

Der Einfluss spezifischer Geräuschemuster auf den Grad der Belästigung - Anmerkungen zur Integration wesentlicher Geräuschphänomene

Klaus Genuit

HEAD acoustics GmbH, 52134 Herzogenrath, Deutschland, Email: Klaus.Genuit@head-acoustics.de

Einleitung

Im Umweltbereich wird mit Hilfe des A-bewerteten Schalldruckpegels versucht, die Lärmbelastung zu beschreiben. Die A-bewertete Schalldruckpegelmessung ist sicher hinreichend zur Bestimmung einer möglichen physikalischen Schädigung des Gehörs, sie ist aber, wie aus dem Bereich der Geräuschqualitätsuntersuchungen im Automobilbereich bekannt [1], nicht hinreichend zur vollständigen Beschreibung einer Geräuschbelastung. Erst die Kombination mit der Psychoakustik, die eine Erweiterung des Verständnisses bei der Geräuschbewertung ermöglicht, sowie der Psychologie, die kognitive Aspekte, wie die Erwartungshaltung der betroffenen Personen, berücksichtigt, ermöglichen zusammen eine vollständige Beschreibung einer Geräuschbelastung. Nach DIN 1320 wird Lärm als Hörschall definiert, der die Stille oder eine gewollte Schallaufnahme stört oder zur Belästigung führt. Aus dieser Formulierung wird deutlich, dass eine einfache A-bewertete Schalldruckpegelmessung nicht hinreichend sein kann, eine Lärmbelastung im Umweltbereich, hervorgerufen durch unterschiedliche Schallereignisse, zu beschreiben. Die Beurteilung kann nur unter Berücksichtigung der psychoakustischen Eigenschaften des Gehörs sowie den kognitiven und psychologischen Aspekten erfolgen. Mit Hilfe der Psychoakustik wird versucht, die Art und Weise der Schallaufnahme durch das Gehör nachzubilden, die Analyse im Innenohr mit entsprechenden Berechnungsverfahren zu approximieren und die Beurteilung im Bewusstsein der Betroffenen zu interpretieren. Mit anderen Worten, die Psychoakustik versucht, eine vollständige Transformation von einem Schallereignis zu einem Hörereignis zu beschreiben.

Beispiel: Windkraftanlage

In dem Beispiel einer Windkraftanlage (WKA) soll die aufgezeigte Problematik näher erläutert werden. Grundsätzlich gelten WKA als sinnvolle Einrichtungen, da sie natürlich vorhandene Energien in eine für den Menschen nutzbare Energieform umwandeln. Die Umweltbelastung ist gering, von einer WKA gehen eventuell durch den Schattenwurf eine „optische“ sowie insbesondere durch die entstehenden Geräusche eine akustische Belastung aus. Entsprechend der TA Lärm darf eine WKA in einem reinen Wohngebiet maximal einen Schallpegel von 50 dB(A) tagsüber und von 35 dB(A) nachts aufweisen. Der von einer WKA ausgehende tieffrequente Schall wird vernachlässigt, da davon ausgegangen wird, dass keine schädlichen Umwelteinwirkungen zu erwarten sind.

Abbildung 1 zeigt in einer Spektrogrammdarstellung in einem 30s Ausschnitt beispielhaft ein repräsentatives Geräuschemuster einer WKA. Es wurde mit einem Kunstkopf 100m vor der WKA aufgenommen. Der Einsatz der

Kunstkopftechnik ermöglichte die Durchführung weiterer Hörversuche und subjektiver Beurteilungstests. In diesen Beurteilungen wurden Geräuscheindrücke geäußert, wie „wuchtig“, „bedrohlich“, „gewaltsam“. Insgesamt ist der Geräuscheindruck des vorliegenden Schallereignisses offensichtlich in ein nicht positiv besetztes Hörereignis durch den Menschen transformiert worden. Das Spektrogramm zeigt nähere Auffälligkeiten, neben sehr starken tieffrequenten Anregungen sind verschiedene „Heultöne“ sowie ein moduliertes breitbandiges „Zischen“ im höherfrequenten Bereich festzustellen.

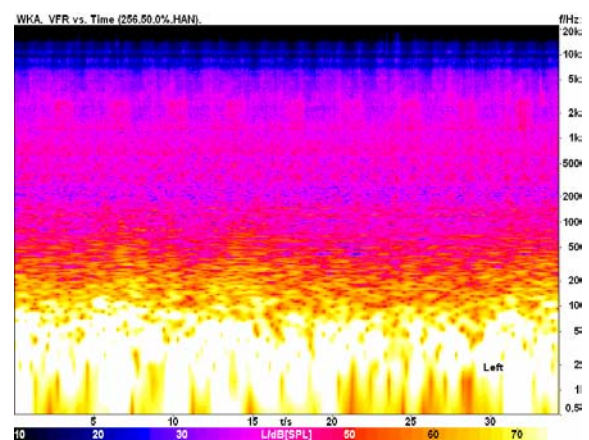


Abb. 1: Geräusch einer WKA - FFT vs. Time.

Untersuchung des tieffrequenten Signalanteils

In Abbildung 2 sind die Spektren an vier Messpunkten für den Frequenzbereich unterhalb von 100 Hz dargestellt. Die Grundfrequenz von ungefähr 1,3 Hz ergibt sich aus der Umdrehung des Rotors mit drei Rotorblättern. Es fallen sehr viele harmonische Komponenten sowie ein schmalbandiger, modulierter Bereich um ca. 24 Hz und 50 Hz auf. Auffallend ist auch, dass eine Veränderung zwischen 50 und 100 m, also bei einer Entfernungsverdopplung, zu keiner signifikanten Pegeländerung führt.

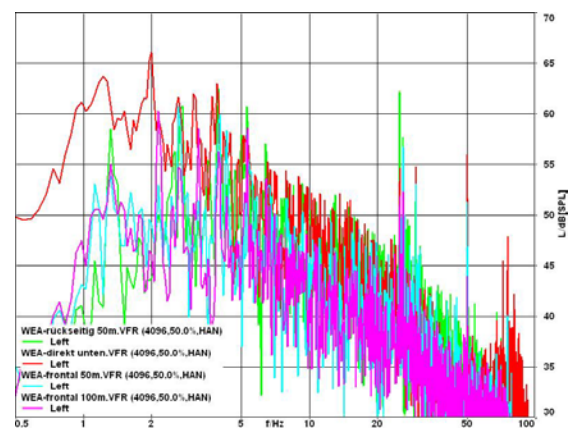


Abb. 2: Geräusch einer WKA in verschiedenen Entfernungen

Störmuster einer Windkraftanlage

Neben den stark pulsierenden tieffrequenten Schallanteilen erzeugt eine WKA weitere Geräuschmuster, die vom menschlichen Gehör sehr sensibel selektiert werden können.

Insgesamt enthält das Geräusch verschiedene tonale Komponenten, die entweder sehr stark zeitlich strukturiert oder auch frequenzmoduliert sind. Vergleicht man nun das Modulationsspektrum für unterschiedliche Entfernungspunkte zur WKA, in Abbildung 3 dargestellt, so wird deutlich, dass diese Muster unabhängig von der Entfernung und damit auch unabhängig vom Pegel relativ konstant bleiben.

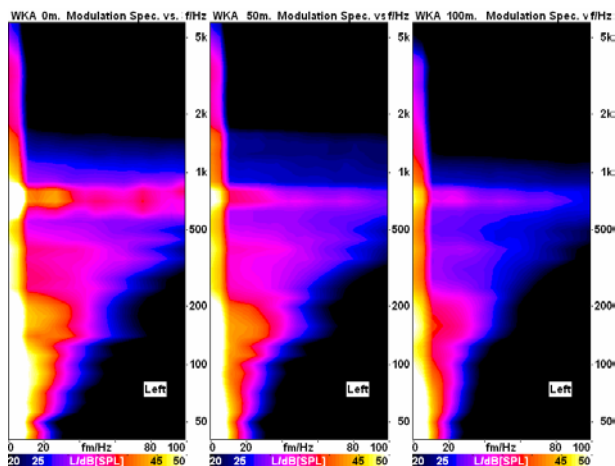


Abb. 3: 1/3 Oktave Modulationsspektrum (0m, 50m, 100m).

Abbildung 4 verdeutlicht, wie sich typische psychoakustische Berechnungsgrößen wie Lautheit, Schärfe nach Bismarck und Rauigkeit für die drei hier untersuchten Messpunkte verhalten. Während die Lautheit noch eine geringfügige Abhängigkeit von der Entfernung andeutet, bleiben die psychoakustischen Merkmale wie Schärfe und Rauigkeit nahezu unverändert vom Betrachtungspunkt. Abbildung 5 verdeutlicht eine Ansatzmöglichkeit [2], wie dieses Geräuschphänomen auch mit klassischen Messverfahren beschrieben werden kann.

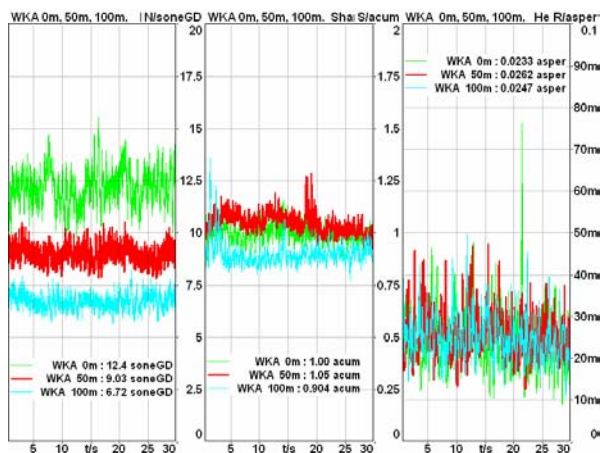


Abb. 4: Vergleich Geräusch WKA in verschiedenen Entfernungen (0m, 50m, 100m) – Loudness vs. Time, Sharpness vs. Time, Roughness vs. Time.

Der Schallpegelverlauf in Abbildung 5 zeigt den mit der Fast-Integrationszeitkonstante bestimmten A-bewerteten SPL (grün). Dazu ist der A-bewertete bandpassgefilterte Spektralbereich von 200 Hz bis 800 Hz dargestellt (rot), jedoch mit einer Integrationszeitkonstante von 2 ms, die der Auflösung des menschlichen Gehörs entspricht. Man erkennt deutlich, dass dieser Beitrag eine sehr starke zeitliche Struktur in Form von Pegelschwankungen in der Größe um 10 dB aufweist und in seinem Spitzenpegel den mittleren A-Pegel überschreitet. Ein solches Muster ist für das Gehör sehr auffällig. Unabhängig von der Entfernung ändert sich das aufgezeigte Muster nicht.

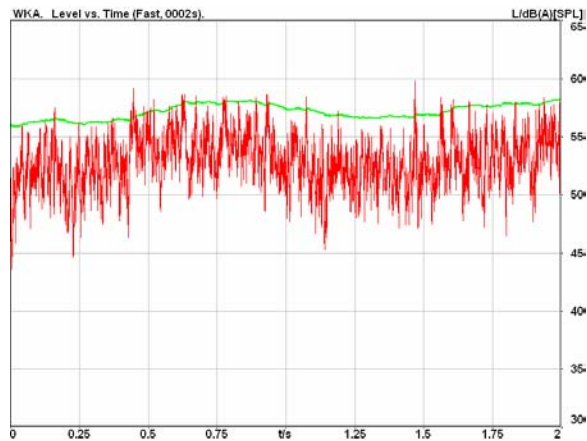


Abb. 5: Geräusch einer WKA – Vergleich A-SPL(fast) und A-SPL (BP 200-800Hz) (2ms). Level vs. Time.

Zusammenfassung

Anhand eines praktischen Beispiels in Form einer WKA lässt sich die Problematik, Umweltgeräusche nur allein basierend auf dem A-bewerteten Schalldruckpegel zu bestimmen, deutlich darstellen. Die vom menschlichen Gehör wahrnehmbaren zeitlichen und spektralen Muster lösen letztendlich die subjektiv empfundene Belästigung durch Umweltgeräusche aus, die nicht mit einer einfachen A-Bewertung und einer Integrationszeitkonstante von 125 ms hinreichend genau beschrieben werden kann. Neben den bekannten psychoakustischen Berechnungsverfahren, wie zeitvariante Lautheit, Schärfe und Rauigkeit, die allerdings zur Zeit noch nicht standardisiert sind, sind auch einfache, intelligente Messungen möglich, die auf hinlänglich standardisierte Messgrößen zurückgreifen. Der Vergleich des A-bewerteten Schalldruckpegelverlaufs zu bandbegrenzten Signalbeiträgen gemessen mit einer Integrationszeitkonstante von 2 ms geben wichtige Hinweise für geräuschrelevante Muster, die zu einer Belästigung durch Geräusche führen.

Literatur:

[1] K. Genuit, Einsatzmöglichkeiten der gehörrichtigen Schallanalyse im Kraftfahrzeug, DAGA'95, 13.-17. März 1995, Saarbrücken
 [2] K. Genuit, A. Fiebig, Sound Quality of Products: How to Get There without Standardization? Special Issue *Sound Quality of Vehicles*, *Applied Acoustics*, August 2005