



Referenz/Aktenzeichen: S374-0502

Auswirkungen der akustischen Signale von Beem auf Menschen und Tiere

Erörterungen und Empfehlungen des Bundesamts für Umwelt BAFU

24.02.2020

1 Was ist Beem?

Unter der Marke "Beem" implementiert die Swisscom zurzeit eine interaktive Werbefunktion für Smartphones. Die Plattform kann von Museen, an Messen, bei Sport- und Musikveranstaltungen, im Kino oder für Plakatwerbung eingesetzt werden [1]. Nutzer, die Beem bzw. die Beem-App auf ihrem Smartphone aktiviert haben, erhalten z.B. zu einem Plakat, in dessen Nähe sie sich aufhalten und welches mit einem Beem-Sender versehen ist, per Mitteilung auf dem Smartphone weitere Informationen, z.B. über das beworbene Produkt. Nebst Bluetooth und der Audio Content Recognition (ACR)-Technologie können als Übertragungskanal bei Beem auch hochfrequente Audiosignale zum Einsatz kommen. Dabei senden Beem-fähige Plakatstellen hochfrequente gepulste Ton-Signale (sog. Fingerprints) aus, welche die an das Smartphone zu übermittelnde Information akustisch codieren. Hat man Beem einmalig den Zugriff auf sein Mikrofon erlaubt und identifiziert die App ein passendes Beem Ton-Muster, wird ein Hinweis zu den entsprechenden Informationen und Angeboten angezeigt. Gemäss Auskunft auf der Swisscom-Website wird Beem vorerst nur mit Bluetooth- und der ACR-Technologie eingesetzt. Letztere erkennt z.B. im Kino anhand der laufenden Audiowiedergabe, welche Werbung auf der Leinwand gerade angezeigt wird. Die Swisscom plant, in einer ersten Stufe Beem bei Plakaten an Verkehrsknotenpunkten wie Bahnhöfen oder grossen Tramhaltestellen mit hoher Besucherfrequenz zu installieren.

2 Akustische Emissionen durch Beem

Prinzipiell können die von Beem verwendeten Audiosignale über normale Lautsprecher ausgesendet werden. Bei Werbeplakaten kommt das Signal von einem "SoundBeacon"-Kästchen. Dieses Kästchen besteht aus einem Computerchip mit Bluetooth-Sender, einem Minilautsprecher und einem externen Akku für die Stromversorgung.

Die Swisscom hat dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) einen solchen SoundBeacon zur Verfügung gestellt, um das akustische Signal auszumessen. Im Folgenden werden die Resultate kurz zusammengefasst. Der vollständige Messbericht findet sich im Anhang.

Beim Signal des SoundBeacon handelt es sich um 300 Millisekunden lange Pulse mit einem Wiederholtakt von rund 1.1 Sekunden. Nach jeweils 20 Pulsen entsteht eine etwas längere Pause von rund 1.8 Sekunden (Abbildung 1). Für das durchschnittliche Gehör ist dabei nur ein langsam gepulstes Rauschen zu hören. Der Schalldruckpegel dieser Pulse liegt bei knapp 53 dB(A)¹ in 1 m Abstand. Dies entspricht in etwa der mittleren Lautstärke eines normalen Gesprächs.

¹ Der Buchstabe A steht für den A-Frequenzbewertungsfilter, welcher die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs bei unterschiedlich Frequenzen berücksichtigt.

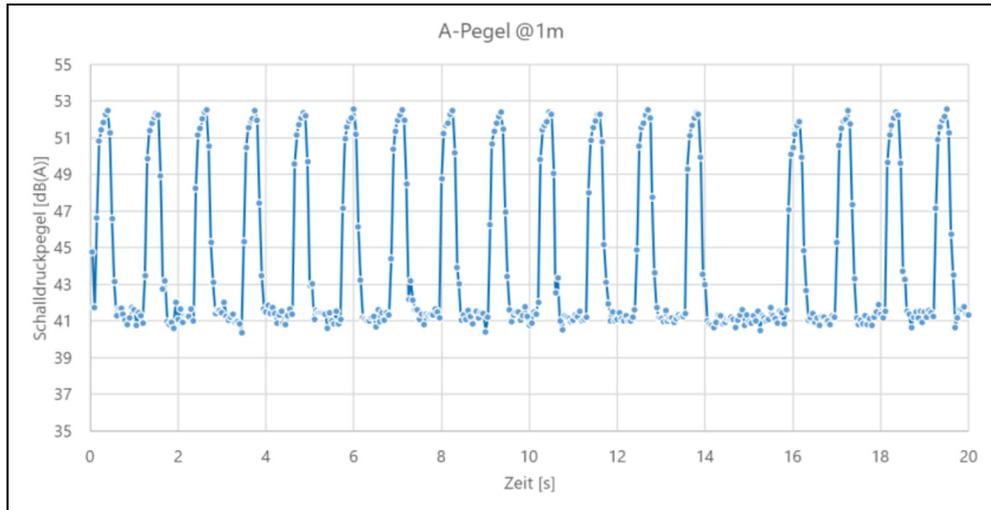


Abbildung 1: 50 Millisekunden Pegel-Zeitverlauf über 20 Sekunden für den A-Pegel in 1 m Abstand.

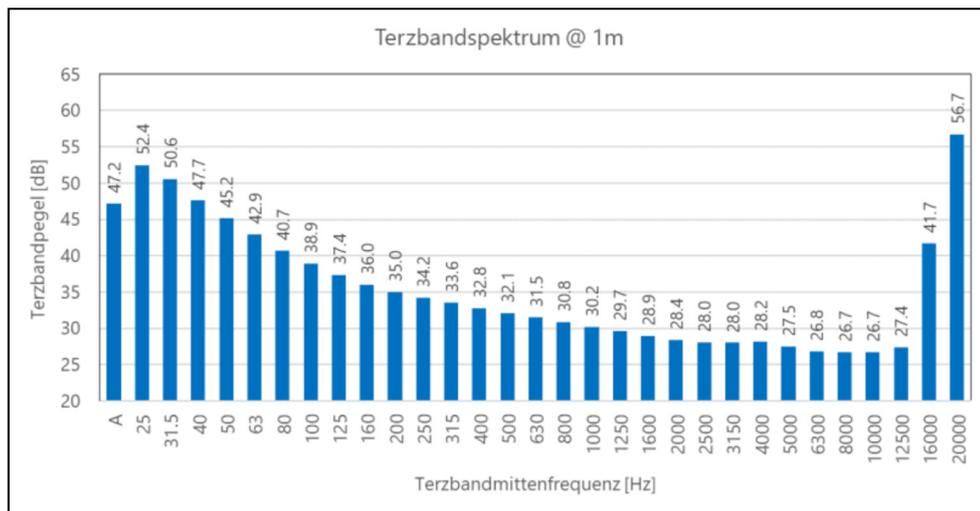


Abbildung 2: Langzeit-Terzbandspektrum in 1 m Abstand.

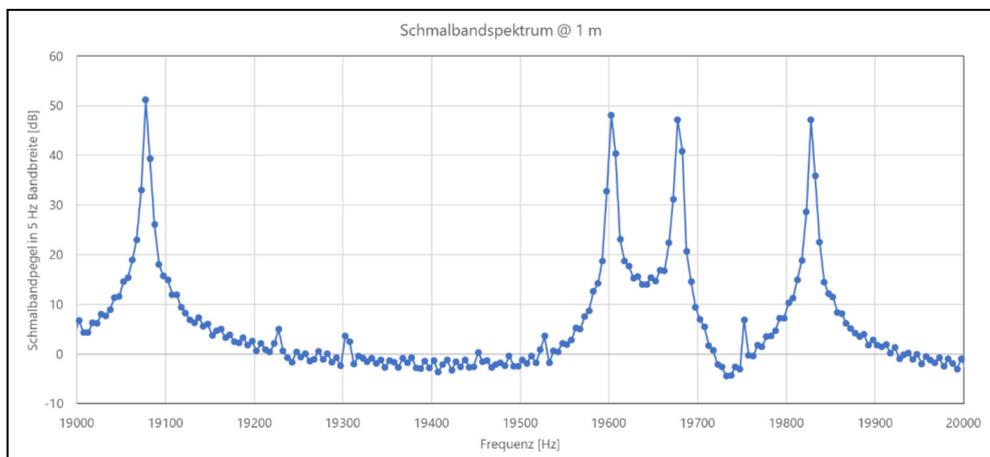


Abbildung 3: Langzeit-Schmalbandspektrum in 5 Hertz-Auflösung in 1 m Abstand.

Das informationstragende Frequenzband liegt im Bereich zwischen 19 und 20 kHz. Das Spektrum in Abbildung 2 zeigt, dass in diesem Bereich mit 56.7 Dezibel (dB) die höchsten Schalldruckpegel gemessen wurden. Das Schmalbandspektrum in diesem Frequenzbereich zeigt mehrere Reintonkomponenten mit gleicher Amplitude (Abbildung 3). Oberhalb dieser Reintonkomponenten im Bereich von 19 bis 20 kHz wurden keine weiteren nennenswerten Anteile im Ultraschallbereich bis 80 kHz gemessen.

Es kann vermutet werden, dass das Muster der vorhandenen bzw. nicht vorhandenen Reintonkomponenten zwischen 19 und 20 kHz die Information codieren. Diese Komponenten treten in einem Raster von 75 Hz auf. Unter der Annahme, dass auch für andere Codes das Frequenzband von 19 bis 20 kHz genutzt wird, würden mit 75 Hz-Schritten insgesamt 14 Komponenten Platz finden. Gegenüber den vier hier vorhandenen Komponenten könnte sich damit der Pegel eines anderen Codes in diesem Frequenzbereich um 5.4 dB ($10 \log(14/4)$) erhöhen. Mit einer kleineren Frequenzschrittweite wäre die Anzahl Komponenten und die mögliche Pegelzunahme entsprechend höher.

3 Auswirkungen auf den Menschen

Neben dem in einem Meter Abstand hörbaren aber geringen Grundrauschen des Beem-Systems besteht das informationstragende Signal aus kurzen Pulsen, welche frequenzmässig am Übergang zwischen sogenanntem "Hörschall" und Ultraschall anzusiedeln sind. Anwendungen, die Ultraschall (>17.8 kHz) oder sehr hochfrequenten Hörschall (>11.2 kHz) in der Luft im öffentlichen Raum emittieren, gibt es schon länger (z.B. Tierschreckanlagen, Fernbedienungen, Durchsage- und Sprachalarmierungssysteme (PAVA) oder Ultraschall-Störsender (sog. "Mosquitos") etc.). Ultraschall in der Luft bzw. sehr hochfrequenter Hörschall ist gerade in dicht besiedelten Gebieten ein häufiges Phänomen [2, 3]. Da solch hohe Frequenzen in der Regel nicht gut bzw. gar nicht wahrgenommen werden, fehlt in der Bevölkerung weitgehend das Wissen darüber, dass solche hochfrequenten Schalle überhaupt existieren. Die Zahl der Technologien, die Frequenzen oberhalb von 17.8 kHz in der Luft nutzen, wird in Zukunft sehr wahrscheinlich zunehmen. Leider fehlen bis jetzt wissenschaftlich belastbare Richtlinien für den Einsatz solcher Technologien im öffentlichen Raum. Es gibt zwar eine Grenzwert-Empfehlung der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) für Ultraschall in der Luft in der allgemeinen Öffentlichkeit ("general public") [4] – Bei Dauerexposition: $f < 22.5$ kHz: max. 70 dB; $f > 22.5$ kHz: max. 100 dB – diese Grenzwerte stützen sich nach heutiger Einschätzung aber auf veraltete Studien ab [5]. Die Pegel des Beem-Systems liegen darunter. Die Grenze zwischen "hörbaren" und "unhörbaren" Frequenzen ist individuell sehr unterschiedlich und ist unter anderem vom Pegel, vom Alter des Hörers und anderen Faktoren abhängig. Die Empfindlichkeit vor allem für hohe Frequenzen nimmt mit zunehmendem Alter relativ schnell ab. Das Schall-übertragende Medium (Luft, Wasser, Gewebe) muss bei der Beurteilung von Ultraschallwirkungen unbedingt berücksichtigt werden. Bei der Beem-Plattform wird das Ultraschallsignal in der Luft übertragen, im Gegensatz etwa zu z.B. medizinischen Anwendungen von Ultraschall in Flüssigkeiten (welche zudem mit viel höheren Frequenzen operieren). Im Allgemeinen wird die Ultraschallenergie durch Flüssigkeit ungleich effektiver auf das Gewebe übertragen als durch Luft. Im Fall von Ultraschall in der Luft erfolgt die Ankopplung an den Körper hauptsächlich bzw. fast ausschliesslich (ausser bei sehr hohen Pegeln) über das Ohr. Auswirkungen der Exposition gegenüber Ultraschall in der Luft wurden bisher fast ausnahmslos bei Frequenzen unter 50 kHz gefunden [4].

Die prinzipiell beobachtbaren Auswirkungen des Luftultraschalls auf Menschen (und Tiere, siehe nächsten Abschnitt) sind von der Schallintensität abhängig und lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- 1) aurale Wirkungen (Gehörschädigungen)
- 2) nicht-aurale (physiologische und psychologische) Wirkungen, z.B. Stressreaktionen
- 3) Erwärmung von Haut und Gewebe

Zu den verschiedenen potentiellen Wirkungen des Beem-Systems in diesen Kategorien lässt sich folgendes festhalten:

Zu 1) Hinsichtlich auraler Wirkungen besteht durch Beem keine Gefahr, solange sich das Sendegerät nicht über längere Zeiträume direkt am Ohr befindet. Nach dem heutigen Stand des Wissens treten keine Gehörschädigungen durch Ultraschall unterhalb von 110 dB (Expositionspegel über 8 Stunden) bzw. unterhalb von 140 dB (Maximalpegel) auf.

Zu 2) Die nicht-aurale Wirkung von Luft-Ultraschall eher geringer Intensität, wie etwa beim Beem-System, ist bisher kaum untersucht worden und über Langzeitauswirkungen auf Hörvermögen und Erkrankungen somatischer Natur existieren keine belastbaren wissenschaftlichen Studien. Die vorhandenen Studien zu Ultraschallwirkungen konzentrieren sich hauptsächlich auf die berufsbedingte Exposition gegenüber Ultraschall vergleichsweise hoher Intensität, welcher jedoch fast immer auch gleichzeitig mit hörbaren Anteilen geringerer Frequenz (Hörschall) einhergeht. Die Auswirkungen des hörbaren Anteils auf die beobachteten Effekte werden aber nur selten experimentell oder statistisch kontrolliert, so dass es schwierig ist, die Wirkung der hochfrequenten (Ultraschall-) Anteile isoliert zu quantifizieren.

Der bei Beem gemessene mittlere Schalldruckpegel (bestehend aus dem Grundrauschen im hörbaren Bereich und dem informationstragenden Signal im hochfrequenten Bereich) in 1 m Abstand beträgt 47.2 dB(A), was ein eher geringer Pegel ist und subjektiv als leise eingestuft wird. Die informationstragenden Pulse im Bereich zwischen 19 und 20 kHz könnten aber zumindest von einem Teil jüngerer Menschen sowie eher von Frauen (die im Alter hohe Töne besser hören als Männer) v.a. in ruhigen Umgebungen wahrgenommen werden. Durch den eher impulsartigen Charakter sind sie potentiell auch störender als ein Dauergeräusch. Für hochfrequente Geräusche bzw. Töne gilt zudem, dass der Dynamikbereich zwischen der Hörschwelle und dem Punkt, ab welchem das Gehörte lästig wird, relativ schmal ist, d.h. kaum wird ein Ton in diesem hohen Frequenzbereich gehört, ist er tendenziell auch schon lästig [2]. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass die wohl allermeisten über 25-jährigen Erwachsenen einen Sinuston von 19 kHz der mit (lediglich) 50-60 dB(A) dargeboten wird, vergleichbar der Frequenz und Intensität der beschriebenen Beem-Pulse, gar nicht hören können. Eine nennenswerte Belästigungswirkung der Beem-Sender im Frequenzbereich von 19-20 kHz kann wegen der geringen Pegel also höchstens für Personen mit sehr gutem Hörvermögen oder bei Kindern und Jugendlichen in Betracht gezogen werden. Physiologische Wirkungen (z.B. stressbedingte kardiovaskuläre Reaktionen) können als Folge einer solchen Belästigung bei einer qualifizierten Minderheit von Personen aber nicht ausgeschlossen werden. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass zurzeit nicht bekannt ist, ob Ultraschall-Immissionen ggf. auch dann unerwünschte Wirkungen haben können, wenn sie gar nicht "gehört" werden, und was für Wirkungen das sind [2]. Forschungen zu dieser Frage gibt es nur wenige. Daher sollte hier das Vorsorgeprinzip greifen.

Zu 3) Beim Menschen verursacht die Exposition durch Ultraschall erst ab hohen Pegeln von 140-150 dB leichte lokale Erwärmungseffekte [6]. Solche Effekte können wegen der geringen Pegel bei Beem ausgeschlossen werden.

An dieser Stelle muss noch angemerkt werden, dass bei Arbeitern in Gewerbe und Industrie relativ häufig auch sog. "symptomatische Wirkungen" durch Luftultraschall bei der Anwendung von Ultraschall-emittierenden Geräten festgestellt werden, die sich z.B. als Kopfschmerzen oder Übelkeit äussern [5]. Dabei handelt es sich aber nicht um eine direkte Wirkung von Frequenzen im Ultraschallbereich. Die beschriebenen Symptome können vielmehr weitgehend auf hörbare Subharmonien zurückgeführt werden, die aufgrund hoher Ultraschallintensitäten (z.B. bei Anwendungen mit Kavitation) im niedrigeren Frequenzbereich entstehen und fälschlicherweise der Anwesenheit von Ultraschall-Frequenzen zugeschrieben werden.

4 Auswirkungen auf Tiere

Hochfrequente Geräusche können von vielen Tieren besser wahrgenommen werden als von Menschen. Unter den Säugetieren zählen dazu z.B. Fledermäuse, viele Nagetierarten und Insektenfresserarten, aber auch Hauskatzen und Hunde können Frequenzen über 20 kHz noch hören.

Bei den Insekten sind es z.B. Heuschrecken, Grillen und Schmetterlinge, darunter vor allem Nachtfalter, welche solche Geräusche noch wahrnehmen können. Doch gibt es nur wenige Studien, welche sich mit den Auswirkungen von hochfrequenten Geräuschen auf Tiere beschäftigen.

Übermässiger Lärm kann bei Tieren zum Verlust, zur Beeinträchtigung oder zur Zerschneidung des Lebensraums führen oder die innerartliche Kommunikation stören. Das Ausmass der Beeinträchtigung durch Lärmemissionen hängt wie beim Menschen von der Art und dem Pegel, dem Einsatzort der Lärm generierenden Quellen und der Anzahl der Lärmquellen ab. Beim Charakter der Lärmemissionen spielt vor allem die Frequenz eine Rolle sowie die Frage, ob es sich um ein schmal- oder breitbandiges Geräusch handelt. So haben z.B. Breitband-Emissionen auf Fledermäuse in der Regel grössere negative Auswirkungen als schmalbandige. Erstere können Fledermäuse vertreiben und ihre Jagdlebensräume beeinträchtigen.

Es ist davon auszugehen, dass Beem eher an mit Lärm belasteten Standorten mit hohen menschlichen Besucherfrequenzen und geringen Naturwerten eingesetzt wird (Stadtzentren, Bahnhöfe usw.). In Kombination mit dem vergleichsweise geringen Pegel kommen angefragte Experten zur Einschätzung, dass ein allfälliger negativer Einfluss von Beem auf Tiere einerseits nur lokal möglich und andererseits grundsätzlich gering sein wird.

5 Rechtliche Beurteilung

Das Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (USG; SR 814.01) bezweckt den Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen (Art. 1 Abs. 1 USG). Dies umfasst auch unter anderem den Schutz vor Lärm, der durch den Bau oder Betrieb von Anlagen erzeugt wird (Art. 7 Abs. 7 USG). Als Anlagen gelten Bauten, Verkehrswege und andere ortsfeste Einrichtungen sowie Terrainveränderungen. Den Anlagen sind Fahrzeuge, Maschinen und Geräte gleichgestellt (Art. 7 Abs. 7 USG). Die bundesgerichtliche Rechtsprechung geht von einem weiten und flexiblen Anlagenbegriff aus (Helen Keller, in: Kommentar zum USG, N 36 zu Art. 7). Die von Beem betriebenen Schallgeber sind fest mit einzelnen Plakatstellen im öffentlichen Raum verbunden. Sie gelten daher als ortsfeste Anlagen, die durch die Aussendung von Signalen geeignet sind, die Umwelt zu beeinträchtigen.

Nicht jedes (Schall-)Signal stellt eine belastende Einwirkung (z.B. Lärm) dar (Art. 7 Abs.1 USG). Lärm ist für die Betroffenen unerwünschter Schall, der sie psychisch, physisch oder sozial stört. Die Störung hängt sowohl von einem rein physikalischen Teil (Schall) als auch von der persönlich geprägten Wahrnehmung und Einstellung zur Lärmquelle ab. Es reicht aus, dass das Geräusch grundsätzlich geeignet ist, Menschen und Tiere zu belästigen oder zu schädigen (Robert Wolf, in: Kommentar USG, N 17 der Vorbem. zu Art. 19–25). Wie oben beschrieben, werden die von Beem gesendeten hochfrequenten Tonsignale (19–20 kHz) zwar in der Regel von erwachsenen Menschen nicht wahrgenommen, können jedoch bei Kindern oder Personen mit einem ausgeprägten Gehör zu einem unangenehmen Geräuschempfinden und bei Tieren zu Störungen führen. Es handelt daher sich um Lärm, für den neben den Bestimmungen des USG auch die Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV; SR 814.41) anwendbar ist.

Nach Artikel 11 Absatz 2 USG und Artikel 7 Absatz 1 Buchstabe a LSV sind die von einer neuen, also nach dem Inkrafttreten des USG am 1. Januar 1985 bewilligten Anlage erzeugten Lärmemissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist. Neue ortsfeste Anlagen dürfen zudem nur errichtet und betrieben werden, wenn die durch diese Anlagen erzeugten Lärmmissionen die Planungswerte nicht überschreiten (Art. 7 Abs. 1 Bst. b LSV). Das bedeutet, dass die Anlagen höchstens geringfügige Störungen verursachen dürfen (vgl. BGer Urteil vom 9. August 2007, 1A.180/2006). Die Massnahmen sind an der Quelle zu ergreifen (Art. 11 Abs. 1 USG). Denkbar sind sowohl technische Massnahmen wie der Einsatz alternativer Technologien (z.B. Bluetooth-Signale) wie auch betriebliche Massnahmen wie z.B. Beschränkungen der Betriebszeiten in Wohngebieten (vgl. BGE 123 II 74 E 3; BGE 118 Ia 112 E 1.b) oder die Vermeidung des Betriebs der Schallgeber in Gebieten, in denen sich regelmässig Kinder

aufhalten (z.B. in der Nähe von Spielplätzen) oder in naturnahen Gebieten. Die wirtschaftliche Tragbarkeit solcher Massnahmen ist im Einzelfall zu beurteilen.

Für die durch Beem erzeugten Lärmimmissionen bestehen keine zahlenmässig festgelegten Grenzwerte. Die Beurteilung erfolgt durch die Vollzugsbehörde gestützt auf Artikel 15 USG unter Berücksichtigung der Artikel 19 und 25 USG (Art. 40 Abs. 3 LSV). Laut bundesgerichtlicher Rechtsprechung sind bei dieser Einzelfallbeurteilung der Charakter des Lärms, der Zeitpunkt der Lärmimmissionen, die Häufigkeit des Lärms, die Lärmempfindlichkeit und die Lärmvorbelastung der Zone zu berücksichtigen (BGer Urteil vom 9. März 2018, 1C_293/2017 E. 3.1.2). Das Ausmass der Störung richtet sich nicht nach der subjektiven Störungsempfindlichkeit des Einzelnen, sondern nach einer möglichst objektivierten Betrachtung. Bei der Beurteilung sind Personen mit erhöhter Empfindlichkeit (hier z.B. Kinder oder Personen, die auf Blindenhunde angewiesen sind) angemessen zu berücksichtigen (BGE 133 II 292 E. 3.3). Die Vollzugshilfe "Beurteilung Alltagslärm" des BAFU bietet Hilfestellung bei der Beurteilung [7].

Artikel 12 der Tierschutz-Verordnung vom 23. April 2008 (TSchV, SR 455.1) verankert den Schutz von Tieren vor übermässigem Lärm über längere Zeit (Abs. 1). Lärm gilt im Sinne der TSchV als übermässig, wenn er beim Tier Flucht-, Meide-, Aggressionsverhalten oder Erstarren hervorruft und sich das Tier der Lärmquelle nicht entziehen kann (Abs. 2). Die Einwirkungen auf Haus- und Wildtiere sind von der Vollzugsbehörde im Rahmen der Beurteilung der Alltagslärmquellen zu beachten.

6 Fazit

Bei Lärmemissionen gilt generell, dass diese wenn immer vermieden werden sollten, unabhängig davon, ob sie im Ultraschallbereich oder im für uns Menschen hörbaren Bereich stattfinden.

Das Audio-Signal von Beem ist im sehr hohen Frequenzbereich angesiedelt. Trotzdem können es Tiere und einige Personen wie Kinder oder besonders hörempfindliche Menschen wahrnehmen. Aber auch jenseits auditiver Wahrnehmung könnten hochfrequente Schallwellen auf den Menschen einwirken. Die Forschung in diesem Bereich ist allerdings noch nicht sehr weit. Man kann deshalb nicht prinzipiell ausschliessen, dass hochfrequente Schallquellen (auch solche geringer Intensität) gesundheitlich relevante Wirkungen erzeugen können, selbst wenn sie nicht mit einem Höreindruck verbunden sind. Die Wahrscheinlichkeit solcher Effekte bei Pegeln, wie sie für das Beem-System charakteristisch sind, schätzt das BAFU als gering ein.

Das BAFU empfiehlt im Sinne der Vorsorge Beem nur in Bereichen mit höheren Umgebungsgeräusch-Pegeln (>60 dB(A) im Leq) einzusetzen, z.B. an Bahnhöfen. Solche urbanen Orte sind meist durch eine relativ hohe Hintergrundlärmbelastung geprägt und Personen halten sich dort in der Regel auch nur kurzzeitig auf. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Beeinträchtigung durch das Audiosignal von Beem an solchen Orten für Menschen gering ist. Beem sollte auch nicht direkt in wichtigen Lebensräumen von Tieren eingesetzt werden, welche solche hochfrequenten Geräusche wahrnehmen können, da deren Lebensräume ebenfalls lokal beeinträchtigt werden könnten. Problematisch ist die Anwendung an Orten, wo sich Menschen oder Tiere länger aufhalten oder an welchen sie nicht ausweichen können.

Diese Einschätzung des BAFU beruht auf dem aktuellen Stand des Wissens. Auf Wissenslücken wurde im Text hingewiesen. Die Verantwortung bei der Anwendung von Beem liegt bei den jeweiligen Betreibern.

Literatur:

1. Swisscom Medienmitteilung vom 19. August 2019, URL: <https://www.swisscom.ch/de/about/news/2019/05/27-beem.html> (abgerufen am 19.09.2019).
2. Leighton, T. G., Are some people suffering as a result of increasing mass exposure of the public to ultrasound in air? *Proc Math Phys Eng Sci* **2016**, 472, (2185), 20150624.
3. Scholkmann, F., Exposure to High-Frequency Sound and Ultrasound in Public Places: Examples from Zurich, Switzerland. *Acoustics* **2019**, 1, (4), 816-824.
4. Jammet, H. P., Interim Guidelines on Limits of Human Exposure to Airborne Ultrasound. *Health Phys* **1984**, 46, (4), 969-974.
5. VRHRT & SILENSE Consortium, SILENSE - Deliverable Report D 1.3: Review of regulatory situation. <https://silense.eu/content/deliverable-report-d-13-review-regulatory-situation>
6. Parrack, H. O.; Perret, *Effects on man of low frequency ultrasonics produced by aircraft, in 'Report presented at meeting of group of experts on the struggle against noise caused by aircraft', Organisation de Cooperation et de developement economiques, Paris; 1962.*
7. Bundesamt für Umwelt, Vollzugshilfe "Beurteilung Alltagslärm", 2014, URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/publikationen-studien/publikationen/beurteilung-alltagslaerm.html>

Anhang:

Empa-Bericht: Akustische Emissionen des BARIX No. 2019.8120 SoundBeacon 17 1900010046

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 11 22
www.empa.ch

Referenz Kurt Heutschi, Abteilung Akustik / Lärminderung
Telefon direkt +41 58 765 47 43
Ort, Datum CH-8600 Dübendorf, 25.07.2019

Akustische Emissionen des BARIX No. 2019.8120 SoundBeacon 17 1900010046

Inbetriebnahme

Das uns zur Verfügung gestellte SoundBeacon setzte sich aus einer PowerBank ADATA 20000 und dem Schallgeber BARIX No. 2019.8120, SoundBeacon 17 1900010046 zusammen.

Nach dem Verbinden des Schallgeber-USB-Kabels mit der PowerBank beginnt der Lautsprecher nach rund 2 Minuten mit der Abstrahlung des Signals. Für das durchschnittliche Gehör ist dabei nur ein langsam gepulstes Rauschen zu hören.

Messungen im Hörbereich bis 20 kHz

Zur Untersuchung des im menschlichen Hörbereich abgestrahlten Signals wurde am 27.6.2019 der Schallgeber im halb-reflexionsarmen Raum der Empa installiert und mit einem GRAS Typ 40BE 1/4" Mikrophon (S/N 140882) und B&K Typ 2636 Impedanzwandler (S/N 1717812) das Schalldrucksignal in 1 m Abstand aufgezeichnet und mit Matlab analysiert. Wie der Pegel-Zeitverlauf in Abbildung 1 zeigt, bildet sich das Signal aus rund 300 ms langen Pulsen mit einem Wiederholtakt von rund 1.1 s. Nach jeweils 20 Pulsen entsteht eine etwas längere Pause von rund 1.8 s. Abbildung 2 zeigt das Terzbandspektrum über viele Ein-/Aus-Phasen mit dem Höchstwert von 56.7 dB in der 20 kHz Terz. Eine Schmalbandanalyse im Frequenzband von 19 bis 20 kHz zeigt Abbildung 3. Dieses die eigentliche Information tragende Band ist von mehreren Reintonkomponenten mit gleicher Amplitude bevölkert.

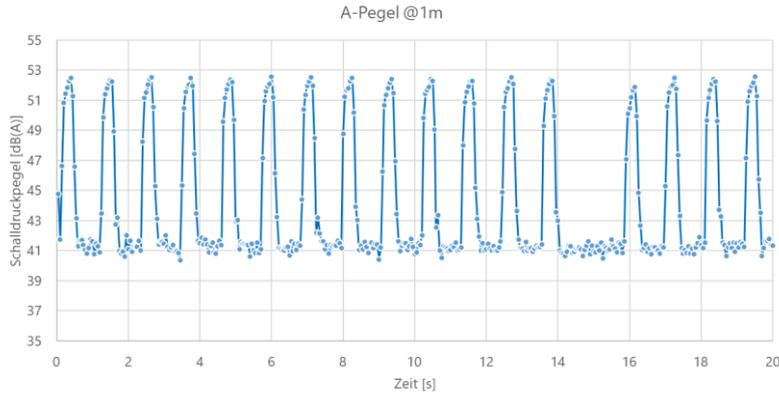


Abbildung 1: 50 ms Pegel-Zeitverlauf für den A-Pegel in 1 m Abstand.

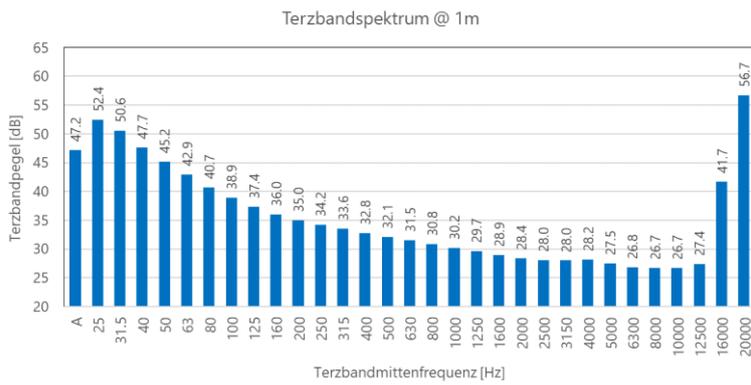


Abbildung 2: Langzeit-Terzbandspektrum in 1 m Abstand.

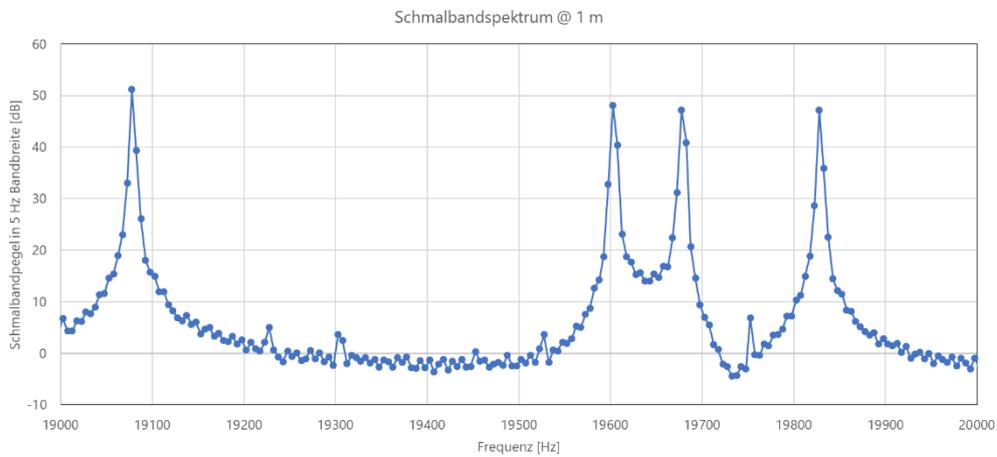


Abbildung 3: Langzeit-Schmalbandspektrum in 5 Hz Auflösung in 1 m Abstand.

Messungen im Ultraschallbereich bis 80 kHz

Zur Untersuchung der Abstrahlung im Ultraschallfrequenzbereich wurde am 23.7.2019 der Schallgeber erneut im halb-reflexionsarmen Raum der Empa installiert und das Schalldrucksignal in 1 m Abstand mit einem GRAS Typ 40BE ¼" Mikrophon (S/N 140882), einem B&K Typ 2636 Impedanzwandler (S/N 1717812) und einem mit 192 kHz getakteten Audiointerface vom Typ MOTU 896 mkIII aufgezeichnet. Die Analyse erfolgte wiederum mit Matlab. Abbildung 4 zeigt die Auswertung der mittleren Terzbandpegel von 10 bis 80 kHz über viele Ein-Aus-Zyklen und als Vergleich das Mikrophoneigenrauschen. Aus dem Vergleich der beiden Spektren lässt sich folgern, dass der Schallgeber nebst den oben diskutierten Reintonkomponenten im 20 kHz Terzband keine weiteren nennenswerten Anteile abstrahlt.

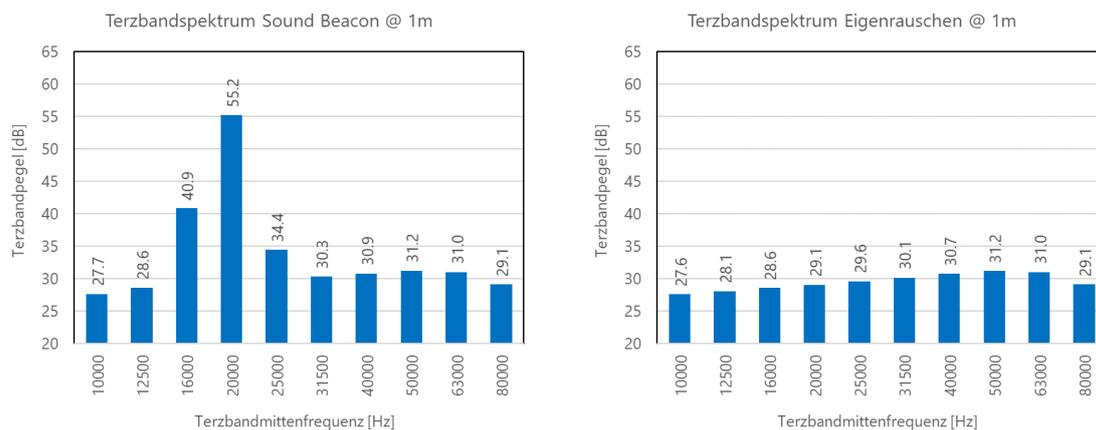


Abbildung 4: Hochfrequentes Langzeit-Terzbandspektrum des aktiven Sound Beacon in 1 m Abstand (links) und Eigenrauschen des Mikrophons (rechts).

In Abbildung 5 ist das Spektrogramm des aktiven Sound Beacon über einen Zeitausschnitt von 7 Sekunden gezeigt. Nebst den Reintonkomponenten zwischen 19 und 20 kHz sind Verzerrungsprodukte geringer Amplitude bei 25 und 40 kHz zu erkennen, diese sind aber leistungsmässig unbedeutend.

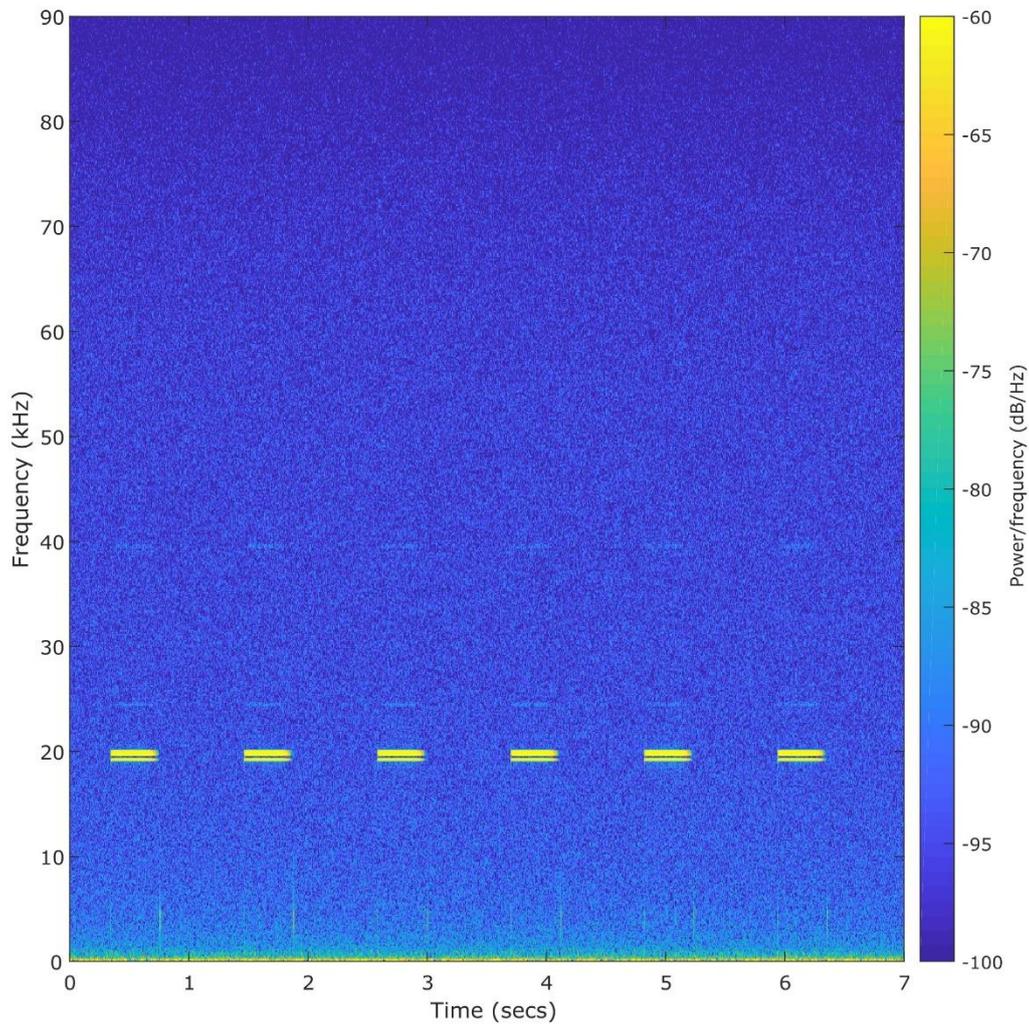


Abbildung 5: Spektrogramm des aktiven Sound Beacon in 1 m Abstand mit willkürlicher Normalisierung der dB-Skala.

Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Codes

Die Schmalbandanalyse hat für das untersuchte Sound Beacon Exemplar Reintonkomponenten zwischen 19075 und 19825 Hz ergeben. Diese Komponenten tauchen hier in einem Raster von 75 Hz auf und es kann vermutet werden, dass das Muster der vorhandenen bzw. nicht vorhandenen Komponenten die Information codiert. Unter der Annahme, dass für die Information das Band 19 bis 20 kHz genutzt wird, würden mit 75 Hz Schritten insgesamt 14 Komponenten Platz finden. Gegenüber den vier hier vorhandenen Komponenten könnte sich damit der Pegel im 20 kHz Terzband um $10 \log(14/4) = 5.4$ dB erhöhen. Mit einer kleineren Frequenzschrittweite wäre die Anzahl Komponenten und die mögliche Pegelzunahme entsprechend höher.