

UMWELT

Leitfaden Umgang mit leisen Störgeräuschen

Fassung April 2018

Herausgeber

Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung für Umwelt (AfU)
Sektion Luft, Lärm und NIS
5001 Aarau
www.ag.ch/bvu

Autoren

Inès Neuhaus, NEUHAUS Akustische Architektur KLG
Fabian Neuhaus, NEUHAUS Akustische Architektur KLG

Lektorat, Autoren (Kap. 3.3, 5.2, 6, Arbeitsblatt Nr. 1, Anhang 2):

Dr. Jutta Ansorg, Kanton Aargau, AfU, Sektion Luft, Lärm und NIS
Heiko Loretan, Kanton Aargau, AfU, Sektion Luft, Lärm und NIS

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Einführung in das Thema	5
1.1 Problemstellung	5
1.2 Was sind Störgeräusche	5
1.3 Störgeräusche in der Umwelt	7
2 Praktische Herangehensweise	9
2.1 Umgang mit dem Einzelfall	9
2.2 Erfassen des Geräuschs	10
2.3 Einbezug der Betroffenen	10
2.4 Tipps zur Organisation und Abwicklung	11
3 Mess- und Analysemethoden	12
3.1 Was soll gemessen werden?	12
3.2 Audioaufzeichnung	12
3.3 Langzeit-Pegelmessungen mit gleichzeitiger Audioaufzeichnung	13
3.4 Spektralanalyse (FFT-Analyse)	14
3.5 Spektral-Editing	16
4 Lokalisierung der Geräuschquelle	17
4.1 Analyse der räumlich-akustischen Bedingungen	17
4.2 Lokalisierung der Geräuschquelle in der näheren Umgebung	18
4.3 Lokalisierung der Geräuschquelle in der weiteren Umgebung (Aussenraum)	20
5 Hilfestellungen zur Entschärfung des Störgeräuschs	22
5.1 Technische Lösungswege bei lokalisierter äusserer Geräuschursache	22
5.2 Hilfestellung für Betroffene für einen besseren Umgang mit ihrem Problem	22
6 Rechtliche Grundlagen	23
Arbeitsblatt Nr. 1: Fragebogen für den Erstkontakt mit betroffener Person	25
Arbeitsblatt Nr. 2: Hilfestellung zur Beschreibung des Geräuschs	28
Arbeitsblatt Nr. 3: Aufzeichnung des Geräuschs durch Betroffene (Audioaufnahme)	29
Anhang 1: Drei Fallbeispiele aus dem Kanton Aargau	31
Anhang 2: Lärmrechtliche Gesetze und Verordnungen	32
Glossar	33

Zusammenfassung

Es wird viel darüber gesprochen, dass unsere Welt immer lauter wird. Geräusche müssen aber nicht unbedingt laut sein, um zu stören. Was im Rahmen einer klassischen Lärmmessung buchstäblich untergeht, sind leise Brummtöne und andere leise Geräusche, die offenbar für immer mehr Menschen in ihrer Alltagsumgebung ein Problem darstellen. Betroffene berichten vom Verlust der inneren Ruhe, von Schlaflosigkeit, Schwindelgefühlen und sogar physischen Schmerzen. Wie kommt es dazu? Und vor allem: Was lässt sich tun? Dazu gab es bislang kaum Anhaltspunkte. Erschwert wird die Lösungsfindung dadurch, dass als Auslöser nicht nur Umweltgeräusche, sondern auch subjektive Geräuschwahrnehmungen in Frage kommen.

Der vorliegende Leitfaden richtet sich an Vollzugsbeauftragte in Gemeinden und Kantonen, Akustikfachleute und Betroffene und zeigt Grundlagen und Zusammenhänge auf, die ein sachliches Herangehen an den Einzelfall ermöglichen. Die Publikation erläutert praxistaugliche Methoden für die systematische Analyse von Problemsituationen und die Lösungsfindung. Ohne geeignete Systematik kann die Analyse von Problemen mit leisen Geräuschen sehr zeitaufwändig und teuer sein.

Die grösste Schwierigkeit – und gleichzeitig der wichtigste Schritt – ist herauszufinden, wonach man eigentlich sucht. Damit ist noch nicht die Geräuschquelle gemeint, sondern das Geräusch selbst – das akustische Ereignis: Was hört der/die Betroffene? Erst wenn das Geräusch in seiner Charakteristik zweifelsfrei erfasst und abgegrenzt ist, besteht eine Chance, seine Quelle zu identifizieren und anschliessend zu lokalisieren. In diesem zweiten Schritt lässt sich dann herausfinden, ob es sich beim Störgeräusch um ein äusseres Geräusch in der Umwelt oder um eine innerkörperliche Geräuschwahrnehmung bzw. Überempfindlichkeit des Gehörs des Betroffenen handelt. Dies ist entscheidend, um einer Lösung des Problems näher zu kommen. Wichtig ist auch: Die Betroffenen sind die eigentlichen Experten in Bezug auf das Problem. Gerade wenn das Störgeräusch für andere nicht wahrnehmbar ist, sind sie die Einzigen, die wissen, wonach zu suchen ist. Die aktive Mitarbeit der Betroffenen ist daher von zentraler Bedeutung für den gesamten Prozess.

Die hier dargestellten Ansätze und Methoden beruhen auf Erkenntnissen der Autoren und der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau, die im Zuge der Bearbeitung unterschiedlichster Fälle von Problemen mit leisen Störgeräuschen gewonnen wurden.

1 Einführung in das Thema

1.1 Problemstellung

Für immer mehr Menschen stellen leise Brummtöne und andere leise Störgeräusche ein Problem dar.

Unser Gehör ist in der heutigen Welt vielfachen Belastungen ausgesetzt. Einerseits sind wir durch die zunehmende Mobilisierung und Technisierung unseres Alltagslebens von immer mehr Lärmquellen umgeben. Andererseits tragen durch die städtische Verdichtung vermehrt auch «passive» Faktoren quantitativ und qualitativ zur akustischen Belastung bei. Umgebungen, die von grossformatigen, glatten Baukörpern dominiert werden, können eine monotone Geräuschentwicklung oder das Aufschaukeln von tieffrequentem Schall fördern. Akustisch ungünstig gestaltete Orte erschweren die Orientierung und erfordern viel Konzentration, um die Situation erfassen zu können.

Die eingehenden Anfragen und Beschwerden bei Gemeinden und kantonalen Lärmschutzfachstellen zeigen, dass sich immer mehr Menschen von akustischen Ereignissen gestört fühlen, die bisher nicht von gesetzlichen Regelungen erfasst werden. Das sind vor allem Geräusche, deren Schallpegel unter den zulässigen Grenzwerten liegen – oftmals Geräusche im tiefen Frequenzbereich, der in klassischen Pegelmessungen (in A-bewerteten Dezibel, abgekürzt dB(A)) geringer gewichtet wird. Dementsprechend gibt es wenig Praxis im Umgang mit solchen Problemen.

Nicht immer ist ein «äusseres» Geräusch in der Umwelt die Ursache der Störung. Verschiedene Formen von störenden Geräuschwahrnehmungen entstehen durch eine Überempfindlichkeit oder Beeinträchtigung des Gehörs oder als physiologische Stressreaktion auf eine Form der Überlastung des Organismus. Solche subjektiven akustischen Wahrnehmungen können auch situations- und ortsspezifisch auftreten. Für Betroffene sind sie häufig kaum unterscheidbar von äusseren Geräuschen; meist wird daher nach einer äusseren Schallquelle gesucht. Bekannt ist in diesem Zusammenhang das Symptom des Tinnitus oder «Ohrenklingelns». Weniger bekannt sind die Symptome der Hyperakusis, der aussergewöhnlichen

Empfindsamkeit in der Wahrnehmung von akustischen Ereignissen. Eine der Schwierigkeiten für Betroffene ist die Tatsache, dass die medizinische Abklärung in diesem Kontext komplex und eine normale Gehöruntersuchung hier nicht aussagekräftig ist.

In vielen Fällen stehen Betroffene mit ihrem Problem alleine da – weil sie häufig die Einzigen sind, die das Geräusch hören oder sich von ihm gestört fühlen. Es stellen sich für sie daher eine ganze Reihe von Fragen: Was ist mit mir los? Wer nimmt mein Problem ernst? Gibt es eine geeignete Anlaufstelle? Lässt sich die Ursache des Problems finden? Gibt es eine Lösung? Welche Kosten sind damit verbunden?

Dieser Leitfaden soll praktische Unterstützung und konkrete Hilfestellungen zum Umgang mit diesen Problemen bieten.

1.2 Was sind Störgeräusche?

Störgeräusche sind störende akustische Wahrnehmungen, wobei diese nicht zwingend mit einem äusseren akustischen Ereignis zusammenhängen müssen. Durch eine Überempfindlichkeit des Gehörs können beispielsweise auch Raumresonanzen oder körpereigene Geräusche in störender Weise gehört werden. Bekannt ist das «Ohrenklingeln» oder «Ohrensausen», allgemein unter dem Begriff Tinnitus zusammengefasst. Oftmals ist es schwierig, äussere Störgeräusche von solchen Überempfindlichkeiten und Störungen des Gehörs zu unterscheiden – und sie sind auch medizinisch nicht immer zweifelsfrei diagnostizierbar.

Auf umweltakustischer Basis kann Betroffenen dann geholfen werden, wenn die Störgeräusche ihre Ursache in der äusseren Welt haben. Die in dieser Arbeitshilfe vorgeschlagenen Vorgehensweisen sind auf diese Problemstellung ausgerichtet, bieten damit aber auch Anhaltspunkte für die Eingrenzung andersartiger Probleme mit Geräuschen. Der folgende Versuch einer Einordnung möglicher Probleme mit Geräuschwahrnehmungen soll hierbei helfen.

Verschiedene Formen der akustischen Wahrnehmung von Geräuschen

a) Externes Geräusch (akustisches Ereignis in der Umgebung)

- Allgemein bzw. durch die meisten/mehrere Menschen sofort hörbares Geräusch. Eventuell wird das Geräusch aber nur von einzelnen Menschen wahrgenommen.

Solche Geräusche können grundsätzlich durch umgebungsakustische Analysemethoden objektiv erfasst werden; Hilfestellung hierzu bietet dieser Leitfaden.

Die Eingrenzung des Problems sollte durch Zusammenarbeit von Betroffenen und Vollzugsbeauftragten oder Betroffenen und Akustikfachleuten erfolgen. Für die Problemlösung sind hier akustisch-technische Lösungen oder andere äusserliche Veränderungen erforderlich.

b) Situationsspezifisches externes Geräusch (akustische Wahrnehmung, die situationsspezifisch hervorgerufen wird)

- Das Gehör ist (situationsspezifisch) überempfindlich (Hyperakusis). Leiseste Geräusche werden laut wahrgenommen, zum Beispiel Resonanzen von Räumen oder Festkörpern wie Fenstern oder Holzverschalungen, eventuell aber auch Geräusche im Körperinneren.
- Das Geräusch wird in der Regel nur von einer Person wahrgenommen.

Solche Geräusche sind schwierig zu erfassen. Sie können auch durch medizinische Gehörtests (Ohrenarzt) eventuell nicht bestimmt werden, insbesondere wenn sie situationsspezifisch auftreten. Am besten lassen sich solche Phänomene im Ausschlussprinzip erfassen. Hilfestellung dazu bietet dieser Leitfaden.

Die Eingrenzung des Problems muss hier durch die Betroffenen selbst oder durch Zusammenarbeit von Betroffenen und Akustikfachleuten erfolgen. Für die Problemlösung ist hier medizinische und/oder psychologische Unterstützung erforderlich.

c) Situationsspezifisches internes Geräusch (innere akustische Wahrnehmung, die situationsspezifisch hervorgerufen wird)

- Das Gehör selbst erzeugt situationsspezifisch ein Geräusch bzw. Geräusche.
- Das Gehör richtet seinen Fokus auf die akustischen Ereignisse im Körper.
- Das Geräusch wird in der Regel nur von einer Person wahrgenommen.

Solche Geräusche sind schwierig zu erfassen. Sie können auch durch medizinische Gehörtests (Ohrenarzt) eventuell nicht bestimmt werden, insbesondere wenn sie situationsspezifisch auftreten. Am besten lassen sich solche Phänomene im Ausschlussprinzip erfassen. Hilfestellung dazu bietet dieser Leitfaden.

Die Eingrenzung des Problems muss hier durch die Betroffenen selbst oder durch Zusammenarbeit von Betroffenen und Akustikfachleuten erfolgen. Für die Problemlösung ist hier medizinische und/oder psychologische Unterstützung erforderlich.

d) Internes (häufig permanentes) Geräusch (permanente innere akustische Wahrnehmung oder permanente Überempfindlichkeit des Gehörs)

- Tinnitus
- Hyperakusis

Solche Probleme mit der Wahrnehmung von Geräuschen sollten medizinisch abgeklärt werden (Allgemeinarzt, Ohrenarzt).

Die Eingrenzung des Problems muss hier durch die Betroffenen selbst oder durch Zusammenarbeit von Betroffenen und medizinischen Fachpersonen (Allgemeinarzt, Ohrenarzt) erfolgen.

Für die Problemlösung ist hier medizinische und/oder psychologische Unterstützung erforderlich.

e) Kombinationen

Es können auch Kombinationen der verschiedenen Wahrnehmungsformen von Geräuschen auftreten.

1.3 Störgeräusche in der Umwelt

Störgeräusche in der Umwelt sind Geräusche, die ihre Ursache in äusseren Ereignissen haben und die beim Empfänger zu einer unangenehmen akustischen Wahrnehmung führen. Die störende Wirkung eines Geräusches muss nicht mit seiner Lautstärke zusammenhängen. Zudem ist die Störung oft subjektiv; die Wirkung kann von verschiedenen Menschen sehr unterschiedlich empfunden werden. Eventuell wird ein Geräusch sogar nur von einer Einzelperson wahrgenommen.

Ein Geräusch kann aus verschiedenen akustischen Gründen störend wirken, zum Beispiel:

- permanente Wiederholung/Anwesenheit
- unangenehme klangliche Eigenschaften (Klangfarbe, Monotonie, starke Dynamik etc.)
- Übereinstimmung mit Körperresonanzen

Ein Geräusch kann aber auch aus nicht primär akustischen Gründen störend wirken, zum Beispiel:

- Das Geräusch wird für unnötig gehalten.
- Das Geräusch war früher nicht vorhanden.
- Das Geräusch wird aufgrund einer Erinnerung oder eines störenden Zusammenhangs negativ empfunden.

Mögliche Beeinträchtigungen durch leise Störgeräusche:

- Schwindel, Kopfschmerzen etc.
- Schmerzen in den Ohren
- Druckgefühl in den Ohren
- innere Unruhe
- Schlaflosigkeit
- Stress, Bedrängungsgefühle

1.3.1 Leise tieffrequente Geräusche in der Umwelt

Der Mensch kann Schall mit Frequenzen von etwa 16 Hertz bis 20'000 Hertz hören, wobei die genauen Hörgrenzen individuell variieren. Dabei werden als tieffrequent im Allgemeinen Geräusche bezeichnet, deren Frequenzen kleiner als 100 Hertz sind.

In heutigen Lebensumgebungen sind tieffrequente Geräusche keine Seltenheit. Sie haben aufgrund verschiedener Faktoren zugenommen. Im Vergleich zu Geräuschen mit höheren Frequenzen ist es schwieriger, tieffrequente Geräusche bewusst zu hören und ihre Tonlage oder Tonhöhe zu benennen. Die Wahrnehmung solcher Geräusche wird oft mit Wummern, Dröhnen oder Brummen beschrieben; der Übergang zu spürbaren (Luft-)Vibrationen ist fließend.

Besonders im Wohnumfeld sind wir von immer mehr Geräten, Maschinen und Anlagen umgeben wie Wärmepumpen, Umwälzpumpen, Mährobotern, Laubbläsern, Lüftungen und anderen haustechnischen Anlagen. Viele dieser Schallquellen verursachen Geräusche, die schwer zu erfassen sind, die aber aufgrund ihrer Frequenzlage (z. B. tiefes Dröhnen) oder ihres Klangcharakters (z. B. Monotonie) zu Gereiztheit, innerer Unruhe, Schlafproblemen und Ähnlichem führen können. Aber auch Strassen-, Flug- und Schienenverkehr verursachen tieffrequente Geräusche. Insbesondere in Verbindung mit Raumresonanzen (von Innen- ebenso wie von Aussenräumen) kann durch die genannten Schallerreger die Geräuscentwicklung im tieffrequenten Bereich beträchtlich werden.

Die physiologischen und psychologischen Auswirkungen von tieffrequentem Schall auf Menschen und Tiere sind in der Akustik bisher noch ein untergeordnetes Thema und werden tendenziell unterschätzt. Die Reaktion des Körpers auf tieffrequente Geräusche unterscheidet sich von der Reaktion auf höhere Schallfrequenzen. Tieffrequente Geräusche wirken für das Gehör meist nicht unmittelbar schmerzhaft, haben aber Auswirkungen auf den ganzen Körper und die inneren Organe. Entwicklungsgeschichtlich mit Gefahr in Verbindung gebracht, können sie zu innerer Unruhe und damit zu negativem Stress führen. Hier bietet Gehörschutz kaum Hilfe.

Gerade ältere Menschen können eine ausgeprägte Wahrnehmung im Tieffrequenzbereich haben. Diese kann auch tiefer als die verbreitet angenommene Hörschwelle von 16 Hertz reichen.

1.3.2 Andere leise Störgeräusche in der Umwelt

Auch die Zahl der Geräusche in höheren Frequenzbereichen hat stark zugenommen. Im Allgemeinen sind leise Geräusche mit höheren Frequenzanteilen besser erfassbar und leichter zu beschreiben als tieffrequente Geräusche. Eine Ausnahme sind zum Beispiel sehr hochfrequente Geräusche (in der Größenordnung ab 10 kHz), die als schwer definierbares «Sirren» wahrgenommen werden.

Typische Geräuschquellen, die mittel- und hochfrequente Schallemissionen produzieren, sind beispielsweise Kleinmotoren, Wasserleitungen, Brunnenanlagen, Marderschreckanlagen, Produktionsanlagen, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage oder Verkehrsgeräusche.

Neben der möglicherweise negativen Bewertung eines Geräusches ist es häufig der monotone Klangcharakter, der unangenehm wirkt und zu Gereiztheit und innerer Unruhe führen kann.

1.3.3 Individuell unterschiedliche akustische Wahrnehmung von Störgeräuschen in der Umwelt

Menschen können eine sehr unterschiedliche akustische Wahrnehmung der gleichen Situation haben – entsprechend ihrer Lebenssituation, ihren Erfahrungen, ihrer Sensibilität und Konstitution.

Das Gehör ist ein äusserst komplexes Organ und arbeitet vielschichtig. Die Hörsensibilität kann zu- und abnehmen, sie kann geschult und auch unbewusst adaptiert werden. Das Gehör arbeitet zudem selektiv und kann die Sensibilität verlagern, zum Beispiel durch «Hinhören».

Das Gehör spielt eine zentrale Rolle bei der Überprüfung von Situationen und Ereignissen in der Umgebung. Raum und Territorium werden akustisch erfasst, Veränderungen des Umfelds ebenso wie die «Gesamlage» und Atmosphäre. Das Gehör ist diesbezüglich ständig aktiv. Dementsprechend kann eine akustische Wahrnehmung auch Indikator für ein weiterführendes, über das eigentliche akustische Problem hinausgehendes Problem sein.

- Die subjektiven Unterschiede in der akustischen Wahrnehmung von Geräuschen sind ein Problem für die Betroffenen, weil unter Umständen andere Personen das Problem schlecht oder nicht nachvollziehen können.
- Dies ist auch häufig ein Problem für die Identifikation von Störgeräuschen und die Lösungsfindung durch Dritte.

2 Praktische Herangehensweise

2.1 Umgang mit dem Einzelfall

Die erste wichtige Hilfe für die Betroffenen ist, dass ihr Problem ernst genommen wird. Dazu gehört auch, dass Akustikbüros und Vollzugsbehörden beim ersten Kontakt mit einer betroffenen Person das Problem möglichst genau erfassen und dokumentieren.

→ Fragebogen für den Erstkontakt mit betroffenen Personen: Siehe Arbeitsblatt Nr. 1

2.1.1 Wenn die Geräuschursache bekannt ist

Ist die Ursache eines störenden Geräuschs bekannt, steht die Frage im Mittelpunkt, wie dem Problem begegnet werden kann. Dabei können sich technische, finanzielle und rechtliche Fragen stellen (zu technischen Lösungsansätzen siehe Kapitel 5).

Wichtig:

Es kann durchaus sein, dass Betroffene mit Überzeugung eine bestimmte Ursache für das Störgeräusch benennen, diese aber trotzdem nicht die eigentliche Quelle ist. Daher empfehlen wir, das folgende Kapitel 2.1.2 in jedem Fall zu beachten.

2.1.2 Wenn die Geräuschursache unbekannt ist

In vielen Fällen suchen Menschen Hilfe bei Problemen mit leisen Störgeräuschen, deren Ursache unbekannt ist. Der Umgang mit diesen Situationen ist oft eine grosse Herausforderung.

Wichtig für die Herangehensweise:

- 1) Das Problem der Menschen ernst nehmen; gerade auch dann, wenn sie mit der Wahrnehmung des akustischen Ereignisses alleine sind.
- 2) Die Beobachtungen der Betroffenen genau registrieren, jedoch keinesfalls vorschnelle Interpretationen daraus ableiten oder Mutmassungen, zum Beispiel über die Geräuschquelle, bestätigen.
- 3) Wenn ein Geräusch nicht eindeutig aufgezeichnet werden kann (bzw. könnte) und auch nicht reproduzierbar ist, sollte keine Bestätigung über eine akustische Wahrnehmung eines äusseren Geräuschs gegeben werden.

Menschen, die ein Problem mit einem leisen Störgeräusch haben und sich bei einer Amtsstelle melden, haben sich normalerweise bereits schon lange mit ihrem Problem befasst. Sie versuchen intensiv, das Problem einzugrenzen und ziehen – ihren Möglichkeiten entsprechend – viele verschiedene Ursachen in Betracht.

Üblicherweise suchen die Betroffenen von innen nach aussen:

- Ursache bei ihrem Gehör (Besuch beim Ohrenarzt)
- Ursache in ihren eigenen Räumen: Geräuschkentwicklung in ihrer Wohnung bzw. ihrem Haus
- Ursache bei den Nachbarn
- Ursache in der weiteren Umgebung

→ Bevor nicht Klarheit über die akustische Charakteristik eines Geräuschs besteht, ist es kaum zielführend, nach äusseren Quellen zu suchen. Aus umgebungsakustischer Sicht ist es wichtig, zunächst die akustische Erscheinungsform (Zeiten, Klangcharakter etc.) bestmöglich einzugrenzen, bevor nach einer Geräuschquelle gesucht wird.

Im Verlauf des Prozesses suchen viele Betroffene Rat bei ihrer Ärztin oder ihrem Arzt. Auch die Schweizerische Tinnitus-Liga kann eine hilfreiche Anlaufstelle sein (www.tinnitus-liga.ch).

Vorsicht mit vorschnellen Interpretationen der Situation und Mutmassungen über die Geräuschursache bzw. -quelle:

In den meisten Lebensumgebungen gibt es zahlreiche Geräuschquellen, die potenziell stören können: Kühlschränke, Heizungen, Lüftungen, Pumpen etc. Es kann aber durchaus sein, dass solche «offensichtlichen» akustischen Ereignisse nicht das Problem der Betroffenen darstellen – und dass das eigentliche akustische Problem versteckter ist.

Unter Umständen hat ein störendes akustisches Ereignis einen niedrigeren Pegel als andere in der Umgebung vorhandene Geräusche. Trotzdem kann ein solches Geräusch störend und beunruhigend wirken, zum Beispiel durch seine unangenehmen akustischen Eigenschaften (z. B. Monotonie, tieffrequentes Dröhnen/Wummern) oder die inhaltliche Komponente bzw. Bedeutung, die über das Geräusch transportiert wird (vgl. Kapitel 1).

Es kann sein, dass trotz vorhandener hör- und messbarer Geräusche das akustische Problem nicht mit diesen Geräuschen zusammenhängt, sondern ein innerkörperliches akustisches Phänomen ist.

2.2 Erfassen des Geräuschs

Es ist empfehlenswert, den Fokus zunächst konsequent auf die akustische Erscheinung bzw. die klanglichen Eigenschaften des wahrgenommenen Geräuschs zu richten. Hierzu sollten so viele Angaben wie möglich zusammengetragen werden.

- Je besser die akustischen Eigenschaften des Geräuschs erfasst werden können, desto schneller lässt sich die Ursache des Problems finden.
- Für die Lösungsfindung sekundär und manchmal sogar irreführend ist eine Fokussierung auf Auswirkungen, ebenso wie Vermutungen zu den Ursachen.

Bevor nicht Klarheit über die akustische Charakteristik eines Geräuschs besteht, ist es zwecklos, nach äusseren Quellen zu suchen: zum einen, weil es in heutigen Lebensumgebungen zahlreiche potenziell störende Schallquellen gibt; zum anderen, weil die Möglichkeit besteht, dass es sich bei der Geräuschwahrnehmung um ein innerkörperliches akustisches Phänomen handelt.

Gelingt es jedoch, ein Geräusch zu isolieren, können mit Hilfe einer akustischen Analyse (Frequenzverhalten, Ein- und Ausschwingvorgang, Dauer, zeitliches Vorkommen) mögliche Ursachen eingegrenzt und die Quelle gefunden werden.

Ziel sollte sein:

Reproduzierbarkeit des Geräuschs bzw. Audioaufnahme des akustischen Ereignisses, abspielbar zum Beispiel über Kopfhörer (vgl. Kapitel 3.2)

- Dies ermöglicht die Analyse des Geräuschs und damit die Eingrenzung möglicher Ursachen/Quellen.
- Ist ein Geräusch nicht reproduzierbar, ist das ein Hinweis darauf, dass das akustische Problem anderweitige Ursachen im psychologischen oder physiologischen Bereich hat. In diesen Fällen liegt der Lösungsweg nicht im umweltakustischen Bereich.

Um das akustische Problem zu erfassen und nach Möglichkeit aufzuzeichnen, ist eine intensive und sorgfältige Mitarbeit der Betroffenen unerlässlich.

2.3 Einbezug der Betroffenen

Die von den Geräuschen betroffenen Menschen sind die besten Fachleute für das bestehende Problem. Um eine Lösung zu erreichen, ist die Hilfe bzw. Mitarbeit der Betroffenen daher zentral.

2.3.1 Detaillierte Beschreibung der akustischen Eigenschaften des Geräuschs

Eine erste und wichtige Möglichkeit, das Problem einzugrenzen, besteht in der genauen Beobachtung und möglichst präzisen Beschreibung des Geräuschs.

Wie lässt sich die akustische Wahrnehmung beschreiben?

- Klangcharakter, Geräuschfarbe (hell/dunkel), Tonhöhe(n)
- Art des Beginns und des Verklingens des Geräuschs
- Lautstärkeschwankungen
- aus welcher Richtung
- zeitliches Erscheinen

→ Hilfestellung zur Beobachtung und Beschreibung des Geräuschs: Siehe Arbeitsblatt Nr. 2

Wenn die Beschreibung kaum oder nicht möglich ist, könnte Folgendes zutreffen:

- a) sehr tieffrequentes Geräusch/Wummern (messbar)
- b) sehr hohes Geräusch (messbar)
- c) Tinnitus oder Hyperakusis (nicht messbar; vgl. Kapitel 1.2)

2.3.2 Aufzeichnung des Geräuschs (Audioaufnahme) durch die Betroffenen

Messungen und Audioaufzeichnungen durch Dritte – auch Fachleute – sind aufwändig und oftmals vom Glück des richtig getroffenen Moments und Aufnahmeorts abhängig. Demgegenüber können die Betroffenen selbst am besten beurteilen, wann und wo das Geräusch gut hörbar ist.

Aufzeichnungen durch die Betroffenen selbst können in vielen Fällen der für alle Beteiligten einfachste Weg zu einer objektiven Feststellung eines vorhandenen Geräuschs sein.

Dank der heute verfügbaren, einfach zu bedienenden und handlichen Audioaufnahmegeräte mit relativ hochwertigen Mikrofonen können die Betroffenen selbst qualitativ gute Aufzeichnungen machen, die sich für eine Analyse durch eine Fachperson eignen.

→ Wie und womit aufnehmen: Siehe Arbeitsblatt Nr. 3

2.4 Tipps zur Organisation und Abwicklung

Die Analyse von Problemen mit leisen Störgeräuschen kann zeitlich sehr aufwändig sein. Eine planvolle Vorgehensweise anhand der in diesem Leitfaden dargestellten Schritte kann dabei helfen, den Aufwand zu minimieren und schneller ans Ziel zu kommen.

Insbesondere für Erstgespräche sollte genügend Zeit eingerechnet werden. Zwei bis drei Stunden sollten für eine erste Bestandsaufnahme vorgesehen werden, um sich ein Bild von der Situation zu verschaffen und die Zusammenarbeit mit den Betroffenen zu beginnen.

Es ist empfehlenswert, zwischen den einzelnen Schritten nicht zu viel Zeit verstreichen zu lassen bzw. die Betroffenen zu informieren, wenn die Analyse mehr Zeit erfordert. Für die Betroffenen nicht nachvollziehbare Verzögerungen können die belastende Situation verschlimmern.

3 Mess- und Analysemethoden

Messungen bzw. Audioaufzeichnungen sind ein hilfreiches Mittel zur Objektivierung und Eingrenzung des Problems. Im Sinne einer lösungsorientierten Vorgehensweise sollten Messungen in erster Linie folgenden Fokus haben:

- 1) Geräuscherfassung
- 2) Lokalisierung der Geräuschquelle
- 3) Überprüfung der Übereinstimmung von störendem Geräusch und lokalisierter Geräuschquelle

Hierfür erweisen sich konventionelle Schallpegelmessungen (Messungen des A-bewerteten Mittelungspegels) als nicht zweckmässig. Es sind andere Vorgehensweisen erforderlich, die im Folgenden erläutert werden.

3.1 Was soll gemessen werden?

Der Geräuschbeschreibung durch die Betroffenen folgend (vgl. Kapitel 2.3), können mit technischen Hilfsmitteln die Eigenschaften des Geräuschs bestimmt werden:

- Klangcharakter, Geräuschfarbe, Tonhöhe(n)
 - ↳ Grundfrequenzen, Teiltöne
- Anfang und Ende des Geräuschs
 - ↳ Ein- und Ausschwingverhalten
- Lautstärkeschwankungen
 - ↳ Amplitudenverlauf, Dynamik
- zeitliches Erscheinen
 - ↳ Anfangszeit, Dauer

Durch eine solche Erfassung der Geräuscheigenschaften können Geräusche objektiv eingegrenzt werden. Gleichzeitig hilft dies, eine Idee von der Art der Geräuschursache zu erhalten.

Oberste Priorität für die Geräuschidentifikation hat die präzise Feststellung der Grundfrequenzen und eventuell weiterer Frequenzanteile des Geräuschs.

3.2 Audioaufzeichnung

Audioaufzeichnungen sind eine geeignete Grundlage für Messungen zur Geräuschidentifikation. Mit Audioaufzeichnungen können problemlos Frequenzen zwischen 10 Hertz und 20'000 Hertz erfasst werden. Damit ist der Frequenzbereich, in dem Menschen Schwingungsereignisse mit dem Gehör wahrnehmen, relativ gut abgedeckt.

Die erstellten Audiodateien bieten die Basis für mehrschichtige Analysen:

- Die Audiodateien können mit verschiedenen Analyseverfahren untersucht werden (vgl. folgende Kapitel) und Geräuscheigenschaften (wie in Kapitel 3.1 beschrieben) gezielt analysiert werden.
- Mittels Höranalyse können die Bestandteile des Geräuschs eingegrenzt und nicht relevante Nebengeräusche aussortiert werden. Gleichzeitig erhält man eine bessere Idee von der Art der Geräuschentwicklung und damit der möglichen Geräuschursache.
- Aufgezeichnete Geräusche können von den Betroffenen angehört werden, am besten über Kopfhörer. Dies hilft bei der Eingrenzung des als störend wahrgenommenen Geräuschs (vgl. Kapitel 3.5 Spektral-Editing).

Wer soll aufzeichnen und wie?

- *Betroffene selbst mit mobilem Aufnahmegerät:*
 - Bietet die höchste Sicherheit, dass zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort aufgezeichnet wird
 - Die eventuell etwas geringere Aufnahmequalität wird kompensiert durch die Treffsicherheit der Aufzeichnung
 - Vergleichsweise geringe Datenmenge
 - Besonders geeignet bei schwer erfassbaren Geräuschen

– *Langzeitaufnahme mit stationärem, von einer Fachperson eingerichtetem Gerät, mit Protokollführung zum Auftreten des Geräuschs durch die betroffene Person:*

- Hohe Aufnahmequalität, bessere Kontrolle der Aufnahmebedingungen
- Grössere Datenmenge
- Unsicherheit bezüglich Aufnahmeposition

– *Mobile Aufzeichnung durch eine Fachperson, in Begleitung der betroffenen Person*

- Bei einfach erfassbaren bzw. gut wahrnehmbaren Geräuschen
- Für den Quervergleich mit Aufzeichnungen durch die Betroffenen
- Hohe Sicherheit bezüglich Aufnahmebedingungen und -qualität
- Unter Umständen wenig treffsicher bezüglich Auftreten des Geräuschs

Messungen insbesondere auch während der Nachtperiode laufen und so weniger durch Fremdgeräusche gestört werden. Es empfiehlt sich, gleichzeitig zu den Schallpegelmessungen auch Audioaufnahmen zu machen. Bei der Analyse im Büro können so die detektierten Ereignisse nachgehört und besser eingeordnet werden.

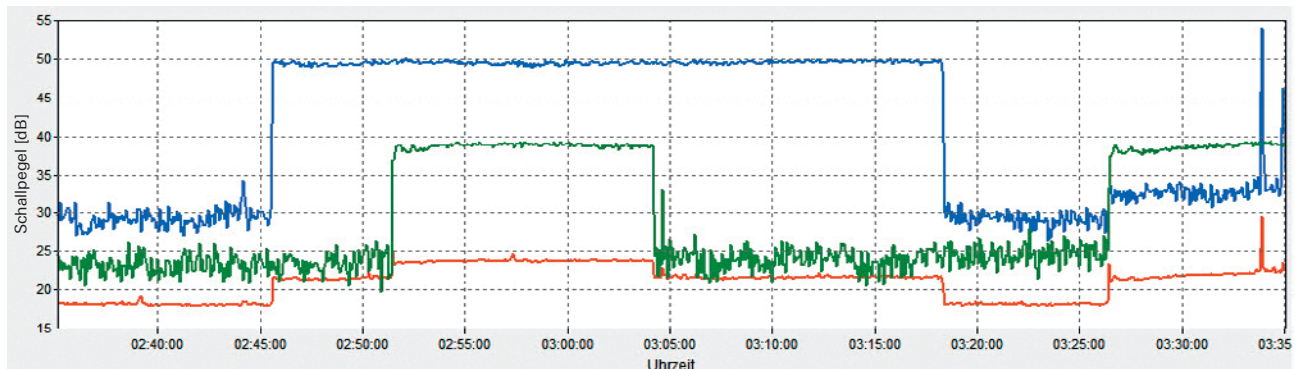
Durch die Darstellung einzelner Terzbänder in einem Pegel-Zeit-Diagramm können beispielsweise bei Wärmepumpen oder anderen technischen Geräten Ein- und Abschaltevorgänge sowie einzelne Betriebsphasen einfach ermittelt und dargestellt werden.

Die Abbildung 3.1 zeigt eine Langzeit-Pegelmessung in einem Schlafzimmer einer Wohnüberbauung zwischen 02:35 und 03:35 Uhr morgens. Dargestellt werden in Rot der A-bewertete Mittelungspegel, in Blau das unbewertete Signal im 50-Hz-Terzband und in Grün dasjenige im 100-Hz-Terzband. Die Geräuschpegel im Schlafzimmer sind sehr niedrig. Der A-bewertete Mittelungspegel $LeqA$ beträgt um 02:40 Uhr 18 dB(A). Um 02:45:37 Uhr schaltet sich ein Gerät ein. Erkennbar ist dies am unmittelbaren Anstieg des 50-Hz-Signals um 20 dB. Der $LeqA$ nimmt um 3,5 dB(A) zu. Um 02:51:29 Uhr schaltet das Gerät eine zweite Stufe. Dies erkennt man am Anstieg des 100-Hz-Signals um ca. 15 dB (derweil bleibt die 50-Hz-Kurve unverändert, der $LeqA$ nimmt noch einmal um ca. 1,5 dB(A) zu. Um 03:04:13 Uhr schaltet die zweite Stufe aus. Um 03:18:25 Uhr schaltet

3.3 Langzeit-Pegelmessungen mit gleichzeitiger Audioaufzeichnung

Langzeit-Pegelmessungen dienen in einer ersten Annäherung dazu, möglicherweise vorhandene zeitliche Muster einer Geräuschquelle und dadurch die Geräuschquelle selber zu identifizieren. Der grosse Vorteil einer Langzeit-Pegelmessung ist, dass die

Abbildung 3.1: Pegelzeitverlauf einer Wärmepumpe (Messstandort in darüber liegender Wohnung)



Rot: Mittelungspegel, Blau: Terzband 50 Hz, Grün: Terzband 100 Hz

das Gerät dann ganz ab. Um 03:26:29 schaltet sich die zweite Stufe des Gerätes wieder ein. Mit dem gleichzeitigen Abhören des Audiosignals war es möglich, die nachbarliche Wärmepumpe als Geräuschquelle zu ermitteln.

Bei der Analyse leiser Störgeräusche mit Hilfe von Langzeit-Pegelmessungen sind nachfolgende Punkte zu beachten:

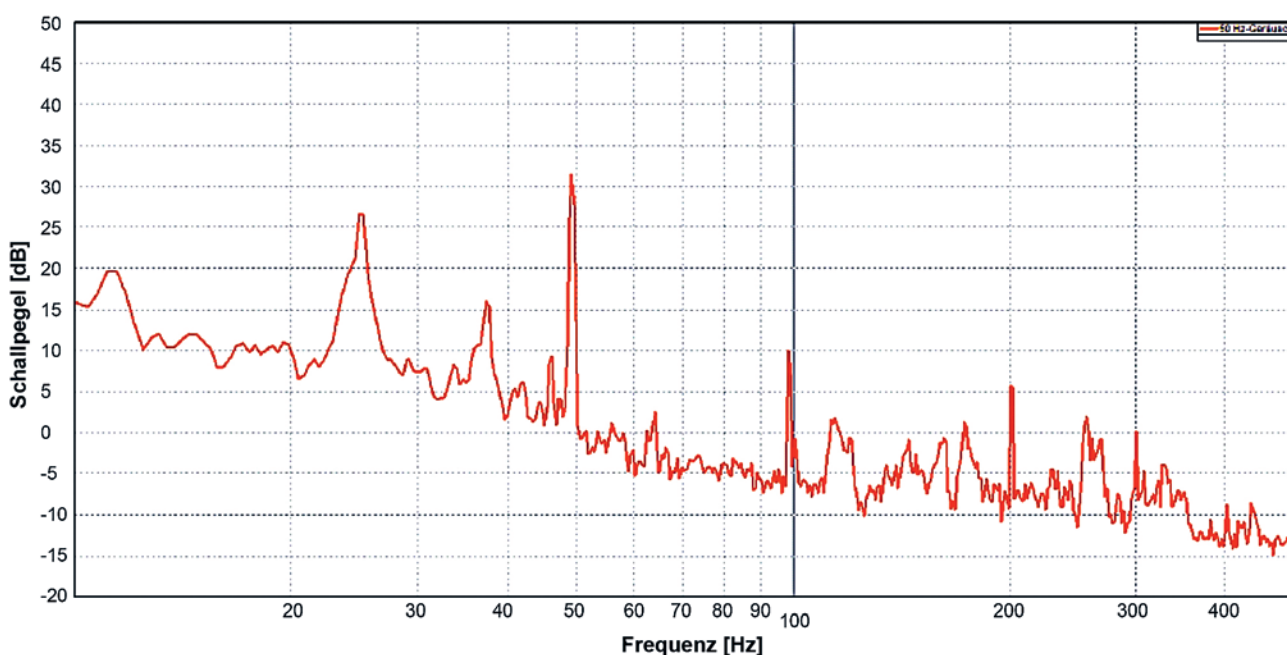
- Es zeigt sich in der Praxis, dass nicht immer die am besten messbaren Schallereignisse das Problem darstellen.
- Innerhalb eines Terzbandes können mehrere Ereignisse mit ähnlichen Mustern vorhanden sein.
- Man erhält relativ geringe Information über die detektierten Schallereignisse (geringe Genauigkeit bezüglich Frequenzeigenschaften, keine bzw. wenig Information zu Obertonverhalten, Rhythmus etc.).

3.4 Spektralanalyse (FFT-Analyse)

Mit Hilfe einer Spektralanalyse können Audioaufzeichnungen in Bezug auf «auffällige» Frequenzen untersucht werden. Spektralanalysen können auch in Echtzeit vor Ort vorgenommen werden.

Durch die Beobachtung der (sich bewegenden) Kurve während der Aufzeichnung bzw. der laufenden Spektralanalyse sowie durch Mithören können Schwingungen einander zugeordnet und gruppiert werden. Im Beispiel unten fallen unter anderem die Pegelspitzen bei 49 und 98 Hertz besonders auf: In periodischen Abständen von etwa 20 Minuten schnellen die beiden Frequenzen für jeweils 12 Minuten in die Höhe. Die Geräuschquelle ist ein Kühlschrank in der Nachbarwohnung. Die Pegelerhöhung bei 26 Hertz ist die Raum-Grundresonanz, die durch vorbeifahrenden Verkehr oder Schritte im Haus angeregt wird. Dies ist auf der Aufzeichnung gut zu hören bzw. bei einer Live-Analyse vor Ort gut erkennbar.

Abbildung 3.2: Spektralanalyse einer zweiminütigen Aufzeichnung in einem Wohnzimmer im Frequenzbereich zwischen 10 und 500 Hertz. Es sind die Mittelungspegel frequenzspezifisch ablesbar.



Bei der Analyse von Audioaufzeichnungen sollte nach Möglichkeit Sicherheit darüber bestehen, dass das eigentliche Problemgeräusch zumindest phasenweise vorhanden ist (möglichst genaue Angaben durch die Betroffenen). Grund: Es gibt viele Situationen, in denen sich in der Messung mehrere Geräusche deutlich abzeichnen und das eigentliche Störgeräusch nicht unbedingt den höchsten Pegel aufweist.

Eine Spektralanalyse in Echtzeit vor Ort hat den Vorteil, dass die akustische Situation bzw. das Auftreten und Verklingen des Geräuschs kommentiert und simultan die Kurve verfolgt werden kann. So können periodisch auftretende Problemgeräusche schnell anhand ihrer Frequenzen erfasst werden. Sinnvoll ist es, das Audiosignal während der Spektralanalyse mitaufzuzeichnen.

Technische Ausrüstung:

- Notebook oder Tablet mit FFT-Analyse-Software, die eine Genauigkeit und Ablesbarkeit von mindestens

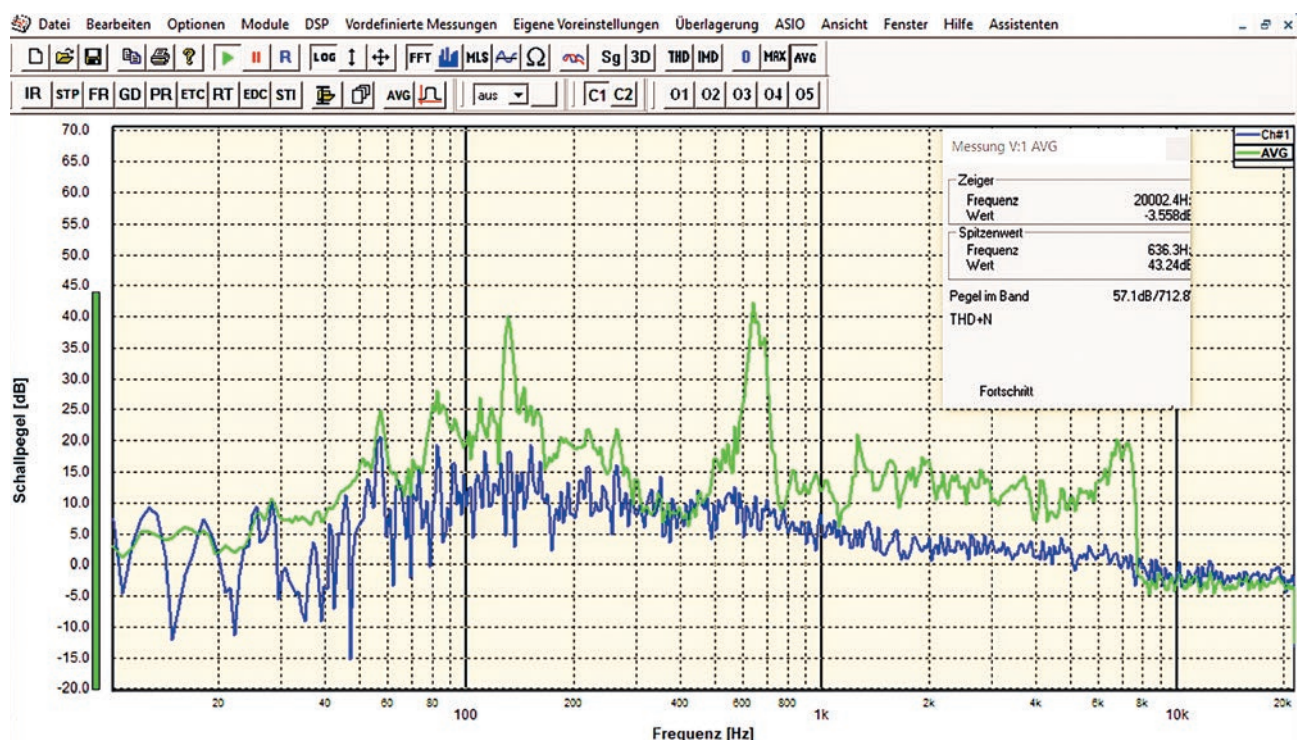
1 Hertz erlaubt, und das einen Audioausgang zum Mithören des Eingangssignals über Kopfhörer bietet

- Kopfhörer

Auf dem Markt sind zahlreiche Spektralanalyse-Programme (FFT-Analyse-Programme) in unterschiedlichsten Preiskategorien erhältlich – von freien Programmen bis zu teurer Mess-Software. Ab ca. 300 Franken sind professionelle Programme erhältlich. Kriterien für die Auswahl des Programms sind unter anderem:

- FFT-Grösse (mindestens 32'768 Abtastwerte bei einer Abtastrate von 44,1 kHz)
- Möglichkeit zur Analyse von WAVE-Dateien
- Einstellbarkeit der Ansicht; Zoom-Möglichkeiten auf Details, zum Beispiel auf einen engen Frequenzbereich von einigen Hertz
- Möglichkeit zur Speicherung von Kurven
- Neben der Kurvendarstellung des aktuellen Ereignisses auch Darstellung von Durchschnittswert- und Maximalwert-Kurven
- Sprache

Abbildung 3.3: Oberfläche eines leistungsfähigen Spektralanalyse-Programms



3.5 Spektral-Editing

Ein weiteres hilfreiches Analyse-Tool ist Audio-Software, welche die Bearbeitung von Audio-Dateien über ihr Spektrogramm ermöglicht.

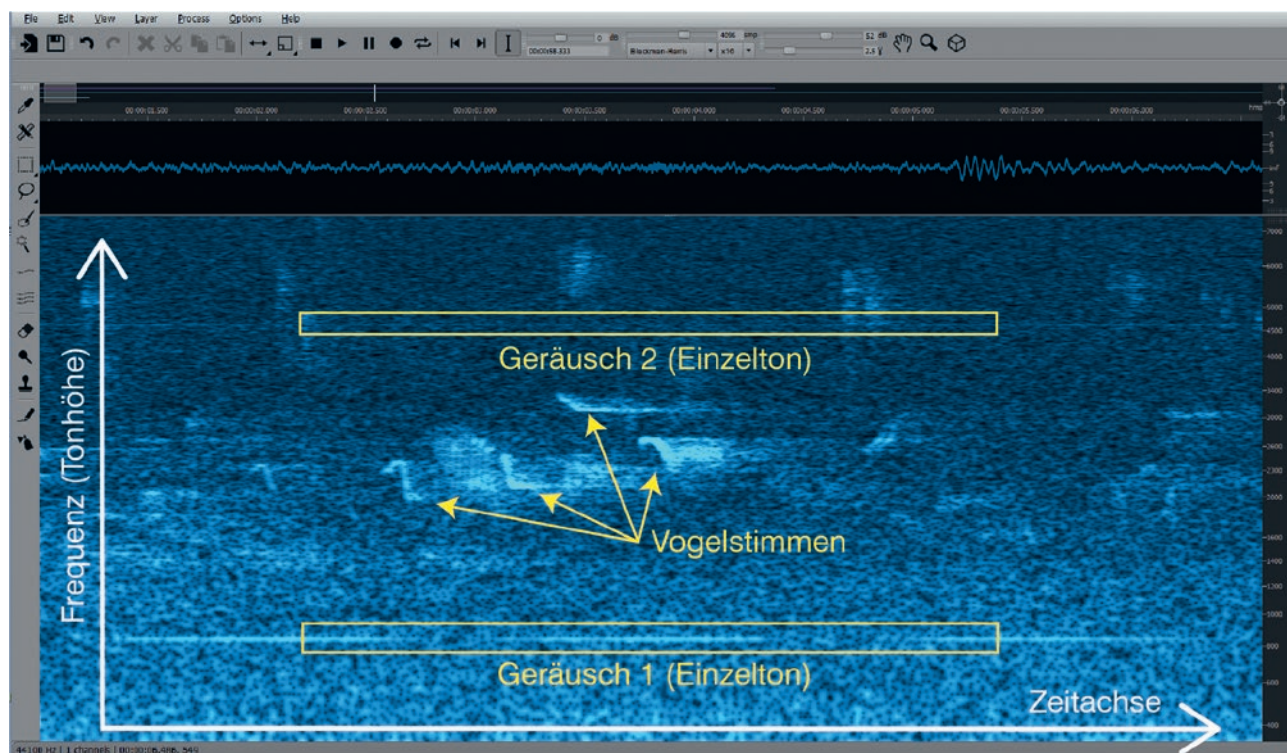
Im Vergleich zur Spektralanalyse, wie in Kapitel 3.4 gezeigt, macht ein Spektrogramm zusätzlich die zeitliche Dimension von akustischen Ereignissen sichtbar. Von links nach rechts ist der zeitliche Ablauf dargestellt, auf der y-Achse die Tonhöhe bzw. Frequenz sowie mittels Farbe bzw. Farbtintensität die Schallpegel von akustischen Ereignissen. Dieses Analyseverfahren bietet in Bezug auf Frequenzen und Pegel eine geringere Genauigkeit, dafür gewinnt man schnell einen Überblick über die verschiedenen vorhandenen Ereignisse.

Besonders wertvoll ist die Möglichkeit, das Spektrum zu bearbeiten. Es können wahlweise Bereiche im Spektrogramm markiert und damit Geräusche freigelegt und isoliert angehört werden.

Auf diese Weise isolierte Geräusche können den Betroffenen vorgespielt werden, was ein schnelles Ausschliessen und – mit etwas Glück – Erfassen des Problemgeräuschs erlaubt.

Für das Abhören und Vorspielen isolierter Geräusche wird am besten ein hochwertiger Kopfhörer verwendet.

Abbildung 3.4: Oberfläche eines Spektral-Editing-Programms mit dem Spektrogramm einer Audioaufzeichnung. Frequenz-Analysebereich und Zeitfenster lassen sich detailliert einstellen und anhören.



4 Lokalisierung der Geräuschquelle

4.1 Analyse der raumakustischen Bedingungen

Die räumliche Umgebung kann erheblich zu Problemen mit Geräuschen beitragen und sogar deren eigentliche Ursache sein. Es ist daher sinnvoll, die raumakustischen Bedingungen am beeinträchtigten Ort und eventuell im Umfeld in die Analyse bzw. den Lokalisierungsprozess miteinzubeziehen wie z.B.:

- Ausgeprägte Raumresonanzen (Moden) am beeinträchtigten Ort
- Ausgeprägte Resonanzen in Aussenräumen
- Mitschwingende Raumbegrenzungsflächen (Fenster, Holzplatten etc.) und andere mit-schwingende Bauteile

Ausgeprägte Raumresonanzen (Moden) am beeinträchtigten Ort:

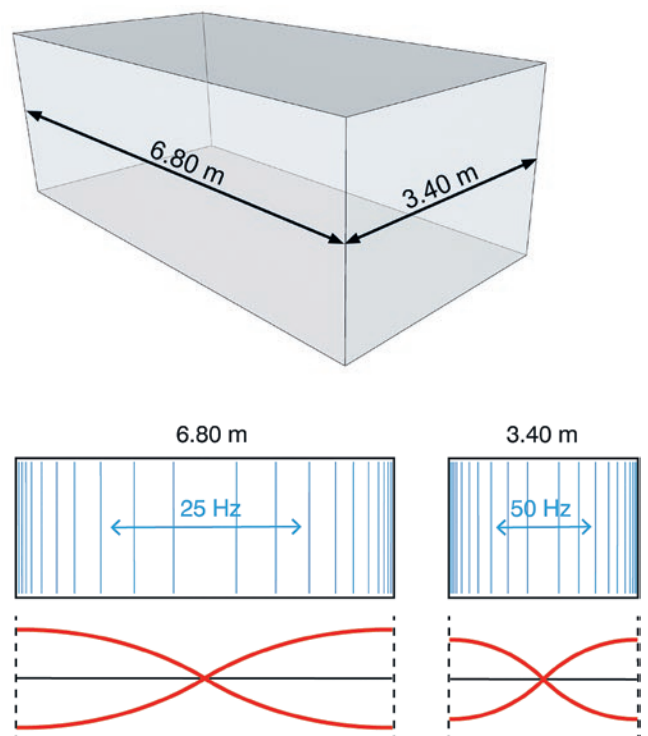
Raumresonanzen sind Eigenfrequenzen, bedingt durch die Geometrie eines Raums. Stark ausgeprägte Raumresonanzen können ihre Ursache zum Beispiel in einer allzu simplen Raumform oder einem dominanten Raummass haben. Solche Raumresonanzen können leicht angeregt werden und zu störenden akustischen Erscheinungen führen, insbesondere im Tieffrequenzbereich. So kann ein Dröhnen oder Wummern entstehen, das sich manchmal kaum mehr legt und praktisch immer hörbar ist, wenn auch nicht für alle Menschen bewusst.

Raumresonanzen können durch unterschiedliche Schallquellen angeregt werden, zum Beispiel durch vor dem Haus vorbeirauschenden Verkehr ebenso wie durch eine Kühltruhe in der Nachbarwohnung.

Besonders stark wirken sich Raumresonanzen dann aus, wenn ihre Frequenz mit derjenigen einer Schallquelle übereinstimmt. Dies ist beispielsweise oft im Zusammenhang mit Kühlschränken der Fall: Gibt es eine Raumresonanz, die der Grundfrequenz eines Kühlschranks im Umfeld entspricht (zum Beispiel 50 Hertz, was einer Raumlänge von ca. 3,4 Meter bzw. 6,8 Meter entspricht), kann dadurch das ansonsten kaum hörbare «Grundbrummen» eines Kühlschranks zu einem belastenden akustischen Ereignis werden.

Dabei kann sich das Gerät im selben Raum oder in benachbarten Räumen oder Wohnungen befinden. Auch Geräusche von Quellen ausserhalb des Hauses können durch Raumresonanzen verstärkt und störend hörbar werden. In unmittelbarer Nähe des Geräts ist das Brummen unter Umständen kaum hörbar. Im betroffenen Raum ist hingegen oftmals schwierig auszumachen, wodurch die störende Resonanz angeregt wird.

Abbildung 4.1: Schematische Darstellung von sogenannten stehenden Wellen in den tiefsten Resonanzfrequenzen in Relation zu Raumlänge und -breite



An den Raumbegrenzungen erreichen die (horizontal) schwingenden Luftmoleküle ihr Druckmaximum (laut), in der Mitte pendeln sie am stärksten hin und her (leise). Die Pegel sind in den roten Kurven abgebildet.

Es gibt mehrere Möglichkeiten zur Analyse der Raumresonanzen:

- Geometrie beachten: Gibt es viel Gleichmass? Hat der Raum eine «simple» Form? Wird die simple Raumform auch durch die Möbel geometrisch nicht vielfältiger?
- Gibt es Raummasse, die mit der Wellenlänge der ganzen oder ganzzahligen vielfachen Frequenz des identifizierten Geräuschs übereinstimmen?
- Messung von Raumresonanzen: Spektralanalyse des Raums, unter Anregung mit Rauschen oder Maximalfolgen (Maximum Length Sequence MLS), wobei ein Lautsprecher mit ausreichend tiefer Basswiedergabe erforderlich ist.

Ausgeprägte Resonanzen in Aussenräumen:

Starke Raumresonanzen in Aussenräumen – also in der Umgebung der Räume, in denen jemand durch ein Geräusch gestört wird – können ebenfalls eine Ursache für das Problem sein. Auch in physisch nur teilweise begrenzten Aussenräumen können ausgeprägte Resonanzen zur Verstärkung einzelner Schallfrequenzen führen. Beispiele hierfür sind Tunnel oder Strassenzüge, die von ungegliederten Flächen begrenzt sind.

- Die Analyse der Resonanzeigenschaften in der Umgebung kann auf die gleiche Weise wie am beeinträchtigten Ort erfolgen.
- Dazu: auf eventuell vorhandene dominante Schallausbreitungswege und Schallbündelungen achten (Kanäle, grosse Reflexionsflächen, gewölbte Flächen etc.)

Mitschwingende Raumbegrenzungsflächen und andere mitschwingende Bauteile:

Ein Auslöser von Störgeräuschen können mitschwingende Bauteile von Gebäuden sein, die unter Umständen durch beliebige Schallereignisse angeregt werden können. Es werden dadurch in einer Umgebung die immer gleichen Frequenzen hörbar. Dies kann störend wirken, wenn man einmal darauf sensibilisiert ist, während andere Menschen diese Effekte vielleicht gar nicht wahrnehmen. Solche Phänomene sind jedoch messbar und lassen sich mit etwas Geduld zuordnen.

Beispiele:

- Grosse Fensterflächen können leicht in Schwingung versetzt werden (beispielsweise durch Verkehrsgerausche) und wirken dann als Membrane, die ein Dröhnen abstrahlen.
- Plattenartige Bauteile (aus Metall, Glas, Gipskarton, Holz, MDF etc.), die in ihren Eigenfrequenzen angeregt werden können, übertragen in der immer gleichen, oft dumpf polternden Klangfarbe Geräusche ins Rauminnere (aus Nachbarräumen oder von aussen); die Ursprungsgeräusche sind meist kaum noch nachvollziehbar.
- Fenstergriffe, Dachrinnen und andere Metallteile können durch Verkehr, Rasenmäher, Regen und vieles andere angeregt werden und in mittlerer bis tiefer Tonhöhe störende Geräusche produzieren.

4.2 Lokalisierung der Geräuschquelle in der näheren Umgebung

Ist ein Geräusch in seinen akustischen Eigenschaften identifiziert, insbesondere die genauen Frequenzeigenschaften (vgl. Kapitel 3), kann durch ein schrittweises Vorgehen die Quelle oftmals gefunden werden.

Nach einer Quelle zu suchen, deren akustische Eigenschaften nur ungefähr eingegrenzt sind, ist oft aussichtslos oder mit sehr grossem Aufwand verbunden. In den meisten heutigen Lebensumgebungen ist eine Vielzahl von tieffrequenten Schallereignissen feststellbar, die über das Gehör oder mit einer konventionellen Messung (Terzband- oder Oktavbandanalyse) nicht hinreichend unterschieden werden können.

Vorbereitung:

- Bestimmung der Frequenz, nach der gesucht wird
- Nochmaliges Anhören («Lernen») des isolierten Geräuschs über Kopfhörer (vgl. Kapitel 3.2)
- Einrichten des FFT-Analysegerätes bzw. der Software in Bezug auf die gesuchte Frequenz (Eingrenzen der Frequenzspektrum-Anzeige)

Ausführung:

- Abschreiten der Umgebung mit dem Messmikrofon von innen nach aussen:
Beeinträchtigter Raum – umliegende Räume – Haus (inkl. Keller und Estrich) – Vorplatz/Garten/Innenhof – Zugang/Zufahrt – Strasse etc.
- Mit dem Messmikrofon «suchen» und in jedem Raum verschiedene Positionen testen (z. B. in verschiedenen Distanzen zu Wänden, Decke, Boden)
- Über Kopfhörer Eingangssignal mithören
- Laufende FFT-Analyse beobachten; auf den Pegel im Bereich der gesuchten Frequenz achten; anhand des Pegels der gesuchten Frequenz das Geräusch bzw. die Quelle örtlich eingrenzen

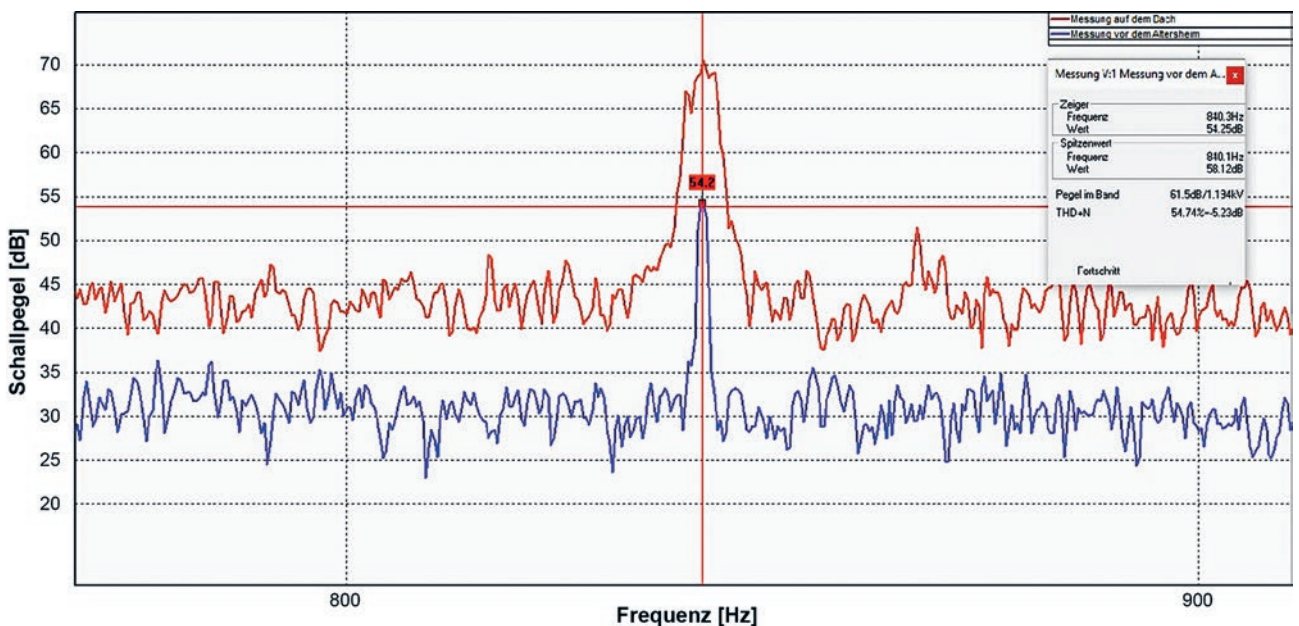
- Ergänzend: Registrieren von Schallquellen, die bei der Suche gefunden werden, jedoch aufgrund von abweichenden Frequenzeigenschaften ausgeschlossen werden können. Dies kann zur Entspannung der Situation beitragen, da Betroffene oft unterschiedlichste Ursachen in Betracht ziehen und manchmal zu stark an Hypothesen festhalten, wenn diese nicht klar widerlegt werden.

Überprüfung:

Wurde eine Schallquelle gefunden, welche die gesuchten Frequenzeigenschaften besitzt, sollte zur Sicherheit überprüft werden, ob es sich tatsächlich um die Quelle des Störgeräuschs handelt.

- Nach Möglichkeit Test durch Ein-/Ausschalten der Quelle: Hörtest durch die Betroffenen und Messung (FFT-Analyse) am beeinträchtigten Ort
- Überlagerung der Spektralanalysen der Referenzaufzeichnung des Störgeräuschs und der gefundenen Schallquelle in hoher Auflösung

Abbildung 4.2: Geräuschvergleich mittels Überlagerung zweier Spektren



Rote Kurve: Aufzeichnung der lokalisierten mutmasslichen Schallquelle (Motor einer Kühlanlage).

Blaue Kurve: Das zuvor identifizierte Störgeräusch, aufgezeichnet am beeinträchtigten Ort.

Durch die hochauflösende Spektralanalyse und den eingegrenzten Anzeigebereich zwischen 800 und 900 Hertz ist die Übereinstimmung der beiden Spitzenfrequenzen bei 840,3 Hertz deutlich sichtbar.

Spezialfall Stromnetz-Frequenzen:

Hat das Störgeräusch eine bzw. mehrere Frequenzen, die direkt auf die Grundfrequenz des Stromnetzes zurückgeführt werden können, fällt die Quellsuche eventuell schwieriger aus. Viele Geräte und Maschinen weisen ein Frequenzspektrum auf, das in direktem Zusammenhang mit der Frequenz des Stromnetzes steht, aus dem sie gespeist werden. Innerhalb eines Hauses können mehrere solche Schallquellen vorhanden sein.

In diesen Fällen gilt:

- Die Überprüfung einer Schallquelle alleine aufgrund ihrer Frequenz ist hier nicht hinreichend. Ergänzend ist es notwendig, zeitliche Muster zu berücksichtigen oder Tests mittels Ein- und Ausschalten des Gerätes durchzuführen.
- Es können mehrere Schallquellen das gleich klingende Störgeräusch hervorrufen (z. B. mehrere Kühlschränke).

50 Hertz, 100 Hertz, 150 Hertz, 200 Hertz etc.:

In der Schweiz hat das allgemeine Stromnetz eine Grundfrequenz von 50 Hertz. Daher emittieren viele Geräte Töne mit einer Frequenz von 50 Hertz und/oder Obertöne davon (100, 150, 200 Hertz etc.). Auch Schallemissionen mit der halben Grundfrequenz des Netzes (25 Hertz) treten bei Geräten verbreitet auf. Viele Heiz- und Kühlgeräte zählen dazu sowie Geräte mit strombetriebenen Generatoren oder Transformatoren bzw. Netzgeräten.

16,66 Hertz und Oberschwingungen

(ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz):

Das Stromnetz der Bahn in der Schweiz hat eine Grundfrequenz von 16,66 Hertz. Bei Geräuschen mit dieser Frequenz und/oder einem Vielfachen davon kommt daher die Bahn als störende Geräuschquelle in Betracht.

Organisation rund um das Lokalisieren von Geräuschquellen:

In manchen Fällen ist eine Begehung von fremden Liegenschaften nötig, um Geräuschquellen auf die Spur zu kommen. Hierfür ist eine entsprechende Organisation bzw. das Einholen einer Erlaubnis notwendig. Dabei ist eine bedachtsame und rücksichtsvolle Vorgehensweise empfehlenswert.

Es ist hilfreich, folgende Dinge zu bedenken:

- Nicht alle Menschen können Probleme mit leisen Störgeräuschen nachvollziehen.
- Besitzer von Liegenschaften wollen sich meist gegen einen möglicherweise entstehenden Aufwand schützen, falls bei ihnen eine Ursache für ein Störgeräusch entdeckt wird.
- Eventuell besteht in der Nachbarschaft aufgrund des akustischen Problems ein angespanntes Verhältnis zwischen den Parteien.

4.3 Lokalisierung der Geräuschquelle in der weiteren Umgebung (Aussenraum)

Störgeräusche im Aussenraum sind manchmal schwer zu lokalisieren. Gründe dafür können die Abschattung durch Gebäude bzw. Dachkanten sein (bei Schallquellen auf Dächern) sowie Schallreflexionswege, die nur indirekt auf die Herkunftsrichtung des akustischen Ereignisses hinweisen. Tieffrequente Geräusche sind generell schwierig zu lokalisieren.

Sofern das Störgeräusch an mehreren Orten feststellbar ist, kann in solchen Fällen eine geometrische Analyse in Verbindung mit einer Höranalyse weiterhelfen.

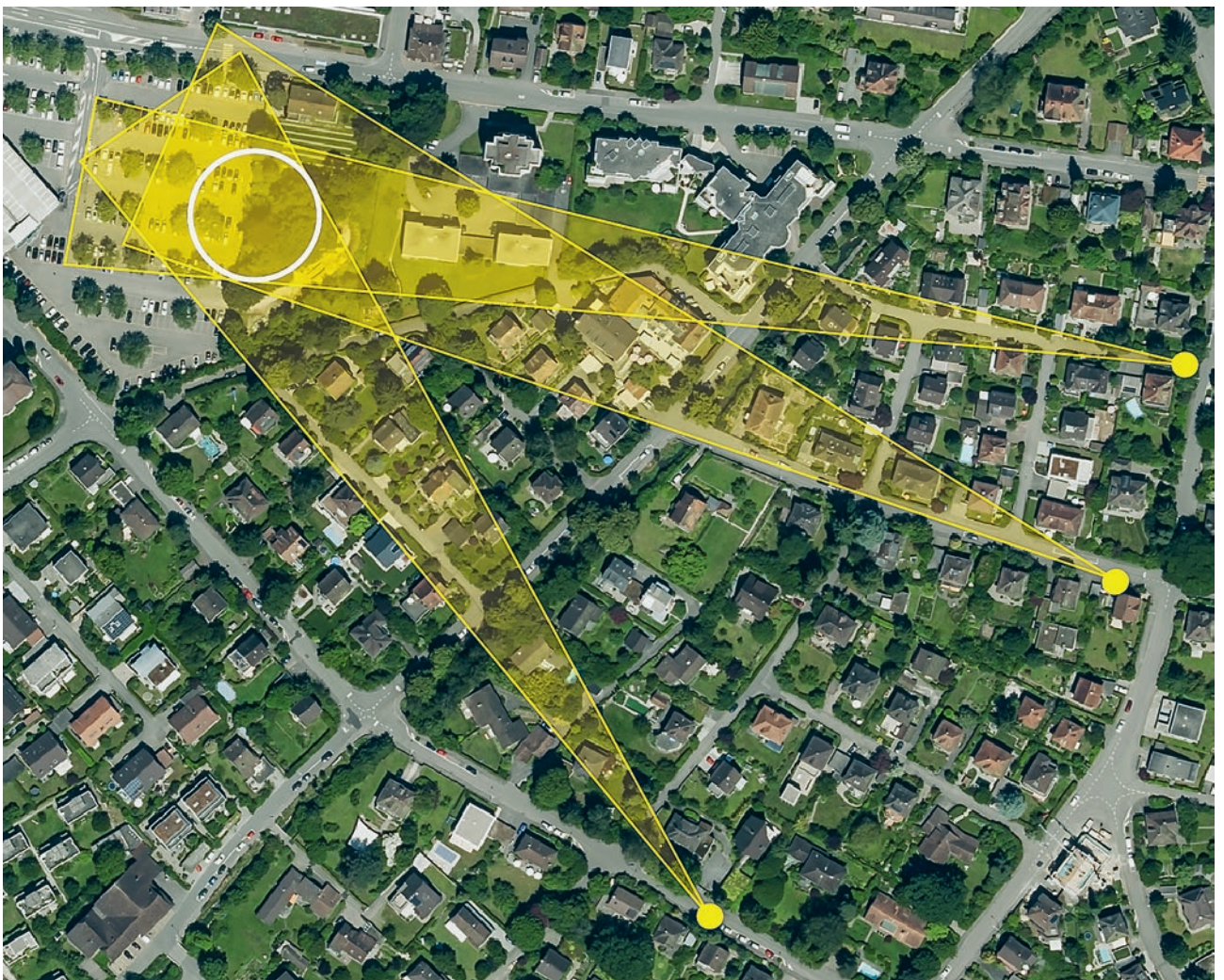
Vorgehen zur Lokalisierung:

- Mindestens zwei, besser aber mehrere Orte finden, an denen das Geräusch gut hörbar ist; an diesen Orten untersuchen, aus welcher Richtung das Geräusch kommt. Die Orte sollten deutlich voneinander entfernt liegen.
- Die Herkunftsrichtungen des Geräuschs auf einer Karte einzeichnen.
- In der Schnittmenge der Herkunftsrichtungen sollte die Schallquelle zu finden sein.

- Zur Überprüfung des Geräuschs während des Lokalisierungsprozesses empfiehlt sich wiederum, mit Hilfe eines mobilen FFT-Analysegeräts und der Aufnahme des Referenzgeräuschs (abhören über Kopfhörer) zu arbeiten (vgl. Kapitel 3.4).

Auch verdeckte, wie z. B. auf Hochhäusern liegende, Geräuschquellen können auf diese Weise gefunden werden.

Abbildung 4.3: Geometrische Störquellenlokalisierung



Im weissen Kreis befindet sich die Quelle eines Störgeräuschs, das an den drei gelben Punkten jeweils aus einer klar feststellbaren Richtung hörbar ist.

5 Hilfestellungen zur Entschärfung des Störgeräuschs

5.1 Technische Lösungswege bei lokalisierter äusserer Geräuschursache

Die Beruhigung von Schallquellen ist in vielen Fällen anspruchsvoll und erfordert im Allgemeinen erfahrene Akustikfachleute. Hier ist auch zu bedenken, dass Massnahmen, die störende Ereignisse abzuschotten versuchen (z. B. Wände, Einhausungen), oftmals unerwünschte akustische und nichtakustische (z. B. städtebauliche) Nebenwirkungen haben.

Eine schnelle Übersicht über mögliche Lösungswege gibt die folgende, nicht abschliessende Auflistung.

Beruhigung von Schallquellen:

- Bei Geräten und Maschinen:
 - Gehäuse beruhigen, z. B. beschweren
 - bessere Lagerung des Geräts
 - bei hochfrequenten Geräuschen: eventuell Einhausung (Vorsicht, hierbei können neue Störgeräusche im tieffrequenten Bereich auftreten)
- Bei Wasserleitungen:
 - Isolation offener Leitungen
 - Dämpfung von Übertragungen auf Wände
 - Optimierung von Pumpen und Ventilen (Einstellung Wasserdruck etc., Austausch von Bestandteilen)
- Raumakustische Massnahmen im unmittelbaren Umfeld der Schallquelle:
 - Unterbrechung von Reflexionswegen
 - Minderung der Resonanzwirkung des Umfelds (z. B. eingebauter Kühlschrank: Hohlraum der Küchenkombination kann verstärkend wirken > Kühlschrank umstellen)

Möglichkeiten bei starken Raumresonanzen:

- Möbel umstellen, sodass die ungünstig wirksame Geometrie verändert wird
- Zusätzliche Möbel platzieren, die eine geometrische Veränderung des Luftraums bewirken
- Gezielte geometrische Veränderung des Raums durch Fachleute

Möglichkeiten bei mitschwingenden Bauteilen:

- Fenster- und Wandflächen mit Membranwirkung:
 - unterteilen, versteifen, beschweren
 - Achtung: fachmännische Ausführung empfehlenswert, sonst kann die Massnahme kontraproduktiv sein
- Bauteile wie Dachrinnen:
 - Schwingungsfähigkeit reduzieren durch Modifikation der Oberfläche oder Beschwerung (z. B. Schwerdämmfolie)

5.2 Hilfestellung für Betroffene für einen besseren Umgang mit ihrem Problem

Auch mit einer systematischen Vorgehensweise, wie in dieser Arbeitshilfe aufgezeigt, gibt es keine Gewähr dafür, dass die Quelle eines identifizierten Störgeräuschs gefunden werden kann.

Zudem kann es vorkommen, dass eine Störquelle bzw. die Ursache für eine akustische Störung lokalisiert werden kann, aber keine oder nur eine geringfügige Verbesserung erreichbar ist.

Die Betroffenen sind dann gefordert, aktiv einen Umgang mit dem Problem zu finden. Dabei können Entspannungstechniken, Desensibilisierungstherapien (Maskierung) oder Verhaltenstherapien zur Hörwahrnehmung, wie sie auch aus der Tinnitusbehandlung bekannt sind, unterstützen. Ohrenärzte oder entsprechende medizinische Fachvereinigungen können hierzu beraten. Auch die Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (AefU) (Website www.aefu.ch) oder die Schweizerische Tinnitus-Liga (Website www.tinnitus-liga.ch) halten umfangreiche Informationen bereit.

6 Rechtliche Grundlagen

Obwohl leise Geräusche durchaus enorm stören können, ist die rechtliche Regelung dafür schwierig. Der Gesetzgeber hat bei den rechtlichen Regelungen eher an laute Geräusche gedacht und so wurden nur Grenzwerte festgelegt, die die Schallpegel von Geräuschen beschränken.

In der Schweiz regelt das Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) den Umgang mit schädlichen und lästigen Umwelteinwirkungen, zu denen auch Lärm sowie Infra- und Ultraschall zählen. Besonders erwähnt wird, dass auch Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden können, im Sinne einer Vorsorge frühzeitig zu begrenzen sind (Art. 1 USG).

Das Umweltschutzgesetz unterscheidet zwischen Lärmemissionen, also dem Aussenden von Lärm von einem Gerät oder einer Anlage, und Lärmimmissionen, also der Einwirkung von Lärm auf den Menschen resp. die Umwelt.

Im Umweltschutzgesetz wird der Grundsatz formuliert, dass Emissionen bereits durch Massnahmen an der Quelle begrenzt werden sollen und dass generell Emissionen unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen sind, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist (Art. 11 Abs. 1 und 2 USG). Als weiterer Grundsatz wird festgelegt, dass Emissionsbegrenzungen verschärft werden, wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass die Einwirkungen unter Berücksichtigung der bestehenden Umweltbelastung schädlich oder lästig werden (Art. 11 Abs. 3 USG).

Die Beschränkung von Emissionen, also die Festlegung, wie laut ein bestimmter Geräte- oder Anlagentyp maximal sein darf, erfolgt – wenn überhaupt – durch speziell auf bestimmte Geräte- oder Anlagentypen zugeschnittene Emissionsgrenzwerte, die in separaten Verordnungen, Bau- oder Ausrüstungsvorschriften erlassen werden. Für zahlreiche Geräte und Anlagen gibt es jedoch keine speziellen Regelungen zur Emissionsbeschränkung.

Die Konkretisierung, welche Lärmimmission als lästig oder schädlich beurteilt wird, erfolgt mit der Lärmschutzverordnung (LSV), in der Immissionsgrenzwerte so definiert werden sollen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören (Art. 15 USG). Die Dringlichkeit von Sanierungen bestehender Anlagen, die das Umweltschutzgesetz nicht einhalten können, kann mit Hilfe von Alarmwerten beurteilt werden (Art. 19 USG). Bei neuen Anlagen hingegen müssen die Lärmimmissionen Planungswerte einhalten, die niedriger als die Immissionsgrenzwerte sind (Art. 7 LSV).

Die Immissionsgrenzwerte, Planungs- und Alarmwerte befinden sich in den Anhängen der Lärmschutzverordnung, wobei verschiedene Lärmarten wie Strassenverkehrslärm, Eisenbahnlärm, Fluglärm, Industrie- und Gewerbelärm sowie Lärm durch Schiessanlagen und Militärflugplätze unterschieden werden.

Auch der Schallschutz für neue Gebäude, also Gebäude, die nach Inkraftsetzung der Lärmschutzverordnung im Jahr 1986 gebaut wurden, wird in der Lärmschutzverordnung geregelt. Er soll den anerkannten Regeln der Baukunde entsprechen und insbesondere die Norm 181 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins erfüllen (SIA 181). Darin sind beispielsweise Angaben zu finden, welcher Schallpegel einer Wärmepumpe in einem Schlafzimmer noch auftreten darf.

Die physikalische Einheit der Lärmgrenzwerte ist das Dezibel (abgekürzt «dB»). Es ist ein Mass für den Druck des Schalls. Bei der technischen Messung von Schall werden die gemessenen Frequenzen, also die Tonhöhen, mit einem Filter bewertet, welcher die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs für verschiedene Frequenzen nachzubilden versucht. Es gibt verschiedene Filter. Für die Bewertung im Lärmschutz ist der sogenannte A-Filter international vorgeschrieben. Zur Erkennung, dass ein A-Filter bei der Messung eingesetzt wurde, wird die physikalische Einheit mit dem Buchstaben A ergänzt und mit dB(A) abgekürzt.

Bei Verwendung des A-Filters tritt jedoch das Problem auf, dass besonders bei tiefen Frequenzen (unter 1000 Hz) die Geräusche unterbewertet werden. Oder umgangssprachlich ausgedrückt: Besonders bei sehr tiefen Frequenzen zeigt das Messgerät bei Verwendung eines A-Filters weniger Dezibel an, als von sehr vielen Menschen empfunden wird.

Wärmepumpen sind häufig Ursache von Beschwerden aufgrund tieffrequenter Geräusche. Es kann nämlich passieren, dass eine Wärmepumpe bei einer Messung mit einem A-Filter zwar die Lärmgrenzwerte einhält, weil der A-Filter die tiefen Frequenzen nicht so stark berücksichtigt, aber ein Mensch in der Nähe trotzdem deutlich einen tiefen Ton wahrnehmen und sich dadurch gestört fühlen kann.

Die Definition des A-Filters orientiert sich an der Hörschwelle des Menschen. Diese ist zwar bei jedem Menschen individuell unterschiedlich, aber es wurden verschiedene statistische Durchschnittswerte der Hörschwellen gebildet und entsprechend genormt (DIN ISO 226, DIN ISO 389, ISO 28961, DIN 45680).

Mittlerweile ist jedoch bekannt, dass sehr viele Menschen deutlich besser hören können, als es die Hörschwelle nach Norm vorgibt. In einigen europäischen Ländern wird zurzeit daran gearbeitet, Vorschläge für angepasste Normen auszuarbeiten.

Bis dahin bleibt leider die unbefriedigende Situation bestehen, dass die derzeit formulierten Lärmgrenzwerte für leise Störgeräusche meistens nicht anwendbar sind. Wird ein Mensch sehr belästigt, so kann man sich zur Lösung, sofern die Geräuschquelle überhaupt gefunden werden kann, rechtlich auf das Vorsorgeprinzip des Umweltschutzgesetzes stützen.

Eine Übersicht über die in diesem Zusammenhang wichtigsten lärmrechtlichen Gesetze und Verordnungen findet sich im Anhang.

Arbeitsblatt Nr. 1: Fragebogen für den Erstkontakt mit betroffener Person

0) Angaben zur Person

Name:

Strasse:

Ort:

Tel.-Nr.

E-Mail:

Alter:

1) Wohnumgebung

☐ Wohnung

☐ EF-Haus

☐ Sonstiges:

Stockwerk: _____ Wie lange schon am Wohnort: _____

2) Arbeitssituation heute/früher

Beschreibung:

3) Art des Geräuschs

Tonhöhe:

☐ Tief

☐ Mittel

☐ Hoch

Beschreibung (siehe Arbeitsblatt Nr. 2):

Spürbar?:

Lautstärke?:

4) Zeitliches Auftreten

Erstauftreten:

☐ Erstes Auftreten unbekannt

☐ Erstes Auftreten (Datum):

☐ Geräusch hörbar seit (Jahre/Monate):

Geräuschintensität:

☐ Kontinuierlich

☐ Unterbrochen

☐ Anders:

Tageszeit:

☐ Rund um die Uhr

☐ Tags

☐ Nachts

☐ Anders:

Jahreszeit:

☐ Ganzjährig

☐ Sommer

☐ Winter

☐ Anders:

5) Örtliches Auftreten

☐ Nur innen

☐ Nur aussen

☐ Innen und aussen

☐ Nur bestimmte Räume

☐ Besonders deutlich hier:

Unterschiedlich im selben Raum?

☐ Ja

☐ Nein

Hören andere das Geräusch auch?

☐ Ja

☐ Nein

☐ Manche

Wenn ja, wer?

Wird das Geräusch auch woanders gehört?

☐ Ja

☐ Nein

Verändert sich das Geräusch, wenn Sie die Ohren zuhalten?

☐ Ja

☐ Nein

6) Situation Umgebung

Gab es bauliche Veränderungen in der Nachbarschaft?

☐ Ja

☐ Nein

Wenn ja, welche?

Durch die betroffene Person vermutete Ursache:

7) Symptome

Beschreibung:

8) Bisherige Massnahmen

Haben Sie Massnahmen gegen die Störung ergriffen?

☐ Ja

☐ Nein

Wenn ja, welche?

1.

2.

3.

4.

Bemerkungen:

Beilagen:

1) Liste von Geräten in eigener Wohnung

2) Liste von Geräten im Haus oder in der näheren Umgebung

Datum:

Unterschrift:

Arbeitsblatt Nr. 2: Hilfestellung zur Beschreibung des Geräuschs

Je genauer Betroffene den klanglichen Charakter des störenden Geräuschs beschreiben können, desto grösser ist die Chance, dass sich die Ursache bzw. Quelle des Geräuschs finden lässt. Das ist nicht in jedem Fall einfach und erfordert eventuell etwas Übung und Geduld.

Die folgende Auflistung soll einige Anhaltspunkte für die Beschreibung des Geräuschs bieten. Es empfiehlt sich, die Erkenntnisse zu notieren und mit einem Datum zu versehen. Häufig werden die Beschreibungen innerhalb kurzer Zeit der Beschäftigung damit erheblich genauer.

1. Tonhöhe und Klangfarbe

- Ist das Geräusch eher ein Ton oder eher ein Rauschen?
- Wenn es eher ein Ton ist: Ist es eher ein Ton oder könnten es mehrere Töne sein?
- Ist das Geräusch eine Mischung aus Ton/Tönen und Rauschen?
- Wenn es sich trotz aller Bemühung nicht sagen lässt, ob das Geräusch eher ein Ton oder ein Rauschen ist: Vermittelt sich das Geräusch eher als Druckschwankung oder als Sirren?
- Bei Tönen: Tonhöhe?
 - Sehr hoch, hoch, mittelhoch, mitteltief, tief, sehr tief?
 - Lässt sich der Ton singen oder pfeifen?
 - Ist der Ton höher als eine weibliche Singstimme?
 - Ist der Ton tiefer als eine tiefe männliche Stimme?
 - Welches Musikinstrument könnte einen Ton mit dieser Tonhöhe erzeugen?
- Bei Rauschen: Klangfarbe?
 - Sehr hell, hell, neutral, dunkel, sehr dunkel?
 - Vergleich mit geräuschhaftem Ausatmen bei verschiedenen Mundstellungen: Ausatmen mit der Mundstellung von «i», «e», «a», «o», «u» etc.

2. Beginn und Verklingen des Geräuschs

- Falls das Geräusch nicht ununterbrochen vorhanden ist: Wie beginnt das Geräusch jeweils?
 - Ist der Beginn allmählich, langsam, zügig, schnell, abrupt etc.? Ist eine Angabe in Sekunden möglich?
 - Kontinuierliches Lauterwerden, schwankend, in Wellen, ruckelnd, stotternd etc.?
 - Schwankungen in der Tonhöhe oder Klangfarbe?
- Wie verklingt das Geräusch jeweils?
 - Verklingt das Geräusch allmählich, langsam, zügig, schnell, abrupt etc.? Ist eine Angabe in Sekunden möglich?
 - Kontinuierliches Leiserwerden, schwankend, in Wellen, ruckelnd, stotternd etc.?
 - Schwankungen in der Tonhöhe oder Klangfarbe?

3. Schwankungen

- Wenn das Geräusch vorhanden ist: Ist es in seiner Lautstärke stabil oder schwankend? Falls schwankend: langsam, schnell, abrupt, gleichmässig, chaotisch etc.?
- Ist das Geräusch in seiner Tonhöhe oder Klangfarbe stabil oder schwankend? Falls schwankend: langsam, schnell, abrupt, gleichmässig, chaotisch etc.?

4. Zeitliches Auftreten

- Tritt das Geräusch zu bestimmten Zeiten auf?
- Tritt das Geräusch in bestimmten Abständen auf?
- Ist die Dauer des vorhandenen Geräuschs jeweils etwa gleich oder gibt es Unterschiede?
- Bleibt das Geräusch jeweils gleich laut und gleich in Tonhöhe und Klangcharakter etc., oder gibt es Unterschiede?

Arbeitsblatt Nr. 3: Aufzeichnung des Geräuschs durch Betroffene (Audioaufnahme)

a) Anleitung für die Aufnahme

Bei der Aufnahme beachten

- Geeigneten Zeitpunkt wählen: Nach Möglichkeit dann aufnehmen, wenn das Geräusch durch die Betroffenen am deutlichsten wahrnehmbar ist. Zu viele und lange Aufzeichnungen können die Analyse erschweren.
- Mikrofon an Stellen positionieren, an denen das Geräusch von den Betroffenen besonders stark wahrgenommen wird; die Position der Ohren ist die Referenz; die exakte Position ist wichtig (auch die Höhe über Boden).
- Mikrofon in die Richtung halten, aus der das Geräusch herzukommen scheint (falls eine Richtungswahrnehmung möglich ist).
- Das Gerät während der Aufnahme ruhig halten bzw. auf eine weiche Unterlage legen.
- Während der Aufzeichnung nicht sprechen.
- Andere akustische Ereignisse möglichst vermeiden bzw. Schallquellen ausschalten (Kühlschrank, Heizung, Neonlampen etc.).

Protokoll führen

- Notizen zu Aufnahmeort, Aufnahmezeitpunkt und ungefähre Aufnahmedauer.
- Aufnahmeort am besten in einen Grundriss des Raums/der Umgebung einzeichnen.
- Notiz zu allfälligen speziellen Vorkommnissen während der Aufnahme.

Mehrere Aufzeichnungen

- Es können Aufnahmen an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten gemacht werden. Dies kann für die Analyse hilfreich sein.

b) Technische Anleitung

Die technische Bedienung des Aufnahmegeräts ist abhängig vom gewählten Modell. Die begleitende Fachperson sollte den Betroffenen eine leicht verständliche schriftliche Anleitung zur Verfügung stellen. Die Anleitung sollte sich auf die tatsächlich notwendigen Bedienungsschritte beschränken.

c) Wahl des Aufnahmegeräts

Das Aufnahmegerät sollte von der begleitenden Fachperson ausgewählt werden, in Abstimmung mit den konkreten Anforderungen. Neben der Aufnahmequalität ist die einfache Bedienbarkeit ein zentrales Kriterium für die Wahl des Geräts.

Im professionellen Audibereich gibt es ein gutes Angebot an Aufnahmegeräten, mit denen ohne Vorkenntnisse qualitativ hochwertige, für die Geräuschanalyse geeignete Aufnahmen gemacht werden können. Sie erlauben meist bereits mit den eingebauten Mikrofonen auch Aufzeichnungen im Tieffrequenzbereich bis 10 Hertz und tiefer. Zu achten ist auf einfache Bedienbarkeit sowie auf den Frequenzgang (möglichst tief, möglichst linear) und ein niedriges Grundrauschen (bzw. hohe Empfindlichkeit der Mikrofone).

Als Datei-Format für die Aufzeichnungen empfiehlt sich aufgrund der Qualität und Kompatibilität das WAVE-Format (Datei-Endung .wav). Dieses Format ist bei allen gängigen mobilen Recordern auswählbar. Die Recording-Geräte zeichnen jeweils auf SD-Karten auf, wodurch sich die aufgezeichneten Daten auf einfache Weise sichern und zur Analyse auf den Computer übertragen lassen.

Es ist für die Geräuscherfassung nicht notwendig, die Mikrofone zu kalibrieren. Eine Kalibrierung ist dennoch sinnvoll, weil dadurch ein besserer Eindruck von den auftretenden Schallpegeln (Grundgeräuschpegel, Gesamtpegel) gewonnen werden kann. Allerdings lassen sich in Aufnahmegeräte eingebaute Mikrofone meist schlecht oder nur ungefähr kalibrieren; eventuell muss hier der Vergleich des Pegels einer lauten Schallquelle mit dem Messwert eines am selben Ort platzierten Schallpegelmessgeräts ausreichen.

Mit einem externen, separat angeschlossenen und speziell für den Zweck ausgewählten Mikrofon könnte die akustische Umgebung noch differenzierter aufgezeichnet werden. Die damit verbundene aufwändigere Bedienbarkeit ist jedoch eine Fehlerquelle. Daher ist ein solches Vorgehen nicht unbedingt zu empfehlen. Wird ein externes Mikrofon verwendet, sollte ein Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik (omnidirektional), linearem Frequenzgang, guter Tieftonaufzeichnung ($\frac{1}{2}$ -Zoll-Mikrofonkapsel) und niedrigem Eigenrauschen verwendet werden.

Abzuraten ist von Aufzeichnungen mit Smartphones, da Mikrofone, Bedienbarkeit, Datenaustausch und Datenverwaltung zu viele Unwägbarkeiten mit sich bringen.



Abbildung: Drei Beispiele von mobilen Aufnahmegegeräten mit eingebauten Mikrofonen und einfacher Bedienbarkeit. Bereits ab etwa 100 Franken sind geeignete Geräte erhältlich, für ungefähr 700 Franken erhält man ein Spitzengerät.

Anhang 1:

Drei Fallbeispiele aus dem Kanton Aargau

Beispiel 1:

Eine Familie, wohnhaft in einem ruhigen Einfamilienhausquartier in einer mittelgrossen Stadt, leidet unter einem störenden Pfeifton in der Umgebung. Dieser ist bei wärmerer Witterung konstant zu hören und wird auch von anderen Personen im Umfeld des Wohnorts wahrgenommen. Trotzdem wird die Geräuschquelle vier Jahre lang nicht gefunden. Der Ton ist so penetrant, dass die Familie die Schlafzimmerfenster im Sommer geschlossen halten muss. In der Untersuchung kann das Geräusch mittels Gehör und Spektralanalyse identifiziert werden. Durch eine Analyse der möglichen Schallausbreitungswege zum Immissionsort wird der wahrscheinliche Emissionspunkt lokalisiert: eine technische Anlage auf dem Dach eines Hochhauses. Eine Begehung des Dachs ermöglicht die Zuordnung zur Quelle und Bestätigung der Analyse. So erklärt sich auch die zuvor erfolglose Suche: Aufgrund der erhöhten Lage verschwindet das Geräusch jeweils im Schallschatten des Gebäudes. Durch eine Sanierung der technischen Anlage ist das Problem lösbar.

Beispiel 2:

In einem Dorf wurde vor einigen Jahren die Kantonsstrasse saniert und Begrenzungen des Strassenraums verändert. Eine Anwohnerin fühlt sich seither in ihrem Holzhaus «wie in einem Bienenstock». Sie findet weder tagsüber noch nachts Ruhe im Haus. Neben dem Eindruck von stärkerem Verkehrslärm nimmt sie Störgeräusche in unterschiedlichen Frequenzen wahr, die sie auch nachsingen kann. Durch ihre Mitarbeit und die systematische Analyse von Haus und Umgebung können verschiedene Bauteile des Hauses identifiziert werden, die sich von äusseren Schallereignissen und Resonanzeffekten anregen lassen und mitschwingen. Durch Stabilisierung dieser Bauteile lässt sich die Situation teilweise verbessern. Aufgrund des gestiegenen Verkehrslärms erwägt die Anwohnerin trotzdem einen Wegzug.

Beispiel 3:

Ein Ehepaar bewohnt seit Langem ein Einfamilienhaus in einem vorstädtischen Quartier in der Nähe eines Gewerbegebiets. Das nun pensionierte Paar hat seinen Wohnort immer als ruhig empfunden. Seit einigen Monaten nimmt der Mann in seinem Haus jedoch ein störendes Geräusch wahr, das ihn bald sehr belastet. Seine Frau hört das Geräusch nicht. Der Arzt bestätigt dem Mann ein dem Alter entsprechendes gesundes Gehör. Systematisch untersucht er sein Haus und Umfeld, um die Lärmquelle zu finden. Gleichzeitig zeichnet er Auftreten und Stärke des Störgeräuschs über viele Wochen auf. Aufgrund der zeitlichen Muster schliesst sich jedoch eine Möglichkeit nach der anderen aus. Auch in der differenzierten Frequenzanalyse zeigt sich, dass die aufgenommenen Umgebungsgeräusche nicht der Hörwahrnehmung des Betroffenen entsprechen. Dies führt zur Vermutung, dass es sich beim Störgeräusch um eine innerkörperliche Wahrnehmung handelt. Obwohl die Suche nach einer externen Geräuschquelle noch nicht abgeschlossen ist, entschliesst sich der Mann zu einer medizinisch-psychologischen Behandlung, um auf diesem Weg entweder das Problem zu lösen oder zumindest besser dagegen gewappnet zu sein.

Anhang 2:

Lärmrechtliche Gesetze und Verordnungen

BEKS	Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern 1999 <i>Planungs- und Immissionsrichtwerte in Wohnungen</i>
DIN 45680	Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen, Berlin, Beuth Verlag 2013 <i>Anhaltswerte für tieffrequente Geräusche</i>
LSV	Lärmschutzverordnung <i>Art. 40 und Anhänge: Belastungsgrenzwerte</i>
ÖNORM S 5007	Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Wien 1996 <i>Anhaltswerte für tieffrequente Geräusche</i>
SIA 181	Schallschutz im Hochbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2006 <i>Mindestanforderungen an den Schutz gegen Geräusche haustechnischer Anlagen</i>
USG	Umweltschutzgesetz <i>Art. 1, 11: Vorsorge, Emissionsbegrenzungen</i>
ZGB	Schweizerisches Zivilgesetzbuch <i>Art. 684: Schutz vor übermässigen Einwirkungen durch Lärm</i>

Glossar

Emission	Lärmemission ist das Aussenden von Lärm von einem Gerät oder einer Anlage.
FFT	Abkürzung für Fast Fourier Transformation (schnelle Fourier-Transformation). Es ist ein mathematischer Algorithmus, mit dem ein Signal in seine Frequenzanteile zerlegt werden kann.
Hyperakusis	Darunter werden unterschiedliche Phänomene der akustischen Überempfindlichkeit zusammengefasst. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Überempfindlichkeit gegenüber Geräuschen normaler Lautstärke handeln, aber es treten auch Fälle von Überempfindlichkeiten gegenüber lauten Tönen oder Geräuschen bei gleichzeitiger Schwerhörigkeit von leisen Tönen auf. Auch die Überempfindlichkeit – von zumeist hörgesunden Menschen – auf bestimmte Geräusche fällt unter Hyperakusis und wird speziell als Phonophobie bezeichnet.
Immission	Lärmimmission ist die Einwirkung von Lärm auf den Menschen resp. die Umwelt.
Tinnitus	Ohrgeräusche, die nicht im Zusammenhang mit einem äusseren akustischen Reiz stehen. «Tinnitus ist ein Symptom gestörter Hörwahrnehmung, er kann daher auch die unterschiedlichsten Ursachen haben. Liegt eine Schädigung in irgendeiner Station der Hörbahn vor, dann resultiert daraus immer auch eine Veränderung der Hörwahrnehmung; in der Regel entsteht ein Tinnitus in Folge dieser Veränderung.» (aus G. Hesse, Tinnitus, Thieme-Verlag Stuttgart, 2016)

