



Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

Sachinformationen zu

Geräuschemissionen und -immissionen

von Windenergieanlagen

Geräuschemissionen und -immissionen von Windenergieanlagen

Grundsätzliches zum Geräuschverhalten

Die Geräusche von Windenergieanlagen weisen eine starke Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit auf.

Der Betriebszustand einer Windenergieanlage und damit auch ihre Geräuschemission¹ wird wesentlich durch die Windgeschwindigkeit bestimmt, die in der Höhe des Rotors herrscht. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit steigt zunächst die erzeugte elektrische Leistung und auch die Schallemission.

Zur Vermeidung einer Überlastung der Windenergieanlage wird die erzeugte elektrische Leistung regelungstechnisch so begrenzt, dass die Anlage keine (wesentlich) höhere Leistung als ihre Nennleistung erzeugen kann. Hierzu sind zwei grundsätzlich unterschiedliche Regelungsmechanismen in Einsatz, „Pitch“-Regelungen und „Stall“-Regelungen [1]:

„Pitch“-gesteuerte Anlagen arbeiten mit einer dynamischen Blatteinstellwinkelverstellung. Nach dem Erreichen der Nennleistung werden die Rotorblätter so verdreht, dass sie dem Wind eine geringere Angriffsfläche bieten. Hierdurch wird die dem Wind entnommene Leistung begrenzt.

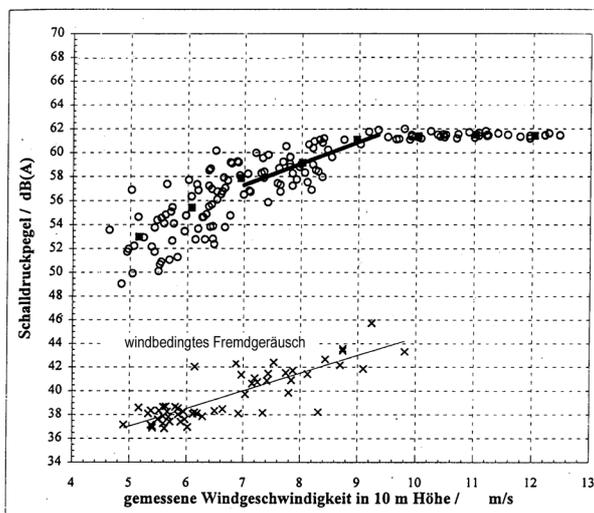


Bild 1 zeigt das Geräuschverhalten einer „pitch“-gesteuerten Windenergieanlage. Bis zum Erreichen der elektrischen Nennleistung, im Beispiel wird diese bei der Windgeschwindigkeit von etwa 10 m/s erreicht, steigt die Geräuschemission kontinuierlich an. Nach Erreichen der elektrischen Nennleistung tritt keine weitere Erhöhung der Schallemission in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit auf².

Bild 1: Geräuschverhalten einer „pitch“-gesteuerten Windenergieanlage [2]

¹ Die Geräuschemission kennzeichnet die akustische Quellstärke. Als Kenngröße für die Schallemission wird international der Schallleistungspegel L_{WA} benutzt. Dieser ist ein Maß für die als hörbare Luftschwingungen abgestrahlte Leistung der Schallquelle. Aus dem Schallleistungspegel kann der in bestimmten Abständen von der Quelle herrschende Schalldruckpegel (Schallimmission) mit den üblichen Prognosemodellen abgeschätzt werden.

² Dieses führt dazu, dass die maximale Schallemission derartiger Anlagen in der Regel unabhängig von der Masthöhe ist. Da die möglichen Erträge von Windenergieanlagen mit zunehmender Masthöhe steigen, war in in den letzten Jahren eine Tendenz zu höheren Masthöhen zu verzeichnen.

Bei „stall“-gesteuerten Anlagen erfolgt die Leistungsbegrenzung dadurch, dass das Rotorblattprofil so ausgelegt ist, dass die aerodynamische Strömung am Rotorblatt nach Erreichen der Nennleistung mit zunehmender Windgeschwindigkeit abreißt.

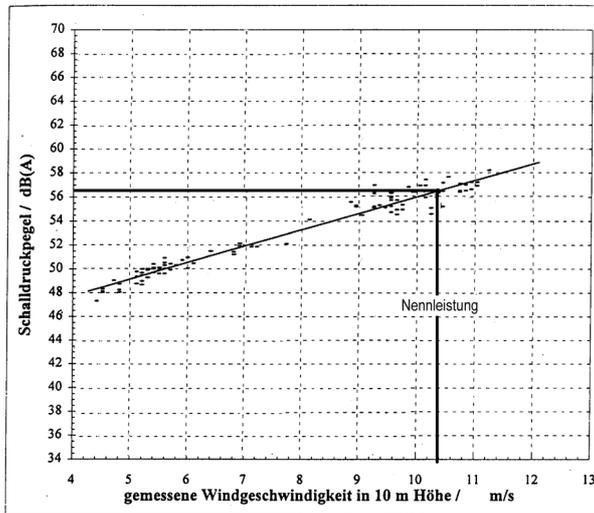


Bild 2: Geräuschverhalten einer „stall“-gesteuerten Anlage nach [3]

„Pitch“- und „stall“-gesteuerte Anlagen zeigen somit bezüglich der Abhängigkeit der Schallemission von der Windgeschwindigkeit nach Erreichen der elektrischen Nennleistung ein unterschiedliches Verhalten. Aus akustischer Sicht weisen die „pitch“-gesteuerten Anlagen den Vorteil auf, dass ihre Schallemission nach Erreichen der Nennleistung nahezu konstant bleibt. Nach Einschätzung des Landesumweltamtes sind die derzeit in NRW neu installierten Windenergieanlagen überwiegend „pitch“-gesteuert.

Die Zunahme des Schalleistungspegels (vgl. Fußnote 2, Seite 2) bis zum Erreichen der Nennleistung mit der Windgeschwindigkeit beträgt im Arbeitsbereich unterhalb der elektrischen Nennleistung erfahrungsgemäß [4] etwa 1 dB bis 2,5 dB pro Zunahme der Windgeschwindigkeit um 1 m/s. Das Geräuschverhalten konkreter Anlagen kann deren akustischen Emissionsgutachten entnommen werden.

Nachweis des konkreten Geräuschemissionsverhaltens einer Windenergieanlage

Zur Erfassung der Geräuschemissionen einer Windenergieanlage in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit gibt es ein international genormtes Messverfahren. Es ist üblich, dass die Hersteller zur Kennzeichnung der Geräuschemission eines Anlagentyps eine oder mehrere Anlagen des jeweiligen Typs durch unabhängige Messinstitute vermessen lassen.

Bild 2 verdeutlicht das Geräuschverhalten einer „stall“-gesteuerten Anlage. Die Anlage erreicht ihre elektrische Nennleistung bei der Referenz-Windgeschwindigkeit von etwa 10,4 m/s. Auch nach Erreichen der elektrischen Nennleistung steigt die Schallemission mit zunehmender Windgeschwindigkeit an.

Die Schallemissionen von einzelnen Windenergieanlagen werden in Deutschland³ entsprechend dem Verfahren der DIN EN 61400-11 „Windenergieanlagen, Teil 11: Schallmessverfahren“ [5] in Verbindung mit Konkretisierungen erhoben, welche in den „Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte“ [6] festgelegt sind.

Nach diesen Richtlinien wird das Geräuschverhalten einer Windenergieanlage bei Emissionsmessungen im Bereich der standardisierten Windgeschwindigkeit zwischen 6 m/s und 10 m/s, höchstens jedoch bis zu der Windgeschwindigkeit, die dem 95%-Wert der Nennleistung entspricht, erfasst und dokumentiert. Als Ergebnis der Messungen werden in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit ausgewiesen:

- der A-bewertete Schallleistungspegel und die Frequenzzusammensetzung des Geräusches als Terz-Spektrum,
- falls das Geräusch Einzeltöne⁴ enthält, der Tonzuschlag K_T nach DIN 45681 [8],
- falls das Geräusch impulshaltig⁵ ist, der Impulzzuschlag K_I entsprechend der TA Lärm [9].

Übersicht über die Emissionsdaten von Windenergieanlagen

Der durch den Betrieb einer Windenergieanlage im Nennleistungsbereich verursachte Schallleistungspegel beträgt typischerweise etwa 103 dB(A).

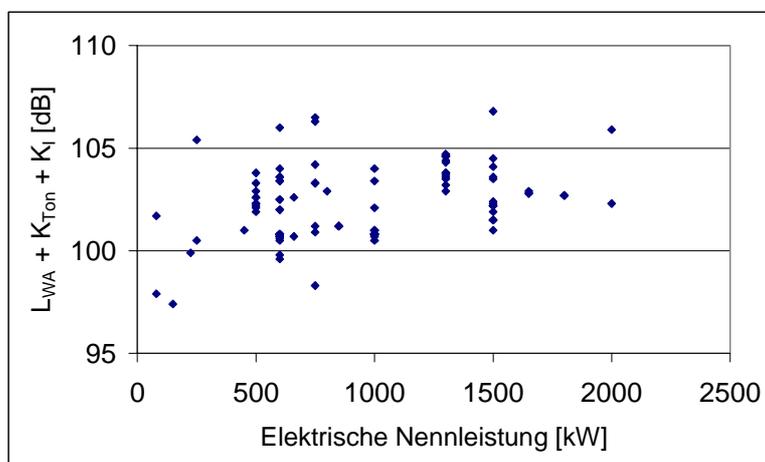


Bild 3: Schallemissionen von Windenergieanlagen (Stand: Mai 2001)

[L_{WA}^* : A-bewerteter Schallleistungspegel, gebildet unter Berücksichtigung des Ton- und des Impulzzuschlags]

³ Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) hat auf seiner 99. Sitzung im Mai 2000 [7] empfohlen, dass Immissionsprognosen von Windenergieanlagen auf Daten basieren sollen, die entsprechend diesen technischen Richtlinien erhoben wurden.

⁴ Als Beispiele für einzeltonhaltige Geräusche können brummende, heulende, quietschende, pfeifende und kreischende Geräusche genannt werden.

⁵ Als Beispiele für impulshaltige Geräusche können die Arbeitsgeräusche von Hämmern und Schlagrammen sowie Knalle genannt werden.

Bild 3 wurde aufgrund der Emissionsdatensammlung des Staatlichen Umweltamtes Bielefeld zusammengestellt. Aufgetragen ist jeweils die Summe aus dem im Messbericht ausgewiesenen Schalleistungspegel, dem Tonzuschlag⁶ und dem Impulzzuschlag. Die Angaben kennzeichnen die Geräuschemission bei der standardisierten Windgeschwindigkeit von 10 m/s bzw. bei derjenigen Windgeschwindigkeit, bei welcher 95% der Nennleistung erzeugt wird. Sofern in den Messberichten nur die Emissionsdaten für die Windgeschwindigkeit von 8 m/s angegeben wurden, wurden die Schallemissionen im Nennleistungsbereich durch Addition von 3 dB zu den im Messbericht ausgewiesenen Schalleistungspegeln abgeschätzt⁷.

Bild 3 zeigt nur eine geringe Abhängigkeit der Schallemission von der elektrischen Nennleistung der jeweiligen Anlage auf. Bei gleicher Nennleistung ist der Schwankungsbereich der Emissionsdaten größer als 5 dB⁸. Wie der Datensammlung des Staatlichen Umweltamtes Bielefeld entnommen werden kann, weisen 12 % der Messberichte für die Geräuschemission der untersuchten Windenergieanlage einen Einzeltonzuschlag von 3 dB aus. Diese einzeltonhaltigen Anlagen sind akustisch sicherlich nicht ausgereift und entsprechen nicht einem anspruchsvollen schalltechnischen Niveau. Der in Bild 3 erkennbare Schwankungsbereich der Emissionsdaten von Anlagen gleicher elektrischer Nennleistung zeigt, dass auf dem Markt Anlagen mit unterschiedlicher akustischer Qualität vertreten sind. Dieses führt dazu, dass - bei gleicher Windgeschwindigkeit - eine Anlage mit großer elektrischer Nennleistung nicht grundsätzlich stets eine höhere Schallemission aufweist als eine Anlage mit geringerer Nennleistung.

Als typischer Schalleistungspegel von Windenergieanlagen mit Nennleistungen zwischen 500 kW und 2 MW kann aufgrund der Datenlage ein Wert von 103 dB(A) genannt werden⁹.

Geräuscentstehungsmechanismen

Die Geräuscentstehung von Windenergieanlagen kann unterteilt werden in

- aerodynamisch erzeugte Geräusche und**
- mechanisch verursachte Geräusche.**

⁶ In Anlehnung an die Empfehlung des LAI [7] wurden nur Tonzuschläge berücksichtigt, die größer als 2 dB sind.

⁷ Diese Vorgehensweise entspricht der Empfehlung des LAI vom Mai 2000.

⁸ Ein Pegelunterschied von 5 dB ist deutlich wahrnehmbar. Der Pegelunterschied von 5 dB bedeutet, dass eine „laute“ Anlage etwa die 3-fache Schallemission aufweist wie eine „leise“ Anlage. Ein Pegelunterschied von 5 dB besteht beispielsweise auch zwischen den Immissionsrichtwerten, die nach der TA Lärm einerseits für ein Mischgebiet und andererseits für ein allgemeines Wohngebiet anzusetzen sind.

⁹ Um ein Gefühl für eine Geräuschemission, deren Schalleistungspegel 103 dB(A) beträgt, zu bekommen, sei zum Vergleich erwähnt, dass ein rangierender LKW durch einen Schalleistungspegel von 99 dB(A) gekennzeichnet werden kann [10]. Die Geräuschemission von 103 dB(A) entspricht somit näherungsweise derjenigen von zwei rangierenden Lastkraftwagen.

Grundsätzlich erzeugen die rotierenden Flügel der Windenergieanlagen aerodynamische Geräusche. Diese sind stark abhängig von der Blattspitzengeschwindigkeit. Auch das Rotorblattprofil und der Abstand der Rotorblätter vom Mast beeinflussen das Geräuschverhalten einer Anlage. Diese Geräuscentstehungsmechanismen wurden in Forschungsvorhaben untersucht, Möglichkeiten zur Geräuschminderung wurden aufgezeigt [11, 12]. Als mechanische Komponenten, die ebenfalls zur Geräuschemission von Windenergieanlagen beitragen können, sind zu nennen:

- das Getriebe,
- der Generator,
- Lüfter und Hilfsantriebe.

Diese mechanischen Geräuschquellen führten in der Vergangenheit häufig dazu, dass die Geräusche von Windenergieanlagen auffällige, besonders störende Einzeltöne enthielten. Zur Verminderung der Geräuschemission dieser Quellen wird die Kanzel der Windenergieanlage in der Regel als akustisch wirksame Kapsel ausgebildet. Soweit konstruktiv möglich, werden Maßnahmen zur Körperschallentkopplung realisiert. Diese konstruktiven Maßnahmen führten dazu, dass die Geräusche moderner, dem Stand der Lärminderungstechnik entsprechender Windenergieanlagen nicht mehr einzeltonhaltig sind.

Nachträgliche Minderungsmöglichkeiten

Durch Drosselung der Drehzahl und der erzeugbaren elektrischen Leistung kann bei einigen Windenergieanlagen eine Geräuschminderung von bis zu 4 dB erzielt werden. Derartige Geräuschminderungen sind mit Ertragseinbußen verbunden.

Bei einer Windenergieanlage können - sofern die Geräuscentwicklung nicht durch mechanische Defekte verursacht ist, - nur wenige Geräuschminderungsmaßnahmen nachträglich durchgeführt werden. „Pitch“-gesteuerte Anlagen können prinzipiell - falls erforderlich - mit verringerten Drehzahlen und gedrosselter Leistung betrieben werden. Messtechnisch belegt ist für einzelne Anlagentypen, dass durch solche „Nachtabenkungen“ Pegelminderungen von bis zu 4 dB möglich sind¹⁰. Derartige Nachtabenkungen sind jedoch immer mit Leistungseinbußen verknüpft. Eine akustische Minderung von 4 dB bedeutet nach den Erfahrungen des Landesumweltamtes etwa eine Halbierung der erzeugbaren maximalen Leistung.

Sofern bei einer „pitch“-gesteuerten Anlage tonale Geräusche bei einer konkreten Drehzahl aufgrund der Anregung von Eigenfrequenzen mechanischer Bauteile entstehen, ist es oftmals möglich, die Regelung der Anlage so einzustellen, dass diese kritische Drehzahl nur kurz durchfahren wird und nicht als stationärer Betriebszustand auftritt.

¹⁰ Als eine „pitch“-gesteuerte Windenergieanlage im Rahmen von Geräuschmessungen zur Ermittlung des akustischen Minderungspotentials zu stark gedrosselt wurde, trat zeitweise ein Pfeifen der Flügel auf.

Ein derartig variables Minderungspotential wie „pitch“-gesteuerte Anlagen weisen „stall“-gesteuerte Anlagen nicht auf. „Stall“-gesteuerte Anlagen besitzen häufig zwei Rotordrehzahlen. Im Einzelfall haben Hersteller angeboten, „stall“-gesteuerte Anlagen zur Geräuschminderung nachts nur auf der niedrigen Rotordrehzahl zu betreiben. Es liegen im Landesumweltamt jedoch keine Erkenntnisse dazu vor, wie sich diese Anlagen bei „festgeklemmter niedriger Drehzahl“ bei höheren Windgeschwindigkeiten akustisch und betriebstechnisch verhalten.

Sowohl bei „pitch“- als auch bei „stall“-gesteuerten Anlagen ist eine (nächtliche) Abschaltung der Anlagen - gegebenenfalls in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit - möglich.

Immissionsprognosen nach der TA Lärm

Die Ermittlung und die Beurteilung der Geräusche von Windenergieanlagen erfolgen sowohl in der Planung als auch im Beschwerdefall nach den Festlegungen der TA Lärm.

Einzelne Windenergieanlagen sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Windfarmen sind seit Anfang August 2001 [13] genehmigungsbedürftig im Sinne des BImSchG. In Abhängigkeit davon, ob es sich um einzelne Anlagen oder um eine Windfarm handelt, werden die Belange des Immissionsschutzes im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens oder in einem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren berücksichtigt. In beiden Fällen sind die Geräuschimmissionen entsprechend den Vorgaben der TA Lärm [9] zu prognostizieren und zu beurteilen. Die TA Lärm ist ebenfalls stets im Rahmen von Beschwerdefällen zur Erfassung und Beurteilung der Geräuscheinwirkungen heranzuziehen.

• Der im Rahmen der Prognose zu berücksichtigende Betriebszustand

Nach der TA Lärm ist der Beurteilung derjenige Betriebszustand der Windenergieanlage zugrunde zu legen, welcher zu den höchsten Beurteilungspegeln führt. Als Näherung hierfür wird die Planung auf das Geräuschverhalten der Windenergieanlagen bei der standardisierten Windgeschwindigkeit von 10 m/s ausgelegt. Falls eine Anlage 95% ihrer Nennleistung schon bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten erzeugt, wird das Geräuschverhalten im 95%-Betriebspunkt der Planung zugrunde gelegt.

Bis 1997 wurde bundesweit im Rahmen der Geräuschprognosen für Windenergieanlagen nur die Immission bei der standardisierten¹¹ Windgeschwindigkeit von 8 m/s betrachtet. Man ging

¹¹ Grundsätzlich weist die Windgeschwindigkeit eine Höhenabhängigkeit auf. Diese Höhenabhängigkeit wird sowohl von der Oberflächenbeschaffenheit des Erdbodens (einschließlich seines Bewuchses und seiner Bebauung) als auch von meteorologischen Randbedingungen bestimmt. Als Kenngröße für den Betriebszustand einer Windenergieanlage wird zumeist aus der erzeugten elektrischen Leistung unter Zugrundelegen der Leistungskurve, in welcher der Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe und der erzeugten

bis zu diesem Zeitpunkt davon aus, dass bei höheren Windgeschwindigkeiten die Anlagengeräusche aufgrund der dann herrschenden windbedingten Fremdgeräusche nicht mehr stören würden und daher die Geräusche bei diesen Windgeschwindigkeiten in der Planungsphase nicht betrachtet werden müssten. Auch wurde argumentiert, dass im Binnenland höhere Windgeschwindigkeiten so selten auftreten würden, dass sie im Sinne des Immissionsschutzes „seltene Ereignisse“ darstellen. Beide Annahmen erwiesen sich als nicht zutreffend. Seitdem wird in NRW der Prognose das Geräuschverhalten bis zur standardisierten Windgeschwindigkeit von 10 m/s zugrunde gelegt. Falls 95% der elektrischen Nennleistung schon bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten als 10 m/s erzeugt werden, wird der 95%-Betriebspunkt der Prognose zugrunde gelegt¹². Das Geräuschverhalten der so definierten Betriebspunkte gilt allgemein als hinreichende Näherung für dasjenige, welches die höchsten Beurteilungspegel erzeugt. [Nach der TA Lärm ist diejenige Betriebsart der Prognose zugrunde zu legen, die zu den höchsten Immissionspegeln führt¹³.]

• Die Ausbreitungsrechnung der TA Lärm

Die Prognoserechnung ist nach Auffassung des Landesumweltamtes NRW entsprechend dem „alternativen Verfahren zur Berechnung A-bewerteter Schalldruckpegel“ der DIN ISO 9613-2 durchzuführen. Von einer sicheren Einhaltung des Richtwertes kann nur dann ausgegangen werden, wenn der prognostizierte Beurteilungspegel unter Berücksichtigung der Prognoseunsicherheit den Immissionsrichtwert nicht überschreitet.

Die TA Lärm kennt drei Arten der Geräuschimmissionsprognose:

- Die überschlägige Prognose entsprechend Abschnitt A.2.4
- Die detaillierte frequenzselektive Prognose nach DIN ISO 9613-2 [14],
- Die Prognose nach dem „alternativen Verfahren zur Berechnung A-bewerteter Schalldruckpegel der DIN ISO 9613-2, Abschnitt 7.3.2

Die Ergebnisse der überschlägigen Prognose vernachlässigen die Schallausbreitungsverluste infolge der Luftabsorption und der Bodendämpfung. Sie liegen aus Sicht des Immissionsschutzes immer auf der „sicheren Seite“. In der Praxis wird dieses Verfahren jedoch so gut wie nie im Rahmen konkreter Planungen angewandt.

Leistung für die untersuchte Windenergieanlage dargestellt ist, die in Nabenhöhe herrschende Windgeschwindigkeit bestimmt. Diese Windgeschwindigkeit wird unter Ansatz eines normativen Windprofils auf diejenige Windgeschwindigkeit umgerechnet, die (fiktiv) in 10 m oberhalb des Erdbodens herrscht. Die so berechnete Windgeschwindigkeit wird als standardisierte Windgeschwindigkeit bezeichnet.

¹² Diese Regelung wurde auch im Mai 2000 in die Empfehlung des LAI [7] übernommen.

¹³ In kritischen Planungsfällen sollte bei „stall“-gesteuerten Anlagen in der Planung entsprechend Ziffer 3.2.1 Abschnitt 5 der TA Lärm der Nachweis geführt werden, dass bei Windgeschwindigkeiten > 10 m/s bzw. größer als die Windgeschwindigkeit, bei der 95% der elektrischen Nennleistung erzeugt wird, keine zusätzlichen schädlichen Umwelteinwirkungen zu befürchten sind, da dann die windbedingten Fremdgeräusche den Höreindruck bestimmten (vgl. auch die Ausführungen im Abschnitt „Windbedingte Fremdgeräusche“).

Nach dem Wortlaut der TA Lärm soll die Geräuschprognose frequenzselektiv erfolgen, sofern die hierzu notwendigen Daten vorliegen. Die berechneten Immissionspegel sind bei frequenzselektiven Ausbreitungsrechnungen für hochliegende, breitbandige Quellen - wie z.B. Windenergieanlagen, Hochfackeln und Schornsteinmündungen - bei Abständen bis zu etwa 500 m um bis zu 4 dB(A) niedriger als die Rechenergebnisse nach dem „Alternativen Verfahren“ [15]. Weder die TA Lärm noch die DIN ISO 9613-2 enthalten eine Aussage dazu, welches Berechnungsverfahren das „genauere“ ist. Verschiedene Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass das frequenzselektive Ausbreitungsrechenverfahren die Bodendämpfung für hochliegende Schallquellen bei Schallausbreitung über Äcker und Wiesen überschätzt [16, 17, 18]. Dieses führt dazu, dass die von hochliegenden Schallquellen - bei Schallausbreitung über Wiesen und Ackerland - verursachten Immissionen deutlich höher sind als die nach den frequenzselektiven Prognosemodellen berechneten Werte. Die Rechnung nach dem „alternativen Verfahren“ führt hingegen zu prognostizierten Immissionspegeln, die in den genannten Fällen geringfügig oberhalb der gemessenen Werte liegen [18]. Geräuschprognosen für Windenergieanlagen sollten, damit sie auf der „sicheren Seite“ liegen, entsprechend dem genannten „Alternativen Verfahren“ durchgeführt werden¹⁴; dieses Verfahren wird in der Fachwelt derzeit als Standardverfahren bei der Mehrzahl der üblichen Geräuschprognosen gewerblicher Quellen angewandt.

Nach der TA Lärm ist im Rahmen jeder Geräuschprognose eine Aussage zur Qualität der Prognose zu treffen. Die Unsicherheit der Prognose wird bestimmt durch

- die Unsicherheit, mit der die Emissionsdaten erhoben wurden,
- die möglichen Schwankungen der Emission aufgrund von Serienstreuungen,
- der Unsicherheit des Prognosemodells.

Nach einer Abschätzung des Landesumweltamtes ist die Geräuschprognose häufig mit einer Unsicherheit von $\pm 2,6$ dB(A) behaftet. Das Landesumweltamt NRW empfiehlt [19], die Unsicherheit, mit der die prognostizierten Beurteilungspegel behaftet sind, beim Vergleich mit den Immissionsrichtwerten zu berücksichtigen.

Es ist notwendig, dass der Gutachter, welcher die Geräuschprognose durchführt, über ein fundiertes akustisches Fachwissen verfügt, und dass er die örtlichen Gegebenheiten der Im-

¹⁴ In der Vergangenheit hatte das Landesumweltamt NRW aufgrund von Anfragen Staatlicher Umweltämter mehrfach zu den „Untersuchungen zur Schallimmission durch Windenergieanlagen im Erzgebirgsvorland“ [20, 21] Stellung zu nehmen, die von der Hochschule für Technik und Wirtschaft Mittweida (FH) durchgeführt wurden. Diese Untersuchungen – so argumentierten besorgte Bürger - würden aufzeigen, dass die üblichen Prognosemodelle in hügeligem Gelände nicht anwendbar sind. Wie das Landesumweltamt NRW anhand der in [21] dokumentierten Messwerte zeigen konnte, beruht diese Aussage auf einer Fehlinterpretation der Messdaten durch die FH Mittweida.

missionsorte aus eigener Anschauung kennt. Nur so kann er beispielsweise Pegelerhöhungen, die aufgrund von Schallreflexionen auftreten, in der Prognose berücksichtigen.

In der Regel ist das Geräuschverhalten der zu errichtenden Windenergieanlagen also durch messtechnische Gutachten belegt. Bei den ersten Anlagen einer neuen Serie ist das konkrete Geräuschverhalten der Anlagen jedoch noch nicht bekannt. Zwischen der Errichtung des Prototypen und seiner akustischen Vermessung (auf Basis der gerechneten Leistungskurve) kann erfahrungsgemäß bis zu einem halben Jahr vergehen. Wenn das konkrete Geräuschverhalten einer Anlage aus diesem Grund in der Planung noch nicht durch Gutachten unabhängiger Messinstitute belegt werden kann, empfiehlt das Landesumweltamt NRW den potentiellen Betreibern der Anlage, sich zu verpflichten, die Anlage zunächst nur tags zu betreiben und den Nachtbetrieb erst dann aufzunehmen, wenn die Einhaltung des Nachtrichtwertes gegenüber den Genehmigungsbehörden durch Vorlage eines entsprechenden Messberichts belegt wurde.

Schallimmissionen im Umfeld von Windenergieanlagen

Welche Schalldruckpegel im Umfeld von Windenergieanlagen auftreten, ist vom Anlagentyp, von der Anzahl der Anlagen und deren Lage zum Immissionsort sowie von der Windgeschwindigkeit abhängig.

Die folgenden Bilder zeigen, welche Beurteilungspegel¹⁵ in der Umgebung von Windenergieanlagen typischerweise zu erwarten sind.

Für die Anlagen wurde jeweils ein Schalleistungspegel von 103 dB(A) angesetzt. Es wird also eine Geräuschemission angesetzt, die nach Bild 3 typisch für den Betrieb vieler Windenergieanlagen im Nennleistungsbereich ist. Die Nabenhöhe wurde jeweils zu 80 m gesetzt, die Höhe der Immissionsorte zu 5 m. Die Ausbreitungsrechnung erfolgte entsprechend dem „Alternativen Verfahren“ der DIN ISO 9613-2. Hierbei wurde der Ausbreitungsrechnung eine Lufttemperatur von 10° C und eine Luftfeuchtigkeit von 70% zugrunde gelegt. Die meteorologische Korrektur¹⁶ wurde entsprechend der ISO 9613-2 unter Ansatz von $C_o = 2$ dB berück-

¹⁵ Der Beurteilungspegel wird aus dem Schalldruckpegel des zu beurteilenden Geräusches - gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Zuschlägen für die erhöhte Lästigkeit aufgrund der Ton-, Informations- oder Impulshaltigkeit sowie der Tageszeit des Auftretens der Geräusche (Ruhezeitenzuschlag) - gebildet. Bei den Berechnungen, die den Bildern 4 bis 6 zugrunde liegen, wurden die Ton-, Informations-, Impuls- und Ruhezeitenzuschläge jeweils zu 0 dB gesetzt. Die dargestellten Beurteilungspegel entsprechen daher weitgehend den berechneten Schalldruckpegeln.

¹⁶ Das Prognosemodell der DIN ISO 9613-2 berechnet zunächst den Schalldruckpegel, der am Immissionsort unter Mitwindbedingungen herrscht. Wenn eine Quelle unter Mitwindbedingungen einwirkt, sind für ihre Geräusche besonders gute Ausbreitungsbedingungen gegeben. Sie wird unter Mitwind mit einem höheren Schalldruckpegel einwirken als unter Gegenwind. Mit der Novellierung der TA Lärm 1998 wurde in die Geräuschbeurteilung eine meteorologische Korrektur eingeführt. Auf diese Weise werden die im Langzeitmittel auftretenden verschiedenen Windrichtungen und die dadurch verursachten unterschiedlichen akustischen Ausbreitungs-

sichtigt. Angegeben sind Kurven gleichen Beurteilungspegels (Pegel bei maximaler Emission). Falls in konkreten Planungen leisere oder lautere Anlagen als in den folgenden Beispielen eingesetzt werden sollen, so folgen hieraus zwangsläufig abstandsabhängig andere Beurteilungspegel als in den Beispielen ausgewiesen sind. Zu Zeiten, zu denen die Anlagen nicht mit Nennleistung betrieben werden, ergeben sich für gleiche Abstände niedrigere Schallimmissionen.

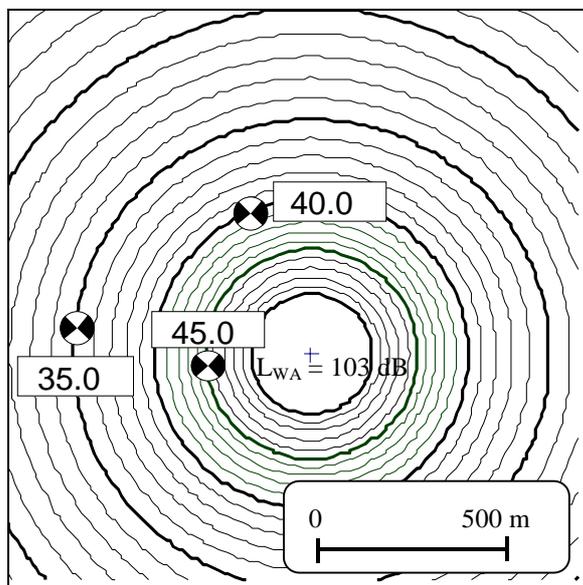


Bild 4: Kurven gleichen Beurteilungspegels im Umfeld einer Windenergieanlage (+: Standort der Windenergieanlage)

Nach den Berechnungen erzeugt die im Beispiel betrachtete Windenergieanlage in Abhängigkeit vom Abstand folgende Beurteilungspegel¹⁷:

45 dB(A)	in	ca. 280 m,
40 dB(A)	in	ca. 410 m,
35 dB(A)	in	ca. 620 m.

Die folgenden beiden Bilder zeigen die Kurven gleichen Beurteilungspegels im Umfeld mehrerer Windenergieanlagen. Damit die Anlagen sich nicht gegenseitig „den Wind wegnehmen“ wird häufig [1] empfohlen, dass die Anlagen in Hauptwindrichtung einen Mindestabstand aufweisen sollen, der dem 8 bis 10-fachen des Rotordurchmessers entspricht; quer zur Hauptwindrichtung wird ein Mindestabstand von 3 bis 5 Rotordurchmessern empfohlen. Diese Faustformel wurde bei der Anordnung der im folgenden betrachteten Anlagen berücksichtigt.

bedingungen bei der Beurteilung berücksichtigt. Die meteorologische Korrektur bewirkt nach dem in der DIN ISO 9613-2 vorgegebenen Algorithmus erst bei Abständen, die größer als das 10-fache der Summe aus Schallquellenhöhe und Immissionspunkthöhe sind, eine Dämpfung im Vergleich zur Mitwindsituation. In den vorliegenden Beispielen hat die meteorologische Korrektur also erst bei Abständen von mehr als 850 m einen Einfluss auf die berechneten Beurteilungspegel. Bis zu diesem Abstand entsprechen die in den Bildern 4 bis 6 dargestellten Beurteilungspegel jeweils den zugehörigen Schalldruckpegeln.

¹⁷ siehe hierzu auch Tabelle 1 im folgenden Abschnitt „Immissionsrichtwerte“.

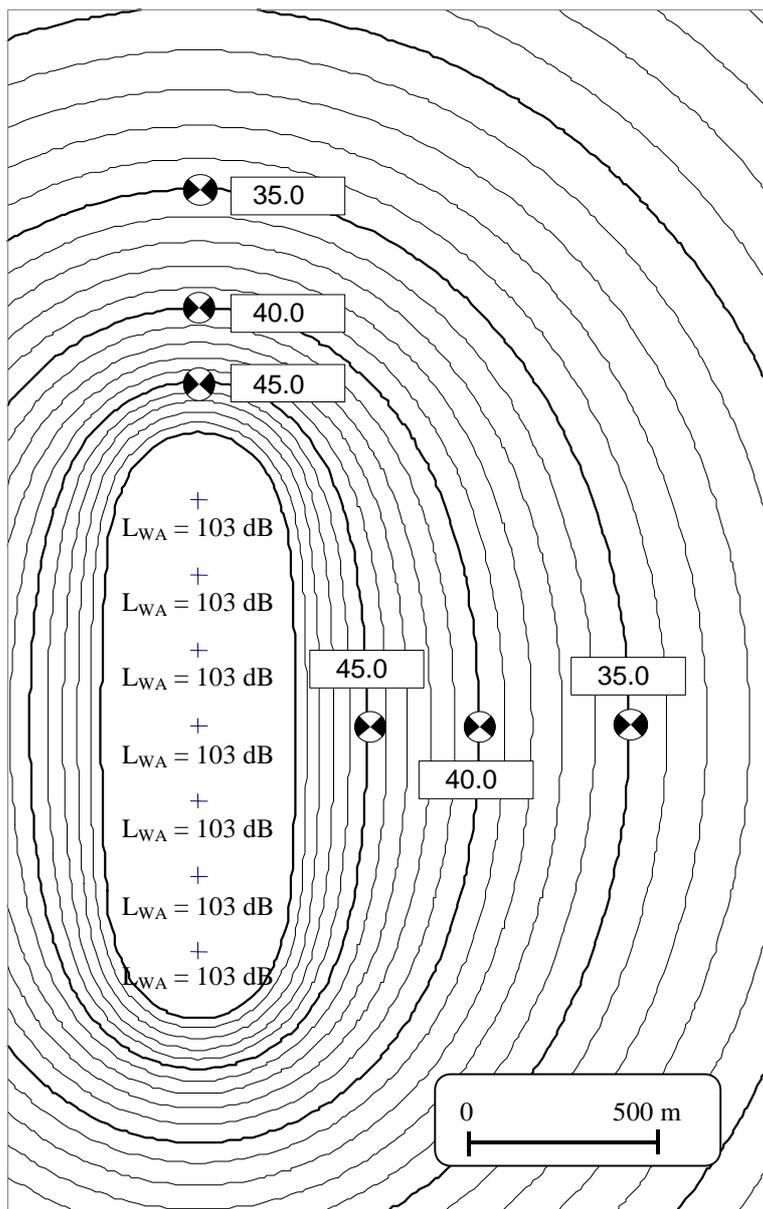


Bild 5: Beurteilungspegel im Abstand von 7 Windenergieanlagen (+: Standort einer Windenergieanlage)

Bild 5 zeigt die örtliche Beurteilungspegelverteilung, die von einer Konzentrationsfläche für Windenergieanlagen verursacht wird, auf welcher 7 Windenergieanlagen errichtet sind. Der Abstand der Anlagen (quer zur Hauptwindrichtung) beträgt jeweils 200m.

Nach den Berechnungen verursachen die im Beispiel betrachteten Anlagen in Abhängigkeit vom Abstand folgende Beurteilungspegel:

45 dB(A) in 440 m Abstand

40 dB(A) in 740 m Abstand

35 dB(A) in 1100 m Abstand

(Die Abstände gelten für die Immissionsorte in Hauptwindrichtung.¹⁸⁾)

Das folgende Bild 6 zeigt die örtliche Beurteilungspegelverteilung in der Nachbarschaft eines Feldes von 21 Windenergieanlagen. Der Abstand der Anlagen zueinander beträgt quer zur Hauptwindrichtung 200 m, in Hauptwindrichtung beträgt der Abstand jeweils 500 m.

¹⁸ Bei den Berechnungen wurden jeweils alle Anlagen berücksichtigt, unabhängig davon, wie hoch ihre jeweiligen Einzelbeiträge zur Gesamtgeräuschimmission sind.

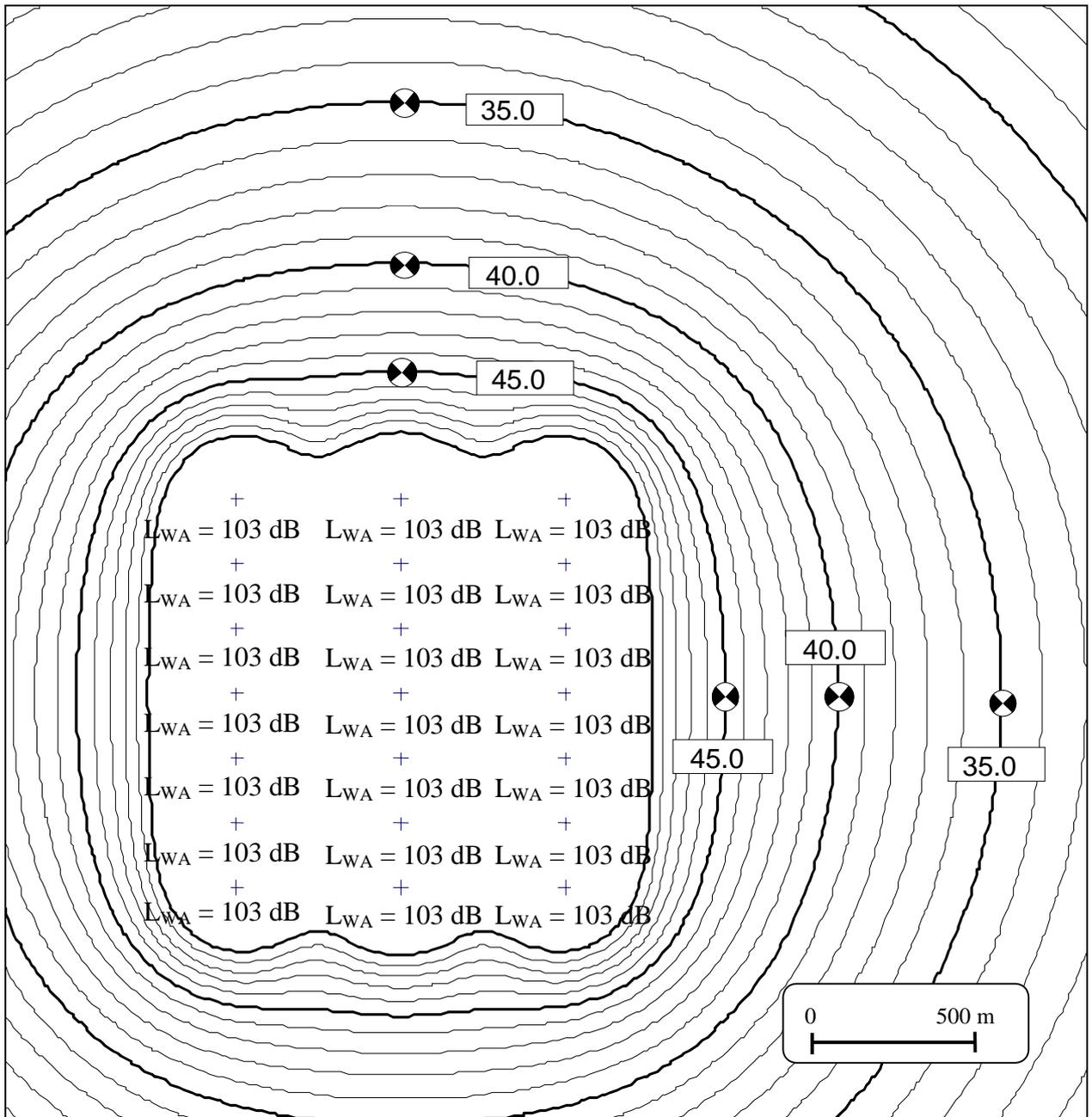


Bild 6: Beurteilungspegel in der Nachbarschaft einer Konzentrationsfläche mit 21 Windenergieanlagen (+: Standort einer Windenergieanlage)

Nach den Berechnungen verursachen die im Beispiel betrachteten Anlagen in Abhängigkeit vom Abstand zur nächstgelegenen Windenergieanlage folgende Beurteilungspegel:

- 45 dB(A) in 500 m Abstand
- 40 dB(A) in 830 m Abstand
- 35 dB(A) in 1300 m Abstand

(Die Abstände gelten für die Immissionsorte in Hauptwindrichtung.¹⁹⁾)

¹⁹ Bei den Berechnungen wurden jeweils alle Anlagen berücksichtigt, unabhängig davon, wie hoch ihre jeweiligen Einzelbeiträge zur Gesamtgeräuschimmission sind.

Die Berechnungen verdeutlichen, dass die Geräuschimmissionen, die im Umfeld von Windenergieanlagen auftreten, sowohl von der Anzahl der Windenergieanlagen, die gleichzeitig auf den Immissionsort einwirken, als auch von der Lage der Anlagen zueinander und zum Immissionsort abhängen.

Aus akustischer Sicht ist grundsätzlich einer räumlichen Konzentration von Geräuschquellen der Vorzug vor der Vereinzelung der Schallquellen zu geben. Bei gleicher Anzahl von Geräuschquellen und gleicher emittierter Schalleistung führt die räumliche Konzentration dazu, dass insgesamt weniger Fläche akustisch belastet wird als bei vereinzelter Aufstellung mit sehr großem Abstand zwischen den jeweiligen Anlagen.

Immissionsrichtwerte

Die TA Lärm gibt in Abschnitt 6.1 in Abhängigkeit von der Gebietsausweisung des Immissionsortes folgende Nacht-Richtwerte²⁰ an:

Tabelle 1: Nacht-Immissionsrichtwerte der TA Lärm

Gebietsausweisung bzw. Nutzung	Nacht-Immissionsrichtwert
Industriegebiet	70 dB(A)
Gewerbegebiet	50 dB(A)
Kerngebiet, Dorfgebiet und Mischgebiet	45 dB(A)
allgemeines Wohngebiet und Kleinsiedlungsgebiet	40 dB(A)
reines Wohngebiet	35 dB(A)
Kurgebiet, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	35 dB(A)

Nach Abschnitt 3.2.1 der TA Lärm ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche (§ 5 Abs. 1, Nr. 1 BImSchG) stets dann sichergestellt, wenn die Gesamtbelastung²¹ durch die Geräusche aller einwirkenden Anlagen, die nach der TA Lärm zu beurteilen sind, die Immissionsrichtwerte nicht überschreitet.²² [Nicht nach der TA Lärm zu beurteilen sind,

²⁰ Die Tagesrichtwerte sind in allen Gebieten mit Ausnahme des Industriegebietes um jeweils 15 dB höher als die Nachtrichtwerte.

²¹ Neben den Geräuschen der Windenergieanlagen sind in der Planung somit auch die Geräusche anderer gewerblicher und industrieller Quellen zu berücksichtigen. Jede Geräuschprognose muß daher auch eine Aussage zur Vorbelastung enthalten.

²² Bei Konzentrationsflächen für Windenergieanlagen kann es sinnvoll sein, im Rahmen der planungsrechtlichen Möglichkeiten den einzelnen Anlagen Geräuschemissionskontingente zuzuweisen, damit nicht eine einzelne „laute“ Anlage, die nahe des Immissionsortes errichtet wird, die Nutzungsmöglichkeiten der Konzentrationsfläche durch weitere Anlagen drastisch verringert.

und damit bei Betrachtung der Gesamtbelastung unberücksichtigt bleiben im Rahmen der Beurteilung nach der TA Lärm unter anderem die Verkehrsgeräusche.]

Die Zuordnung der Immissionsorte zu den in Tabelle 1 genannten Gebietsausweisungen bzw. Nutzungen ergibt sich aus den Festlegungen in den Bebauungsplänen. Sonstige in Bebauungsplänen festgesetzte Flächen sowie Flächen, für die keine Festsetzungen bestehen, sind nach Abschnitt 6.6 der TA Lärm entsprechend ihrer Schutzbedürftigkeit zu beurteilen.

Nach Urteilen verschiedener Oberverwaltungsgerichte [22] kann ein im Außenbereich Wohnender sich bezüglich etwaiger Lärmbeeinträchtigungen allenfalls auf die Einhaltung der für Mischgebiete angegebenen Immissionsrichtwerte berufen.

Infraschall

Messtechnisch kann nachgewiesen werden, dass Windenergieanlagen Infraschall verursachen. Die festgestellten Infraschallpegel liegen aber weit unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen und sind damit völlig harmlos.

Während der Mensch einer üblichen Geräuschwahrnehmung sowohl eine Lautstärke als auch eine Tonhöhe zuordnen kann, ist eine differenzierte Tonhöhenwahrnehmung im Bereich unterhalb von etwa 20 Hz nicht mehr möglich. Schall in diesem Frequenzbereich wird als Infraschall bezeichnet.

Umfangreiche Untersuchungen zur Wirkung von Infraschall führte das Bundesgesundheitsamt Anfang der 80er Jahre durch. Über 100 Versuchspersonen wurden an jeweils fünf aufeinander folgenden Tagen jeweils über 8 Stunden mit Infraschall beaufschlagt. Die Reaktionen der Personen wurden mit sozialwissenschaftlichen als auch mit biochemischen Methoden erfasst. Die Hypothese des Bundesgesundheitsamtes war, dass Infraschall eine „unhörbare Gefahr“ darstellt. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden 1982 [23] veröffentlicht. In dem Vorwort dieser Studie fassen die Autoren ihre Forschungsergebnisse folgendermaßen zusammen:

"... Jedoch erwies sich unhörbarer Infraschall als völlig harmlos. Für uns war dieses Ergebnis zunächst etwas enttäuschend. Aber bald konnten wir erkennen, dass unsere gründlichen Untersuchungen einen Beitrag zur Verminderung der Furcht vor Infraschall in der öffentlichen Meinung leisten können."

Die folgende Tabelle zeigt die Wahrnehmungsschwelle des Menschen für Infraschall. Sie basiert auf den Angaben der DIN 45680 [24, 25]. [Auf dieses Regelwerk nimmt die TA Lärm hinsichtlich der Beurteilung von tieffrequenten Geräuschen und von Infraschall Bezug. Die Beachtung, Erfassung und Beurteilung von Infraschalleinwirkungen ist somit für die staatliche Umweltverwaltung in NRW eine als „Sondermessverfahren“ geübte Praxis.]

Tabelle 2: Hörschwellenpegel im Infraschallbereich nach DIN 45680

Frequenz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz	16 Hz	20 Hz
Hörschwelle	103 dB	95 dB	87 dB	79 dB	71 dB

Zu tieferen Frequenzen hin steigt die Hörschwelle an. So ist beispielsweise bei 3 Hz ein Schalldruckpegel von etwa 120 dB notwendig, damit Infraschall vom Menschen wahrgenommen wird.

Die von modernen Windenergieanlagen (Luv-Läufern²³) erzeugten Infraschallanteile liegen im Immissionsbereich deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen. Dieses wird durch verschiedene Veröffentlichungen sowie durch eigene Messungen bestätigt.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse von Infraschallmessungen des bayerischen Landesamtes für Umweltschutz [26] zusammen mit den vorgenannten Hörschwellenpegeln für Infraschall. Der Messpunkt lag in 250 m Abstand von einer 1 MW-Windenergieanlage im Windschatten auf dem Balkon eines Wohnhauses²⁴.

Tabelle 3: Infraschallpegel, ermittelt in 250 m Abstand von einer 1 MW-Windenergieanlage bei einer Windgeschwindigkeit von 15 m/s

Frequenz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz	16 Hz	20 Hz
L_{eq}	72 dB	71 dB	69 dB	68 dB	65 dB
Hörschwelle	103 dB	95 dB	87 dB	79 dB	71 dB

Als Ergebnis der Messung stellt das bayerische Landesamt für Umweltschutz fest:

„Die im Infraschallbereich liegenden Schallimmissionen liegen weit unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen und führen daher zu keinen Belästigungen.“

Anmerkung: In diesem Zusammenhang sei kurz die Arbeit von K. Wysocki, K. Schultz und P. Wieg „Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss von Infraschalldruck auf den Menschen“ [27] erwähnt. Diese Arbeit wird in der Literaturübersicht von M. Schust „Biologische Wirkung von vorwiegend luftgeleitetem Infraschall“ [28] dahingehend interpretiert, dass sie die einzige Arbeit ist, bei der die vom Hörschall bekannten unspezifischen Stressreaktionen schon bei Infraschallpegeln gefunden wurden, die unterhalb der Wahrnehmungsschwelle lagen.

²³ Bei Luv-Läufern befinden sich die Rotorblätter auf der windzugewandten Seite der Windenergieanlage. Der Wind streicht bei diesem Anlagentyp zunächst am Rotorblatt vorbei und erreicht dann den Windmast. Luv-Läufer sind grundsätzlich leiser und erzeugen grundsätzlich weniger Infraschall als Lee-Läufer, bei denen die Rotorblätter sich durch das vom Mast gestörte Windfeld bewegen. Derzeit wird nach den Kenntnissen des Berichterstatters auf dem deutschen Markt kein Lee-Läufer mehr angeboten.

²⁴ Die dargestellten Infraschallpegel sind auch durch den Wind als typische Infraschallquelle bedingt. Eine Fremdgeräuschkorrektur der gemessenen Infraschallpegel, mit deren Hilfe der Infraschall, den die Windenergieanlage allein verursacht, bestimmt werden kann, wurde nicht durchgeführt. Nach Abzug der Fremdgeräuschkorrektur sind für die anlagenbedingten Infraschallanteile noch niedrigere Werte zu erwarten.

Schaut man sich die zitierte Arbeit jedoch im Original an, so ist erkennbar, dass die Untersuchung mit einem Geräusch durchgeführt wurde, dessen Infraschallanteile zwar unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen lagen, das aber im Bereich der 31,5 Hz-Oktave, also oberhalb des Infraschallbereichs, einen Schalldruckpegel von etwa 70 dB aufwies. Dieser tieffrequente Geräuschanteil war somit deutlich hörbar. Die Arbeit von Wysocki belegt somit nicht, dass Infraschall, auch wenn er nicht wahrgenommen wird, beim Menschen zu Belästigungen oder anderen unerwünschten Beeinträchtigungen führen kann. Allerdings zeigt die Untersuchung, dass ungewohnte Geräusche körperliche Reaktionen beim Menschen auslösen können.

Windbedingte Fremdgeräusche

Bei hohen Windgeschwindigkeiten verursacht der Wind allein schon nennenswerte Schalldruckpegel. Sofern genaue Kenntnisse zu diesen windbedingten Fremdgeräuschen vorliegen, können sie in der Planung berücksichtigt werden. Die windbedingten Fremdgeräusche können auch dazu führen, dass messtechnische Prüfungen auf Einhaltung der Immissionsrichtwerte nur mit erheblichem Aufwand oder nur durch Emissionsmessungen in Verbindung mit Ausbreitungsrechnungen möglich sind.

Windenergieanlagen benötigen zum Betrieb Wind. Dieser Wind führt erfahrungsgemäß zum Rauschen von Blättern; an Hauskanten können Turbulenzgeräusche entstehen. Diese windbedingten Geräusche treten unabhängig vom Betrieb möglicher Windenergieanlagen auf und sind bei der Beurteilung der Geräuschimmissionen von Windenergieanlagen nicht dem Betrieb der Anlagen zuzurechnen, sie werden als "Fremdgeräusche" bezeichnet. Nach Ziffer 3.2.1 Abs. 5 der TA Lärm darf eine Genehmigung wegen Überschreitung der Immissionsrichtwerte nicht versagt werden, wenn die Anlagengeräusche wegen ständig vorherrschender Fremdgeräusche keine zusätzlichen schädlichen Umwelteinwirkungen verursachen.

Allgemeingültige Erkenntnisse über die Verdeckung der Geräusche von Windenergieanlagen durch windbedingte Fremdgeräuschpegel sind bislang nicht bekannt und auch nur in begrenztem Umfang durch zukünftige Untersuchungen zu erwarten, da die windbedingten Fremdgeräusche vom Bewuchs und vom Geländeprofil abhängen. Es ist zu beachten, dass aufgrund der Böigkeit des Windes die Pegelmaxima des Anlagengeräusches und der windbedingten Fremdgeräusche in der Regel nicht zeitgleich auftreten: Eine Windböe streicht beispielsweise über den Messort und führt dort zu hohen Fremdgeräuschanteilen; die Geräusche der Windenergieanlage sind in dieser Zeit nicht wahrnehmbar. Einige Augenblicke später erreicht die Windböe die Windenergieanlage und führt dort zu einer erhöhten Schallemission der Anlagengeräusche. Sind die windbedingten Fremdgeräusche zu diesem Zeitpunkt am Immissionsort schon wieder leiser geworden, so können die Anlagengeräusche nun wieder deutlich wahrnehmbar sein.

Dieses Phänomen führte nach den Beobachtungen des Landesumweltamtes [4] dazu, dass die Anlagengeräusche phasenweise auch in Situationen deutlich gehört werden konnten, in denen

der Pegel des zeitlich gemittelten Anlagengeräusches²⁵ um bis zu 10 dB unterhalb des zeitlich gemittelten Pegels des windbedingten Fremdgeräusches lag. Ein immissionsseitiger messtechnischer Nachweis des anlagenbedingten Schalldruckpegels ist in einer solchen Situation in der Regel nicht möglich. Gleichwohl waren die Geräusche der Windenergieanlage aufgrund des Höreindrucks zeitweise subjektiv zweifelsfrei wahrnehmbar. Erst wenn der Pegel der windbedingten Fremdgeräusche um mehr als 10 dB oberhalb des Pegels der Anlagengeräusche lag, waren die Geräusche der Windenergieanlage stets durch die windbedingten Fremdgeräusche vollständig maskiert und damit nicht mehr wahrnehmbar. Bei der geschilderten Untersuchung betrug der Pegel der Fremdgeräusche bei der Windgeschwindigkeit²⁶ von 7 m/s etwa 45 dB(A).

Aus der geschilderten Untersuchung leitete das Landesumweltamt NRW ab, dass die Geräusche einer „pitch“-gesteuerte Anlage, sofern sie bei der Windgeschwindigkeit von 7 m/s an dem Immissionsort den Richtwert von 35 dB(A) einhalten, bei höheren Windgeschwindigkeiten in der Regel durch die windbedingten Fremdgeräusche vollständig maskiert werden, sofern sie nicht einzelton- oder impulshaltig sind. [Sofern ein Immissionsort besonders windgeschützt liegt, ist diese Regel nicht anwendbar.]

Eine Untersuchung des bayerischen Landesumweltamtes [26] in der Nachbarschaft einer „stall“-gesteuerten Anlage, die nach den Vorgaben der Behörden einen Nacht-Richtwert von 45 dB(A) einhalten sollte, zeigte, dass eine Verdeckung der Geräusche dieser Anlage am Immissionsort auch bei hohen Windgeschwindigkeiten nicht auftrat. Selbst bei Windgeschwindigkeiten von 15,3 m/s traten die Anlagengeräusche klar aus den sonstigen Umgebungsgeräuschen hervor.

Aussagen zur Verdeckung der Anlagengeräusche durch windbedingte Fremdgeräusche bedürfen somit einer sorgfältigen gutachterlichen Betrachtung²⁷ unter Berücksichtigung der örtlichen Randbedingungen des Einzelfalls.

²⁵ Der Pegel des Anlagengeräusches wurde für den Immissionspunkt auf Basis einer Emissionsmessung in Verbindung mit einer Ausbreitungsrechnung ermittelt. Die Untersuchung wurde im Umfeld einer „pitch“-gesteuerten Windenergieanlage durchgeführt, die auf einem ebenen Gelände, auf einem abgeernteten Feld ohne nennenswerten Baum- oder Strauchbestand errichtet war. Die Geräusche der Windenergieanlage waren weder impuls- noch einzeltonhaltig.

²⁶ Gemessen in 10 m über Grund

²⁷ Bei messtechnischen Untersuchungen im Bereich hoher Windgeschwindigkeiten ist insbesondere darauf zu achten, dass die - aufgrund der nur begrenzten Wirksamkeit der eingesetzten Windschirme - am Mikrophon entstehenden Turbulenzgeräusche die Messwerte nicht verfälschen.

Betrachtungen zu Belästigungs-Wirkungen von Geräuschen

In ruhigen ländlichen Gebieten gibt es eine Diskrepanz zwischen dem erwartungsorientierten Wunsch von Beschwerdeführern auf Erhaltung der naturnahen Ruhe und der üblicherweise verwaltungsrechtlich festgesetzten Schutzwürdigkeit des Gebietes.

Zweck des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen. Der Schutzanspruch ist - hinsichtlich der Geräusche genehmigungsbedürftiger und nicht-genehmigungsbedürftiger Anlagen - in der TA Lärm konkretisiert worden. Entsprechend Abschnitt 3.2.1 Absatz 1 der TA Lärm ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen (d.h. vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen) dann sichergestellt, wenn die Gesamtbelastung am Immissionsort den anzusetzenden Immissionsrichtwert nicht überschreitet. Im Einzelfall kann entsprechend Abschnitt 3.2.2 der TA Lärm eine ergänzende Prüfung als Sonderfall erforderlich sein, um eine wirkungskonforme Beurteilung zu erreichen.

Aus der Lärmwirkungsforschung ist allgemein bekannt, dass die Belästigungsreaktion einer Person auf wahrgenommene Geräusche lediglich zu einem Drittel auf physikalisch beschreibbaren Aspekten des akustischen Stimulus beruht [29, 30]. Der A-bewertete, zeitlich gemittelte Schalldruckpegel sagt also nur zu 1/3 die Belästigung voraus, die es zu vermeiden oder zu begrenzen gilt. Ein weiteres Drittel kann aus dem Einfluss von sogenannten Moderatoren (z.B. individuelle Lärmempfindlichkeit, Kontrolle über die Schallquelle, Einstellung zur Quelle, Einschätzung der Vermeidbarkeit des Geräusches, Wohnumgebung) erklärt werden.

Die Beurteilung von Geräuschimmissionen ist im Rahmen der TA Lärm nach umfangreicher Rechtsprechung jedoch nicht auf den individuell vom Lärm Betroffenen und dessen subjektives besonderes Empfinden abzustimmen. Vielmehr ist von dem Empfinden eines durchschnittlichen, repräsentativ verständigen Menschen auszugehen [31]. Das Empfinden dieses normalen „Durchschnittsmenschen“ ist zu differenzieren hinsichtlich der Tageszeit, zu der die Geräusche einwirken. Daher kennt die TA Lärm Immissionsrichtwerte für den Tag und für die Nacht. Der erhöhte Schutz vor Geräuschen, die in den Ruhezeiten²⁸ auftreten, wird durch einen Ruhezeitenzuschlag, der im Prinzip ein Malus ist, berücksichtigt.

Der Charakter der Umgebung, in dem die Geräusche einwirken, ist für die Bewertung eines Geräusches von Belang, da die Erwartung, die der Betroffene an sein (akustisches) Wohnumfeld richtet, hierbei von Bedeutung ist. Die TA Lärm berücksichtigt daher die Ausweisung

²⁸ In der TA Lärm ist die Zeit von 6.00 Uhr bis 7.00 Uhr und von 20.00 Uhr bis 22.00 Uhr als Ruhezeit festgelegt.

eines Gebietes entsprechend den Festlegungen in Bebauungsplänen sowie - sofern solche Festsetzungen nicht bestehen - die Schutzwürdigkeit der Gebiete.

Auffällige Geräusche sind erfahrungsgemäß besonders lästig. Die TA Lärm berücksichtigt die erhöhte Lästigkeit von Ton- und Informationshaltigkeit sowie von Impulshaltigkeit durch entsprechende Zuschläge. Dieses Regelwerk der TA Lärm besteht in seinen wesentlichen Grundzügen seit 1968. Es wurde seit dieser Zeit durch ergänzende Erlasse an neuere wissenschaftliche Erkenntnisse angepasst und 1998 insgesamt novelliert. Es handelt sich somit im wesentlichen um ein langjährig erprobtes und bewährtes Beurteilungsverfahren.

Das Landesumweltamt wurde in der Vergangenheit in konkreten Einzelfällen von den Staatlichen Umweltämtern zur Bearbeitung von Beschwerdefällen über Geräuschimmissionen von Windenergieanlagen hinzugezogen. Aus den hierbei gewonnenen Erfahrungen kristallisiert sich eine typische Situation heraus, die beschwerdeträchtig ist. Diese wird im folgenden beschrieben:

Die Beschwerdeführer wohnen oftmals in alleinstehenden Gebäuden oder in kleinen Splittersiedlungen in einer landschaftlich reizvollen Umgebung mit Blick auf Wiesen und Felder. Die in den Ballungsgebieten üblicherweise allgegenwärtigen Geräuschquellen (starker Straßenverkehr sowie Industrie- und Gewerbelärm) sind nicht vorhanden. Nachts sind nahezu keine Geräusche außer denen der Natur zu hören. In manchen Fällen sind die Menschen aus industriellen Ballungsräumen eigens in diese Landschaft gezogen, um hier Ruhe zu finden. In diese Situation hinein werden nun von Dritten eine oder mehrere Windenergieanlagen errichtet. Die akustische Planung ist auf die Einhaltung des Nachtrichtwertes von 45 dB(A) ausgelegt, da nach geübter Rechtspraxis [22] die Menschen im Außenbereich höchstens den Schutzanspruch haben, der ansonsten für Mischgebiete gilt.

Nach den Erkenntnissen der Wirkungsforschung ist davon auszugehen, dass nicht die Lautstärke der Windenergieanlagen die geschilderte Symptomatik ursächlich bewirkt hat.

- Nach Sader, zitiert nach Guski [29], gibt es Situationen, in denen nicht der Schall selbst das eigentlich Störende ist, sondern das, was durch den Schall vom Hörer indiziert wird. Dieser psychologische Mechanismus gilt auch für andere Wahrnehmungen, z.B. Gerüche. Möglicherweise erinnert der Schall der Windenergieanlagen die Beschwerdeführer an die als rücksichtslos empfundene Veränderung ihres akustischen Umfeldes. Durch das abwechselnde Auftreten von windstillen und windreichen Nächten wird diese akustische Veränderung immer wieder erfahrbar.
- Es gibt in der internationalen Lärmwirkungsforschung [32, 33] Erkenntnisse, dass in besonders ruhigen ländlichen Gebieten eine größere Erwartungshaltung nach „Ruhe und Stille“

gegeben ist als in stärker geräuschbelasteten Gebieten und daher pegelmäßig gleiche Einwirkungen in besonders ruhigen Gebieten stärker stören als in anderen Gebieten.

Wie gesagt, handelt es sich bei den Erklärungen der subjektiv empfundenen Belästigungen in der oben geschilderten Quellen-Empfänger-Konfiguration um Hypothesen. Auf breiter Basis erhobene, belastbare wissenschaftliche Erkenntnisse zur speziellen Belästigungswirkung von Windenergieanlagen existieren nach dem Kenntnisstand des Landesumweltamtes, der durch eine aktuelle telefonische Befragung von universitären Lärmwirkungsforschern bestätigt wurde, nicht²⁹.

Betont sei, dass die geschilderte Diskrepanz zwischen dem subjektiven Erleben von Betroffenen und dem in der TA Lärm festgelegten Schutzanspruch für den Außenbereich nicht spezifisch für Windenergieanlagen ist, sondern allgemein bei geräuschemittierenden Anlagen auftreten kann.

Literatur

- [1] E. Hau: „Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit“, Springer-Verlag, Berlin (1996)
- [2] Nach einer Anlage zum Protokolls des Arbeitskreises „Geräusche von Windenergieanlagen“ vom 28.05.1997
- [3] Nach einer Darstellung aus einem Emissionsmessbericht der Ing.-Büro für Akustik Busch GmbH vom 14.06.96
- [4] D. Piorr: „Schallemissionen und -immissionen von Windkraftanlagen“, Fortschritte der Akustik - DAGA 91, Bad Honnef: DPG-GmbH (1991)
- [5] DIN EN 61400-11 „Windenergieanlagen, Teil 11: Schallmessverfahren (IEC 61400-11:1998)“, Februar 2000
- [6] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: „Bestimmung der Emissionswerte“, Revision 13, Stand: 1.1.2000, Hg.: Fördergesellschaft für Windenergie e.V., Stresemannplatz 4, 24103 Kiel
- [7] Niederschrift über die 99. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. bis 12. Mai 2000 in Lübbenau/Spreewald, TOP 1.4
- [8] DIN 45681 „Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen“, Entwurf Januar 1992
- [9] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998, GMBI 1998, S. 503 - 515
- [10] E. Knothe: „Technischer Bericht zur Untersuchung der LKW- und Ladergeräusche auf Betriebsgeländen von Frachtzentren, Auslieferungslagern und Speditionen“, Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 192 der Schriftenreihe der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (1995)
- [11] S. Wagner, R. Bareiß, G. Guidati: „Wind Turbine Noise“, Springer-Verlag, 1996

²⁹ Bisläng gibt es nur Wirkungsstudien zum Schattenwurf [34].

- [12] K. Betke, J. Gabriel, H. Klug, K. Schumacher, G. Wittwer: Abschlussbericht des BMBF-Forschungsvorhabens „Geräuschminderung durch Modifikation der Blattspitze, der Blatthinterkante und des Anstellwinkels von Windkraftanlagen“, 1997
- [13] Gesetz zur Umsetzung der UVP-Änderungsrichtlinie, der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz, BGBl. I, Nr. 40 vom 2.8.2001
- [14] DIN ISO 9613-2 „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2: 1996), Entwurf September 1997
- [15] D. Piorr: „Weniger Lärm durch Auswahl eines ‚geeigneten‘ Prognosemodells?“, Jahresbericht des Landesumweltamtes NRW 2000, S. 163-171
- [16] H. Klug, V. Mellert, R. Radek: „Zuverlässigkeit von Geräuschimmissionsprognosen bei gewerblichen Anlagen“, Forschungsbericht Nr. 89-105 02 702 des Umweltbundesamtes, 1989
- [17] Expert group study on recommended practices for wind turbine testing and evaluation. 4th Acoustics. Measurement of Noise Emission from Wind Turbines. 2nd edition 1988. Published by the International Energy Agency
- [18] N.J.C.M. van der Borg, P.W. Vink: „Measurements of the propagation of wind turbine noise“, Netherlands Energy Research Foundation, ECN DE Memo-97-0456, Petten 1997
- [19] D. Piorr: „Zum Nachweis der Einhaltung der Immissionswerte mittels Prognose“, Protokoll des Erfahrungsaustausches mit den Mess- und Prüfdiensten „Geräusche und Erschütterungen“ im Landesumweltamt 2001, S. 37-41
- [20] K. Künzel, D. Schulz, R. Schönfelder: „Untersuchungen zur Schallimmission durch Windenergieanlagen im Erzgebirgsvorland“, Fortschritte der Akustik - DAGA 97 (1997)
- [21] R. Schönfelder: „Schallabstrahlung von Windkraftanlagen in orographisch komplexem Gelände“, Auszug aus der Diplomarbeit „Messung des Schallimmissionsverhaltens von Windkraftanlagen in orographisch komplexem Gelände“, Hochschule Mittweida (FH), Dezember 1998
- [22] Lärmimmissionen und Schattenwurf durch Windenergieanlagen, UPR 2/2000 S. 73
- [23] H. Ising, B. Markert, F. Shenoda, C. Schwarze: „Infraschallwirkungen auf den Menschen“, VDI-Verlag GmbH; (1982)
- [24] DIN 45680 „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“, März 1997
- [25] Beiblatt 1 zu DIN 45680 „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft - Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen“, März 1997
- [26] C. Hammerl, J. Fichtner: „Langzeit-Geräuschimmissionsmessung an der 1 MW-Windenergieanlage Norde N54 in Wiggensbach bei Kempten (Bayern)“, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Januar 2000
- [27] K. Wysocki, K. Schultz, P. Wieg: „Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss von Infraschalldruck auf den Menschen“, Z. ges. Hyg. 26 (1980), S. 436-440
- [28] M. Schust: „Biologische Wirkung von vorwiegend luftgeleitetem Infraschall“, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin 1997

- [29] R. Guski: "Der Begriff 'Lärm' in der Lärmwirkungsforschung", KdL 1976, S. 43-52
- [30] W. Pompetzki: „Lärm und Gesundheit“, Jahresbericht des Landesumweltamt NRW 2000, S. 37-51
- [31] G. Jansen, W. Klosterkötter: „Lärm und Lärmwirkungen - Ein Beitrag zur Klärung von Begriffen“, Hg.: Bundesministerium des Innern (Februar 1980)
- [32] P. Lercher, G. Brauchle: „Die wechselseitige Beeinflussung von externer akustischer und 'natürlicher' ' Umgebung in einem alpinen Tal: Umweltpsychologische und gesundheitliche Perspektiven“, Fortschritte der Akustik - DAGA 2000, S. 118-119
- [33] ISO/DIS 1996-1 „Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures“, Arbeitsentwurf, Stand: Februar 2001
- [34] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld: „Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen“, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (1999)