



Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz

Prof. Dr.-Ing. Klaus Genuit

HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath, Germany

klaus.genuit@head-acoustics.com

www.head-acoustics.de

© Copyright HEAD acoustics GmbH

1



Einleitung

- Im normalen alltäglichen Leben werden wir von mehreren Schallquellen aus unterschiedlichen Richtungen beschallt
- Aufgrund des binauralen Hörens können wir uns auf einzelne Schallquellen fokussieren, selektieren und andere unterdrücken
- Von daher ist die Bestimmung der Lästigkeit oder der Geräuschqualität in komplexen Beschallungssituationen nicht einfach
 - -> Die Mittelung über Raum, Spektrum und Zeit ist nicht repräsentativ!!!
 - -> Die Psychoakustik hilft uns, den Geräuschcharakter besser zu beschreiben
 - -> Der Soundscape-Ansatz hilft uns, die Geräuschqualität besser zu bestimmen

2



Was ist Psychoakustik?

- A-bew. Schalldruckpegel ist hinreichend zur Bestimmung einer möglichen physikalischen Schädigung des Gehörs
- A-bew. Schalldruckpegel ist aber nicht ausreichend zur vollständigen Beschreibung einer Geräusch- und Lärmbelastung
- In der klassischen Akustik wird von der Schallquelle ausgegangen:
 - Was für Signale, was für Amplituden, was für Schwingungen/Frequenzen, welche Energie?
- Die Psychoakustik stellt den Empfänger (den Menschen) in den Mittelpunkt der Betrachtung:
- Welche Lautheit, Schärfe, Rauigkeit, Tonalität, Lästigkeit werden empfunden?
- Was sind die Erwartungen, Einstellungen, Erfahrungen der Betroffenen?
- In der Psychoakustik spielen kognitive und kontextabhängige Aspekte eine große Bedeutung: Einstellungen zum Geräusch, deren Informationen und deren Verursacher

Klaus Genuit

Psychoakustik und ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

3



Anwendung Psychoakustik

- Die praktischen Hauptanwendungen der Erkenntnisse aus der Psychoakustik liegen seit über 40 Jahren im Bereich der Automobilindustrie
 - Vornehmlich bei der Analyse der Fahrzeuginnenraumakustik, weil hier *keine gesetzlichen*, sondern *umsatzorientierte* Anforderungen bestehen
- Von gleichwertiger Bedeutung sind jedoch Untersuchungen von Umwelt- und Arbeitsplatzgeräuschen unter psychoakustischen Gesichtspunkten.
- Lärm kann nicht nur direkt aufgrund der Schallenergie schädlich für das menschliche Gehör sein, in vielen Fällen auch indirekt durch bestimmte zeitliche Strukturen und spektrale Verteilungen, die eine Lästigkeit hervorrufen
- Ohne Kenntnisse der Psychoakustik in Verbindung mit dem kognitiven Kontext lässt sich das Phänomen Lärm nicht verstehen

Klaus Genuit

Psychoakustik und ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

4



Was ist Lärm?

- Nach DIN 1320 wird Lärm als Hörschall definiert, der die *Stille* oder eine *gewollte Schallaufnahme* stört oder der zu *Störungen, Belästigungen, Beeinträchtigungen* oder *Schäden* führen kann
- Eine *Beeinträchtigung* ist definiert als eine *unerwünschte Wirkung einer Schalllast*, z.B. in Form einer *Minderung des körperlichen, seelischen oder sozialen Wohlbefindens*
- Lärm hängt ab von den physikalischen Gegebenheiten
- Die Analyse von Lärm hängt von den psychoakustischen Eigenschaften des Gehörs ab
- Die Beurteilung von Lärm hängt von den kognitiven, psychologischen Aspekten ab
- Lärm kann nicht **allein** durch einen A-bewerteten Schalldruckpegel bestimmt werden!
- Lärm kann nicht mit technischen, instrumentellen Geräten gemessen werden!
- Lärm kann nicht berechnet werden!

Klaus Genuit

Psychoakustik und ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

5



Was ist Soundscape? (DIN ISO 12913-1:2018-02)

- Grundgedanke: Geräusche werden nicht nur als mehr oder weniger störend und belästigend eingeordnet, sondern können mehrdimensionale Empfindungen auslösen
- Schall wird als „Ressource“ anstatt nur als „Verschmutzung“ verstanden
- Soundscape kann durch Entfernen, Verändern oder aber durch Hinzufügen von Schallereignissen gestaltet werden z.B. durch das gezielte Einbringen von Springbrunnen (*Klangökologie, Akustikdesign*)
- Der Soundscape-Standard schreibt die Verwendung von binauraler Messtechnik, Psychoakustik und Interviews (Einbeziehung der Betroffenen als Experten) vor.

Klaus Genuit

Psychoakustik und ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

6



DIN ISO 12913-1:2018-02, Akustik - Soundscape - Teil 1: Definition und Rahmenkonzept

- Seit den 90er Jahren werden in der Soundscape-Forschung konstruktive Beiträge zur Akzeptanz von akustischen Umgebungen erarbeitet. Das grundsätzliche Verständnis des Soundscape-Ansatzes ist dabei, dass akustische Umgebungen durch Interventionen gestaltet werden können, die nicht nur die Verringerung von unerwünschten Geräuschen zur Reduktion der Belästigung adressieren.
- Beispielsweise kann auch durch das Hinzufügen angenehmer Geräuschquellen die akustische Gesamtsituation verbessert werden. Ergänzend zur technischen Bewertung wird eine Beurteilungsebene entwickelt, um ortsspezifische Gegebenheiten in die Planung einzubringen.
- Dies beinhaltet die Partizipation der Menschen vor Ort. Die Norm legt eine Definition und ein Rahmenkonzept für Soundscape fest. Die Norm erläutert relevante Faktoren zur Messung und Dokumentation in Soundscape-Studien sowie zu Planung, Design und Management von Soundscape.

Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrworkshop 2021

7



DIN ISO/TS 12913-2:2019-11

TECHNISCHE SPEZIFIKATION

November 2020

DIN ISO/TS 12913-2

DIN

ICS 17.140.01

**Akustik –
Soundscape –
Teil 2: Anforderungen an die Datenerhebung und die Dokumentation
(ISO/TS 12913-2:2018)**

Acoustics –
Soundscape –
Part 2: Data collection and reporting requirements (ISO/TS 12913-2:2018)

Acoustique –
Paysage sonore –
Partie 2: Collecte de données (ISO/TS 12913-2:2018)

Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrworkshop 2021

8

8



DIN ISO/TS 12913-2:2020-11

5.6 Binaurale Messungen

Akustische Messungen, die sich auf ein Soundscape beziehen, müssen die Art und Weise berücksichtigen, in der Menschen die akustische Umgebung wahrnehmen. Zu diesem Zweck müssen kalibrierte binaurale Messsysteme (Kunstkopfmesssystem) zur Aufnahme einer akustischen Umgebung verwendet werden. Die Messbedingungen müssen so gewählt werden, dass die Messung der akustischen Umgebung der menschlichen Hörempfindung möglichst nahe kommt. Binaurale akustische Messungen müssen nach Anhang D durchgeführt werden.

Jede binaurale Messung muss in einem Protokoll zur binauralen Messung des Soundscapes beschrieben werden. Das Messprotokoll enthält Informationen zu Messzeit und -intervall, eine Beschreibung der Messpunkte, Messausrüstung, atmosphärischen Bedingungen, topographischen Merkmale, lokalen Abschirmeffekten sowie der Schallquellen. Die Dokumentation muss nach Anhang A erfolgen.

ANMERKUNG Weitere Aufnahmetechniken, wie z.B. Mikrofonanordnungen, werden häufig bei Soundscape-Untersuchungen eingesetzt. Es ist anerkannt, dass diese Aufnahmetechniken einige Vorteile bieten können. Insbesondere streben derartige Techniken eine spätere Wiedergabe auf der Grundlage von Lautsprecheranordnungen an, wodurch ein gewisses Maß an Immersion erreicht wird. Im Gegensatz zur binauralen Messtechnik sind diese technologischen Ansätze jedoch nicht standardisiert und erschweren die Durchführung gehör richtiger Analysen unter Berechnung psychoakustischer Parameter und Indikatoren.

Binaurale Aufnahmen werden für gehörgerechte Analysen, für die Wiedergabe akustischer Umgebungen (z. B. in laborbasierten Hörversuchen) oder für die Speicherung und Archivierung verwendet.



DIN ISO/TS 12913-2:2020-11

Anhang B (informativ)

Psychoakustische Indikatoren

Nach ISO 532-1 und ISO 532-2 [8] sind Lautheit und Lautstärkepegel zwei Wahrnehmungsmerkmale eines Geräusches, die absolute und relative Empfindungen der Schallstärke (Lautstärke) beschreiben, die von einem Hörer mit otologisch normalem Gehör unter festgelegten Hörbedingungen wahrgenommen werden. Da der Parameter Lautheit menschliche Signalverarbeitungseffekte, wie z. B. spektrale Empfindlichkeit (Frequenzbewertung), Verdeckung (Maskierung), Frequenzgruppen und Nichtlinearitäten, berücksichtigt, weist er eine höhere Übereinstimmung mit der Lautstärkeempfindung (Lautheit) auf als alle auf dem Schalldruckpegel beruhenden Indikatoren [23]. Zum Beispiel zeigt der psychoakustische Parameter Lautheit einen Lautheitsunterschied zwischen einem Schmalbandrauschen und einem Breitbandrauschen an, auch wenn beide Geräusche den gleichen A-bewerteten Schalldruckpegel aufweisen. Das Breitbandrauschen wird eindeutig als lauter wahrgenommen, was durch den entsprechenden Lautheitswert angezeigt wird.



Die Schärfe beschreibt die Empfindung der Klangfarbe mit besonderer Betonung hochfrequenter Anteile. Sie wird durch die spektrale Hüllkurve des Geräusches beeinflusst und nimmt mit zunehmendem hochfrequentem Anteil zu [23]. Die Berechnung des psychoakustischen Parameters Schärfe ist in DIN 45692 [6] unabhängig von der Gesamtlautheit genormt.

In Bezug auf modulierte Töne gibt es unterschiedliche Empfindungen, die durch verschiedene Indikatoren modelliert werden. Bei sehr niedrigen Modulationsfrequenzen ändert sich die Lautheit hörbar langsam, was zu einer Empfindung der Schwankung führt. Das Maximum des Parameters Schwankungsstärke, der dieses Phänomen beschreibt, liegt in der Nähe einer Modulationsfrequenz von 4 Hz. Zum Beispiel weist das Geräusch von Sirenen eine hohe Schwankungsstärke auf. Schwankende Geräusche führen üblicherweise zu einer erhöhten Aufmerksamkeit. Bei höheren Modulationsfrequenzen tritt eine Empfindung der Rauigkeit auf. Rauigkeit bezieht sich auf verhältnismäßig schnelle Änderungen des Geräusches mit einem Maximum in der Nähe einer Modulationsfrequenz von 70 Hz [23]. Darüber hinaus wird der Parameter Rauigkeit neben der Modulationsfrequenz durch den Schalldruckpegel, die Trägerfrequenz und den Modulationsgrad beeinflusst. Zum Beispiel erzeugt ein Motorroller mit einem Zweitaktmotor eine verhältnismäßig hohe Rauigkeit. Derzeit stehen keine genormten Verfahren zur Berechnung der Rauigkeit oder Schwankungsstärke zur Verfügung. Es gibt jedoch verschiedene Modelle zur Berechnung der Rauigkeit [11] [23] [44] [56].

Die Tonalität [12] ist eine andere Empfindung der Klangfarbe, die anzeigt, ob ein Geräusch hauptsächlich aus tonalen Komponenten besteht oder ob es ein rauschhaftes Geräusch ist [12], [59]. Obwohl Normen für die Bestimmung der Tonalität im Geräusch vorhanden sind (DIN 45681 [5], ANSI/ASA S 1.13 [1]), modellieren diese Normen nicht den psychoakustischen Eindruck der Tonalität, sondern konzentrieren sich auf die Ableitung von Zuschlägen. Es gibt jedoch verschiedene Ansätze zur Berechnung der wahrgenommenen Tonalität eines Geräusches [11] [57] [59]. In mehreren Veröffentlichungen wurde mit zunehmender Tonalität eine Zunahme der Belästigung in Bezug auf technische Geräusche beobachtet [38].

Weitere gehörbezogene Parameter sind verfügbar, z. B. Impulshaltigkeit [55], spektraler Schwerpunkt [21] oder Relative Approach Analysis als ein Indikator für die wahrgenommene Stärke von Geräuschmustern [27].

Klaus Genuit

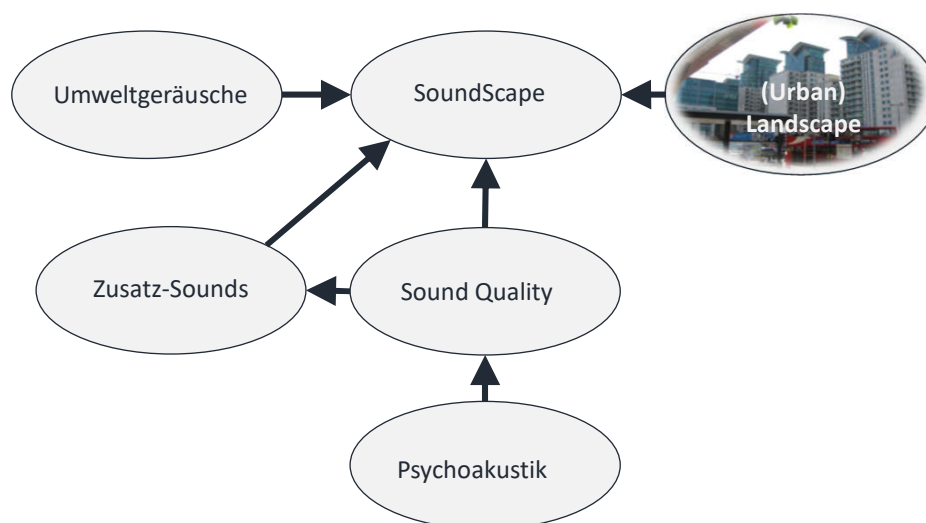
Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrworkshop 2021

11

11



Zusammenhang Psychoakustik <-> Soundscape <-> Sound Quality



Klaus Genuit

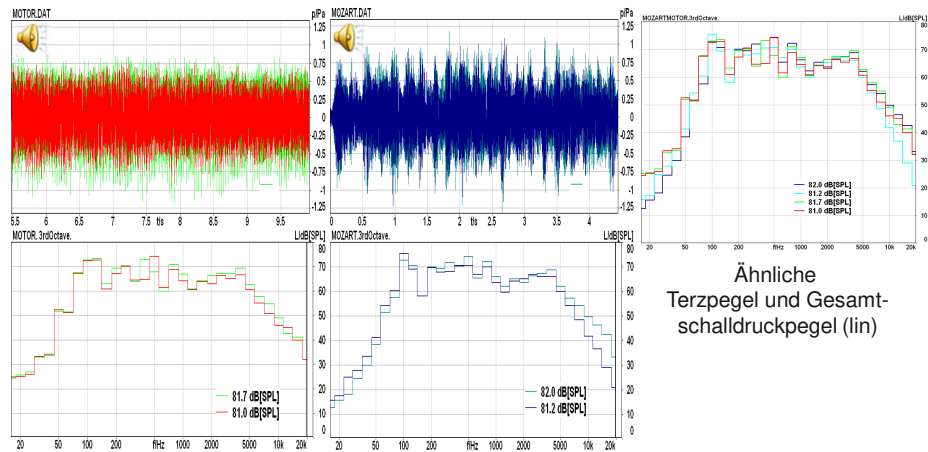
Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrworkshop 2021

12

12

Geräusche im Vergleich

Zeitdaten und Terzspektrum von zwei Geräuschen

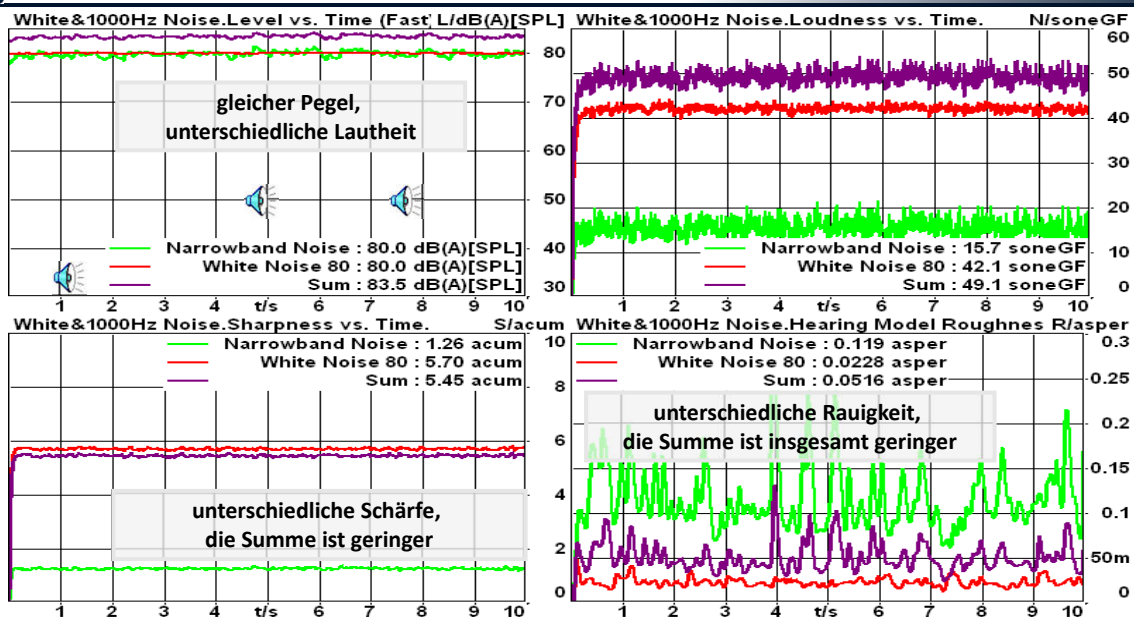


Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrworkshop 2021

13

Überlagerung von Schallquellen



Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrworkshop 2021

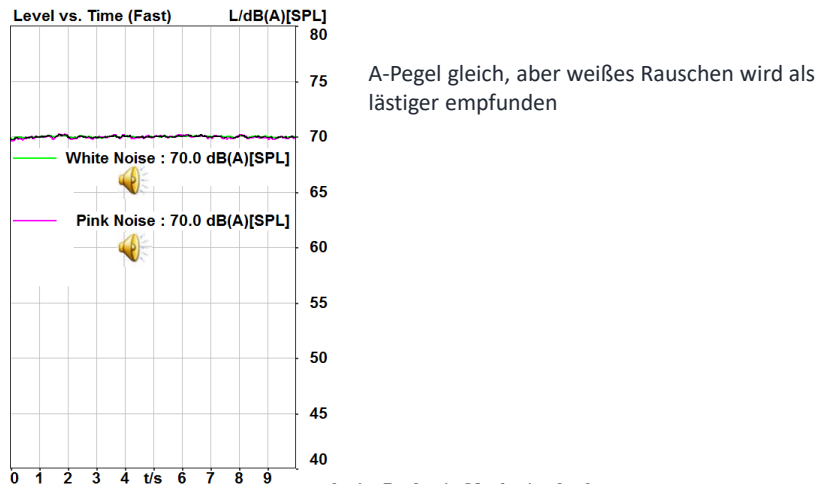
14

14



Ein einfaches Beispiel für die Bedeutung der Psychoakustik

Lästigkeit von zwei Geräuschen



Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrworkshop 2021

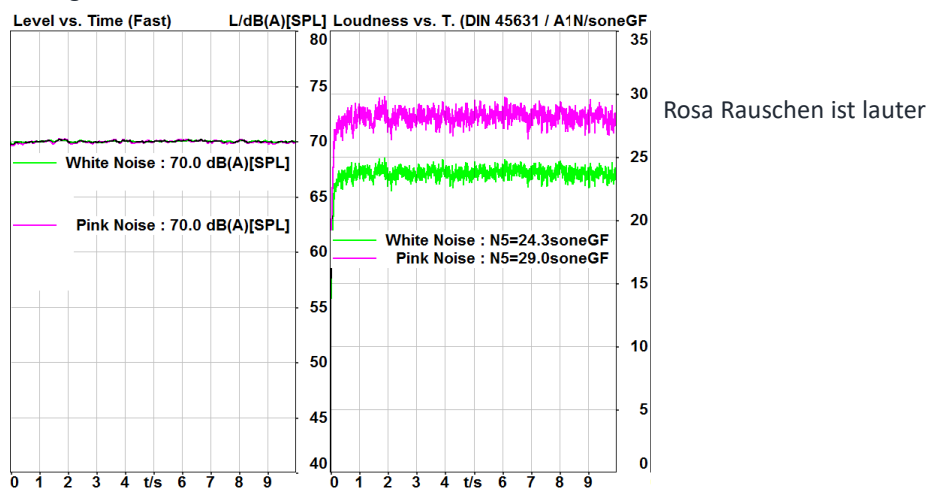
15

15



Ein einfaches Beispiel für die Bedeutung der Psychoakustik

Lästigkeit von zwei Geräuschen



Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrworkshop 2021

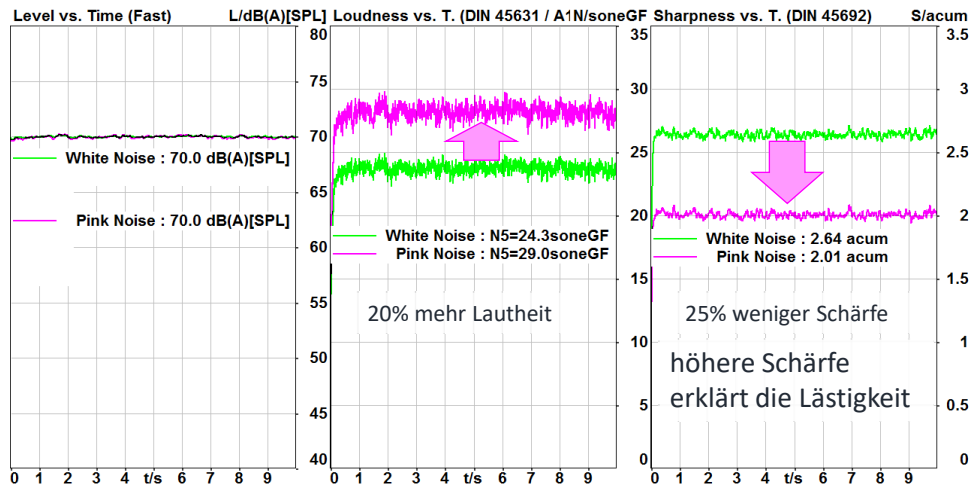
16

16



Ein einfaches Beispiel für die Bedeutung der Psychoakustik

Lästigkeit von zwei Geräuschen



Klaus Genuit

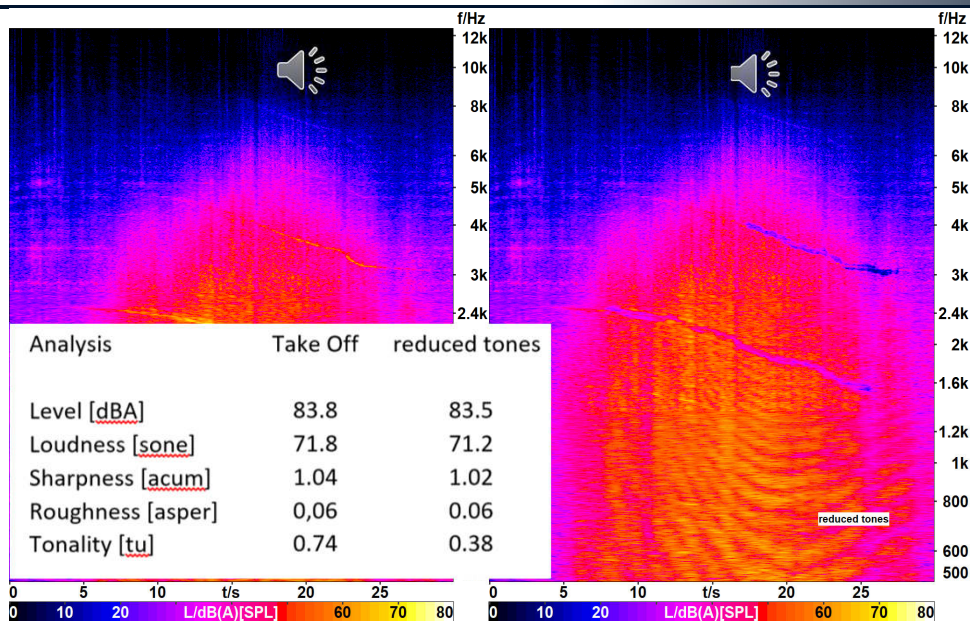
Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

17

17



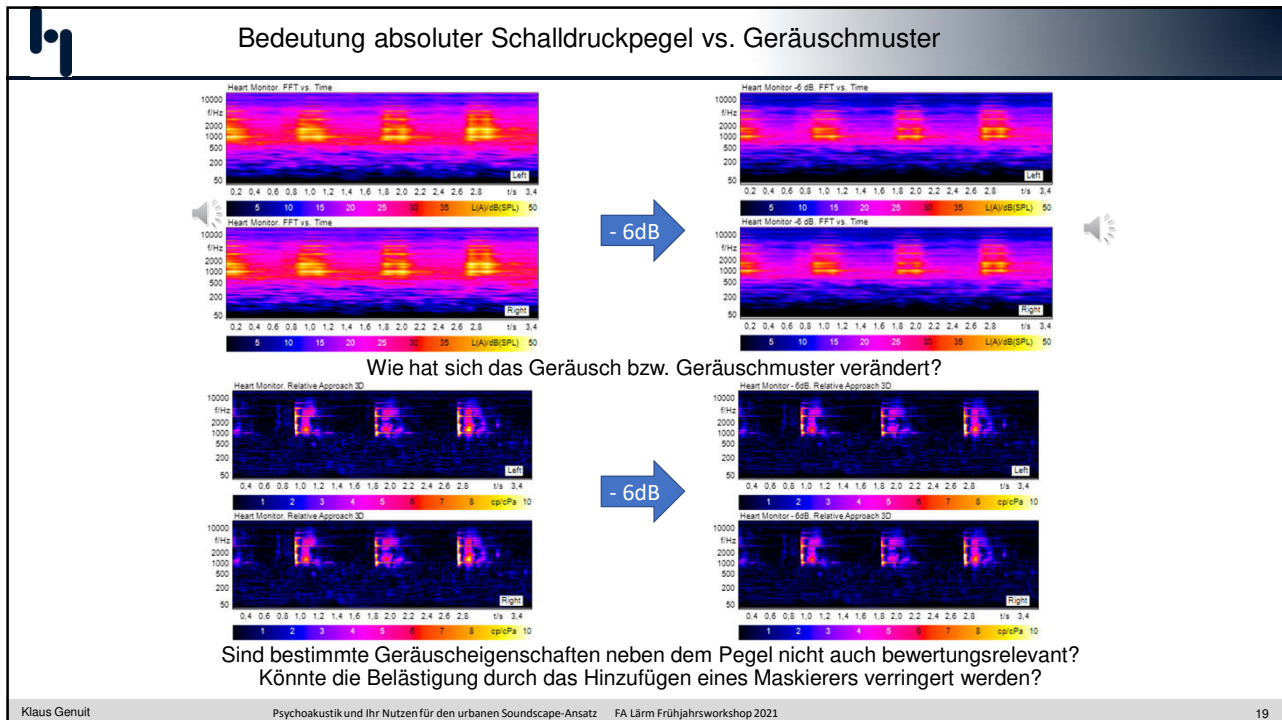
Problem Tonalität



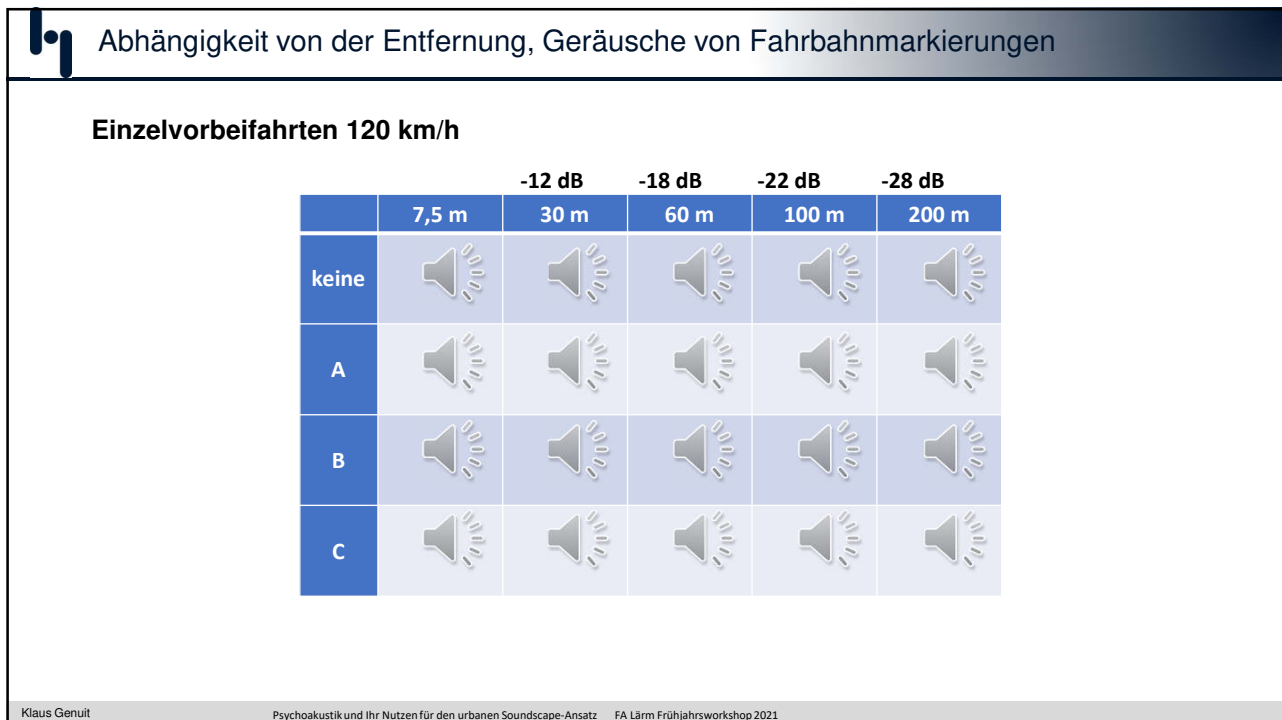
Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

18



19



20



Bedeutung der Lärmkartierung

- Lärmkartierung basierend auf berechnete A-bewertete Schalldruckpegel ist der erste Schritt in Richtung einer akustisch besseren Umgebung
- Die Lärmkartierung ist notwendig aber nicht hinreichend
- Wenn die Lärmkartierung kritische Bereiche ausweist, so besteht auf jeden Fall ein Handlungsbedarf
- Die Umkehrung gilt **aber nicht**, wenn die berechneten dB(A) Werte in einem unkritischen Bereich liegen, können sehr wohl trotzdem Belästigungen durch Lärm vorliegen
- Letztendlich bedeutet die Lärmkartierung eine dB(A)-Kartierung, Lärm ist deutlich komplexer

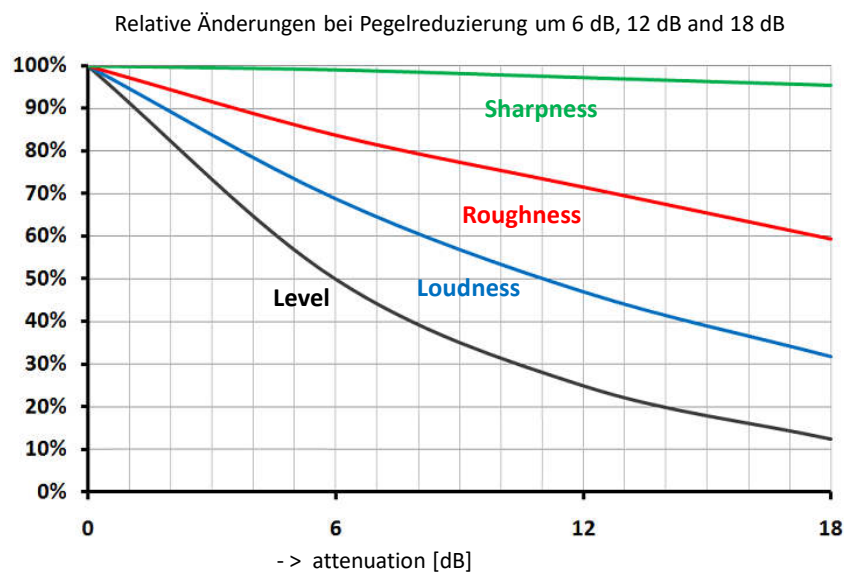
Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

21



Psychoakustische Parameter in Abhängigkeit der Entfernung



Klaus Genuit

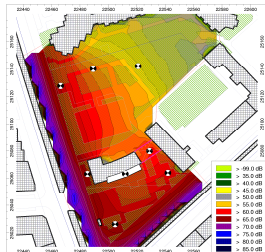
Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

22

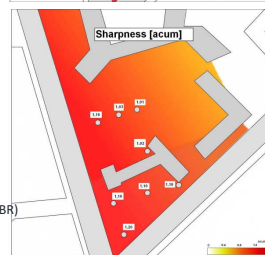
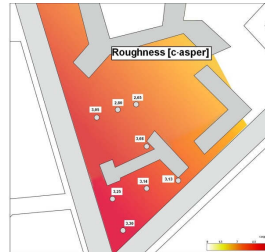
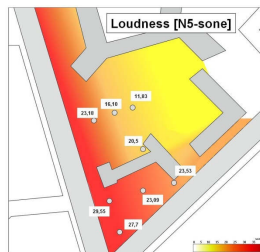
22

Lärmkarte

Konventionelle dB(A) Karte
Nauener Platz (Berlin)*



Psychoakustische Karten



Lärmkarte ist irreführender Begriff
besser : dB(A)-Mapping

* B. Schulte-Fortkamp: Nauener Platz Project (Berlin) – Remodelling for Young and Old (ExWoSt, BMVBS, BBR)

**Genuit, K., Schulte-Fortkamp, B., Fiebig, A. (2008), Psychoacoustic mapping within the soundscape approach, Inter-Noise 2008, Shanghai, China, 2008

Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

23

23

Zusammenfassung Soundscape

- Menschen beanstanden Geräusche (nahezu) unabhängig vom A-bewerteten Schalldruckpegel
- Zur Vorhersage der Auswirkungen von Umweltgeräuschen ist detailliertes Wissen über die Signalverarbeitung im Gehör erforderlich
- Zunehmende Standardisierung bietet Fundament für den erweiterten Einsatz der Psychoakustik zur Umweltgeräuschbewertung
- Änderungen von einzelnen Parametern (Muster im Zeit- oder Frequenzbereich) sind oft bedeutsamer für die empfundene Belästigung als absolute, gemittelte Größen
- Überlagerung von mehreren Schallquellen ist nicht linear, die Vorhersage von psychoakustischen Größen anhand von Zahlenwerten ist nicht möglich
- Vorhersage der Lästigkeit in Abhängigkeit der Entfernung folgt nicht dem einfachen Abstandsgesetz

Klaus Genuit

Psychoakustik und Ihr Nutzen für den urbanen Soundscape-Ansatz FA Lärm Frühjahrsworkshop 2021

24



Schlussfolgerungen

- Soundscapekonzept verlangt interdisziplinäre Zusammenarbeit von Akustikern, Psychoakustikern, Medizinern, Soziologen, Psychologen
- Fühlen sich Menschen durch Lärm belästigt und der Gutachter antwortet (nur) mit dem energie-äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} , dann ist das Missverständnis vorprogrammiert

→ „Hinhören“!

Auf das Geräusch wie auch auf die Beanstandungen der Betroffenen hören.

-> Anwendung des Soundscape-Ansatzes gemäß DIN ISO/TS 12913