

低周波音に関する様々な研究や報告についての解説

ハーゲン大学名誉教授・物理学修士 ヘニング・ミュラー
工学修士・ドイツ技術者協会 ゲルハルト・アルティンガー

技術的かつ事実に基づく検証:

環境のための鑑定士と専門家のセンター(GuSZ): 測定の有限会社

WWW.UMWELTMESSUNG.COM

音響の素人向けに複雑なテーマをわかりやすく解説

風力タービンの超低周波とその影響についての議論では、海外の研究や報告がよく引用されます。カナダ、アメリカ、オーストラリアの最新研究の重要な内容を本記事でまとめています。

この論文の目的は、関連性をできるだけ明確に提示し、専門家でない人でも意見を形成できるようにすることです。

結論

- 風力タービンは間違いなく低周波および超低周波音を発生しており、これは他の超低周波音や低周波音(例:風)とは大きく異なります(第4章および第5章参照)。これは特に2~3メガワット級(高さ150~200メートル)の新型タービンに当てはまります。
- 低周波騒音は、人口のかなりの割合(2,000メートルまでの距離で10~30%と推定)にストレスを引き起こします。風力タービンの騒音放出により健康被害が発生した事例は数多くあります。これらの影響は、DIN45680に基づくガイドライン値を超えていない場合でも発生する可能性があります。
- 低周波成分はこれまでの測定・評価方法では抑制されるか、検出されませんでした。使用される1/3または1オクターブ解析は、個々の周波数ピークを平均化します。評価に用いられる外部騒音レベルは、影響を受けた人々の主な曝露を無視しています。低周波の音は内部にまで届きます。音の反射や重ね合わせにより、局所的に過剰な音圧値を引き起こすことさえあります。特に睡眠を妨げる絶え間ない影響が原因です。
- 個々の周波数のピークは、背景雑音から10dB以上も明確に際立っています。音響スペクトルの音調成分(周波数ピーク)は、広帯域ノイズよりも不穏で有害な影響を与えます。
- 風力タービンからの騒音発生と住民の健康被害には統計的に有意な相関関係があると

考えることができます。症状は通常、除去によって和らぎます。

- DIN 9613-2に基づく音響伝播の計算モデルは、高さ 30 メートルまでのタービンに対してのみ信頼できる記述をもたらすため、風力タービンには適していません。したがって、音の伝播は誤って計算されており、実際の音の発生値は計算された値より高くなっています [16].

実際の境界条件(高度、大気の安定性、空中音響減衰率)を考慮すると、現在のタービンに対して以下の距離を決定する必要があります[16]。

純粋な住宅地 35dBA 4.5km:

一般住宅地 40dBA 2.3km

混在地 45dBA 1.1km

- 例えば、「シュレースヴィヒ・ホルシュタイン州」の法令で規定されている距離(戸建て住宅までは 400 メートル、住宅地までは 800 メートル) はあまりにも短すぎます。さらに、住宅地と戸建て住宅を区別することが法的にも道徳的にも正当化されるのかという疑問が生じます。
- 風力タービンは住宅ビルから適度な距離に設置される必要があります。10H ルールはあくまで目安です。

風力タービンから住宅までの最小距離は、風力タービンの全高に 10 を掛けた値になります。

1 はじめに

低周波音が人間の健康に影響を与えるかどうかについては意見が分かれています。それぞれの研究結果は、国際医学、科学、技術の最先端にいない人々(多く)によって議論や疑問視されることが多いです。

ドイツ風力エネルギー協会(BWE)は 2015 年 3 月に次のように記しています[22]。

「バーデン・ヴュルテンベルク州環境庁も、2013 年にさまざまな出力の風力タービンの測定プロジェクトを実施しました。初期の結果では、タービンの近くで超低周波音を効果的に測定できること、150~200 メートルの距離で超低周波音のレベルが低下して知覚閾値が下がること、そして 700 メートルを超える距離では超低周波音のレベルに顕著な増加がないことが示されています。」

ドイツ風力エネルギー協会 (BWE) は、風力タービンが発する超低周波音について、もは

や根本的な異議を唱えていません。しかし、「…700 メートルを超える距離では有意な増加は見られない」という記述は検討に値します。この文言は、風力発電批判派の懸念が正当なものであることを示唆しているのでしょうか？

バイエルン州保健食品安全局労働環境医学/疫学部門のドロテ・トゥヴァルデラ博士は、2013 年の立場表明の中で、「可聴閾値以下では、超低周波音が人体に与える影響は未だ証明されていない」と述べています。この発言は、その後、著名な政治家によって議論の中で引用されています。トゥヴァルデラ博士が自身の主張の根拠として 1982 年と 1984 年の文献を引用していることは言及されておらず、より最近の研究結果も考慮されていません。

クラヘ教授らは、UBA 2014[14; 15]における低周波効果に関する実現可能性調査で異なる意見を次のようにまとめています。「研究結果の比較により、10Hz 以下の周波数帯域における低周波音の負の影響は、聴覚閾値以下の音圧レベルでも排除できないことが示されました。…これまでのところ、知覚閾値以下で低周波音が悪影響を及ぼすという科学的に証明された発見は見つかっていませんが、多くの研究が対応する仮説を提唱しています。」さらなる研究が緊急に求められています。

他の研究者や医療専門家は、風力タービンと住宅の間の距離をより離すのに十分な証拠があると考えています。[5~8; 11~13; 16]を参照してください。。

2014 年末から 2015 年初頭にかけて、さらなる研究や報告書が発表されました[17~21]。これらの研究や報告書は、健康被害と風力タービンの騒音との間に具体的な統計的相関関係があるという仮説を裏付けています。

2 低周波とは何か？

図 1 は、超低周波音の分類方法を示しています。超低周波音とは、20 ヘルツ (Hz) 未満の周波数成分を持つ音です。低周波ノイズの範囲は超低周波音と重なっています。可聴音は 20~20,000Hz の周波数範囲にあります。この範囲を超えると、超音波と呼ばれます。図に示されているピアノの鍵盤は、33~4,186Hz の範囲をカバーしています。乳児の泣き声は、3,000~4,000Hz に大きな周波数成分を持っています。

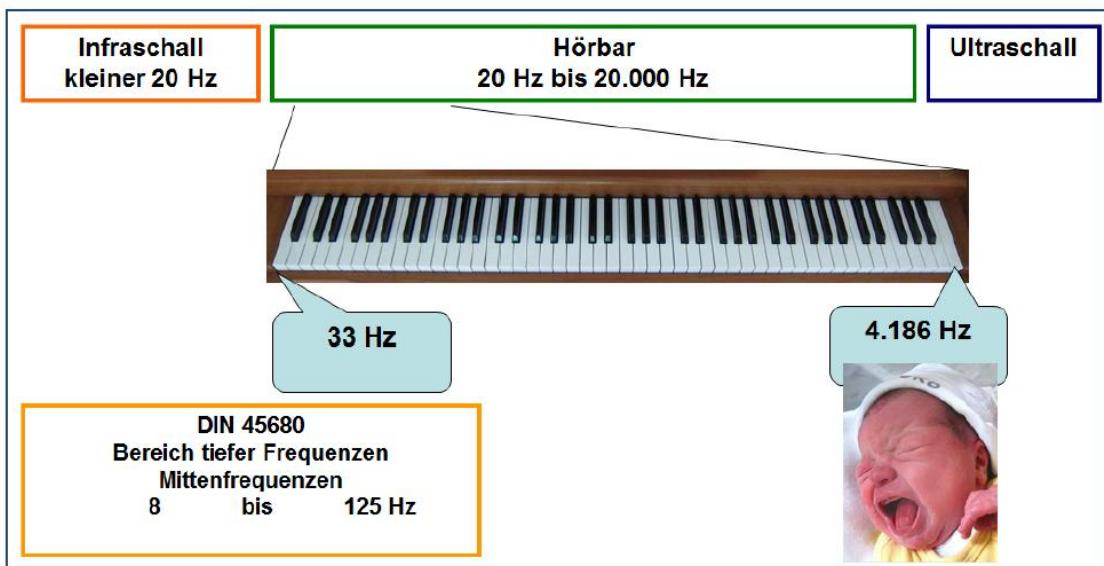


図 1: 低周波、可聴音、超音波の周波数範囲

周波数などの物理量に馴染みのない読者のために、簡単に説明します。音は気圧の変化として伝播します。図 2 では、時間は左から右へと流れています。

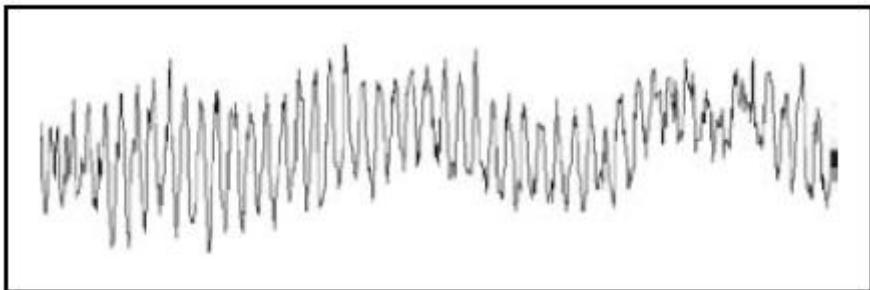


図 2: あらゆる音声信号

変化が大きいほど、つまり振幅が大きいほど、音は大きく聞こえます。変化が速いほど、音の高さは高くなります。急激な変化は高周波音を、緩やかな変化は低周波音を生み出します。空気圧の変動から何かを識別することは難しいため、振動は個々の成分に分解され、周波数分析が行われます。フランスの数学者ジャン・バティスト・ジョゼフ・フーリエは、この分析に不可欠な数学的基礎を築きました。そのため、これはフーリエ解析またはフーリエ変換と呼ばれています。現代のコンピュータには、この目的のための高速アルゴリズム「高速フーリエ変換」(FFT) がプログラムされています。このようにして、音信号は個々の周波数に分解され、より正確な分析が可能になります。左から右へ、時間ではなく周波数がプロットされています(図 5 参照)。この周波数範囲をどのように詳細に分析できるかについては、次章で説明します。

3 なぜ「何もない」と言えるのか?何かがあるのに。

なぜ風力発電所の運営者、当局、あるいは測定機関は、すべてが非常に調和しているように見える周波数分析結果を提示できるのでしょうか？なぜ、周波数が周囲の騒音とほとんど区別できない測定結果を提示できるのでしょうか？

重要な理由は、測定が行われる周波数範囲と、測定データの評価に使用されるソフト分解能です。10Hz以上の音信号のみを検出するマイクロホンや測定機器を使用する場合、10Hz未満の周波数は測定信号に含まれません[DIN 45680 v. 1997 参照]。

一般の方向けに、「解像度」の影響要因を例を用いて説明します。図3はカーペットの低解像度画像です。色柄などの細部ははっきりと見えませんが、表面は特に危険には見えません。裸足で歩いても問題ないようです。



図3: 低解像度で撮影されたカーペット



図 4: 高解像度で撮影されたカーペット

図 4 では、高解像度で詳細がはっきりと見えます。

音響信号を評価する場合も、同様のプロセスが適用されます。1/3 オクターブ分析と 1 オクターブ分析では、特定の周波数帯域（周波数範囲）にわたって周波数が平均化されます。これらの周波数帯域は、中心周波数によって特徴付けられます。

そのため、中心周波数をオクターブ分析し、16、31.5、62.5、125、250、500、1000、2000 [DIN EN 61260] で調べると、細部が平滑化されます。1/3 オクターブの中心周波数である 10、12.5、16、20、25、31.5 などに対応する分解能も、細部を識別できるほど高くありません。

図 5 は、高解像度解析（青）と平均解析（赤）の比較を示しています。個々の周波数（青）におけるピークは、平均解析（赤）では確認できません。したがって、平均解析のみを考慮した場合、「ピークは見られない」という記述は誤りです。この図は[19、99 ページ]からの引用です。図の分かりやすさを考慮し、図のラベルは省略しています。詳細については後述します。

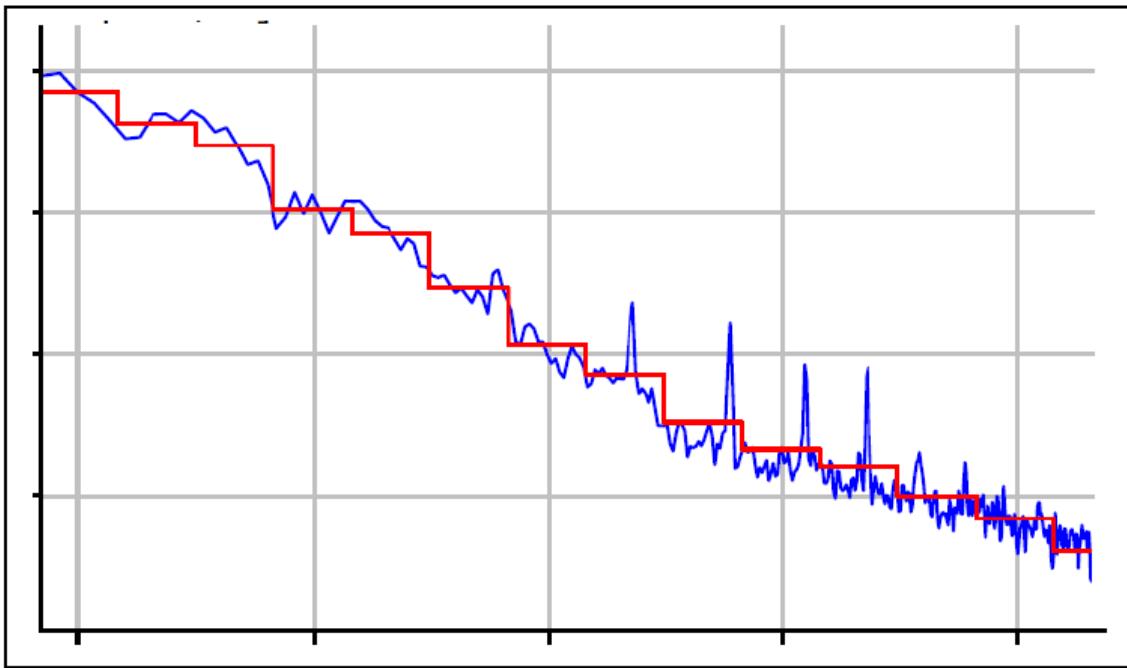


図 5：高解像度（青）および平均化（赤）された音声信号の周波数分析。ピークは平均化されています。

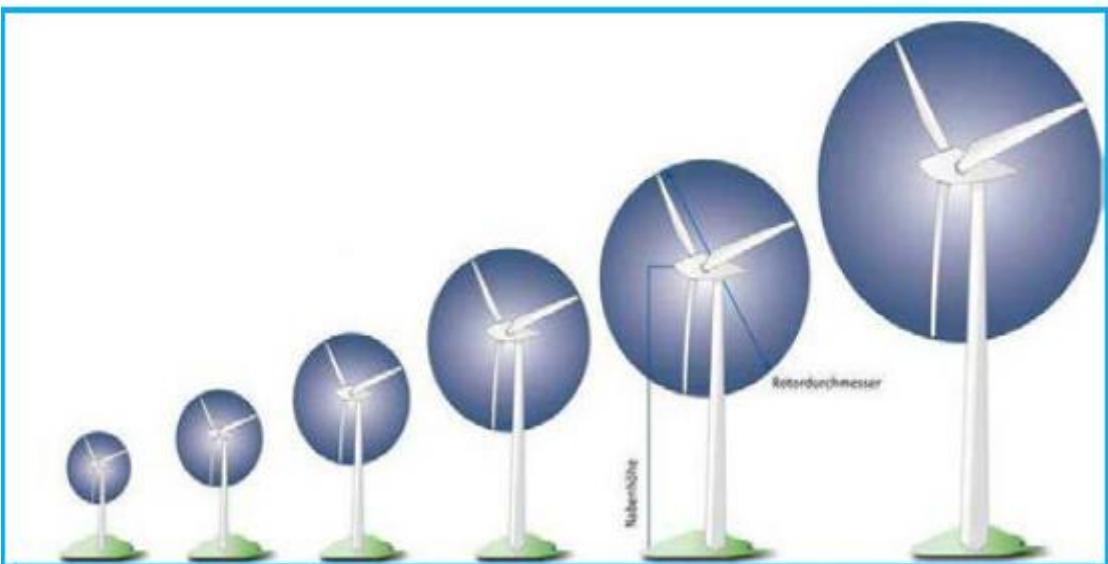


図 6:より大きな施設の開発

議論の中で時折、「風力タービンの音を聞いたことがあるが、特に気になることはない」と言う人がいます。騒音問題を抱えている住民もいれば、全く問題がなかった住民もいます。ところが、その後、再発電が行われました。小型のタービンが大型で近代的なタービンに置

き換えられたのです。すると突然、深刻な問題が発生するのです。一体なぜでしょうか？

大型のタービンは回転角速度（毎分回転数）が低いですが、ローターブレードが大幅に長いため、小型のタービンに比べてブレード先端速度がはるかに高くなります。回転速度とブレードの長さに応じて、ブレード先端の速度は 300~400 km/h に達します。長いブレードの振動挙動も異なります。現代の風力タービンは 9,000~10,000 平方メートルの面積をカバーします。この数値をあなたの敷地の広さと比較してみてください。DIN 9613-2 で要求されているように、ここでも点音源を想定できるかどうかは疑問です。さらに、オープンスペースでの音の伝播を計算する DIN 9613-2 は、高さ 30 メートルまでのタービンに対してのみ信頼できる結果を提供します。そのため、大型の風力タービンの音の伝播は誤って計算され、実際の騒音放出レベルは DIN 9613-2 に従って計算されたレベルよりも高くなります [4; 16]。この計算方法は、本来許可されるべきではない許可を取得できるため、プラントメーカーと運営者に有利です。プラントが建設されると、住民が最初に問題に直面し、追跡調査を実施しなければなりません。これらの測定では通常、より高い排出量が明らかになります。

4 風力タービンの動作は低周波ノイズを発生させるのか？

風力タービンの回転速度に応じて、ブレードは 1~2 秒ごとにマストを通過します。特徴的な「シューッ」という音はよく知られています。これが音の可聴成分です。また、不可聴成分も存在します。この騒音の発生は、G.P. van den Berg [3] の研究で非常に明確に示されています（図 7 参照）。

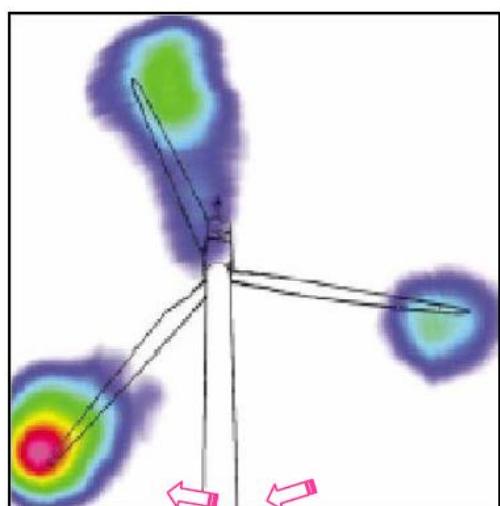


図 7: 最も強いノイズ放射の位置

ブレードが 1 ~ 2 秒ごとにマストのそばを通過することで、1 ~ 0.5 ヘルツの基本周波数、つまり超低周波音域の気圧/音圧の変化が生じます。

風力タービンが低周波騒音を発生させるという事実は、もはや風力発電業界によって否定できません[22]。しかしながら、これは自然の超低周波音と同等であるとしばしば主張されています[10]。自然の超低周波音と人為的な超低周波音を同一視することは科学的に正確ではありません。技術的な発生源から発生する超低周波音は、その発生源に起因する様々な特性を示し、それらは単独でも、また複合的にも、人体に深刻な健康被害を引き起こすことが証明されています。

地元住民からの苦情を受けて、マイケル・バティアリアン氏[20]は 2014 年 12 月に米国マサチューセッツ州ファルマス市で測定を行い、超低周波音をより詳細に調査しました。彼は、基本周波数 (1x BPF、ブレード通過周波数) とその倍音 (ブレード高調波、2x BPF、3x BPF など) が周囲騒音と明確に区別できることを実証しました。周囲騒音の周波数スペクトルは、黒い曲線 (風力タービン静止時) で示されています。これは本質的に騒音です。赤い曲線は、風力タービン稼働時の屋内の音圧の周波数スペクトルであり、緑の曲線は稼働中の屋外での測定値です。音響スペクトルの音調成分 (周波数ピーク) は、広帯域騒音よりも不快で有害です。

人体への影響については第 5.3 章で説明します。

図 8 に示す例では、約 0.7Hz の基本周波数が明瞭に確認できます。その後に続くピークは、最初の周波数ピークの倍数も伝播することで発生します。これらのピークは周囲のノイズから明確に際立っています。前述のように、まさにこれらの顕著なピークが、時間の経過とともに健康問題を引き起こすのです。

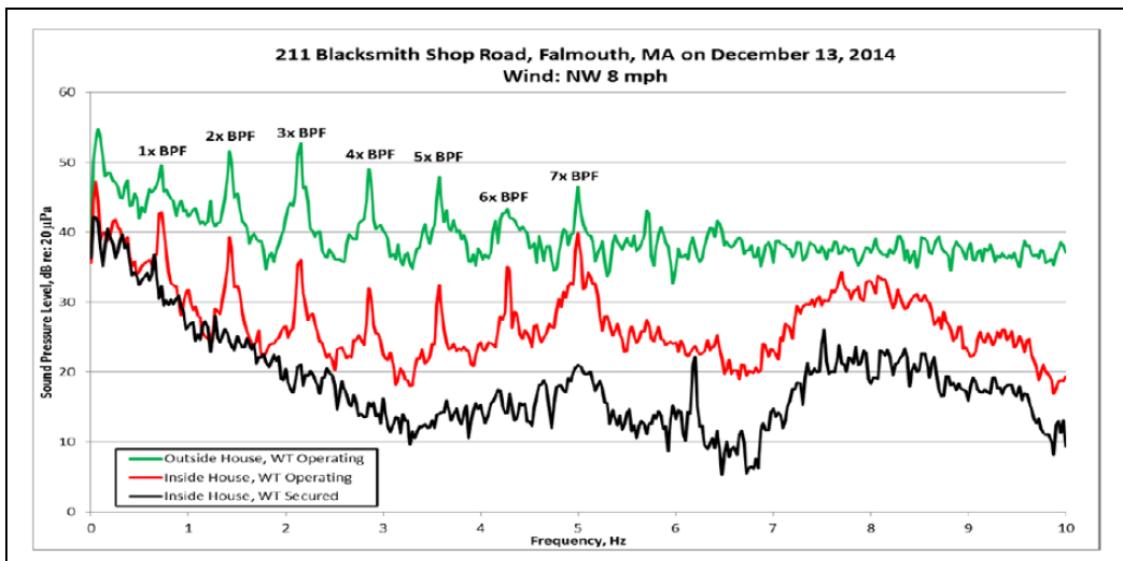


図 8:風力タービンの低周波音信号の周波数解析

本件では、裁判所は両方の風力タービンを 19:00 から 07:00 の間に停止しなければならないと判断しました。

問題となっている事例において、問題となっている風力タービンは、出力 1.65MW、ロータ一面積 5,281 平方メートルの中型モデル、ヴェスタス V82 型でした。これらは、敷地から約 400 メートルと 800 メートルの距離に設置されていました。これらは、シュレスヴィヒ ホルシュタイン州における標準的な最小距離でもあります。出力 3.3MW、ローター面積 9,852 平方メートルのヴェスタス 112 型といった今日の大型風力タービンは、騒音が 2 倍以上になると考えられ、その周波数も周囲の騒音から著しく目立つものとなっています。シュレスヴィヒ ホルシュタイン州およびドイツの他のほとんどの州で規定されている最小距離は明らかに不十分です。バイエルン州だけが 10H ルールという称賛に値する例外を設けています。

ラース・ツエラナ、ゲルノット・ハートマン、マンフレッド・ヘンガーは、2004 年にハノーバー近郊の風力タービンで行った研究の中で、「タービンブレードの動きによって発生する騒音は可聴範囲に限定されない。タービンブレードのサイズと回転速度が低いため、20Hz 以下の超低周波音としてかなりの量のエネルギーが放出されるからである」と指摘しました[2]。彼らは、回転速度とマスト通過によって生じる基本周波数とその倍数を明確に示すことができました（図 9）。

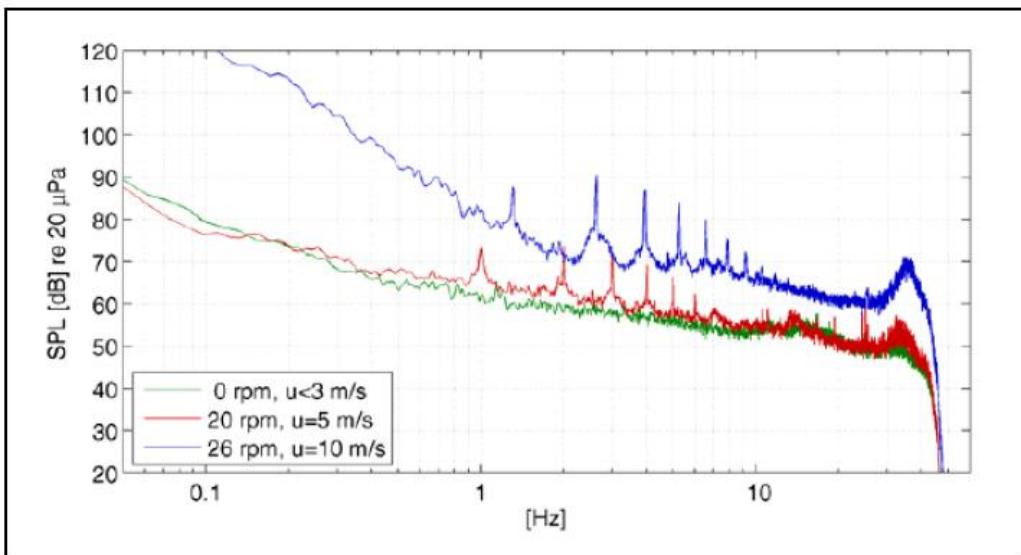


図 9: ハノーファー近郊の風力タービンの音信号の周波数解析

風力発電推進派は、この測定は風力タービンからわずか 200 メートルの距離で行われたため、意味がないと主張しています。しかし、周波数 1Hz では波長が 343 メートルであり、200 メートルでは超低周波はまだ完全に発達していないにもかかわらず、明瞭に検出できることに留意する必要があります。さらに、他の研究では、様々なサイズの風力タービンから超低周波がどれだけ遠くまで伝播するかが調べられています。図 10 は、約 3MW の現在の風力タービンから超低周波がどれだけ遠くまで伝播するかを明確に示しています[2]。

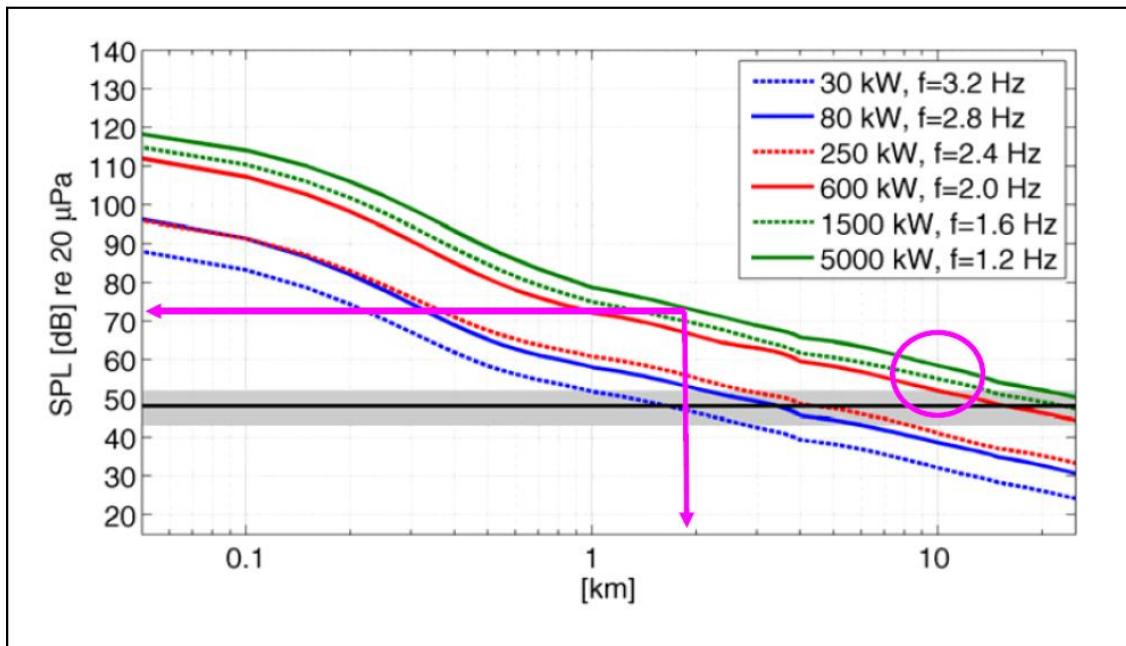


図 10: 音源からの距離に応じたブレードの第 2 高調波の放射音圧レベル (SPL) の曲線。

このグラフは、ブレードの第 2 高調波の音圧レベル (SDP) を示しています (図 9 の曲線の左から 2 番目のピークとして確認できます)。10km 以上離れても、背景騒音 (灰色の水平バー) から目立つ状態が続いています。2km 離れても、音圧レベルは背景騒音より 20dB 高くなっています。これは、いわゆる知覚閾値を超えていないとしても、一部の人々の身体に不快感や刺激を与えることは避けられません。これが、超低周波音の健康への影響につながります。

5 風力タービンは健康に影響を与えるのか?

事業者と許可当局は、すべての法的要件が満たされていると一貫して強調しています。したがって、健康への悪影響は予想されていません。しかし、もし法的枠組みに欠陥があったらどうなるでしょうか? リスクを負うのは誰でしょうか? 計画者、事業者、あるいは許可当局の職員など、風力タービンから 2,000 メートル以上離れた場所に住み、眠っている人たちでしょうか? それとも、すぐ近くに住んでいて夜も眠れない人たちでしょうか?

5.1 カナダ、ウォータールー、2014 年

カナダ、ウォータールー大学のクレア・パラー氏が 2014 年に実施した研究では、健康問題と風力タービンからの距離との間に明確な相関関係があることが示されました[18]。睡眠の質 (ピツツバーグ睡眠の質指数、PSQI)、めまい、耳鳴りは、風力タービンに近づくにつれて悪化します。

この研究には 396 人の参加者が参加しました。例えば、クレア・パラーは睡眠の質に関する記述 (PSQI) を評価しました。これは様々な詳細を記録するもので、PSQI スコアが 5 未満であれば良い睡眠、5 より高いほど悪い睡眠を示します。分析の結果、以下の結果が得られました。

睡眠の質 (PSQI) と最寄りの風力タービンまでの距離の間には統計的な相関関係があります。風力タービンに近いほど、つまり距離 (メートル単位) が短いほど、睡眠の質は低下します。その結果、図 11 に示すような曲線が描かれます。

上記の記述は統計的誤差が $P=0.01$ (有意水準)のみの対象となります。これは十分に良好なデータ状況によって提供されます。

研究の値は通常、回帰曲線(図 11 の黒い曲線)に正確には合いません。統計的には、これらの数値はこの曲線の周りに散らばっており、95%の確率で示された信頼区間(2 つの破線曲線の間の面積)に収まっています。

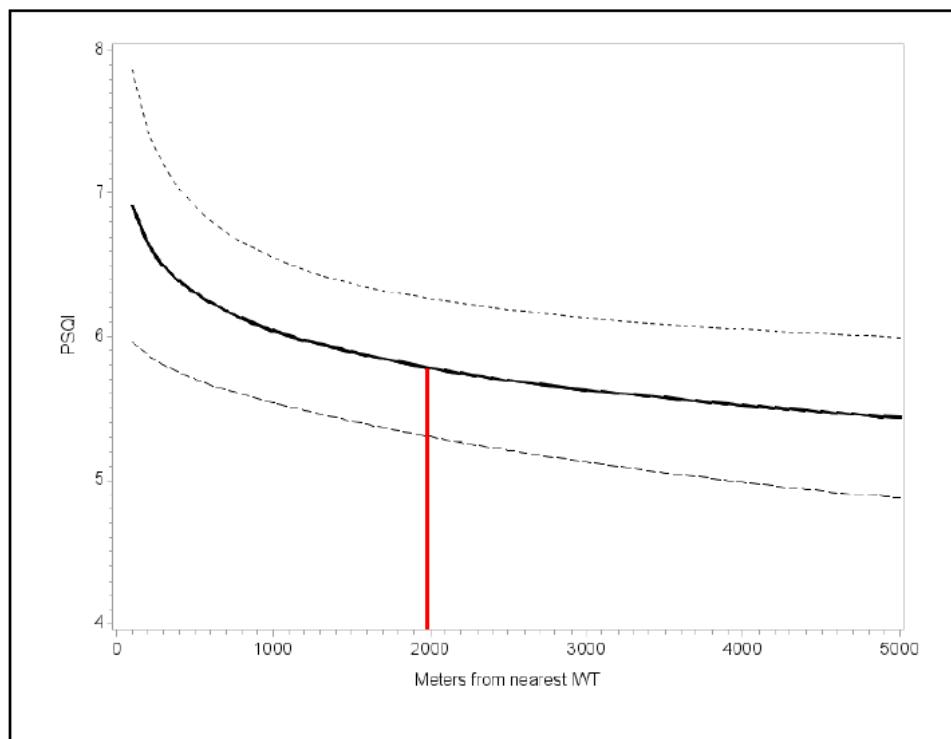


図 11:睡眠の質と風力タービンまでの距離との関係

統計分析により、風力タービンは睡眠の質に明確な影響を与えることが確認されています。風力タービンに近いほど、睡眠の質は低下します。睡眠の質は人間の健康に大きな影響を与えるため、風力タービンと周辺地域との適切な距離を確保することが重要です。適切な距離としては、約 2,000 メートルが考えられます。

ここで睡眠の質の例を用いて示されていることは、めまいと耳鳴りの研究でも調査されており、同様の結果が得られています。

結論は以下の通りです。

シュレスヴィヒ・ホルシュタイン州の法令で定められた戸建ての住宅までの 400 メートル、住宅地までの 800 メートルの距離はあまりにも近い。さらに、住宅地と戸建て住宅を区別することが法的かつ道徳的に妥当かどうかという問題が生じます。

5.2 調査 ケープブリッジウォーター風力発電所、オーストラリア、 2014 年

オーストラリアのケープブリッジウォーター風力発電所では、スティーブン・クーパーも風力タービンと健康問題との明確な関連性を指摘しました[19]。低周波帯域の特徴的な周波数ピークは、上記の図 8 に示すように図 12 にも見ることができます。この調査の特別な点は、風力発電事業者が全面的に協力し、タービンのオン・オフを行ったことです。住民たちは 2 時間ごとに勤務時間と苦情の状況を記録していました。風力タービンの運転がいつ周波数ピークを引き起こし、いつそうでないのかは分かっていませんでした。

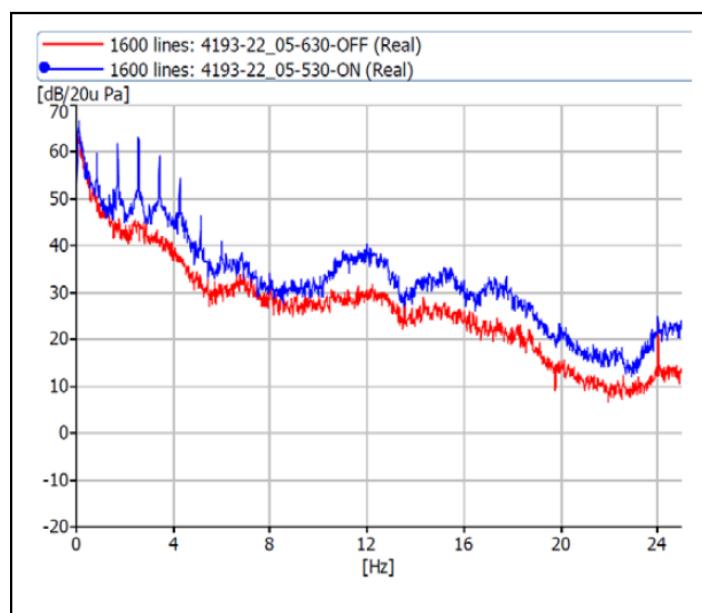


図 12:オーストラリア・ケープブリッジウォーター風力発電所の特徴的な周波数ピーク

これらの周波数ピークは時に高い音圧レベル(dB 単位)で、時には低い音圧レベルを示します。これは風力タービンの現在の出力と時間の経過による変化(風速や変化による)に依存します。

クーパーは次のことを発見しました。

周波数ピークが音圧が高いまさにその時期に、住民の間で多くの苦情(感覚)が起こりました。低音圧ではほとんど不満が報告されませんでした。

ここでの課題は、これらの調査結果を視覚的に表現することです。クーパー氏は下の図 13 でこの関係性を示しています。図の軸(周波数と dB)は周波数分析から取得されています。クーパー氏は 30Hz 付近の周波数範囲も分析に含めています。この範囲にも特徴的な高いピ

ークが発生するためです。ただし、図を分かりやすくするために周波数スペクトルは示していません。赤と青の点は、これらの周波数ピークに応じた苦情の頻度を示しています。

赤い点は、周波数のピークも高いときに多くの症状(感覚)が発生することを示しています。周波数のピークが低い場合(青い点)、症状は少なくなります。このように、クーパーは風力発電所の運用と地域住民からの苦情の間に明確な相関関係を確立することができました。

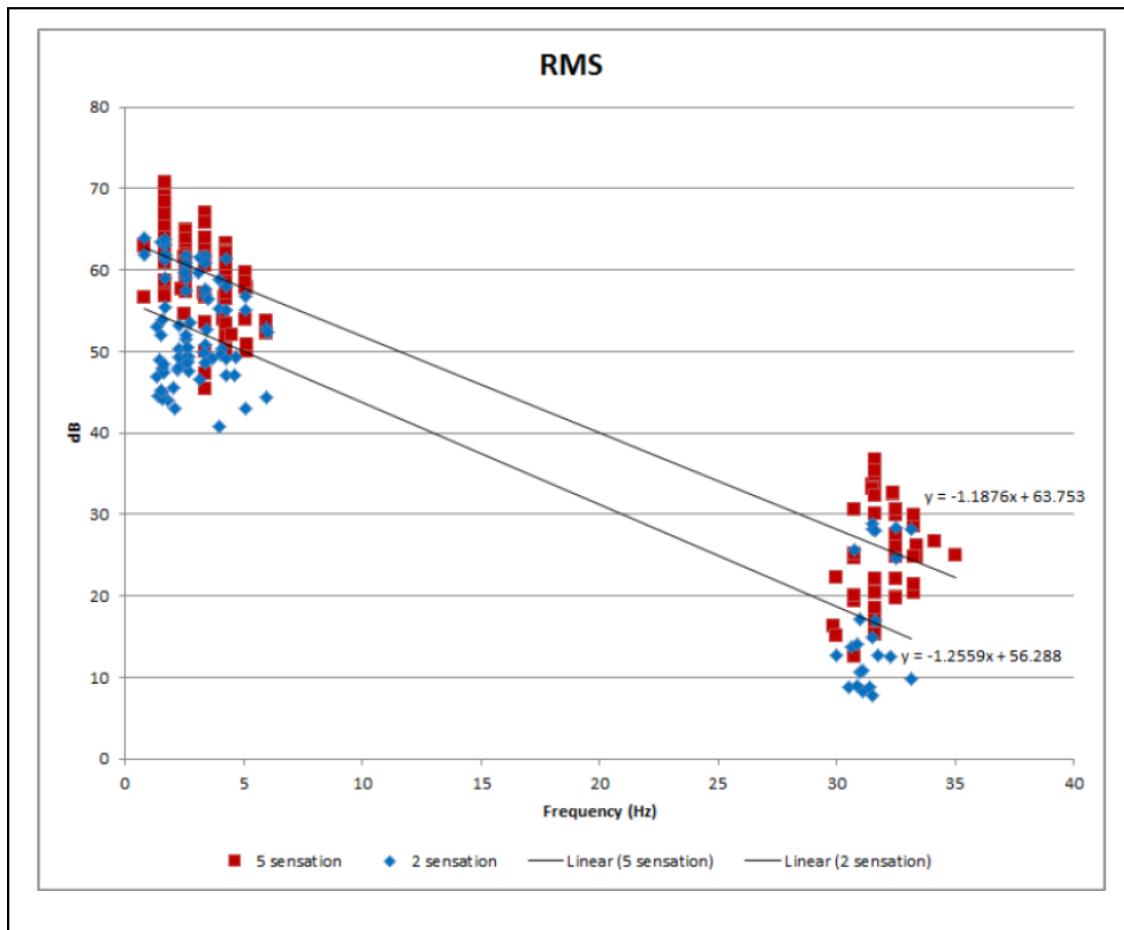


図 13:動作、変化、非動作、高周波ピークと低周波の不満の比較

クーパーの報告書は 230 ページ以上と多数の付録で構成されています。したがって、この注釈では一部のみが紹介されました。しかし、これだけで風力タービンの運転と健康問題との本質的な関連性を示すには十分です。

5.3 超低周波および低周波の音は人体にどのような影響を与えるのか？

ここでは、低周波音が人間に具体的にどのように影響するかについては詳しく論じていません。参考すべきは「排出規制のための医師」および類似のフォーラム[5から8]の出版物、ならびに記載された文献のみであるべきです。

すべての研究を通じて、風力タービンは音と低周波音を発生させることができます。これらのリズミカルに脈打つ信号は、内耳や前庭器官の感覚細胞に影響を与え、前庭器官は極めて低周波に敏感です。電気信号は、本人が意識的に音を知覚していないなくても脳に伝わります。現在の知見によれば、これらのメカニズムは睡眠障害、アドレナリン分泌の増加、ストレス、パニック不安、高血圧、めまい、耳鳴りなどを引き起こします。[5, 6, 11-13, 16:17]

身体が超低周波音や低周波音に曝露された場合、曝露レベルと曝露時間に加えて、音調／狭帯域ピークやスペクトル異常の存在が重要となります。症状の重症度と発生確率は、これらの周波数ピークに大きく依存します[6]。

長時間にわたる曝露により、感受性の高い感覚細胞を介してシグナル伝達経路の感作と促進が起こります。たとえ現行の法律や基準で定められた知覚閾値を超えない場合でも、病態生理学的メカニズムによって閾値下（サブスレッショルド）の障害が引き起こされ、知覚閾値を下回った場合でも健康影響が生じる可能性があります[24]。

風力タービンから半径 2~3km 圏内の住民のうち、影響を受けるのが 10%か 30%かは問題ではありません。重要なのは、これらの人々が意図的に、そして意図的に病気にさせられているということです。

カナダ、米国、オーストラリアの最近の研究、そして現在ヨーロッパで知られている調査は、適切な距離が確保されていない場合、風力タービンが健康リスクをもたらすことを明確に示しています。ドイツ（バイエルン州を除く）における最小距離は、これらのリスクを排除するにはあまりにも近すぎます。10H ルールはリスクを完全に排除することはできませんが、一方では国民に対する国家の注意義務を真摯に受け止め、他方では風力タービンの建設をより予測可能なものにするという妥協案です。

6 どうすればいい?

私たちには自由な議論が必要です。ドイツ、ヨーロッパ、そして世界の気候のために何かを達成したいのであれば、最も効率的な手段を使わなければなりません。

排出権取引はそのような手段となり得ます[9]。1990年と比べて、ヨーロッパのすべての排出国における年間CO₂排出量は約10億トン減少しています。しかし、風力タービンの寄与はゼロです。最近、欧州レベルでCO₂排出量のさらなる削減に関する合意に達しました。その結果、2020年までにさらに9億トンのCO₂が減少することになります。

従来型発電所からのその他の排出物(NO_x、SO₂、粉塵など)を削減したいのであれば、そこに的を絞った対策を講じ、「利用可能な最善の技術」(BAT)に対するインセンティブを創出する必要があります。利用可能な最善の技術に関する参考文書(BREF)も参照してください。風力タービンはこれに貢献しません[9]。

風力発電に関しては、モラトリアムが必要です。イデオロギーに駆り立てられた風力タービンの建設を続けることは、気候にもエネルギー転換にも役立ちません。すでに支払われた補助金、そしてこれから支払われる補助金は、緊急に必要な研究に投資する方がよいでしょう。古い回転ダイヤル式技術にいくら補助金を出しても、IT・通信市場における新技術の飛躍的な発展にはつながらなかつたでしょう。

風力タービンと住宅の間に適切な距離を保つことで、農村住民や周辺地域の人々の健康を守る必要があります。私たちは都市住民の連帯を必要としています。

「差別化された保護基準が存在しない限り、十分な安全距離と、特定の気象学的・地形学的条件に対応する適切なシャットダウンアルゴリズムの組み合わせのみが、住民の必要な健康保護を保証できます。または、事実が明確になるまでデンマークの例に倣った風力エネルギーの拡大を停止するしかありません」。[16,24]

10Hルールはガイドラインを提供します。

風力タービンから住宅までの最小距離は、風力タービンの全高に10を掛けた値となります。

参考文献

興味のある読者のために、いくつかの文献やインターネットへの言及があります。

規格

- DIN 9613-2 音響 – 屋外伝播時の音の減衰 – パート 2 : 一般計算方法
- DIN 45401、音響、電気音響、測定のための標準周波数(廃止)
- DIN 45651、電気音響測定用オクターブフィルター(廃止)
- DIN EN 61260: 2003-03; 電気音響 – オクターブおよびオクターブの分数に対するバンドフィルター
- DIN EN 61400-11 「風力タービン パート 11:音響測定法」、2000 年 2 月

情報源

- [1] HAMMERL, C.U. J. FICHTNER(2000 年): 「ケンプテン(バイエム)近郊のウイゲンスバに於ける 1MW 風力タービン Norde N54 における長期騒音排出測定」。バイエルン州環境保護庁、2000 年 1 月
- [2] ラース・チェランナ、ゲルノット・ハルトマン、マンフレッド・ヘンガー;風力タービンの聞こえない騒音 – ハノーバー北部の風力タービンにおける低周波測定、連邦 地球科学資源協会(BGR)、ユニット B3.11、地震学、2004 年
- [3] G.P.:ファン・デン・ベルク;強風の音:風力タービンの音とマイクロフォン騒音に対する大気安定効果、RIJKSUNIVERSITEIT GRONINGEN、2006 年
- [4] R. -A- ドエトリッヒ;DIN ISO 9613-2 は風力タービンの騒音予報に適していますか?
<http://www.rudolf-adolf-dietrich.de/IN0077/B-06.pdf>
- [5] 再生可能エネルギー独立作業部会 – 風力タービンによる健康危害に関する悪玉(WKA)、2013 年 10 月
- [6] 入院管理の医師たち、<http://www.aefis.de/>
- [7] 風力タービンからの騒音放射に関する講義
ヨハネス・マイヤー医師 <https://www.youtube.com/watch?v=V5ZkfXbXmzo>
ホルガー・レップ医師 <https://www.youtube.com/watch?v=YsqeM0913Ws>
エッカード・クック博士
<https://www.youtube.com/watch?v=9MJOFxxiuJq>
- [8] 低周波および低周波ノイズに関する研究の集成
<http://www.windwahn.de/index.php/wissen/hintergrundwissen/studien-sammlung-zum-thema-infraschall-und-tieffrequenter-laerm>
- [9] 排出取引、脳波検査(EEG)、発電、CO₂削減の相互作用

<http://www.vernunftkraft.de/de/wp-content/uploads/2014/09/Vortrag-Gerhard-Artinger.pdf>

- [10] LUBW:風力タービンやその他の発生源からの低周波ノイズやインフラ。測定プロジェクトの中間報告書 2013-2014
- [11] ハカン・エンボム;MD、PhD、耳鼻咽喉科医、耳神経内科医、前庭臓器疾患の専門医
インガ・マルカス・エンボム;耳鼻咽喉科専門医、アレルギー専門医、過敏反応の専門家;両者ともスウェーデン・Angelholm耳鼻咽喉科クリニック
風力タービンからの低周波音 - 無視されがちな健康リスク
ドイツ語訳は以下のものから引用しています。
<http://www.windwahn.de/index.php/krankheit-56/infraschall/schwedische-studei-ueber-infraschall>
2013年8月6日付スウェーデン医学雑誌の原文:
<http://www.lakartidningen.se/Opinion/Debatt/2013/08/Infraljud-fran-vindkraftverk---en-halsorisk/>
- [12] A.N. ソルト、J.T. リヒテンハン;「知覚に基づく低周波音保護だけでは不十分」、
InterNoise 2012。 <http://oto2.wustl.edu/cochlea/>
- [13] A.N. ソルト、J.T. リヒテンハン; „風力タービンの騒音は人々にどのような影響を与えるのでしょうか?“ 2014
<http://waubrafoundation.org.au/resources/salt-n-lichtenhan-j-t-how-dows-wind-turbine-noise-affect-people/>
<http://waubrafoundation.org.au/wp-content/uploads/2014/04/Salt-Lichtenhan-How-Does-Wind-Turbine-Noise-Affect-People.pdf>
- [14] デトレフ・クラーへ、ディルク・シュレッケンベルク、ファビアン・エブナー、クリスチャン・ユーリッツ、ウルリッヒ・メラー;
低周波音効果に関する実現可能性調査、異なるソースからの低周波音の人間への影響決定のための研究デザインの開発、UBA Texte 40/2014,
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/machbarkeitsstudie-zu-wirkungen-von-Infraschall>
- [15] ドクターズフォーラム エミッショングロテクション バッドオーブ;連邦環境庁による低周波音効果に関する実現可能性調査(2014年);最も重要な引用の選集と要約 -2014年12月20日
- [16] ÄRZTEFORUM EMISSIONSSCHUTZ Bad Orb;風力エネルギーと距離規制、風力エネルギーからの距離 - 科学的根拠に基づく勧告、Bad Orb、2014年12月15日
- [17] クーグラーK、ヴィーグレベL、グローテB、ケッスルM、ギュルコフR、クラウ

- ゼ E、ドレクスル M;低周波音は人間の内耳における能動的な微小力学に影響を与えます。2014 年 8 月
<http://rsos.royalsocietypublishing.org/>
- [18] クレア・パラー;オンタリオ州におけると産業用風力タービンへの近接性と自己申告による健康成果の関連性の探求、修士論文、ウォータールー大学、オンタリオ州、カナダ、2014 年
- [19] スティーブン・クーパー;ケープブリッジウォーター風力発電所の音響試験プログラムの結果
44.5100.R7:MSC;準備対象:Energy Pacific (Vic) Pty Ltd, Level 11, 474 Flinders Street, MELBOURNE VIC 3000, 日付:2014 年 11 月 26 日
<http://www.pacifichydro.com.au/files/2015/01/Cape-Bridgewater-Acoustic-Report.pdf oder>
<https://www.wind-watch.org/documents/results-of-an-acoustic-testing-program-cape-bridgewater-wind-farm/>
- [20] マイケル・バティアリアン、アラン・ボードリー;ファルマス風力タービンの低周波測定 風力 1 と風力 2、2015 年 2 月 27 日、
作成者:NOISE CONTROL ENGINEERING, LLC 799 Middlesex Turnpike, Billerica, MA 01821
- [21] M.A. スウィンバンクス;MAS Research Ltd、8 Pentlands Court, Cambridge CB4 1JN、風力発電所コミュニティにおける低周波ノイズと低周波ノイズの直接体験。第 6 回国際風力タービン騒音会議、グラスゴー、2015 年 4 月 20 日~23 日
- [22] ドイツ風力エネルギー協会(BWE)、低周波音の背景資料、2015 年 3 月:
<https://www.wind-energie.de/sites/default/files/attachments/page/infraschall/20150312-hintergrundpapier-infraschall-windenergieanlagen.pdf>
- [23] ヘッセン州経済・エネルギー・運輸・地域開発省(HMWEVL)、市民フォーラムエネルギー州ヘッセン:風力エネルギーと低周波音に関する事実資料(草案、2015 年 2 月)。http://www.energieland.hessen.de/faktenpapier_infraschall
- [24] ヘッセン・アジェントゥール有限会社がヘッセン経済省の委託を受けて発表した 2 つの事実文書「風力エネルギーと低周波音」の草案に対する、排出規制医師団および排出規制医師フォーラム・バッドオーブによるコメント [19]、バッド・オーブ、17。2015 年 4 月