

## Schallwirkung von Windrädern auf Menschen

Dr. Wolfgang Hübner

### Kurzfassung:

*Große Windräder sind auch kräftige Schallgeneratoren für tieffrequente Schall- und Druckwellen im Bereich von 1 bis 400 Hz. Im Genehmigungsverfahren wird primär die Signalaufnahme unseres Ohrs als Maßstab für eine akzeptable Beeinträchtigung durch die Schallimmissionen genutzt. Unser Ohr ist jedoch nicht das einzige druckempfindliche Sinnesorgan. Vielmehr besitzen wir eine Vielzahl von Barorezeptoren, die auf Druck und Wechseldruck in einem breiten Frequenzbereich mit hoher Empfindlichkeit ansprechen. Belegt mit einem einfachen Experiment zeigen die nachfolgenden Überlegungen, dass bei den im tieffrequenten Bereich diskutierten Immissionsgrenzwerten ein Ansprechen weiterer druckempfindlicher Sinnesorgane sehr wahrscheinlich ist. Die dadurch ausgelösten Reize könnten für die bei Anliegern von Windkraftanlagen berichteten Symptome, wie innere Unruhe und Schlaflosigkeit, verantwortlich sein.*

Windräder mit 200 m Höhe und mehr erzeugen nicht nur Strom, sie sind auch kraftvolle Schallgeneratoren. Je größer das Windrad, umso intensiver und weiter wird Schall mit tiefen Frequenzen abgestrahlt und zwar zu einem wesentlichen Teil getaktet mit etwa 1 Hz, angeregt durch den Flügel-durchgang am Mast.

Der abgestrahlte Schall besteht aus Druckschwankungen mit einem für das Windrad typischen Frequenzspektrum. Diese Druckschwankungen breiten sich über die Luft und den Boden aus. Da Druck gleich Kraft pro Fläche ist, wirken auf den menschlichen Körper im Umfeld des Windrades messbare wechselnde Kräfte.

Als Maß für den Schalldruck wurde in der Messtechnik das logarithmische Maß „Schalldruckpegel“  $L_p = 20 \log$  (Gemessener mittlerer Druck/Bezugsschalldruck) mit der Einheit **dB** eingeführt. Dabei entspricht der Bezugsschalldruck einem Druck von  $2 \times 10^{-5}$  Pa (Pascal, wobei  $1 \text{ Pa} = 0,102 \text{ kg/m}^2$ ). Per Definition liegen 0 dB dann vor, wenn der gemessene Schalldruck gerade dem Bezugsschalldruck entspricht. Der Bezugsschalldruck wiederum entspricht etwa der Hörschwelle des Menschen bei einer Frequenz von 1000 Hz.

Zum Größenverständnis von Schalldruckpegeln ist es wichtig, sich die Wirkung des logarithmischen Maßstabs zu verdeutlichen: Egal mit welchem dB- Wert wir starten, 20 dB mehr von diesem Wert entsprechen einem Druckanstieg um den Faktor 10. Starten wir beispielsweise bei einem Immissionsgrenzwert von 40 dB, dann entsprechen 100 dB einem tausendfach höheren mittleren Druck als dieser bei 40 dB vorliegt.

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens (entsprechend TA Lärm mit zugehörigen Normen) wird der zulässige Schalldruck frequenzabhängig an die Empfangsleistung (Hörempfinden) des Ohrs angepasst, kenntlich gemacht durch den Index A bei der Maßeinheit **dB (A)**. Denn unser Sensor Ohr hört zwar gut im Bereich von 500 Hz bis 10.000 Hz, fällt dann bei höheren und tieferen Tönen in seiner Leistungsfähigkeit sehr schnell ab. Unter 20 Hz ist unser Ohr unempfindlich und das ist gut so. Denn würden die Drucksensoren in unserem Ohr noch im Bereich von 1 bis 20 Hz empfindlich sein, würden die Druckstöße von unserem Herzschlag andere Töne überdecken. Auch hier ist es wichtig, sich eine Größenvorstellung zu dem bei der A-Bewertung erfolgten „Herunterrechnen“ bei tiefen Frequenzen zu machen. Erfolgt beispielsweise gemäß erweiterter A-Kurve\* für eine Schallfrequenz von 7 Hz eine Korrektur um 80 dB, entspricht dies einer Druckkorrektur um den Faktor 10.000. Mit anderen Worten: Wären bei einem 1.000 Hz Ton noch 40 dB zulässig, dann wäre eine 7 Hz Druckschwingung mit  $40 \text{ dB} + 80 \text{ dB} = 120 \text{ dB}$  noch zulässig. Würde man allerdings das Ohr in seinem guten Hörbereich bei 1.000 Hz den 120 dB aussetzen, würde dieser druckempfindliche Sensor mit Schmerz reagieren.

Der Mensch besitzt nicht nur das Ohr als druckempfindliches Organ, vielfältige andere Drucksinnesorgane (Barorezeptoren) dienen zum Schutz und zur Steuerung unserer Körperfunktionen: Unser Tastsinn beruht auf den in der Haut vorhandenen druckempfindlichen Sensoren. Die in der Haut und in einzelnen Organen angeordneten Vater-Pacini-Körperchen sind unsere Spezialisten zur Erfassung

von Vibrationen im Frequenzbereich von 40 bis 300 Hz. Und im Blutkreislauf werden Druck und Druckschwankungen von speziellen Barorezeptoren gemessen, Abweichungen werden mit einer Reaktionszeit von 1 sec ins Nervensystem gemeldet und lösen korrektive Gegenmaßnahmen aus, wie z.B. die Erhöhung der Herzfrequenz.

**Die kritische Frage ist: Können die von Windrädern abgestrahlten und genehmigungstechnisch zulässigen niederfrequenten Druckschwankungen unsere vielfältig vorhandenen druckempfindlichen Sensoren anregen und damit unerwünschte Reaktionen im Nervensystem auslösen?**

Für eine korrekte Beantwortung dieser Frage ist das komplette tieffrequente Schalldruckspektrums eines Windrades am Ort der betroffenen Person mit den Ansprechschwellen der vielfältigen Drucksensoren des Menschen in Relation zu setzen.

In einer ersten Näherung genügt eine Abschätzung, in welcher Größenordnung tieffrequente Schallspitzen eines genehmigungsfähigen Windrades den Menschen erreichen können und ob deshalb eine Reaktion unserer druckempfindlichen Sensoren wahrscheinlich sein kann.

Dazu **im ersten Schritt eine einfache experimentelle Abschätzung** zur Druckempfindlichkeit unseres Tastsinnes:

- Lässt man ein 10x10x0,1 mm großes Papier auf die Handfläche fallen, wird die Druckänderung beim Auftreffen deutlich registriert. Noch deutlicher erfolgt dies auf dem behaarten Handrücken, die Haare wirken dort offenbar über die Hebelwirkung als Verstärker. Registriert wird die einmalige Druckänderung, danach haben wir kein Empfinden für den geringfügig erhöhten Druck an dieser Stelle.
- Das Papier mit einem Volumen von 10 mm<sup>3</sup> hat ein Gewicht von etwa 0,01 g.
- 0,01 g auf einer Auflagefläche von 1 cm<sup>2</sup> entspricht einer lokalen Druckerhöhung um 1 Pa.

Das Experiment belegt die hohe Druckempfindlichkeit unseres Tastsinnes für Druckänderungen, dabei haben wir noch nicht die Grenzemfindlichkeit bestimmt, die auch noch eine Größenordnung tiefer liegen kann. Auch repräsentiert der Tastsinn nur einen Typ der vielen druckempfindlichen Sensoren. Die den Blutkreislauf regelnden filigranen Barorezeptoren sind möglicherweise noch deutlich empfindlicher. Wir können somit aus dem Experiment schließen, dass unsere druckempfindlichen Sensoren bei Druckänderungen von **1 Pa** und weniger ansprechen und Impulse an das Nervensystem abgeben.

**Im zweiten Schritt** stellt sich die Frage, ob für ein entsprechend TA Lärm (mit zugehörigen Normen) genehmigtes Windrad am Ort eines betroffenen Anliegers unterstellt werden kann, dass Druckschwankungen im tieffrequenten Bereich in der Größenordnung von 1 Pa auftreten.

Da das tatsächliche Schallspektrum des Windrades im niederfrequenten Bereich nicht verfügbar ist wird folgende vereinfachte Annahme getroffen: Wir vergleichen einen reinen bei 1000 Hz schwingenden Tongenerator mit einem reinen „Brummgenerator“ bei 7 Hz. Für beide Generatoren wird als genehmigter Immissionsgrenzwert 40 dB (A) angenommen (dies entspricht dem zulässigen Grenzwert eines allgemeinen Wohngebietes in der Nacht).

- Würde am Messort vom 1000 Hz Signal ein Schalldruck entsprechend dem Bezugsschalldruck von  $2 \times 10^{-5}$  Pa gemessen werden, so hätten wir dort per Definition des Schalldruckpegels gerade 0 dB.
- 40 dB (A) vom 1000 Hz Ton entsprechen gleichzeitig 40 dB (denn in diesem Frequenzbereich erfolgt über die A-Kurve noch keine wesentliche Korrektur). Somit entsprechen  $40 \text{ dB(A)} = 40 \text{ dB}$  des 1000 Hz Tons einem Schalldruck von  $100 \times 2 \times 10^{-5} \text{ Pa} = 2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ .
- 40 dB (A) der 7 Hz Druckschwingung wurden um 80 dB entsprechend der erweiterten A-Kurve\* gegenüber dem tatsächlichen Druck von 40 dB korrigiert. Die Korrektur um 80 dB entspricht einem Faktor von 10.000. Der zu 40 dB (A) zugehörige Schalldruck ist somit 10.000 mal höher als der zu 40 dB(A) bei 1000 Hz zugehörige Schalldruck und beträgt somit  $2 \times 10^1 \text{ Pa} = \mathbf{20 \text{ Pa}}$ .

Die vorliegende Abschätzung ist als erste Näherung zur Frage zu verstehen, ob es aus physikalischer Sicht denkbar ist, dass die von genehmigungsfähigen Windrädern emittierten niederfrequenten Druckwellen in der Lage sind, die vielfältigen Drucksensoren unseres Körpers anzuregen.

**Die Abschätzung zeigt, dass im Genehmigungsverfahren von Windrädern tieffrequente Schallwellen in Größenordnungen zugelassen werden, welche unsere vielfältigen Drucksensoren ansprechen können. Die von betroffenen Anliegern von Windrädern vielfältig berichteten typischen Symptome wie „innere Unruhe“ und „Schlafstörungen“ könnten deshalb eine Folge der periodischen und vom Rhythmus unnatürlichen Reizwirkungen auf unsere vielfältigen Drucksensoren sein.**

Bad Wurzach, 02. August 2017

\* Erweiterte A-Kurve siehe: Christian Fabris/Umweltbundesamt „Überarbeitung der Grenzwerte für tieffrequenten Schall“, Fachgespräch an 25.04.2017 im Landtag Brandenburg.