenn man es will und kann. Pascal = Newton/m² ist die physikalische Einheit, um die Höhe eines Druckes oder einer Druckänderung in der Technik anzugeben.

Das Windrad gewinnt seine Energie durch Abbremsen des Windstroms aber dieses Abbremsen erfolgt nicht gleichmäßig, es erfolgt im Takt der Flügel: Zwischen den Flügeln geht der Windstrom nahezu ungebremst durch. Trifft der Windstrom den Flügel, dann wird er abgelenkt und verliert an Geschwindigkeit. Im Nachlauf des Windrads bildet sich so ein gerichtetes Strömungsfeld mit abwechselnd hoher und niedriger Geschwindigkeit. Und da unterschiedliche Geschwindigkeiten in einem Strömungsfeld gleichbedeutend sind mit unterschiedlichem Staudruck/Winddruck, entsteht nach dem Windrad ein im Takt der Flügel (etwa 1 sec, je nach Rotorumdrehungsfrequenz) sich änderndes Druckfeld. Und genau auf dieses wechselnde Druckfeld (= unvermeidbares Abfallprodukt bei diesem Energiegewinnungsprozess = Luftdruckpulse) zielt die erste Frage.

Das Landratsamt RV hat mich freundlicherweise am 10.06.25 zu einem Gespräch eingeladen, um diesen Sachverhalt zu erörtern. Das Landratsamt beschränkt sich im Zuge der durchzuführenden Genehmigungsverfahren auf die Einhaltung der in Regeln der Technik festgeschriebenen Anforderungen, bezüglich den Schallemissionen einer WKA im Wesentlichen auf die TA Lärm. Zu den gepulsten Strömungsfeldern im Nachlauf einer WKA gibt es keine derartigen Regeln weder zum Messen der Druckwechsel noch zur Bewertung ihrer Wirkung auf Mensch und Tier. Deshalb hat sich das LRA-RV an Sie als übergeordnete Fachbehörde gewandt, um Ihre fachliche Stellungnahme einzuholen, welche mir das LRA-RV nach unserem Gespräch zur Verfügung stellte.

Ihrer Stellungnahme an das LRA-RV entnehme ich, dass Sie sich bisher nicht mit Fragen der Strömungsmechanik beschäftigt haben und allein aus Ihrem Kenntnisstand zur Schallphysik antworten. Somit geht Ihre Antwort an den gestellten Fragen vorbei.

Deshalb vorab grundlegende Fakten zur Strömungslehre von Gasen, dabei handelt es sich um Grundlagen der Physik wie in Lehrbüchern nachzulesen.

Stößt ein Luftstrom auf ein Hindernis, so erzeugt dieser dort einen Staudruck. Der Staudruck lässt sich je nach den Parametern des Luftzustandes berechnen und mit einfachen Messgeräten messen. Sie können aber auch überschlägig für die Windlast/den Druck eine im Netz verfügbare Tabelle zu Rate ziehen.

Windgeschwindigkeit			Windlast		Beaufortskala	
m/s	km/h	mph	Pa	N/m ²	Nummer	Beschreibung
0,5	2	1	0,2	0,009	0	Windstille
1	4	2	0,6	0,001	1	seiler Zug
2	7	4	2,5	0,003	2	leichte Brise
3	11	7	5,6	0,006	2	leichte Brise
4	14	9	10,0	0,010	3	schwache Brise
5	18	11	15,6	0,016	3	schwache Brise
6	22	13	22,5	0,023	4	mäßige Brise
7	25	16	30,6	0,031	4	mäßige Brise
8	29	18	40,0	0,040	4	mäßige Brise
9	32	20	50,6	0,051	5	frischer Wind
10	36	22	62,5	0,063	5	frischer Wind
11	40	25	75,6	0,076	6	starker Wind
12	43	27	90,0	0,090	6	starker Wind
13	47	29	105,6	0,106	6	starker Wind
14	50	31	122,5	0,123	6	starker Wind
15	54	34	140,6	0,141	7	starker Wind
16	58	36	160,0	0,160	7	starker Wind
17	61	38	180,6	0,181	7	starker Wind
18	65	40	202,5	0,203	8	stürmischer Wind
19	68	42	225,6	0,226	8	stürmischer Wind
20	72	45	250,0	0,250	8	stürmischer Wind
21	76	47	275,6	0,276	9	Sturm
22	79	49	302,5	0,303	9	Sturm
23	83	51	330,6	0,331	9	Sturm
24	86	54	360,0	0,360	9	Sturm
25	90	56	390,6	0,391	10	schwerer Sturm
26	94	58	422,5	0,423	10	schwerer Sturm
27	97	60	455,6	0,456	10	schwerer Sturm
28	101	63	490,0	0,490	10	schwerer Sturm
29	104	65	525,6	0,526	11	orkanartiger Sturm
30	108	67	562,5	0,563	11	orkanartiger Sturm
31	112	69	600,6	0,601	11	orkanartiger Sturm
32	115	72	640,0	0,640	11	orkanartiger Sturm
33	119	74	680,6	0,681	12	Orkan
34	122	76	722,5	0,723	12	Orkan
35	126	78	765,6	0,766	12	Orkan
36	130	80	810,0	0,810	12	Orkan
37	133	83	855,6	0,856	12	Orkan
38	137	85	902,5	0,903	12	Orkan
39	140	87	950,6	0,951	12	Orkan
40	144	89	1000,0	1,000	12	Orkan
41	148	92	1050,6	1,051	12	Orkan
42	151	94	1102,5	1,103	12	Orkan
43	155	96	1155,6	1,156	12	Orkan
44	158	98	1210,0	1,210	12	Orkan
45	162	101	1265,6	1,266	12	Orkan
46	166	103	1322,5	1,323	12	Orkan
47	169	105	1380,6	1,381	12	Orkan
48	173	107	1440,0	1,440	12	Orkan
49	176	110	1500,6	1,501	12	Orkan
50	180	112	1562,5	1,563	12	Orkan

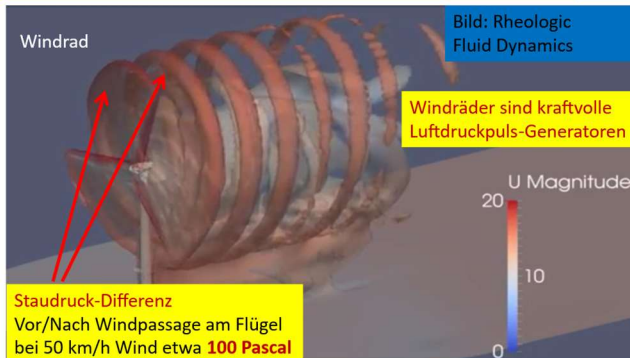
* Die Beaufortskala gibt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit an, die über 10 Minuten in 10 m Höhe gemittelt wird (ohne Windböen), und ist daher für Statistische Berechnungen ungeeignet.

Danach beträgt bei einer Windgeschwindigkeit von 20 km/h der Staudruck etwa 20 Pascal; bei 50 km/h (mittlerer Arbeitsbereich einer WKA) etwa 122 Pa und bei 90 km/h (Abschaltbereich der WKA) etwa 390 Pa. Um ein Gefühl zu bekommen zur Höhe dieses Staudrucks: Strömt ein Wind mit 100 Pa (100 N/m²) auf eine Hauswand von 100 m², dann entspricht dies einer gleichmäßigen Windlast entsprechend 1 Tonne. Wenn nun diese Last im Sekundentakt auf die Hauswand wirkt kann man sich gut vorstellen, dass im Haus dadurch Vibrationen entstehen, wie von manchen betroffenen Anliegern von WKA berichtet wird. Da ist also richtig Power dahinter, eine ganz andere Größenordnung als der vom Windrad erzeugte Infraschall hat (auf welchen Sie sich beziehen), Sie aber setzen diese Druckänderungen fälschlicherweise mit den Infraschall-Emissionen der WKA gleich.

Die WKA gewinnt ihre Energie nicht durch gleichmäßiges Abbremsen des Windstroms, sondern durch das im Flügeltakt (etwa 1 sec, je nach Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors) erfolgte Abbremsen des Windstroms. Zwischen den Flügeln geht der Wind nahezu mit unveränderter Geschwindigkeit durch und am Flügel wird der Wind umgelenkt und verliert dabei an Geschwindigkeit. Der scheinwerferförmig gerichtete Nachlauf einer WKA weist somit ein Strömungsfeld mit wechselnden Geschwindigkeiten und somit wechselndem Staudruck auf. Anschaulich zu sehen in den Computer-Simulationen beispielsweise von Rheologic, Siemens Gamesa oder NVIDIA. Diese Simulationen dienen auch den Planern bei der Aufstellung in Windparks, um die gegenseitige Beeinflussung zu minimieren.

Indizien-Beweis zur Gesundheitsgefährdung
durch die Luftdruckpulse von Windrädern

1. Die Computer-Simulationen der Planungsbüros belegen das gepulste Strömungsfeld bevorzugt im Nachlauf der Windkraftanlage.



Dr. Wolfgang Hübner

Den Planern ist die Wirkung dieses getakteten Strömungsfeldes sehr wohl bekannt, denn das nachfolgende Windrad kann durch die Druckwechsel vorzeitig wegen Materialermüdungsbrüchen geschädigt werden und deshalb halten sie bei der Aufstellung in Windparks große Abstände in der vorherrschenden Windrichtung ein. Die Simulation (und auch die Messung im Windkanal) zeigt, dass dabei der vielzitierte Turmdurchgang der Flügel (den Sie als relevante Infraschallquelle ansprechen) von untergeordneter Bedeutung ist.

Indizien-Beweis zur Gesundheitsgefährdung
durch die Luftdruckpulse von Windrädern

2. Die Planer halten Mindestabstände zwischen den Anlagen ein, damit die Luftdruckpulse nicht das nachfolgende Rad durch Ermüdungsbrüche zerstören.

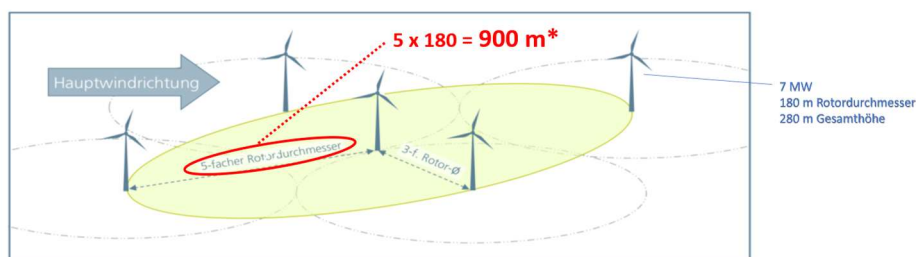


Abbildung 3: Anlagenanordnung innerhalb eines Modell-Windparks und die darin berücksichtigte Fläche; Grafik: FA Wind

* Laut DIBt-Richtlinie ist die Beeinflussung aufgrund der Turbulenzbelastung für typische Binnenstandorte erst ab der Entfernung von 8-fachem Rotordurchmesser zu vernachlässigen, entsprechend einem Abstand von $8 \times 180 \text{ m} = 1440 \text{ m}$, die 5-fach-Regel gilt laut DIBt nur für küstennahe Standorte. „Diese Grenzabstände, ab denen die Gegenseitige Beeinflussung vernachlässigt werden kann, werden bei aktuellen Planungen in D praktisch immer unterschritten.“
www.erneuerbareenergien.de

Dr. Wolfgang Hübner

Die Flügel einer WKA arbeiten nach vergleichbarem Prinzip, wie die eines großen Flugzeuges (die Geschwindigkeit am Ende des Flügels der WKA entspricht der Landegeschwindigkeit eines Jets). Am Rand entstehen Schleppwirbel und der Auftrieb über die gesamte Flügellänge wird als mechanische Energie genutzt. Die Schleppwirbel und auch der erzeugte Schall/Infraschall sind unerwünschte Effekte. In der energetischen Betrachtung dominiert die Nutzung des Auftriebs über die gesamte Rotorlänge, wodurch das getaktete kreisförmige Strömungsfeld als „Abfallprodukt“ dieses Energiegewinnungsprozesses unvermeidbar

entsteht. Der Flugsicherung ist die Problematik bekannt, deshalb sind dort Sicherheitsabstände zwischen den Maschinen festgeschrieben.

*Indizien-Beweis zur Gesundheitsgefährdung
durch die Luftdruckpulse von Windrädern*

3. Die Flugsicherung fordert zur Gefahrenabwehr für Flugzeuge einen Mindestabstand von 7 x Rotordurchmesser, etwa 1300 m bei heutigen Anlagen.

Baden-Württembergischer Luftfahrtverband eV

14.10.21

Pressemitteilung des Baden-Württembergischen Luftfahrtverbandes zum Gutachten von Prof. Dr.-Ing. Frank Janser, FH Aachen, Fachbereich 6/ACIAS e.V.

Windenergieanlagen müssen aufgrund ihrer besonderen Eigenschaft als dynamische Luftfahrthindernisse aufgefasst werden, denn sie verursachen eine signifikante Störung des Windes, den sogenannten „turbulenten Nachlauf“. Dies unterscheidet die Windkraftanlage von einem klassischen Hindernis (z.B. Turm).

Aus den Untersuchungen der FH Aachen muss geschlossen werden, dass für Abstände kleiner sieben Rotordurchmesser im Nachlauf einer Windenergieanlage eine konkrete Gefahr für ein Luftfahrzeug besteht. Dieser Bereich muss gemieden werden. Das Kriterium hierfür sind die erwartenden signifikanten Böen und Windscherungen im Nachlauf einer Windenergieanlage, die ein erhebliches Aussteuern durch den Piloten verlangen. Dies lenkt die Aufmerksamkeit von den eigentlichen Aufgaben in Flugplatznähe beispielsweise das Beobachten anderer Verkehrsteilnehmer und die Landevorbereitung unzulässig ab.

Die Planung des Windparks bei Leutkirch wurde wegen der gefährdeten „Platzrunde“ des Flugplatzes eingestellt.

Dr. Wolfgang Hübner

Luftdruckpulse im Nachlauf einer WKA lassen sich messen. Messungen im Windkanal unter idealen strömungstechnischen Bedingungen belegen eindeutig das im Takt der Flügel gepulste Strömungsfeld. Die Messung erfolgt dort dreidimensional mit Anemometern, wie Sie auch dort sehen, sind die Anemometer seitlich vom Turm aufgestellt, denn die Druckänderungen sind über die gesamte Rotorfläche nachweisbar.

*Indizien-Beweis zur Gesundheitsgefährdung
durch die Luftdruckpulse von Windrädern*

4. Strömungstechnische Messungen im Windkanal belegen das gepulste Strömungsfeld.

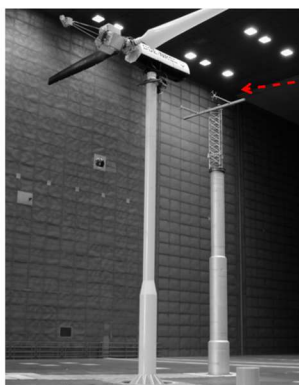


Figure 1. UAE Turbine with downwind wake measurement installation in 80- by 120-foot wind tunnel

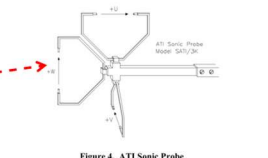


Figure 4. ATI Sonic Probe

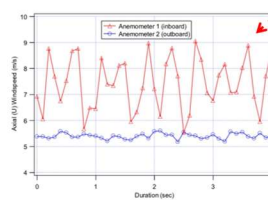
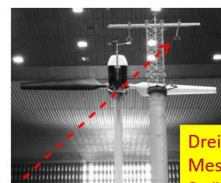


Figure 7. Expanded time series for axial (U) component at 0° yaw, 9 m/s tunnel speed



Drei-Dimensionale Messung der Strömungsgeschwindigkeit mit Anemometer

Geschwindigkeitsänderungen im Takt der Flügel im Nachlauf des Windrades erzeugen Druckänderungen, messbar in Pascal = N/m²

Quelle: S. Larwood „Wind Turbine Wake Measurements in the Operating Region of a Tail Vane“ NREL 2001

Erläuterungen Dr. Wolfgang Hübner

Wie hoch die Staudruckdifferenzen im Nachlauf sein können, kann man in der Größenordnung unter Nutzung des Gesetzes von Betz (ebenfalls Stand des Wissens) abschätzen. Danach kann eine WKA maximal etwa 59 % (in Praxis etwa 40%) der kinetischen Energie des Windes in mechanische Energie umwandeln. Bei dieser maximalen Energieentnahme aus dem Wind wird der Wind auf etwa 35% der Geschwindigkeit vor dem Windrad abgebremst. Diese 35% sind allerdings ein Mittelwert, denn der Teil des

Windstroms der zwischen den Flügeln durchgeht, verliert kaum an Geschwindigkeit. Für eine konservative Abschätzung des Potenzials der im Sekundentakt erfolgenden Geschwindigkeitsänderungen an einem Messpunkt im Nachlauf der Anlage kann man in die Winddrucktabelle gehen. Bei einer Windgeschwindigkeit von 50 km/h beträgt der Staudruck vor dem Rad etwa 120 Pa. Falls der Wind im Mittel auf 40% (20 km/h) abgebremst wird, beträgt der mittlere Staudruck etwa 20 Pa. Konservativ abgeschätzt besteht somit im Nachlauf der Anlage ein Potenzial für Druckwechsel im Sekundentakt von etwa 100 Pa im mittleren Arbeitsbereich. Im Abschaltbereich bei 90 km/h besteht ein Potenzial von 300 Pa.

Indizien-Beweis zur Gesundheitsgefährdung durch die Luftdruckpulse von Windrädern

5. Die Staudruck-Berechnungen aufgrund der Geschwindigkeitsänderungen vor und nach dem Windrad ergeben Druckänderungen von 100 Pascal (10 kg/m²) bei 50 km/h bis 300 Pascal bei 90 km/h.

Das Gesetz von Betz

- Ein Windrad kann maximal 59 % der im Wind enthaltenen kinetischen Energie ernten.
- Die maximale Turbinenleistung ist erreicht, wenn die Windgeschwindigkeit hinter der Turbine nur noch etwa 35% der Geschwindigkeit vor der Turbine hat.

Der Flügel lenkt den Windstrom um und bremst ihn dabei ab. Zwischen den Flügeln geht der Wind nahezu ungebremst durch. So entsteht das scheibenförmige getaktete Druckfeld im Nachlauf, wie aus den Computersimulationen der Planer ersichtlich ist.

- Bei einer Windgeschwindigkeit von 50 km/h beträgt der Staudruck etwa 120 Pascal
- Nach Abbremsen des Windes auf 40% entsprechend einer mittleren Geschwindigkeit von 20 km/h beträgt der Staudruck etwa 20 Pascal

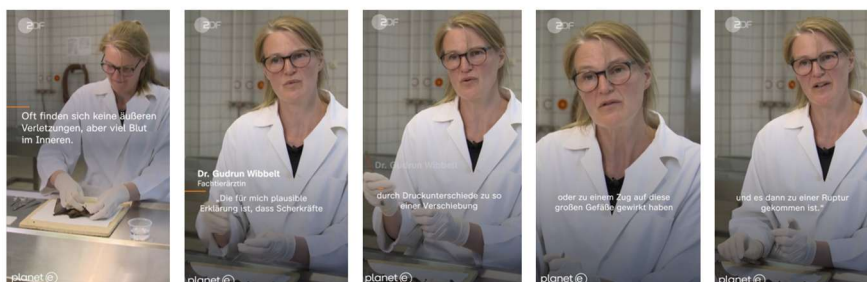
Potenzial für Druckunterschiede im Nachlauf beträgt etwa 100 Pascal sein.

Dr. Wolfgang Hübner

Die Fledermaus als Bioindikator belegt die starke Wirkung der strömungstechnisch bedingten Luftdruckpulse im Nahfeld der Anlage. Ohne in Kontakt mit den Flügeln zu kommen, platzen im Nahfeld des Rotors die Blutgefäße was zum Tod der Fledermaus führt. In der ZDF-Sendung „planet e“ erläuterte die Ärztin Dr. Gudrun Wibbelt den Sachverhalt nach Sezieren des Tiers: „Die für mich plausible Erklärung ist, dass Scherkräfte durch Druckunterschiede zu so einer Verschiebung oder zu einem Zug auf die großen Gefäße gewirkt haben und es ist dann zu einer Ruptur gekommen ist“.

Indizien-Beweis zur Gesundheitsgefährdung durch die Luftdruckpulse von Windrädern

6. Die Blutgefäße der Fledermaus platzen im Nahfeld des Rotors.



Dr. Wolfgang Hübner

Bis hierher ist belegt: Im Nachlauf einer WKA entstehen unvermeidbar recht hohe Druckwechsel im Takt der Flügel welche scheinwerferförmig im Strömungsfeld über hunderte von Metern reichen und sehr wohl messbar in Pascal sind, wenn man die dafür geeignete Messtechnik einsetzt und in den relevanten Anlagenzuständen an verschiedenen Stellen im Nachlauf der WKA misst.

Was der Fledermaus schadet, könnte doch auch für den Menschen gefährlich sein und ab welcher Höhe der Luftdruckwechsel in Pascal spürt der Mensch das mit welchen gesundheitlichen Wirkungen (Frage 2)?

Bei meiner Recherche im Internet konnte ich keine Angabe zur Frage finden: „Ab welcher Luftdruckänderung in Pascal im Sekundenbereich spürt der Mensch dies“. Zu meiner Anfrage bei Prof. Grunwald vom Haptik-Labor in Leipzig erhielt ich ebenfalls nicht die gewünschte Zahl in Pascal. Jedoch belegt das Antwortschreiben die sehr hohe Empfindlichkeit unseres Körpers auf die Wahrnehmung von Druckänderungen. Die verstärkende Wirkung der Haarfolikeln ist durchaus auch bei den erzeugten Luftdruckpulsen im Nachlauf der WKA von Relevanz, denn im bekleideten Zustand drückt der Stoff flächig auf die Körperhaare und verstärkt so den Reiz.

Am 12.10.2020 um 11:48 schrieb Grunwald, Martin
<Martin.Grunwald@medizin.uni-leipzig.de>:

Sehr geehrter Herr Hübner,
der Schwellenwert 1µm bezieht sich auf aktive exploration von Oberflächen. Befindet sich auf einer glatten Oberfläche eine Erhebung von 1µm (oder weniger) kann diese bei aktiver Exploration wahrgenommen werden.
// Anderes Maß: fällt ein Fliegenflügel (0,075 Milligramm) aus 10 cm auf die Haare der Gesichtshaut, ist dieses Ereignis (in einer Experimentalsituation) noch wahrnehmbar als kurzer Berührungsreiz.
Der Sensor für dieses Ereignis liegt in den Haarfolikeln (dichtes Netz an Rezeptoren um jedes Haar herum).
Details dazu hier: <https://www.amazon.de/Homo-hapticus-Warum-Tastsinn-k%C3%B6nnen/dp/3426277069>

Ob auch andere Reizquellen der von Ihnen beschriebenen Art (sonstige Luft -Druckschwankungen) über die Haarrezeptoren registriert werden können ist mir nicht bekannt.

Beste Grüße M Grunwald
University of Leipzig
Paul-Flechsig-Institut für Brain Research
Haptic-Research Laboratory
Prof. Dr. Dipl. Psych. Martin Grunwald
Liebigstraße 15, Haus C
04103 Leipzig

Sehr geehrter PD Grunwald,
dem Kapitel 22 Ihres Papiers "Wissenschaftliche Grundlagen der Palpation" entnehme ich, dass das taktile System auf Druckveränderungen von weniger als 1 Mykrometer anspricht.
Dazu bitte ich Sie um Beantwortung folgender Fragen:

- Welcher lokal flächenhaft aufgetragenen Druckänderung entspricht diese Verformung von 1 Mykrometer der Haut in der Druckeinheit Pascal, bzw. welche Druckänderung (im Bereich von 1 Hz) in Pascal müssen Sie lokal aufbringen, damit das taktile System anspricht?
- Bei welcher auf den gesamten Körper aufgetragenen Druckänderung im Bereich von etwa 1 Hz spricht das gesamte taktile System an und wie äußert sich das?

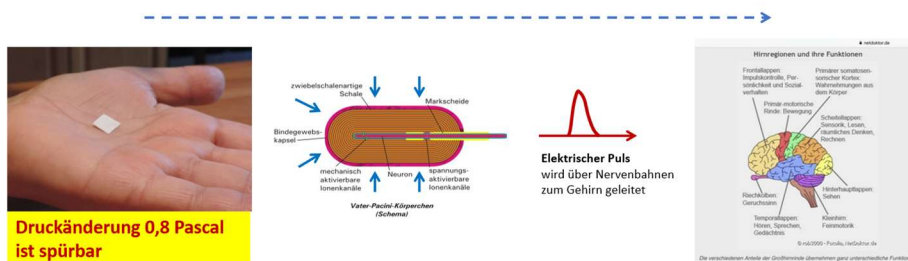
In Ermangelung einer von der Medizin gelieferten physikalischen Zahl zur Wahrnehmung von Luftdruckänderungen habe ich deshalb ein einfaches Experiment mit einem Papierblättchen an meinem Körper durchgeführt. Demnach kann unser Tastsinn Druckänderungen von 1 Pascal mit Sicherheit erkennen. Machen Sie selbst den Test: Beginnen Sie mit einem Blättchen (Kopierpapier mit 80 g/m²), dann mal mit 5 Stück übereinander und steigern sie auf immer größere Gewichte. Sie registrieren mit zunehmendem Gewicht immer kräftigere lokale Druckänderungen, die bei geringem Gewicht nur einmalig beim Auflegen entstehen. Erst bei größeren Gewichten bleibt der Reiz bestehen. Das einfache Experiment zeigt, dass wir getrennte Rezeptoren mit getrennten Empfindungen für wechselnden Druck oder für permanenten Druck haben (und dies selektiv wahrnehmen können, obwohl gleichzeitig unser Herz im Blutkreislauf einen Druckwechsel von 12.000 Pascal erzeugt). Das Experiment mit dem Papierblättchen ist am Beispiel des Tastsinnes somit geeignet, um die

Größenordnung zu ermitteln, ab welcher Druckänderung wir mit unserem Körper wechselnden Druck im Takt von einer Sekunde wahrnehmen können. Selbstverständlich sollten über eine medizinische Studie genauere Ergebnisse ermittelt werden.

Völlig daneben liegt der von Ihnen zitierte Dr. Holzheu zur Wirkungsschwelle auf den Menschen gegenüber Druckänderungen in seiner Publikation von 130 dB = 63 Pascal entsprechend einem Papierstapel von 78 Blatt Papier. Legen Sie mal gedanklich den Stapel Kopierpapier auf ihren Brustkorb und behaupten, dass Sie das beim Auflegen nicht als Druckänderung spüren.

Indizien-Beweis zur Gesundheitsgefährdung durch die Luftdruckpulse von Windrädern

7. Das Papierblättchen-Experiment zeigt, dass die druckempfindlichen Sensoren unseres Körpers bereits bei 1 Pascal eine Reaktion hervorrufen.



Der menschliche Körper verfügt über mehrere Hunderttausend auf Druck empfindliche Rezeptoren zur Steuerung der Körperfunktionen. Der Tastsinn ist davon nur eine Auswahl von auf Wecheldruck empfindlichen Rezeptoren.

Dr. Wolfgang Hübner

Zur Wirkung dieser Luftdruckpulse auf den Menschen gibt es eine Vielzahl von Berichten von betroffenen Anliegern von Windrädern. Alle berichten über die gleichen Symptome, wie Schlaflosigkeit, Innere Unruhe und Konzentrationsschwäche. Einige Videos zu Befragungen von betroffenen Anliegern finden sie beispielsweise unter www.infrage.org. Eine genaue Beschreibung des Empfindens liefert das Video mit der Speditionsunternehmerin Anja Hollenhorst: „Es ist weniger ein Hören als ein Spüren“. Auch die aktuellen Ergebnisse der Befragung von rund 200 Bürgern aus Baierack bestätigen den Verdacht einer Gesundheitsgefährdung. Wegen dem mitwindig gerichteten Strömungsfeld ist nach Beobachtungen von Anliegern die Wahrnehmung dann besonders stark, wenn der Wind bei hoher Windgeschwindigkeit von der WKA zum Haus gerichtet ist. Das erklärt auch, warum viele Anwohner über keine Probleme berichten. Entsprechend wären auch die Messpunkte und Messzeiten zu wählen.

9/1. Befragungen von Anliegern bestätigen die gesundheitsschädigende Wirkung in Form von Schlaflosigkeit, Innere Unruhe und Konzentrationsschwäche.



**Wir haben Vibrationen bis ins Kopfkissen gespürt... wie leichte Schwingungen, welche einen vom Schlaf abhalten.“
„Es ist weniger ein Hören als ein Spüren“**

Anja Hollenhorst, Speditionsunternehmerin

Bürgerbefragung aller Haushalte Baierecks über die Auswirkungen der Windkraftanlagen am Standort ES-02 Sümpflenberg



Baiereck



Diegelsberg



Nassach



Nassachmühle

Befragung von 201 Anwohnern vom Februar 2025

Dr. Wolfgang Hübner

9/2. Antworten zur Befragung der Haushalte in Baiereck bei Göppingen im Februar 2025.

Bürgerbefragung aller Haushalte Baierecks über die Auswirkungen der Windkraftanlagen am Standort ES-02 Sümpflenberg



Baiereck



Diegelsberg



Nassach



Nassachmühle

Die Mehrheit fühlt sich im Alltag stark bis sehr stark beeinflusst,
68 % klagen über die sehr starken Geräusche in der Nacht,
52 % beklagen sehr den Schattenschlag,
60 % beklagen Schlafstörungen in der Nacht;
es sei "sehr laut, selbst wenn die Fenster zu sind.
Der Schlaf ist gestört.
Man kann ohne Lärm nicht mehr raus.
Das Brummen ist wie ein Tinnitus.
Nachts Dröhnen im Schlafzimmer,
tagsüber als ob ein Flugzeug im Dauerflug über dem Haus fliegt."

Fast die Hälfte der Bewohner würde gerne wegziehen: "Mein Heimatgefühl ist weg."

Dr. Wolfgang Hübner

Nach diesen Erläuterungen zur Strömungsmechanik und zu den Wirkungen von Luftdruckpulsen auf den Menschen nachfolgend meine Analyse zu Ihren Aussagen in Ihrem Schreiben (Ihre Aussagen sind in kursiver Schrift zitiert).

Die von Ihnen vorgebrachte Frage enthält Begriffe, die in der Fachsprache in Bezug auf Windenergieanlagen nicht verwendet werden und deren Bedeutung wir nur vermuten können.

Verständlich, da Ihnen zur Fragestellung nach der Höhe der strömungsbedingten Winddruckänderung im Nachlauf der WKA offensichtlich Kenntnisse der Strömungsmechanik fehlen und Sie nur nach dem Regelwerk der TA Lärm mit den dortigen Begriffen arbeiten. Im

Strömungsfeld nutzt man Begriffe wie Geschwindigkeit, Staudruck, Winddruck und als Druckeinheit dient Pascal.

Mit den Begriffen „Druckpulse“ und „Luftdruckpulse“ meint der Fragesteller wahrscheinlich das sehr tieffrequente Infraschallgeräusch, das bei der Rotorblattpassage am Turm entsteht. Völlig daneben. Infraschall ist tieffrequenter Schall mit Periodizität unterhalb der Hörgrenze. Wie von tiefen Tönen einer Bassbox bekannt, breiten sich Bässe und auch Infraschall kugelförmig aus. Die im Takt der Flügel produzierten Druckschwankungen im Nachlauf sind dagegen vorwiegend mit dem Wind gerichtet. Wie die Computersimulationen und Messungen im Windkanal belegen werden diese Druckänderungen über die gesamte Flügellänge kreisförmig erzeugt und breiten sich wie von einem Scheinwerfer abgestrahlt gerichtet aus. Der Blattdurchgang am Turm ist dabei von untergeordneter Bedeutung, siehe die Computersimulationen. Der vom Windrad erzeugte Infraschall ist energetisch völlig unbedeutend im Vergleich zu den strömungstechnischen Luftdruckpulsen. Deshalb muss begrifflich unterschieden werden. Sie dürfen Infraschall und Luftdruckpulse im Strömungsfeld nicht gleichsetzen, die Entstehungsmechanismen sowie die Wirkungspfade auf den Menschen sind verschieden.

Eine umfassende Studie, die die „strömungstechnisch bedingten Luftdruckpulse von Windrädern, angegeben in Pascal je nach Abstand und Leistung der Anlage bevorzugt in Windrichtung“ untersucht hätte, ist der LUBW nicht bekannt.

Neben der Kenntnis zu Normen der Technik gibt es auch noch die naturwissenschaftliche Neugier, ein mit vielen Indizien belegtes Problem zu erkunden. Die TremaAc-Studie hat leider nur ansatzweise das Strömungsfeld der WKA diskutiert. Von einer Fachbehörde darf man erwarten, dass ihr Handwerkszeug nicht nur aus bekannten Richtlinien besteht, sondern den geschilderten Indizien zu einer Gesundheitsgefährdung durch die beschriebenen Luftdruckpulse im Nachlauf der WKA fachlich nachgeht und dann fachlich widerlegt oder bestätigt.

Die Angabe des Schalldrucks in Pascal ist in Studien zum Lärmschutz absolut unüblich.

Richtig, aber wir haben es hier nicht mit einem Problem der Schallphysik zu tun, sondern der Strömungsmechanik. Schauen Sie sich das Schaubild im Windkanal an, da geht es um Geschwindigkeiten und Staudruck und die dafür korrekte physikalische Messeinheit ist Pascal, da kommt nicht die TA Lärm zur Anwendung.

Es gibt aber einen deutschsprachigen Fachartikel von Dr. Stefan Holzheu „Infraschall von Windenergieanlagen-Viel Lärm um nichts“.

Lesen Sie bitte meine Entgegnung zu diesem fehlerhaften Artikel in Anlage 2 auf den sich das LUBW immer wieder fachlich bezieht, auch vor etwa 2 Jahren bei einer Anfrage eines Abgeordneten des Landtags. Dr. Holzheu ist nebenberuflich Schallmesstechniker. Er behauptet, dass er in 300 m Entfernung Luftdruckschwankungen von 0,1 Pascal misst. Davon geht der Fledermaus nicht die Lunge kaputt, die Flugzeuge brauchen auch keinen Abstand

zur WKA und auch die Planer müssen keine Ermüdungsbrüche der nachfolgenden Anlage befürchten. Denn statt 0,1 Pascal kann man leicht nachrechnen, dass die Druckschwankungen durch das getaktete Abbremsen des Strömungsfeldes mehr als 100 Pascal betragen können, da ist ein Faktor 1000 dazwischen. Auch die Messungen der LUBW waren keine Messungen zum Strömungsfeld.

Der LUBW sind keine „vielen auf Wechseldruck empfindsamen und im ganzen Körper verteilten Rezeptoren für Pulse von Windenergieanlagen bekannt“.

Konsultieren Sie ganz einfach mal das Internet nach Mechanorezeptoren, beispielsweise im flexikon.doccheck, dort können Sie sich über die Funktionen der vielfältigen Rezeptoren unseres Körpers einen ersten Eindruck verschaffen, von Pacini-Körperchen über Meissner-Körperchen, Merkel-Zellen und zu vielen weiteren Rezeptoren. Jeder Mensch hat mehr als 500.000 unterschiedliche Rezeptoren mit welchen Druck und Temperatur erfasst werden und so die Körperfunktionen geregelt werden. Dabei hat jeder Rezeptortyp spezifische Aufgaben, beispielsweise zur selektiven Wahrnehmung von Druckänderungen des Tastsinns. Ja, selbst bei 12.000 Pascal Wechseldruck im Blutkreislauf können Sie die Druckänderung durch ein feines Papierblättchen spüren was nur 1 Pascal entspricht. Und auch Ihr Gehör kann Schalldruckänderungen gegenüber diesen starken Druckpulsen im Blutkreislauf trennen.

Der LUBW ist kein Doppelblindversuch bekannt, in dem nachgewiesen wurde, dass Menschen „Luftdruckpulse“ dieser Größenordnung spüren können. Die „Luftdruckpulse“ und „Druckpulse“ sind nichts anderes als ein neues Wort für Infraschall.

Wie mehrfach begründet ist die fachliche Trennung zwischen Infraschall und den im Strömungsfeld herrschenden Druckänderungen (Luftdruckpulsen) zwingend erforderlich. Denn es handelt sich um unterschiedliche Entstehungsmechanismen und unterschiedliche Wirkungspfade in einem anderen Frequenzbereich auf den Menschen. Infraschall wird mit Rezeptoren im Bereich um 10 Hz erfasst, für Druckänderungen im Bereich von 1 bis 2 Hz sind andere Rezeptoren unseres Körpers zuständig.

Der Infraschall von Windenergieanlagen ist gut untersucht. Er ist nicht hör- oder wahrnehmbar und liegt weit unter der menschlichen Wahrnehmungsschwelle.

Soweit es sich um Infraschall handelt, also periodischer tieffrequenter Schall bis runter in den Bereich von 8 Hz schließe ich mich dem an. Eine Staudruckänderung im Takt von 1 oder 2 Sekunden ist aber kein Infraschall, anschaulich: Wenn ich Sie alle 2 Sekunden berühre werden Sie das doch nicht als Infraschall bezeichnen. Physikalisch handelt es sich zwar auch um Druckänderungen, nur der Wirkungspfad über ganz andere Rezeptoren zur Wahrnehmung durch den Menschen ist ein ganz anderer. Deshalb können Sie auch nicht mit den Beurteilungsmethoden der TA Lärm (wie dies im Immissionsschutz erfolgt) eine Entscheidung treffen zur Wirkung auf den Menschen. Ab welcher Höhe der Mensch Luftdruckänderungen im Sekundenbereich wahrnimmt, das war Frage 2, welcher Sie ausgewichen sind.

Einen Sicherheitsabstand, der zur Wohnbebauung deshalb zum Gesundheitsschutz einzuhalten ist gibt es daher nicht... und wäre wissenschaftlich unbegründet. Der Abstand von Windenergieanlagen zur Wohnbebauung ergibt sich im Wesentlichen aus den Vorschriften zum Immissionsschutz.

Ihre Aussage ist sehr mutig nach all dem Gesagten. Übernehmen Sie und die im Verteiler Ihres Schreibens aufgeführten Kollegen des Kompetenzzentrums persönlich für gesundheitlich betroffene Menschen die Verantwortung mit diesem von Ihnen dokumentierten Kenntnisstand?

Fazit:

Das „Kompetenzzentrum Windenergie“ der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg hat auf drei gestellte Fragen zur Klärung einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch Luftdruckpulse im Strömungsfeld nach Windkraftanlagen ausweichend geantwortet. Das Antwortschreiben dokumentiert, dass in der Fachbehörde offensichtlich keine Kenntnisse zur Strömungsmechanik vorhanden sind, um die gestellten Fragen fachgerecht zu beantworten. Von einer Fachbehörde des Landes, welche der Genehmigungsbehörde übergeordnet ist, muss man erwarten, dass dort auch Fachwissen über die gültigen Regeln des Immissionsschutzes hinaus vorhanden ist.

Dr. Wolfgang Hübner
Diplom-Physiker

Anlagen:

Anlage 1: Einspruch an den RVBO von 29.01.24

Anlage 2: „Klärungsbedarf zur Publikation von Koch, Holzheu, Hundhausen“

Anlage 1: Einspruch an den RVBO vom 29.01.24

Dr. Wolfgang Hübner
Diplom-Physiker
Bad Wurzach

29. 01.2024

An den Regionalverband Bodensee-Oberschwaben RVBO

Einwand zur Planung des RVBO bezüglich dem festgesetzten Mindestabstand von Windkraftanlagen zur Wohnbebauung

Sehr geehrte Damen und Herren,
zur Planung des Regionalverbandes bezüglich dem Mindestabstand von WKA zur Wohnbebauung mache ich folgenden Einwand geltend:

Die Planung des RVBO sieht einen Mindestabstand von nur 600 m zwischen den Windkraftanlagen und den Anliegern vor, damit ist der Gesundheitsschutz der Anlieger nicht gewährleistet.

Begründung:

Eine kurze allgemein verständliche Begründung dazu liegt bei (Anlage 1) "Ist Maschinenschutz wichtiger als Menschenschutz".

Die für unsere Region zuständige Genehmigungsbehörde (Landratsamt Ravensburg, Sachgebietsleiter Herr Neisecke) habe ich wiederholt auf die Lücke im Genehmigungsverfahren im Hinblick auf den ausreichenden Schutz der Anlieger vor den unvermeidbaren Emissionen von Luftdruckpulsen der WKA hingewiesen und insbesondere um Beantwortung folgender Fragen gebeten:

- Wie hoch sind die pulsartigen Luftdruckänderungen im Druck-Zeit-Verlauf, angegeben in Pascal, bevorzugt im gerichteten Nachlauf von Windkraftanlagen heutiger Größe, abhängig von Entfernung und Betriebszuständen der Anlagen, insbesondere im oberen Leistungsbereich der Anlagen und im Aufpunkt des Strömungsfeldes, wo das getaktete Strömungsfeld erstmalig den Boden berührt?
- Ab welcher Luftdruckänderung im Sekundenbereich angegeben in Pascal, kann der menschliche Körper mit seinen vielen auf Wechseldruck empfindsamen Rezeptoren diese Luftdruckpulse wahrnehmen und mit welcher Auswirkung auf seine Gesundheit?
- Welcher Mindestabstand zwischen einer WKA heutiger Größe und einem dauerhaften Aufenthaltsort eines Menschen (Wohnbebauung) ist deshalb zum Gesundheitsschutz geboten?

Mit Schreiben vom 16.01.2023 bat ich das Landratsamt (mit Kopie an den RVBO sowie die Landräte und Bürgermeister unserer Region) eine Antwort zu den drei Fragen zu geben (ohne Reaktion).

Anlässlich einer Präsentation eines Planers am 24.04.2023 im Kurhaussaal in Bad Wurzach war das Landratsamt RV mit einem Informationsstand vertreten. Der verantwortlichen Dame der Genehmigungsbehörde erläuterte ich in Gegenwart der anderen Gruppenteilnehmer und des Moderators (Herr Dreier, der auch in Weingarten moderierte) kurz den strömungstechnischen Mechanismus zur Bildung der Luftdruckpulse, um dann die gezielte Frage zu stellen: "Werden die vom Windrad erzeugten Druckänderungen im Sekundentakt im Nachlauf der WKA im Zuge des Genehmigungsverfahrens gemessen und einer Bewertung im Hinblick auf deren gesundheitliche Relevanz unterzogen?" Die Dame antwortet mit einem "Nein" und bestätigte dies nochmals bei meiner zweiten Nachfrage.

Mit Schreiben vom 25.07.2023 bat ich den Leiter der Genehmigungsbehörde Herrn Neisecke um ein Gespräch zur Erläuterung dieser genehmigungstechnischen Lücke, worauf ich keine Antwort erhielt. Dem Schreiben lag meine tiefergehende Begründung bei, warum der Gesundheitsschutz bei 600 m Abstand nicht gewährleistet ist.

Dazu folgender Hintergrund: Das genehmigende Landratsamt beruft sich im Zuge von Genehmigungsverfahren u.a. auf Aussagen der übergeordneten Fachbehörde LUBW. Die LUBW wiederum beruft sich zur Begründung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit des Strömungsfeldes

einer WKA in einer Antwort an einen Landtagsabgeordneten fachlich auf die Publikation der Autoren Koch, Holzheu, Hundhausen "Windenergieanlagen und Infraschall: Keine Evidenz für gesundheitliche Gefährdung". Die dort gegebene fachliche Begründung, wie sie von LUBW genutzt wird, ist jedoch meines Erachtens falsch. In meiner beigelegten Entgegnung habe ich begründet, welche Fehler in dieser Publikation sind und warum sehr wohl mit einer Gesundheitsgefährdung im Nahfeld der Anlagen zu rechnen ist. Diese Begründung ging auch an die LUBW (Anlage 2), ohne Reaktion.

Die wesentlichen fachlichen Einwände zu dem nicht gewährleisteten Gesundheitsschutz der Anlieger fasse ich zusammen:

- LUBW und die genehmigenden Behörden berufen sich in der Frage der gesundheitlichen Unbedenklichkeit auf Schallmessungen von Schallgutachtern (die nach TA Lärm arbeiten), wonach Windkraftanlagen im Infraschallbereich Druckänderungen von lediglich **0,1 Pascal** erzeugen. Im Nachlauf einer WKA haben wir es aber nicht mit einem Schallproblem, sondern einem Mechanismus der Strömungsmechanik zu tun. Die Druckänderungen entstehen unvermeidbar durch das getaktete Abbremsen des Strömungsfeldes. Allein aus den unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Strömungsfeld (ein Teil des Windes geht nahezu ungehindert zwischen den Flügeln durch, der andere Teil wird durch die Flügel umgelenkt und verliert dadurch an Geschwindigkeit) muss mit Staudruckunterschieden im Nachlauf des Rotors von mehr als 100 Pascal gerechnet werden. Nur so ist erklärbar, dass durch diese kräftigen Druckänderungen im Nahfeld der Fledermaus die Lungengefäße bis zur Verblutung zerstört werden und nur so ist erklärbar, dass die Planer zum nächsten Windrad heutiger Größe einen Sicherheitsabstand von 900 m einhalten, damit die Luftdruckpulse das nachfolgende Windrad nicht durch Ermüdungsbrüche vorzeitig schädigen. Weitere Belege zum gepulsten Strömungsfeld folgen aus den Computersimulationen des Nachlaufs der WKA einschlägiger Unternehmen. Auch Messungen zu einem Windradmodell im Windkanal bestätigen ein im Takt von einer Sekunde wechselndes Druckfeld, gemessen in Pascal im Druck-Zeitverlauf. Die Computersimulationen belegen weiterhin die gerichtete Abstrahlung dieses pulsierenden Strömungsfeldes. Dabei handelt es sich um einen vergleichbaren Mechanismus wie er von Flugzeugen als Wirbelschleppen bekannt ist und wodurch die einzuhaltenden Sicherheitsabstände zwischen zwei Flugzeugen bedingt sind. Wie beim Flugzeug, verliert das getaktete und scheinwerferförmige Strömungsfeld nur langsam seine Energie und wirkt somit über das Nahfeld der WKA weit hinaus, ein völlig anderes Ausbreitungsverhalten als von tieffrequentem Schall und Infraschall bekannt ist.
- In verschiedenen fachlichen Publikationen der LUBW beruft sich die Behörde auf eine viel zu hohe Wirkungsschwelle für den menschlichen Körper auf Druckänderungen mit einem Wert von 130 dB = **63 Pascal**. Dieser Wert ist viel zu hoch, denn 130 dB entspricht einer Druckänderung, wie sie durch das Auflegen von einem Stapel mit 78 Blatt Papier auf unseren Körper entsteht. Jeder kann dagegen an seinem Körper selbst über ein einfaches Experiment feststellen, dass er schon eine Druckänderung von weniger als 1 Pascal spürt.

Fazit:

Der vom RVBO der Planung zugrunde gelegte Mindestabstand von 600 m zu bewohnten Häusern beruht auf der Annahme, dass von WKA heutiger Größe in diesem Abstand keine Gesundheitsgefährdung für die Anlieger besteht. Diese Annahme stützt sich auf Publikationen, wie diese von der übergeordneten Fachbehörde LUBW als fachlich korrekt eingestuft werden.

Dagegen mache ich geltend, dass in den von LUBW genutzten Publikationen zur Bescheinigung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit eine viel zu niedrig angesetzte Druckänderung im Nachlauf der WKA (etwa 0,1 Pa) verglichen wird, mit einer viel zu hohen Ansprechschwelle (63 Pa) für unsere drucksensitiven Rezeptoren. Für den in 600 m vom Windrad lebenden Anlieger ist somit nicht aus-geschlossen, dass er einer Gesundheitsgefährdung ausgesetzt wird. Zur Klärung sind die drei eingangs gestellten Fragen zu beantworten, wie ich diese wiederholt an das Landratsamt und an die über-geordnete Fachbehörde LUBW gestellt habe.

Mit freundlichen Grüßen
Dr. Wolfgang Hübner

Anlage 1: Ist Maschinenschutz wichtiger als Menschenschutz?
Anlage 2: Klärungsbedarf zur Publikation von Koch, Holzheu, Hundhausen

Anlage 2: „Klärungsbedarf zur Publikation von Koch, Holzheu, Hundhausen“

Dr. Wolfgang Hübner
Dipl.-Physiker
Bad Wurzach

17.07.2023

An

Frau Dr. Susanne Koch, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Anästhesiologie
Herrn Dr. Stefan Holzheu, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, BayCEER-EDV, Universität Bayreuth
Herrn Prof. Martin Hundhausen, Department Physik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen

Windenergie und Infraschall: Gesundheitliche Beeinträchtigung

Sehr geehrte Frau Dr. Koch,
sehr geehrter Herr Dr. Holzheu,
sehr geehrter Prof. Hundhausen,

ich beziehe mich auf Ihre Publikation „Windenergieanlagen und Infraschall: Keine Evidenz für gesundheitliche Beeinträchtigung“ Dtsch Med Wochenschr 2022; 147:112-118 sowie auf die von Dr. Holzheu in der Homepage von BayCEER ausgeführten Erläuterungen zur angewandten Messtechnik und den verschiedenen messtechnischen Projekten.

Zu dem von Ihnen dargestellten Ergebnis stellen sich einige Fragen, wozu ich um Ihre Antwort bitte.

Vorab die Punkte zu welchen ich Einvernehmen zwischen uns einschätze:

- Windräder erzeugen neben Schall und niederfrequentem Infraschall prozessbedingte Luftdruckpulse im Takt der dreifachen Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors, somit im Sekundenmaßstab. Ob von diesen Luftdruckpulsen eine gesundheitliche Beeinträchtigung ausgehen kann hängt von der Höhe, der Dauer und auch der Form der auf den Menschen einwirkenden Pulse ab.
- Das Druck-Zeit-Signal ist für die Luftdruckpulse im Sekundenbereich geeignet, um die Wirkung auf den Menschen zu untersuchen. Denn der Mensch hat eine Vielzahl von auf Wecheldruck empfindlichen Rezeptoren zur Erfassung und Steuerung vielfältiger Funktionen. (Holzheu: „Menschliche Wahrnehmungsprozesse laufen im Sekundenmaßstab ab“; „Eine notwendige Voraussetzung für die Wahrnehmbarkeit muss sein, dass das Windrad das Drucksignal im Sekundenmaßstab deutlich verändert“).
- Die primäre Quelle für die Bildung dieser Luftdruckpulse besteht in dem getakteten Abbremsen des (im Idealfall) laminaren Luftstroms beim Passieren der Rotorblätter (mit Entzug der kinetischen Energie/Geschwindigkeitsreduzierung/Staudruckreduzierung) im Wechsel mit dem freieren Durchgang des Windstroms zwischen den Rotorblättern. Unter Zugrundelegung des Gesetzes von Betz liegt bei einer Windgeschwindigkeit von 50 Km/h und etwa 120 Pa Staudruck vor dem Rotor die mittlere Geschwindigkeit nach dem Rotor bei etwa 20 km/h und verursacht dort einen gemittelten Staudruck von etwa 20 Pa. In dem getakteten Strömungsfeld besteht somit das Potenzial für Staudruckdifferenzen von etwa 100 Pascal. Publierte Messungen im Windkanal bestätigen den gerichteten getakteten Nachlauf mit nahezu sinusförmigen Druckschwankungen in dem idealen Strömungsfeld. Computer-Simulationen des Strömungsfeldes einschlägiger Unternehmen (wie nvida und Rheologic) belegen das scheinwerferförmig gerichtete Strömungsbild im Nachlauf des Rotors, mit der zentralen Helix

bestehend aus Druck- und Geschwindigkeitswechseln sowie den vom Flügelrand emittierten Wirbeln (analog zu Flugzeugen). Die Computer-Analysen dieser Unternehmen (die auch bei der Planung von Windparks eingeschaltet werden) zeigen, dass sich das helixförmig getaktete Strömungsfeld bis 1000 m und mehr erhält. Messungen im Fernfeld bestätigen die gerichtete Ausbreitungscharakteristik des Nachlaufs der WKA mit deutlich geringerer Dämpfung/Abnahme als dies von Schall und niederfrequentem Schall bekannt ist. BGR kann mit seiner Messtechnik die Druckwechsel im Takt der Flügel noch in 20 km Entfernung nachweisen. Wie von dem strömungstechnisch vergleichbaren Prozess von Flugzeugen bekannt ist, entlädt das Strömungsfeld seine getaktete Energie beim erstmaligen Bodenkontakt über eine kräftige Wechselwirkung, dadurch breiten sich dann die Druckänderungen auch seitlich aus.

- Den Planern von Anlagen ist die strömungsmechanische Problematik des Nachlaufes einer Windkraftanlage bekannt. Bei Anlagen heutiger Größe (180 m Rotordurchmesser) halten Sie deshalb einen Abstand von 900 m (5-facher Rotordurchmesser) in Strömungsrichtung zur nachfolgenden Anlage, um Ermüdungsbrüche durch die getaktete Anregung aus dem Nachlauf zu vermeiden aber auch aus energetischen Gründen. Laut DIBt-Richtlinie sind die mechanischen Design-Lasten aus diesem getakteten Druckfeld bis in eine Entfernung entsprechend dem 8-fachen Rotordurchmesser (bei 180 m Durchmesser =1440 m) zu berücksichtigen.
- Der Mensch kann die Wahrnehmung von Druckänderungen im Sekundenmaßstab sehr genau von einer beliebig starken Schallkulisse trennen, denn er hat separate Rezeptoren für die Registrierung von Schall einerseits und andererseits für Druckänderungen im Sekundenmaßstab. Das kann jeder selbst überprüfen: Die Druckänderung bei Auflage eines Papierblättchens auf der Hand registriert unser Tastsinn über seine wecheldruckempfindsamen Rezeptoren egal wie laut es in der Umgebung ist. Dabei spielt es auch keine Rolle, dass zur gleichen Zeit im Herz Druckwechsel in der Höhe von 16.000 Pa stattfinden, denn unser Nervensystem kann diese Ereignisse scharf trennen. Physikalisch besteht zwar wenig Unterschied zwischen hörbarem Schall und Druckänderungen im Sekundenmaßstab, aus dem Blickwinkel von Mensch und Tier handelt es sich jedoch um völlig getrennte Vorgänge wegen den getrennten Wirkungspfaden. Wenn ich Sie im Takt von einer Sekunde berühre, werden Sie das nicht als Infraschall bezeichnen.
- An die Messtechnik ist die Forderung zu stellen, dass sie Luftdruckschwankungen im Sekundenmaßstab im Druck-Zeit-Verlauf erfassen kann und insbesondere von den starken Windgeräuschen bei hoher Anlagenleistung trennen kann, wie dies der menschliche Körper kann.

Erklärungsbedürftig zu Ihrer Arbeit ist die Höhe und Wirkung dieser Luftdruckpulse auf den Menschen:

- Die von Ihnen genutzten Messungen ergaben in 300 m Entfernung vom Windrad Druckwechsel von 0,1 Pascal (rund 60 dB bei einer Frequenz von 1-5 Hz). Sie vergleichen das mit der deutlich größeren Druckänderung, welche ein Kind auf der Schaukel mit 12 Pa/m erfährt, oder dem Öffnen Ihrer Flurtür mit plus/minus 5 Pascal und schließen deshalb eine gesundheitliche Gefährdung durch diese Druckwechsel aus. Demgegenüber stehen die Tatsachen, dass der Fledermaus in Ihrem Flur vom Öffnen Ihrer Flurtür nicht die Lunge kollabieren kann (wie dies im Nahfeld des Rotors geschieht) und dass die Planer von WKA derart geringe Druckänderungen nicht als Auslegungslasten im Nachlauf berücksichtigen würden. Bildlich gesprochen: Wenn Sie neben einer WKA auf Ihrem Trampolin-Pulserzeuger beliebig fest springen, erzeugt das keine Ermüdungsbrüche am Windrad. Allerdings könnte ein trampolinähnlicher Luftdruckpulserzeuger ein besser geeignetes Gerät sein, als das in der

UBA-Studie verwendete, um in einem Schlaflabor die Ansprechschwelle im Sekundentakt bei Testpersonen im Rahmen einer Studie genauer zu ermitteln.

- Die von Ihnen zugrunde gelegte Wirkungsschwelle auf den Menschen mit etwa 130 dB = 63 Pascal ist viel zu hoch, das können Sie selbst an Ihrem Körper testen. Mit der spürbaren Auflage eines Papierblättchens mit 1 cm² auf der unbehaarten Handfläche erzeugen Sie lokal eine einmalige Druckänderung von 0,8 Pascal und um eine Druckänderung von 63 Pascal zu erzeugen, müssen Sie einen Stapel von 78 Papierblättchen auflegen, das spüren Sie doch zweifelsfrei. (Hinweis: Im Bereich der Hornhaut der Handfläche gibt es keine Rezeptoren/Haarverstärker an der Oberfläche. Die drucksensitiven Rezeptoren liegen geschützt unter der Hornhautschicht.)
- Bei meiner Recherche in medizinischen Publikationen konnte ich keine genauere Antwort zur Wirkungsschwelle des Menschen auf Druckänderungen angegeben in Pa bekommen, als die 0,8 Pa aus dem einfachen Papierblättchen-Experiment. Laut meiner diesbezüglichen Nachfrage bei Prof. Grunwald/Haptiklabor/Leipzig ist die Empfindlichkeit auf Druckänderungen im behaarten Bereich sogar noch viel größer „fällt ein Fliegenflügel mit 0,075 mg auf die Gesichtshaut löst dies einen Berührungsreiz aus“. Wobei die verstärkende Wirkung der behaarten Bereiche durchaus zur Wahrnehmung von Luftdruckänderungen in Betracht zu ziehen ist, denn die Kleidung überträgt flächig Druckänderungen auf den Körper. Die Empfindlichkeit unseres Körpers auf Druckänderungen im Sekundenbereich ist offenbar noch deutlich stärker, als dies einer Gewichtsauflage eines Papierblättchens entsprechend 0,8 Pa entspricht. Medizinisch/Physikalische Experimente zu Luftdruckänderungen im Sekundenmaßstab sollten hierzu Klarheit verschaffen.

Zur Diskrepanz bei der Ermittlung der Höhen der Luftdruckpulse könnten folgende Ursachen verantwortlich sein:

- Ihre Messpunkte lagen nicht im Nachlauftrichter des Rotors ab Leistungsmaxima der Anlage mit etwa 50 km/h und bis zum Abschaltunkt bei etwa 90 km/h bei verschiedenen Abständen und Randbedingungen der WKA, wie dies aus Sicht der Strömungsmechanik für die Höhe der Taktung im Nachlauf bestimmend ist.
- Aus dem starken Signalrauschen aufgrund der hohen Windgeräusche bei hoher Anlagenleistung konnten Sie messtechnisch nicht den Druck-Zeit-Verlauf in Pascal der Druckpulse im Sekundenbereich separieren.
- Sie haben nicht den Aufpunkt vermessen, wo das getaktete Strömungsfeld erstmalig den Boden berührt.

Fazit: In der Frage der möglichen Gesundheitlichen Beeinträchtigung durch Luftdruckpulse von Windkraftanlagen sind zu Ihrer Publikation folgende Punkte zu klären:

- **Die von Ihnen zugrunde gelegte Luftdruckpuls-Höhe von lediglich 0,1 Pascal.**
- **Die von Ihnen genutzte Wirkungsschwelle für den Menschen bei Luftdruckänderungen im Takt von etwa 1 sec in Höhe von 130 dB, entsprechend der am Körper erzeugten Druckänderung bei Auflage von einem Stapel mit 78 Blatt Papier.**

Ich bitte Sie um Ihre Stellungnahme.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Wolfgang Hübner