

# Bedeutung des Ausbaus der Windenergie für die menschliche Gesundheit

## Consequences of wind energy for health

*Dorothee Twardella*

### **Abstract**

The manuscript summarizes the scientific literature on potential health effects associated with the operation of wind turbines. As emissions ice throw, shadow flicker, infrasound and noise are discussed. The risk of ice throw and serious annoyance caused by shadow flicker are minimized by current regulation. The infrasound generated by wind turbines is far below the threshold of perception even at a rather short distance. It thus can be assumed that infrasound from wind turbines does not pose a risk to human health. Annoyance and sleep disturbances caused by noise cannot be ruled out. A health impact assessment is needed to evaluate systematically the direct and indirect risks as well as benefits of the substitution of fossil energy with wind energy.

### **Zusammenfassung**

Vor dem Hintergrund des Ausbaus der Windenergie wird die wissenschaftliche Literatur zu möglichen gesundheitlichen Risiken durch Windenergieanlagen (WEA) dargestellt. Als Emissionen werden Eiswurf, periodischer Schattenwurf, Infraschall und Hörschall diskutiert. Gefahren durch Eiswurf und erhebliche Belästigung durch periodischen Schattenwurf werden durch entsprechende Maßnahmen minimiert. Die Infraschallimmissionen liegen bereits bei geringem Abstand zu einer WEA unterhalb der Hör- und Wahrnehmungsschwelle. Daher ist nicht von einem gesundheitlichen Risiko auszugehen. Belästigung und Schlafstörungen durch Schallimmissionen im Hörschallbereich können nicht völlig ausgeschlossen werden. Über die alleinige Betrachtung der direkten gesundheitlichen Risiken hinaus wäre eine Analyse der direkten und indirekten Risiken und auch Chancen, die sich durch die Umstellung von fossilen Energieträgern auf Windenergie ergeben, im Sinne einer Gesundheitsfolgenabschätzung sinnvoll.

## **Einleitung**

Im Rahmen der Energiewende wird in Deutschland der Ausbau der Windenergie forciert vorangetrieben. Dieser Ausbau ist in dem Beitrag begründet, den die Windenergie für eine nachhaltige Energieversorgung leisten kann (LfU 2012): Bei der Windenergie handelt es sich um eine regenerative Energiequelle, die dauerhaft zur Verfügung steht; die energetische Amortisation ist relativ schnell erreicht, das heißt, die Energie, die zur Herstellung, Transport und Aufbau einer Anlage investiert werden muss, wird bereits in drei bis sechs Monaten von dieser Anlage wieder gewonnen; und bei dem Betrieb der Windenergieanlage entstehen keine klimagefährdenden Gase.

Parallel zu dem Ausbau der Windenergie gelangen verstärkt Berichte von Anwohnern von Windenergieanlagen (WEA) in die Öffentlichkeit. Diese Anwohner berichten über Symptome und Beschwerden bis

hin zu schwerwiegenden Erkrankungen, die durch diese Anlagen ausgelöst seien. Es stellt sich somit die Frage, ob die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit bei dem Ausbau der Windenergie bisher ausreichend berücksichtigt wurden beziehungsweise inwiefern Windenergieanlagen überhaupt ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen (Ellenbogen et al 2012; Knopper, Ollson 2011).

## **Diskutierte Gesundheitsrisiken durch Windenergieanlagen**

### ***Eiswurf***

An den Rotorblättern von WEA kann sich bei entsprechender Witterung Eis bilden. Dieses kann parallel zum Mast der Anlage herabfallen oder – bei Bewegung der Rotorblätter – geschleudert werden.

Herabfallendes oder geschleudertes Eis kann zu einer direkten Gefährdung führen.

Um eine solche Gefährdung zu verhindern, sind zum einen ein Mindestabstand bis zum nächsten gefährdeten Objekt einzuhalten und zum anderen betriebliche oder technische Vorkehrungen zu treffen (z. B. Abschaltung der WEA bei Eisbildung, Rotorblattenteisungssysteme; siehe z. B. StMI et al. 2011).

Bei der Problematik Eiswurf handelt es sich somit um ein klar umschriebenes Risiko, welches durch die entsprechenden Maßnahmen minimiert werden kann.

### **Periodischer Schattenwurf**

Durch die betriebsbedingt periodische Bewegung des Rotors von WEA entsteht bei entsprechender Sonneneinstrahlung ein periodischer Schatten. Als wesentliche Wirkung dieses periodischen Schattens wird die Belästigung angesehen.

Um eine erhebliche Belästigung zu verhindern, sind die WEA-Schattenwurf-Hinweise des Länderausschusses für Immissionsschutz zu berücksichtigen (LAI 2002). Laut diesen Hinweisen wird eine Einwirkung durch zu erwartenden periodischen Schattenwurf als nicht erheblich belästigend angesehen, wenn „die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer unter kumulativer Berücksichtigung aller WEA-Beiträge am jeweiligen Immissionsort in einer Bezugshöhe von 2 m über dem Erdboden nicht mehr als 30 Stunden pro Kalenderjahr und darüber hinaus nicht mehr als 30 Minuten pro Kalendertag beträgt.“ Die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer ist die Zeit, bei der die Sonne theoretisch während der gesamten Zeit zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang durchgehend bei wolkenlosem Himmel scheint, die Rotorfläche senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht und die Windenergieanlage in Betrieb ist. Eine astronomisch mögliche Beschattungsdauer von 30

Stunden pro Jahr entspricht einer meteorologisch wahrscheinlichen Beschattungsdauer (die Zeit, für die der Schattenwurf unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen berechnet wird) von acht Stunden pro Jahr.

Wissenschaftliche Studien zu den Wirkungen des periodischen Schattenwurfes auf den Menschen gibt es bisher kaum. Aus Deutschland liegen eine Laborpilotstudie und eine Feldstudie vor, die sich mit dem Zusammenhang zwischen dem periodischen Schattenwurf und erheblicher Belästigung beschäftigen (Pohl et al. 1999; Pohl et al. 2000). Diese sind jedoch nur als Abschlussbericht und nicht in einem peer reviewed-Journal veröffentlicht. Auch international sind keine weiteren wissenschaftlichen Studien hierzu bekannt.

### **Infraschall**

Infraschall umfasst Schall der Frequenzen unterhalb von 20 Hz. Häufig wird Infraschall als nicht hörbarer Schall beschrieben. Schall mit Frequenzen im Infraschallbereich ist aber prinzipiell hörbar, jedoch erst bei sehr hohen Schalldruckpegeln (Leventhall 2007). Darüber hinaus ist Infraschall nicht nur über die Ohren wahrnehmbar, sondern kann auch gefühlt werden. Diese Gefühle werden häufig als Ohrendruck, Vibrationen oder Unsicherheitsgefühl beschrieben. Der Übergang zwischen Hören und Fühlen ist im Infraschallbereich fließend.

Infraschall kann grundsätzlich Wirkungen auf den Menschen ausüben. Ebenso wie im Bereich des Hörschalls muss aber auch im Bereich des Infraschalls die Wirkung immer in Abhängigkeit von der Höhe des Schalldruckpegels betrachtet werden. Entscheidend ist insbesondere, ob die Immission die Hör- beziehungsweise Wahrnehmungsschwelle erreicht. Die in Normen beschriebenen Schwellenwerte geben die mediane Hörschwelle (DIN 45680 1997) beziehungsweise den Schwellenwert, unter dem 90 Prozent der Bevölkerung Infraschall nicht

**Tabelle 1: Hörschwellen und Wahrnehmungsschwellen im Infraschall-Frequenzbereich nach DIN 45680 (1997) und E DIN 45680 (2011).**

Schwelle	Schalldruckpegel bei einer Frequenz von				
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz
Hörschwellenpegel in dB(Z)	103	95	87	79	71
Wahrnehmungsschwellenpegel in dB(Z)	100	92	84	76	68,5

**dB(Z): unbewerteter mittlerer Schalldruckpegel.**

wahrnehmen (E DIN 45680 2011) an, die individuelle Hörschwelle kann aber noch niedriger liegen (**Tabelle 1**).

Gesundheitliche Wirkungen ließen sich in der wissenschaftlichen Literatur bisher nur bei Schallpegeln oberhalb der Hörschwelle zeigen (HPA 2010). Sehr hohe Schallpegel können zu Gehörschäden führen. Diskutiert werden Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System bei Infraschallbelastungen oberhalb der Hörschwelle. Darüber hinaus werden als Wirkungen Ermüdung, Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit, Benommenheit, Schwindungsgefühl und Abnahme der Atemfrequenz, Beeinträchtigung des Schlafes und erhöhte Morgenmüdigkeit sowie mögliche Resonanzwirkungen berichtet (Malsch et al. 2007). Infraschall oberhalb der Hörschwelle hat eine stärkere Störwirkung als Schallpegel aus höheren Frequenzen.

Unterhalb der Hörschwelle konnten bisher keine Wirkungen des Infraschalls auf den Menschen belegt werden (Ising, Schwarze 1982; Moller 1984; Landström, Byström 1984). Allerdings liegen aufgrund der schwachen Studienlage hierzu auch nur begrenzte Erkenntnisse vor.

Die Infraschallimmissionen der heutzutage üblichen WEA liegen bereits bei geringen Abständen deutlich unterhalb der durchschnittlichen Hör- und Wahrnehmungsschwelle (Jakobsen 2005). Daher ist davon auszugehen, dass die Infraschallimmissionen von WEA keine Gefährdung für die menschliche Gesundheit darstellen.

### **Hörschall**

Die Geräuschimmissionen einer WEA im Bereich des Hörschalls (20 bis 20.000 Hz) sind nach den Grundsätzen der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) mit begleitendem Regelwerk zu beurteilen. Die nächtlichen Immissionsrichtwerte liegen für Mischgebiete bei 45 dB(A), für allgemeine Wohngebiete bei 40 dB(A) und für reine Wohngebiete bei 35 dB(A). Die Richtwerte tagsüber liegen jeweils 15 dB(A) höher.

Die Geräuschimmissionen von Windenergieanlagen liegen im Vergleich zu anderen Lärmquellen im Umweltbereich, zum Beispiel Verkehrslärm, sehr niedrig. Auf Basis der vorliegenden Literatur lassen sich jedoch Lärmbelästigung und Schlafstörungen durch diese Geräusche nicht völlig ausschließen.

Unter Lärmbelästigung wird die subjektiv eingeschätzte Störung durch Lärm verstanden. Aus Studien im Bereich des Verkehrslärms ist bekannt, dass sich mit zunehmendem Schallpegel ein immer höherer Anteil der Bevölkerung belästigt fühlt. Es ist aber auch bekannt, dass nicht nur alleine die Höhe des Schallpegels eine Rolle für die individuelle Lärmbelästigung spielt, sondern auch viele andere Faktoren wie etwa die Art der Lärmquelle, die Einstellung gegenüber der Lärmquelle, die Erwartungen hinsichtlich der Entwicklungen der Lärmbelastung und auch die individuelle Lärmempfindlichkeit.

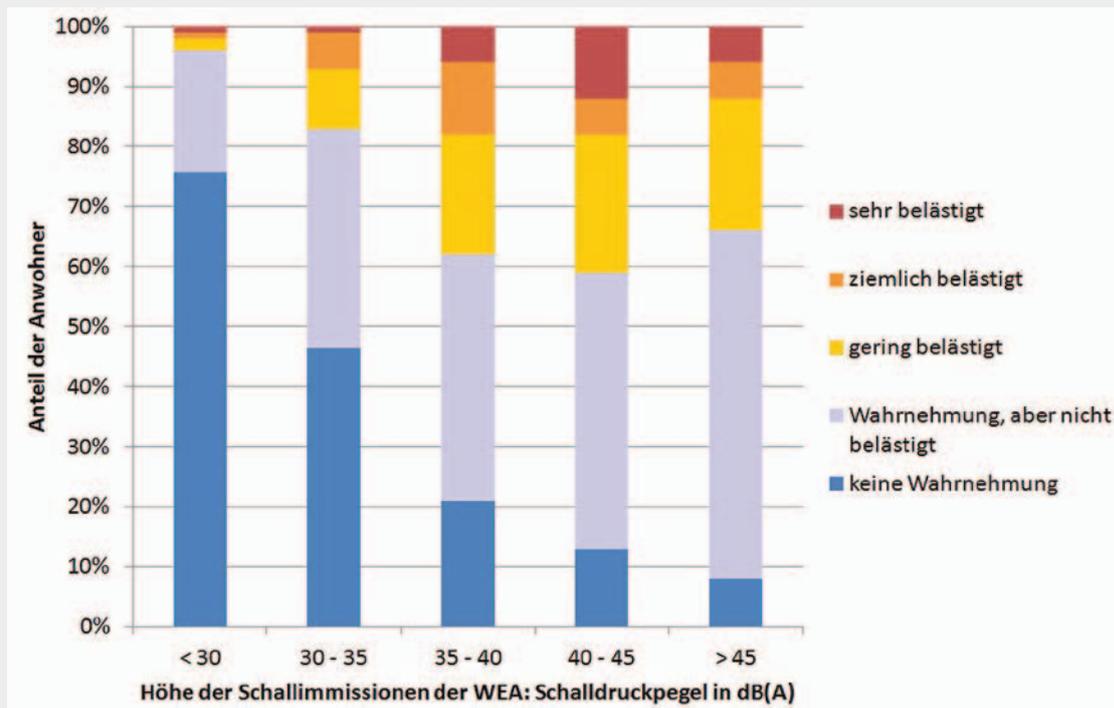
In einigen epidemiologischen Studien wurde die Lärmbelästigung unter Anwohnern von WEA untersucht (Pedersen, Waye 2004; Pederson, Waye 2007; Pedersen et al. 2009). Hierbei wurden die Anwohner mittels einer 5-stufigen Skala gefragt, ob sie die Geräusche von WEA wahrnehmen und ob sie sich dadurch belästigt fühlen. Parallel wurden die durch die WEA verursachten Schallpegel an der Außenfassade der Wohnhäuser geschätzt. Dabei zeigte sich bereits bei den niedrigen Schallimmissionen der WEA ein gewisser Anteil, der sich belästigt oder sogar stark belästigt fühlt. Ergebnisse einer niederländischen Studie unter 708 Anwohnern (Pedersen et al. 2009) sind beispielhaft in **Abbildung 1** dargestellt.

In der Studie wurde nicht nur beobachtet, dass sich – wie erwartet – mit steigendem Schalldruckpegel ein zunehmender Anteil belästigt fühlt, sondern auch, dass die Belästigung stark von der Sichtbarkeit der Anlage abhängt. Weiterhin spielten finanzielle Aspekte eine starke Rolle: Anwohner, die finanzielle Vorteile durch die WEA hatten, fühlten sich auch in den hohen Schallpegelkategorien nicht belästigt.

Bei gleichen Schalldruckpegeln ist der Anteil an Personen, der sich stark belästigt fühlt, bei WEA höher als bei den Verkehrslärmquellen Flugverkehr, Schienenverkehr und Straßenverkehr (Janssen et al. 2011). Als Ursache für diese vergleichsweise erhöhte Belästigung werden in der Literatur verschiedene Aspekte diskutiert:

1. Die Eigenschaften des Geräusches an sich: der periodisch auf- und abschwellende Charakter des Geräusches und dass es nachts nicht abnimmt.

Abbildung 1: Wahrnehmung von und Belästigung durch Geräusche von Windenergieanlagen (WEA) in Abhängigkeit von dem Schallpegel. Ergebnisse einer niederländischen Studie unter 708 Anwohnern. Daten aus: Pedersen et al. 2009.



- Die Positionierung der WEA in ländlichen Gebieten, die erst die Wahrnehmung der vergleichsweise leisen Geräusche der WEA erlaubt.
- Unterschiede in der Studiendurchführung: Studien zur Lärmbelästigung durch Verkehr wurden in der Regel in städtischer Umgebung durchgeführt. Über das Ausmaß der Belästigung durch Verkehrslärm in ländlichen Gegenden liegen wenige Daten vor.
- Die Sichtbarkeit der WEA: Die visuelle Belästigung scheint sich auch auf die Beantwortung der Frage zur Lärmbelästigung auszuwirken.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat in den „Night noise guidelines for Europe“ im Jahr 2009 einen neuen Richtwert  $L_{\text{Nacht, außen}}$  von 40 dB(A) abgeleitet (WHO 2009). Laut WHO ist die Einhaltung dieses Richtwertes erforderlich, um die Allgemeinbevölkerung einschließlich der empfindlichsten Gruppen, wie Kinder, chronisch Kranke und Ältere, vor den schädlichen Wirkungen des Nachtlärms zu schützen. Über die spezielle Wirkung der Geräusche von WEA auf den Schlaf liegen derzeit keine aussagekräftigen Studien vor.

## Gesundheitsfolgenabschätzung

Während in der bisherigen Darstellung die direkten Risiken von Immissionen der WEA im Mittelpunkt standen, erscheint eine umfassendere Darstellung der direkten und auch indirekten Risiken sowie auch Chancen, die sich aus der Gewinnung von Energie durch Wind ergeben, sinnvoll (Scott-Samuel et al. 2001). Auf Energiegewinnung kann nicht verzichtet werden, vielmehr stellt sich die Frage, welche Energiequellen hierfür genutzt werden sollten. Eine Gesundheitsfolgenabschätzung wäre eine geeignete Methode, die gesundheitlichen Konsequenzen verschiedener Energiequellen systematisch zu vergleichen. Eine solche Gesundheitsfolgenabschätzung ist bisher nur aus dem Staat Oregon bekannt (OHA 2013). Hierin werden neben den direkten Wirkungen der Immissionen von WEA auch die positiven Wirkungen des Ausbaus der Windenergie durch Stärkung der lokalen Ökonomie und durch die Vermeidung von Luftschadstoffen, aber auch die negativen Wirkungen durch lokale Konflikte aufgezeigt.

## Fazit

Aus der wissenschaftlichen Literatur ergeben sich keine Belege für schwerwiegende gesundheitliche

Folgen durch Immissionen von Windenergieanlagen. Eine Gefährdung durch Eiswurf kann durch entsprechende Maßnahmen minimiert werden. Eine erhebliche Belästigung durch Schattenwurf soll durch Begrenzung der maximalen Beschattungsdauer vermieden werden. Gesundheitliche Wirkungen des Infraschalls sind aufgrund der sehr niedrigen Schalldruckpegel nicht plausibel. Weitere Forschung im Bereich Belästigung durch Schattenwurf und Wirkungen des Infraschalls unterhalb der Wahrnehmungsschwelle sind wünschenswert, um die Kenntnislage in diesen wenig beforschten Bereichen zu verbessern. Im Bereich des Hörschalls sind Wirkungen am ehesten zu erwarten. Aus den vorliegenden Studien ergeben sich Hinweise auf ein vergleichsweise hohes Belästigungspotential durch die niedrigen Schallimmissionen der WEA, dessen Ursachen aber noch unklar sind. Ebenfalls wären weitere Forschungstätigkeiten sinnvoll, um die Wirkungen des spezifischen Geräusches von WEA bei üblichen Schalldruckpegeln auf den Nachtschlaf zu untersuchen. Zur umfassenden systematischen Analyse der Risiken und auch Chancen der Energiegewinnung aus Wind ist eine Gesundheitsfolgenabschätzung sinnvoll.

## Literatur

- DIN 45680 (1997): Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft. März 1997.
- E DIN 45680 (2011): Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen. Entwurf DIN 45680. August 2011.
- Ellenbogen JM, Grace S, Heiger-Bernays WJ et al. (2012): Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel, prepared for the Massachusetts Department of Environmental Protection and the Massachusetts Department of Public Health. [http://www.mass.gov/dep/energy/wind/turbine\\_impact\\_study.pdf](http://www.mass.gov/dep/energy/wind/turbine_impact_study.pdf) (Abrufdatum: 31.05.2013).
- HPA (2010): Health Protection Agency. Health effects of exposure to ultrasound and infrasound. Report of the Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. RCE-14. Documents of the Health Protection Agency. Radiation, Chemical and Environmental Hazards. February 2010.
- Ising H, Schwarze C (1982): Infraschallwirkungen auf den Menschen. In: *Z Lärmbekämpfung* 29: 79–82.
- Janssen SA, Vos H, Eisses AR et al. (2011): A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. In: *J Acoust Soc Am* 130(6): 3746.
- Jakobsen J (2005): Infrasound emission from wind turbines. In: *J Low Freq Noise Vib Active Contr* 24(3): 145–55.
- Knopper LD, Ollson C (2011): Health effects and wind turbines: a review of the literature. In: *Environmental Health* 10: 78.
- LAI (2002): Länderausschuss für Immissionsschutz. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise). Verabschiedet auf der 103. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI). 06.08.2002.
- Landström U, Byström M (1984): Infrasonic threshold levels of physiological effects. In: *J Low Freq Noise Vibr* 3(4): 167–73.
- Leventhall G (2007): What is infrasound? In: *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 93: 130–137.
- LfU (2012): Bayerisches Landesamt für Umwelt. Windenergie in Bayern. Reihe UmweltWissen. Augsburg. [http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_118\\_windenergie\\_in\\_bayern.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_118_windenergie_in_bayern.pdf) (Abrufdatum: 29.05.2013).
- Malsch AKF, Hornberg C (2007): Infraschall und tieffrequenter Schall – ein Thema für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz in Deutschland? In: *Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz* 50: 1582–9.
- Moller H (1984): Physiologic and psychological effects of infrasound on humans. In: *J Low Freq Noise Vibr* 3(1): 1–17.
- OHA (2013): Oregon Health Authority. Strategic health impact assessment on wind energy development in Oregon. Final Report. March 2013. <https://public.health.oregon.gov/HEALTHYENVIRONMENTS/TRACKINGASSESSMENT/HEALTHIMPACTASSESSMENT/Pages/windenergy.aspx> (Abrufdatum 31.05.2013).
- Pedersen E, van den Berg F, Bakker R et al. (2009): Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. In: *J Acoust Soc Am* 126(2): 634–43.
- Pedersen E, Waye KP (2007): Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. In: *Occup Environ Med* 64(7): 480–486.
- Pedersen E, Waye KP (2004): Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response relationship. In: *J Acoust Soc Am* 116(6): 3460–70.
- Pohl J, Faul F, Mausfeld R (2000): Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Laborpilotstudie. Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. 15. Mai 2000.
- Pohl J, Faul F, Mausfeld R (1999): Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Feldstudie. Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. 31. Juli 1999.

Scott-Samuel A, Birley M, Arden K (2001): The Merseyside Guidelines for Health Impact Assessment, Second Edition, May 2001. [http://www.liv.ac.uk/ihia/IMPACT%20Reports/2001\\_merseyside\\_guidelines\\_31.pdf](http://www.liv.ac.uk/ihia/IMPACT%20Reports/2001_merseyside_guidelines_31.pdf) (Aufrufdatum: 31.05.2013).

StMI, StMWFK, StMF et al. (2011): Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) vom 20. Dezember 2011. Bayerisches Staatsministerium des Innern, für Wissenschaft, Forschung und Kunst, der Finanzen, für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, für Umwelt und Gesundheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. [http://www.stmug.bayern.de/umwelt/oekoenergie/windenergie/doc/windenergie\\_erlass.pdf](http://www.stmug.bayern.de/umwelt/oekoenergie/windenergie/doc/windenergie_erlass.pdf) (Abrufdatum: 29.05.2013).

WHO (2009): Night noise guidelines for Europe. World Health Organization. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43316/E92845.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf) (Abrufdatum: 31.05.2013).

## **Kontakt**

Dr. Dorothee Twardella  
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und  
Lebensmittelsicherheit  
Sachgebiet Arbeits- und  
Umweltmedizin / -epidemiologie  
Pfarrstraße 3  
80538 München  
E-Mail: [Dorothee.Twardella\[at\]lgl.bayern.de](mailto:Dorothee.Twardella[at]lgl.bayern.de)

[UBA]