



Tieffrequenter Lärm

-

nicht nur physikalisch ein besonderes Problem

Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé

1. Definition von tieffrequentem Schall
2. Ausbreitung von tieffrequentem Schall
3. Wahrnehmung von tieffrequentem Schall
4. Bewertung von tieffrequentem Lärm
5. Wirkung von tieffrequentem Lärm
6. Gehörmodellbasierte Hypothese
7. Fazit und Konsequenzen

1. Definition von tiefrequentem Schall



**Nach der DIN 45680 liegt tieffrequenter Schall
im Bereich von 8/10 Hz bis 80/100 Hz.**

Die Eckfrequenzen 8 Hz und 100 Hz sind in Sonderfällen mit einzubeziehen,
welche häufig gegeben sind (z.B. 100 Hz bei Trafobrummen).

DIN 45680: Messung und Bewertung
tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft
(zur Beurteilung gewerblicher Anlagen)

2. Ausbreitung von tieffreq. Schall

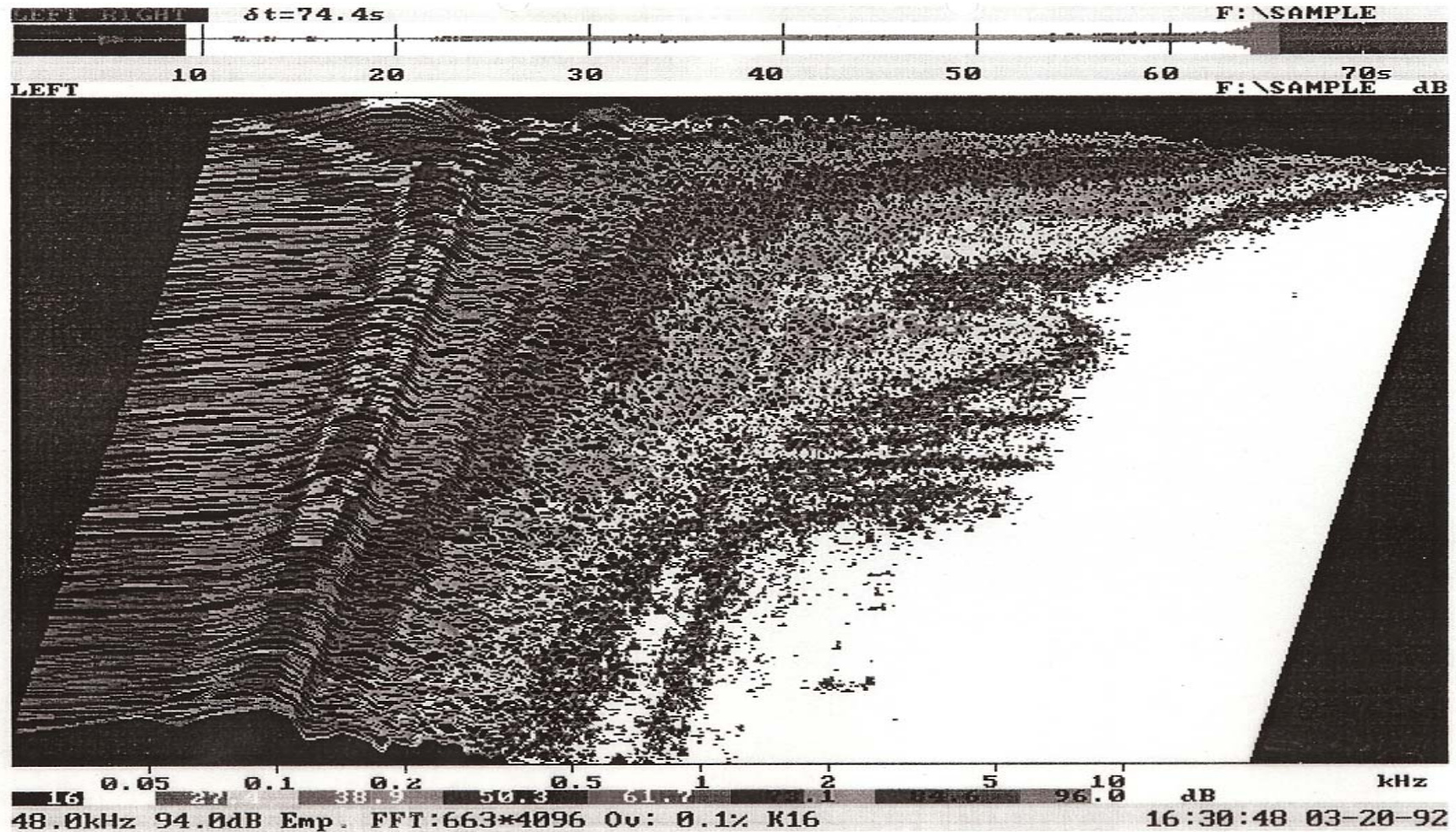


Besondere Eigenschaften:

- geringe Ausbreitungsdämpfung
- starke Beugungseffekte
- geringe Dämmung durch Isolation
- ausgeprägte Raumresonanzen

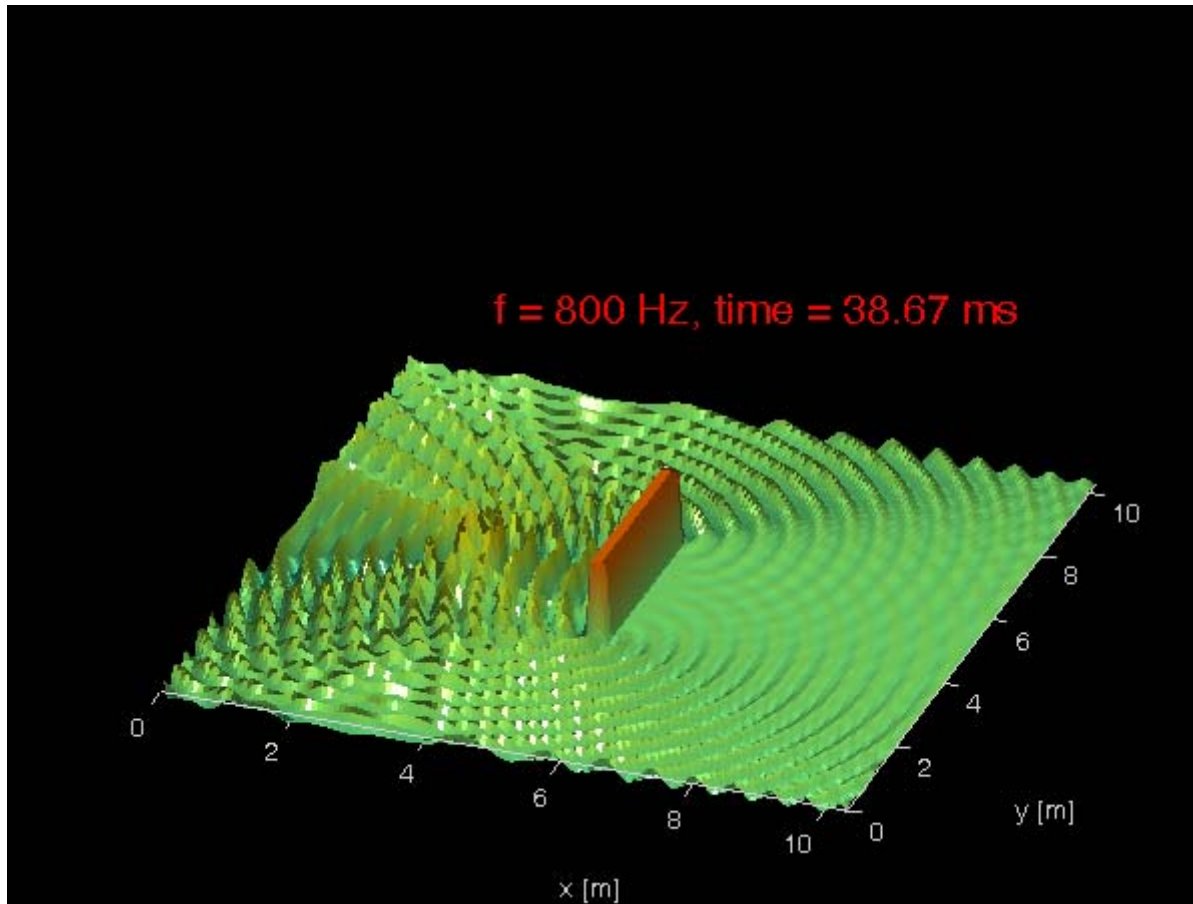
2. Ausbreitung von tieffreq. Schall

Spektrogramm eines sich nähernden Fahrzeugs;
tieffrequente Komponenten über weite Distanz gut wahrnehmbar



2. Ausbreitung von tieffreq. Schall

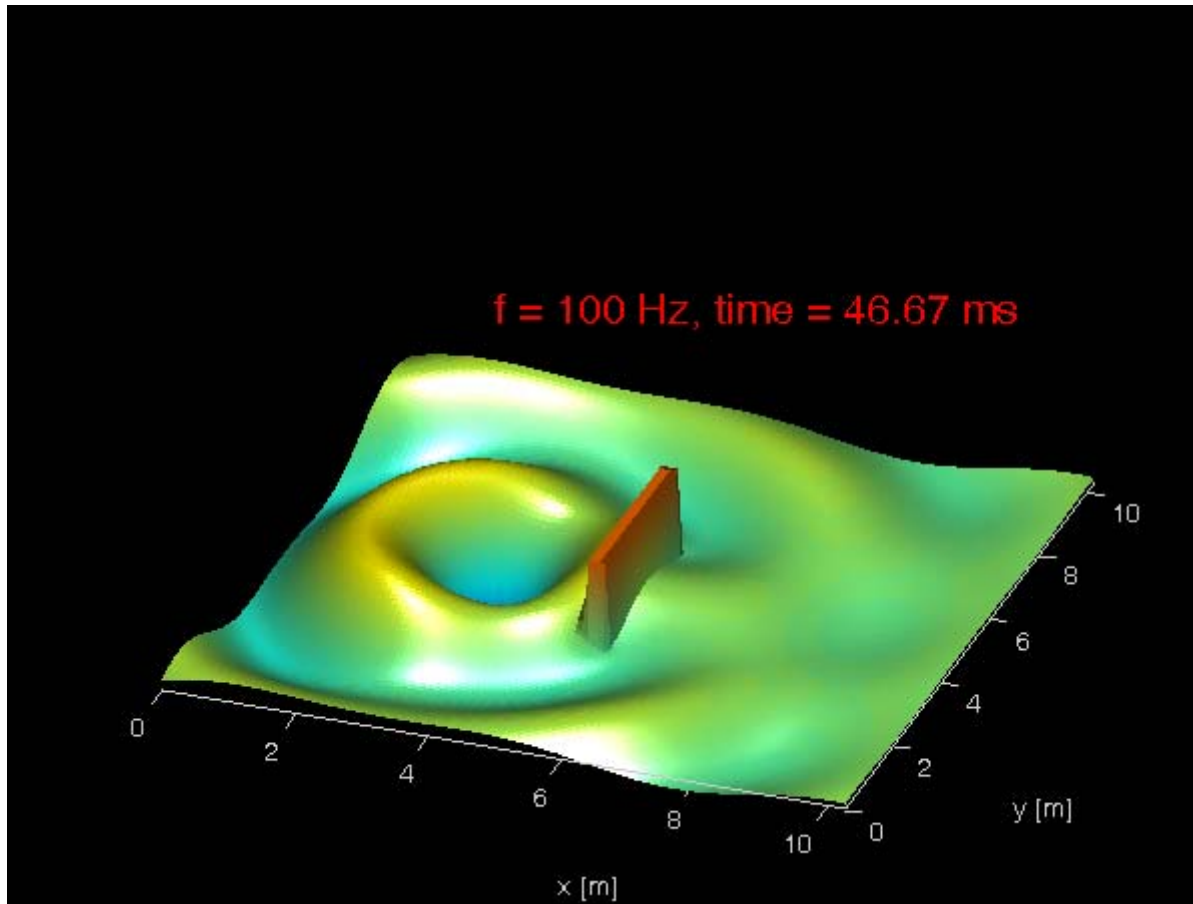
Beugung an Kante bei 800 Hz



Gute Schirmwirkung
bei höheren
Frequenzen

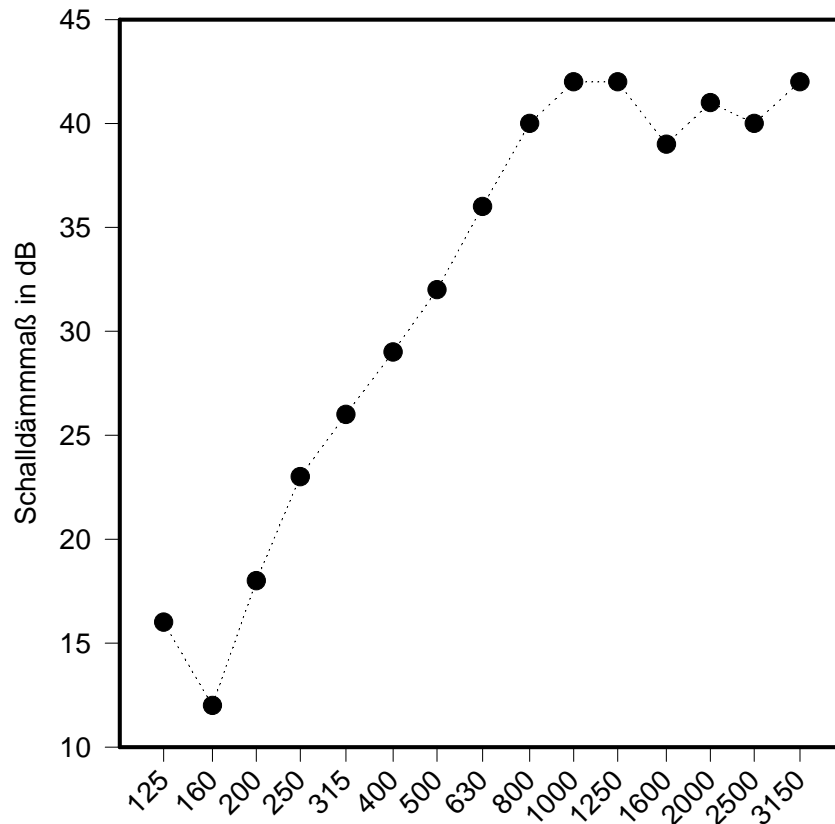
2. Ausbreitung von tieffreq. Schall

Beugung an Kante bei 100 Hz



Schlechte Schirmwirkung
bei tieferen
Frequenzen

2. Ausbreitung von tieffreq. Schall



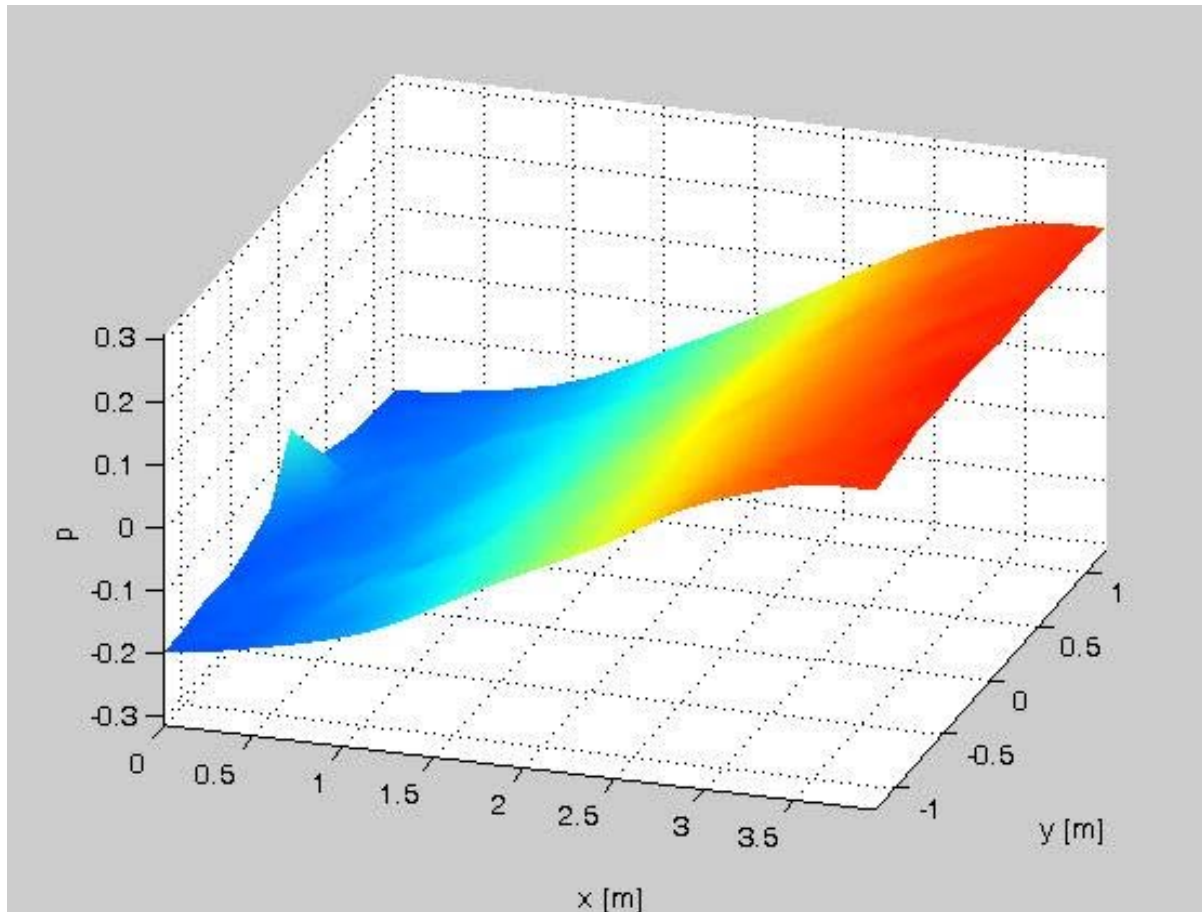
Typischer Verlauf
des Schalldämmmaßes
eines Doppelfensters

Zu tiefen Frequenzen nimmt die
Dämmung (Massegesetz) stark
ab.

Bei Frequenzen unterhalb 100 Hz
nimmt die Dämmung eher noch
weiter ab. Dieser Bereich wird
aber bei der Messung nach Norm
nicht berücksichtigt.

2. Ausbreitung von tieffreq. Schall

Ausbildung von stehenden Wellen im Raum (Raummoden)



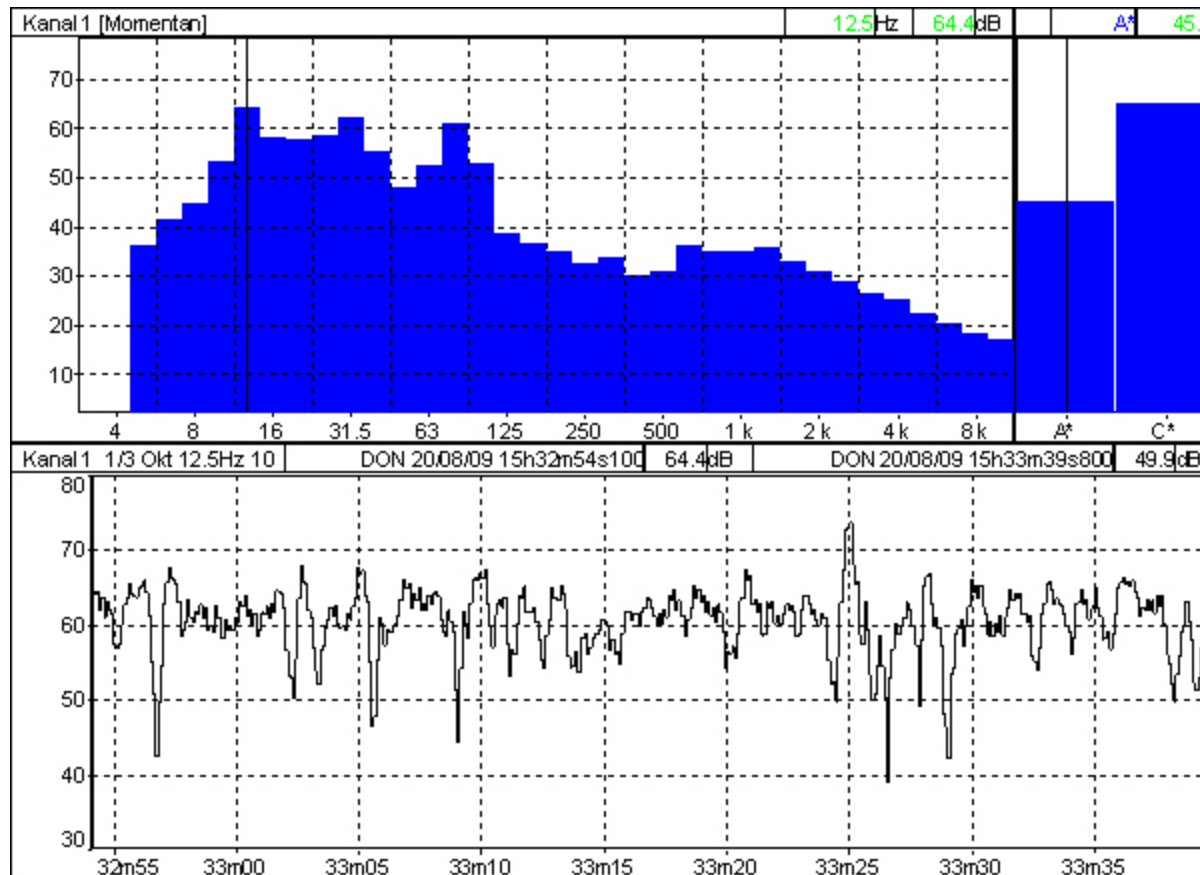
Anregung der ersten
Raummode in Längsrichtung

Durch Resonanz Erhöhung
des Schalldrucks hier an der
linken und rechten Wand.

2. Ausbreitung von tieffreq. Schall



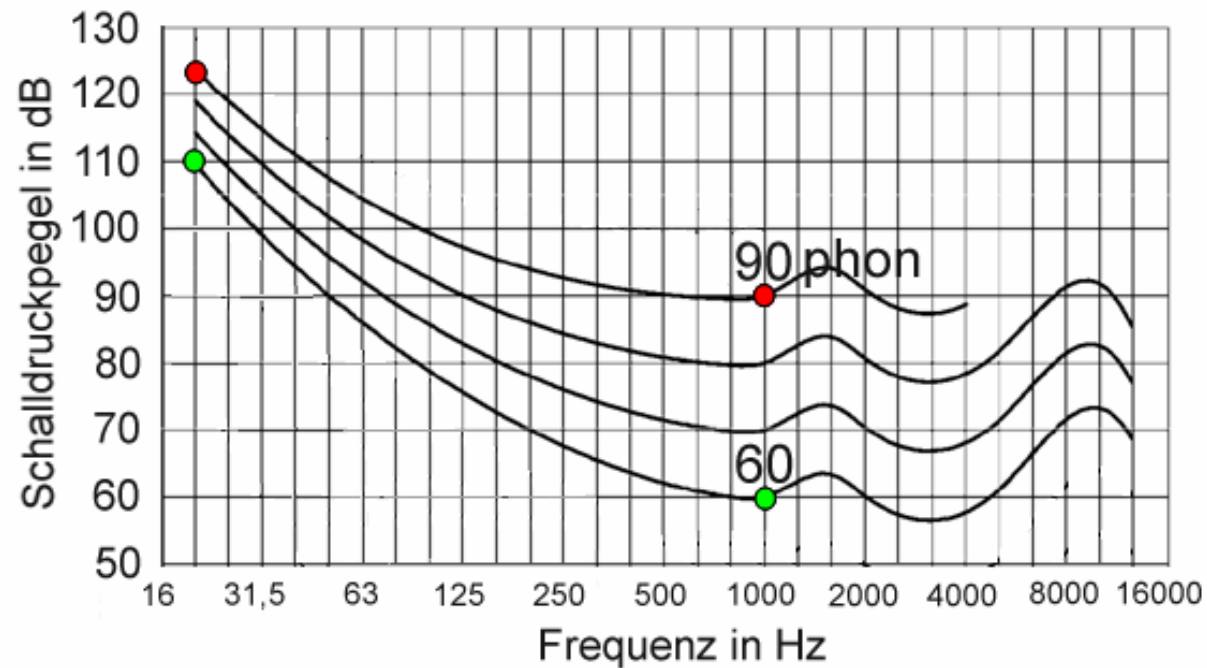
Messung in einem Wohnraum



Hier ausgeprägte
Anregung bei den
Terzen 12,5Hz,
31,5Hz und 80Hz

Unten der zeitliche
Verlauf der 12,5Hz-
Komponente

3. Wahrnehmung von tieffreq. Schall



Auswahl von
ISO-Phon-Kurven
gem. ISO 226

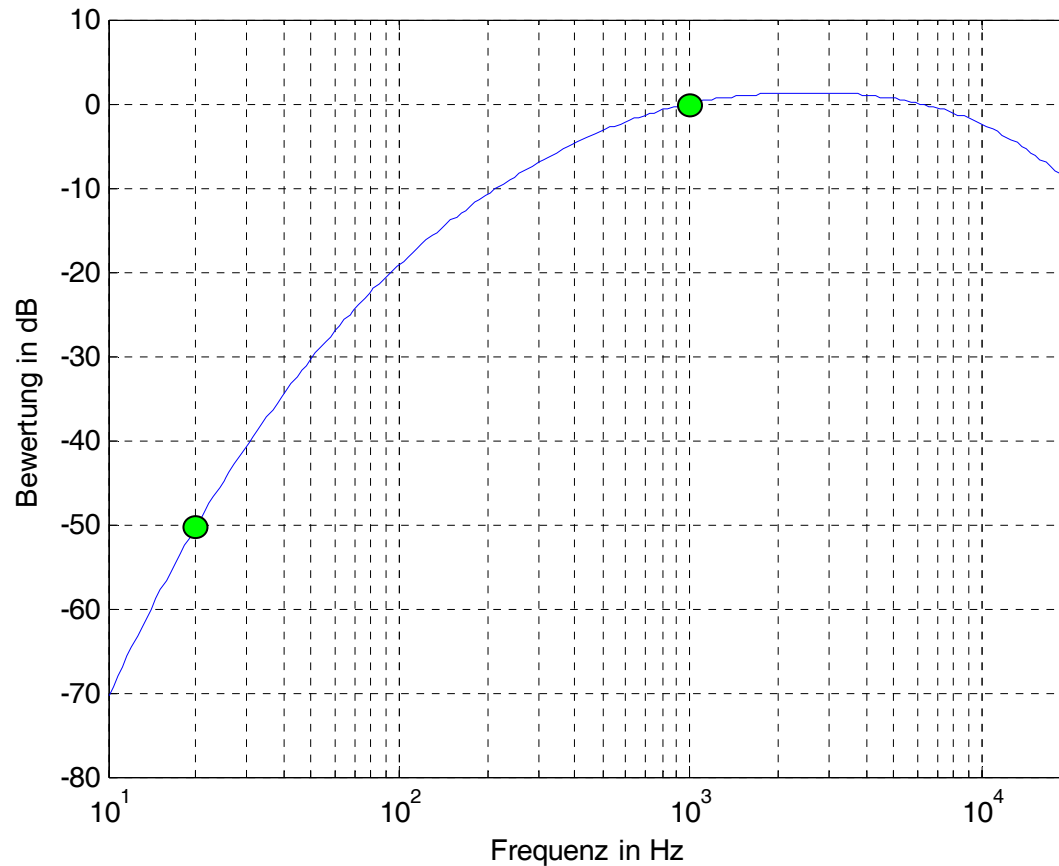
-> Kurven
gleicher Lautstärke

Die Anhebung zu tiefen
Frequenzen hin ist Folge
einer geringer werdenden
Empfindlichkeit bei diesen
Frequenzen.

3. Wahrnehmung von tieffreq. Schall



Frequenzabhängige Empfindlichkeit -> A-Bewertung -> dB(A)



Mit der A-Bewertung soll die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs berücksichtigt werden.

Allerdings: Gegenüber 1kHz werden 20Hz um 50 dB gedämpft. Nach Folie 11 entspricht dies zwar den Verhältnissen bei der 60-Phon-Kurve, ist aber um 15 dB zu hoch bei Bezug auf die 90-Phon-Kurve.

Folge: Tieffrequente Komponenten werden bei höheren Pegeln unterbewertet.

4. Bewertung von tieffreq. Lärm



DIN 45680

- Zuständig für gewerblichen Lärm aus der Nachbarschaft
- Gilt nur bei $L_{Ceq} - L_{Aeq} \geq 20\text{dB}$; das bedeutet, der energetische Schwerpunkt des Geräusches liegt bei tiefen Frequenzen.
- Bewertung beruht auf einer Terzanalyse
- Besonderheit: Messung im betroffenen Wohnraum
- Nachts reicht schon das Überschreiten der Hörschwelle durch eine tonale Komponente, um das Geräusch als unzulässig zu bewerten.
- Trotzdem auch Fälle der Betroffenheit, wenn keine Überschreitung vorliegt.
- Wird zurzeit überarbeitet.

5. Wirkung von tieffreq. Lärm



Bei der Studie

**Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance,
University of Salford, 2005 (no NANR45)**

gaben 50 Prozent und mehr der Betroffenen folgende Symptome an:

- Frustration
- Difficulty falling asleep
- Anxiety
- Tiredness
- Pressure or pain in ear or body
- Headaches
- Nervousness

Eine weitere bekannte Studie:

A study of twenty-one cases of low-frequency noise complaints

By *C.S. Pedersen, H. Møller, K. Persson Waye, University of Aalborg, Denmark*

5. Wirkung von tieffreq. Lärm



Gemeinsame Merkmal bei Betroffenen:

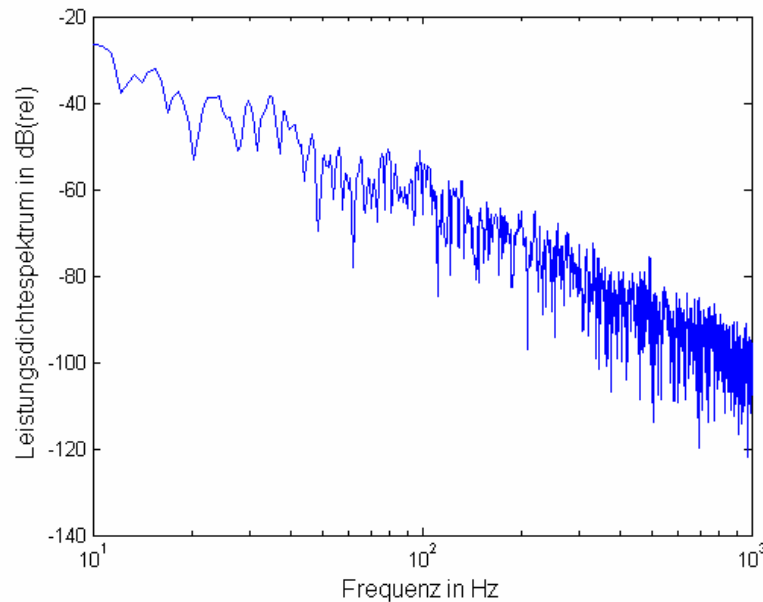
- eher ruhige Wohngegend
- eher ältere Menschen
- eher Frauen als Männer
- keine besonders niedrige Hörschwelle

5. Wirkung von tieffreq. Lärm

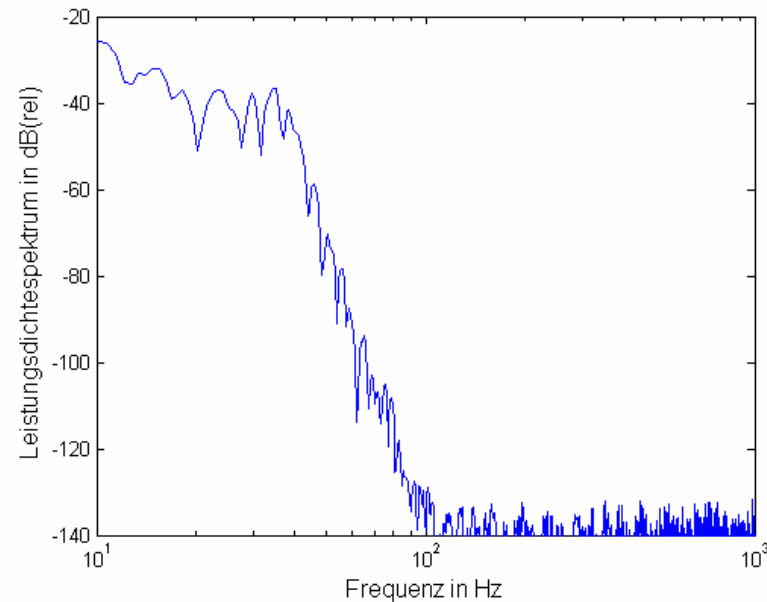


Verschiedene Stimuli für Untersuchung

Bei dem rechten Signal fehlen Anregungen bei höheren Frequenzen. Dadurch u.a. stark fluktuierendes Geräusch, das als unangenehm empfunden wird. Dies entspricht auch der Beobachtung, dass tieffrequenter Lärm eher in sonst ruhigen Wohngebieten belastend wirkt, wo andere Lärmquellen mit höherfrequenten Anteilen fehlen.



TP-Signal, 40 Hz, flache Flanke

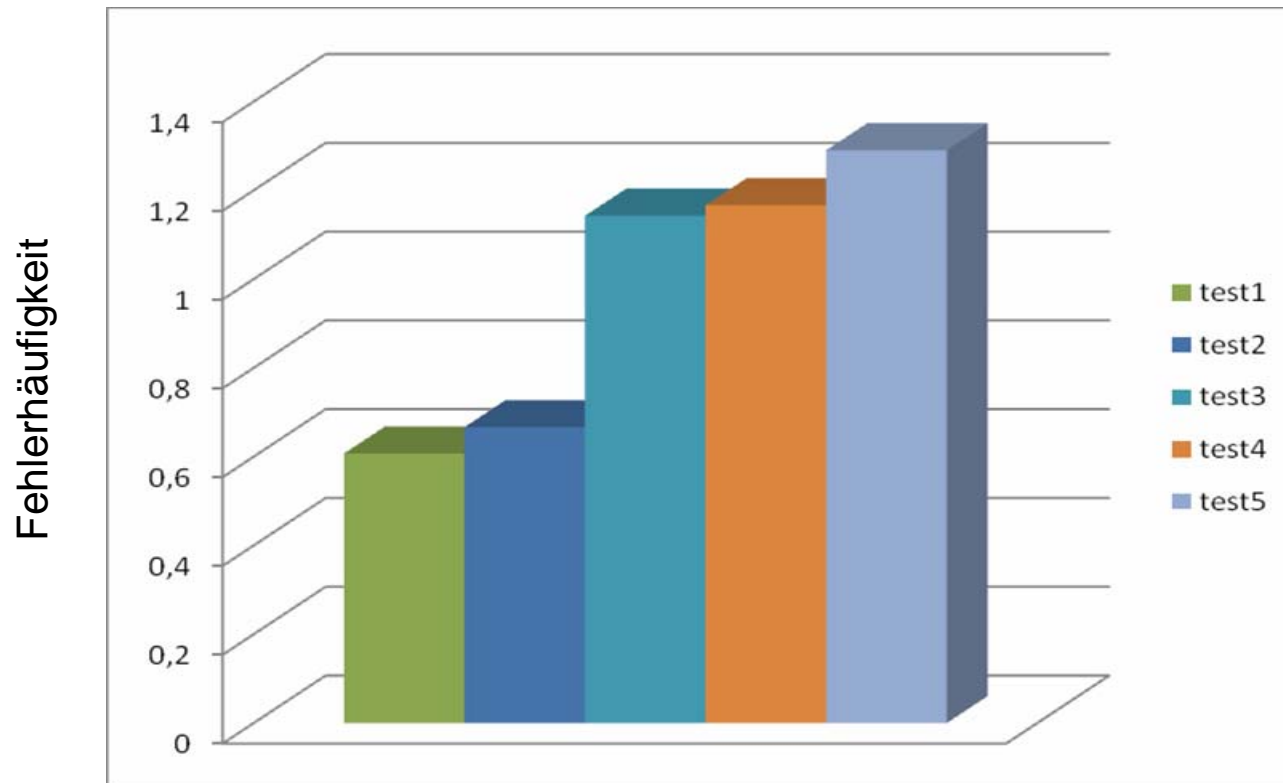


TP-Signal, 40 Hz, steile Flanke

5. Wirkung von tieffreq. Lärm



Konzentrationstest bei verschiedenen Geräuschausbildungen

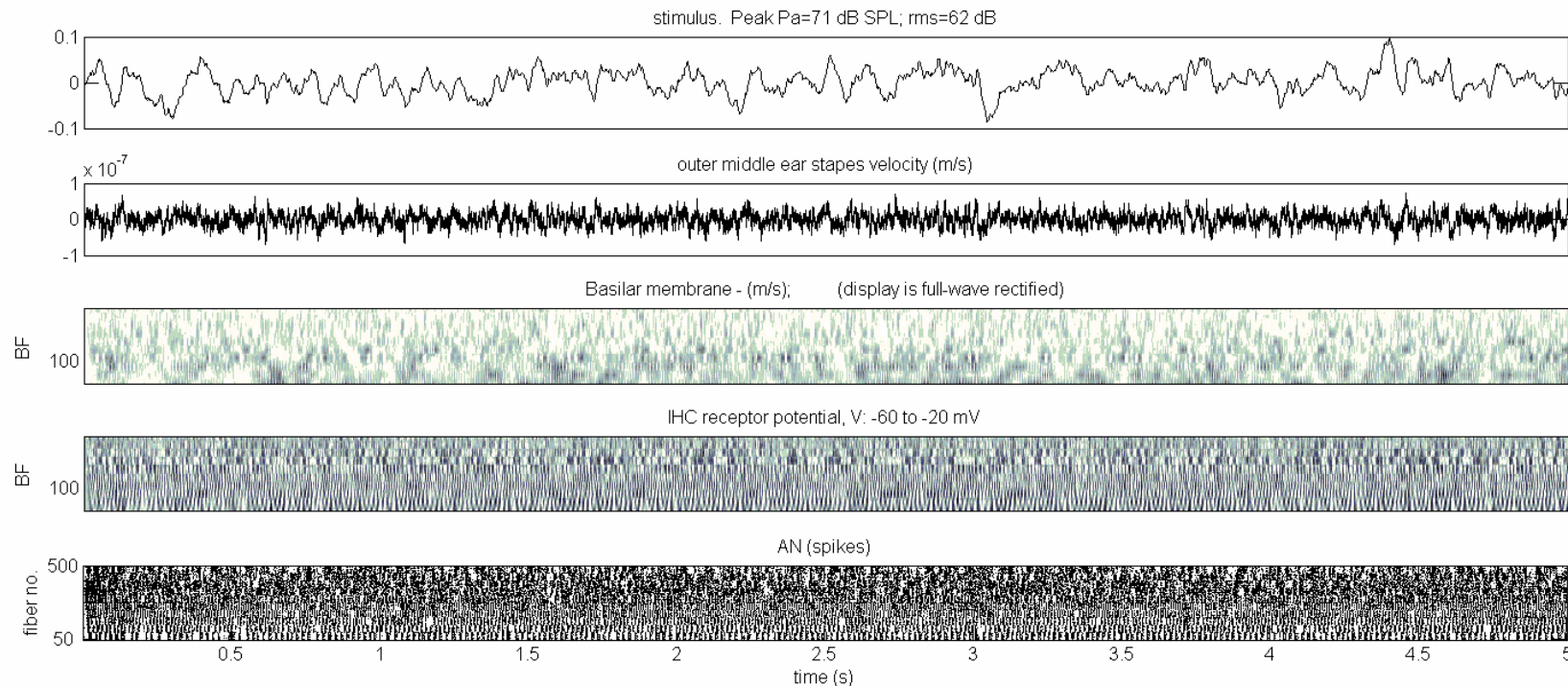


Testbedingung 1 – 5 (flache Flanke -> steile Flanke)

6. Gehörmodellbasierte Hypothese



Die vorgestellten Stimuli wurden anhand eines Modells verarbeitet. Die fünf Plots zeigen den zeitlichen Verlauf des Stimulus, der Geschwindigkeit des Steigbügels und der Basilmembranbewegung, der Potenziale in den inneren Haarzellen und der Spike-Aktivitäten der abgehenden Nervenfasern (letztere drei für den Bereich 50-500Hz)



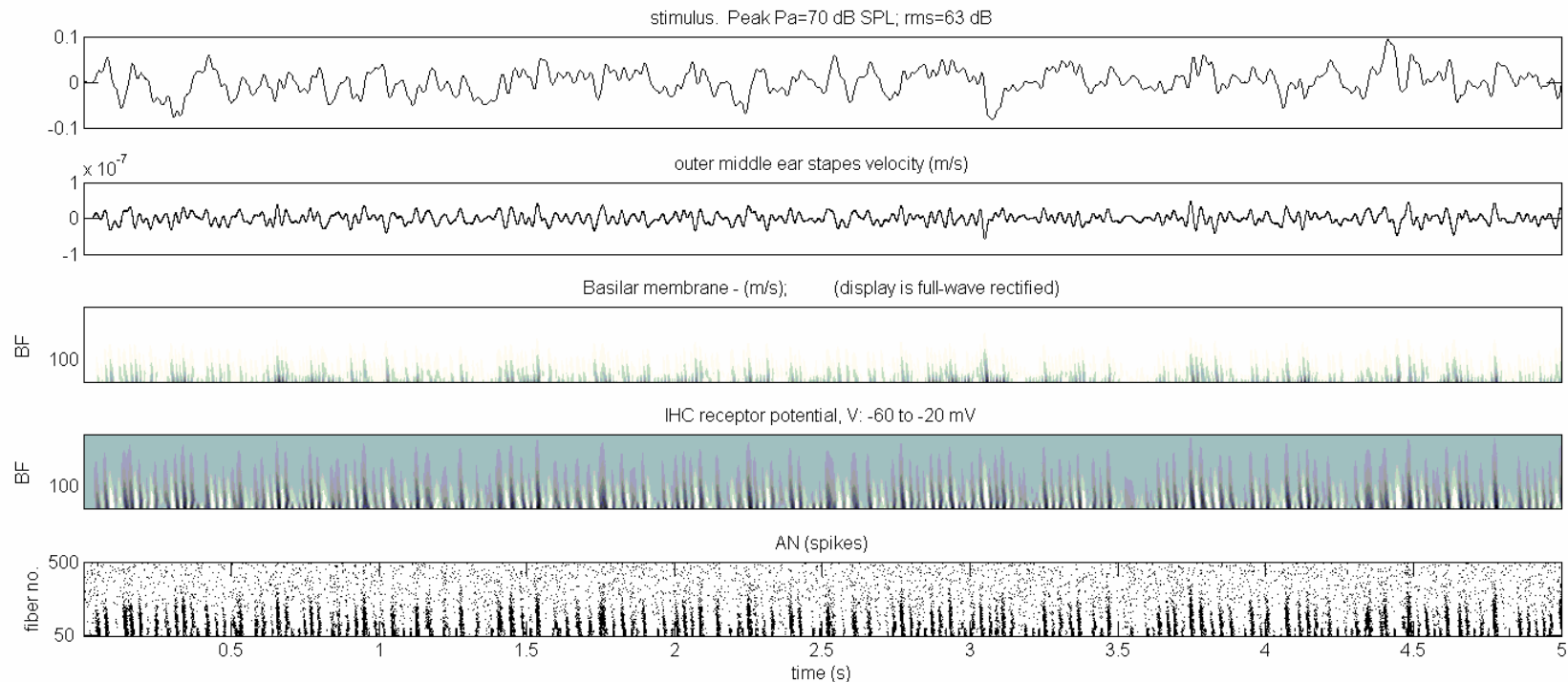
Programm MAP

TP-Signal, 40 Hz, flache Flanke

6. Gehörmodellbasierte Hypothese



Im Gegensatz zur Grafik vorher zeigen hier die Spike-Aktivitäten eine ausgeprägte zeitliche Struktur, die auf eine gewisse synchrone Reaktion in den Nervenfasern hindeutet.



Programm MAP

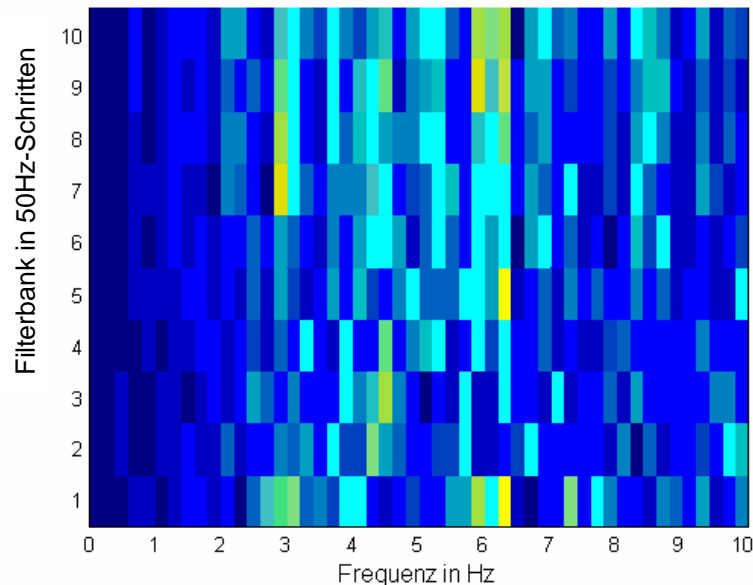
TP-Signal, 40 Hz, steile Flanke

6. Gehörmodellbasierte Hypothese

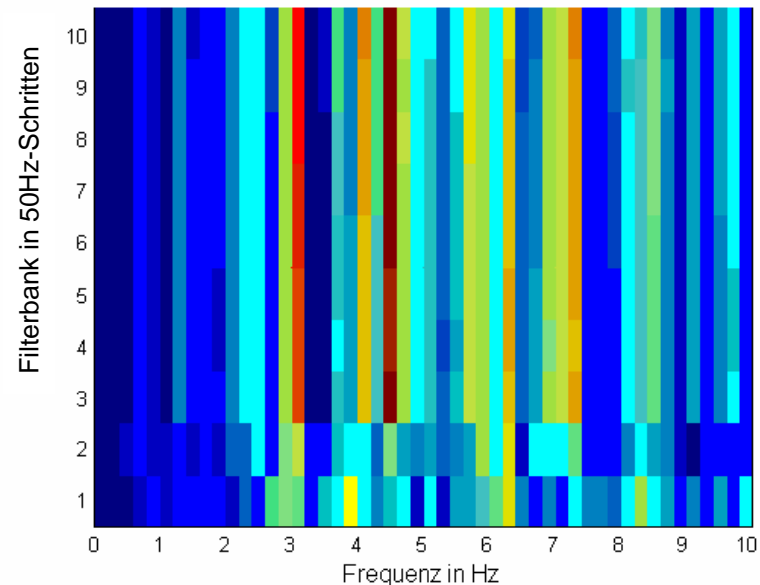


Modulationsspektrum

Das rechte Spektrum zeigt eine ausgeprägt synchrone Modulation der Bandpasssignale der Gammatone-Filterbank, die zudem im Schwerpunkt bei 3-4 Hz liegt. Auf eine Modulation in diesem Frequenzbereich reagiert der Mensch besonders empfindlich.



TP-Signal, 40 Hz, flache Flanke



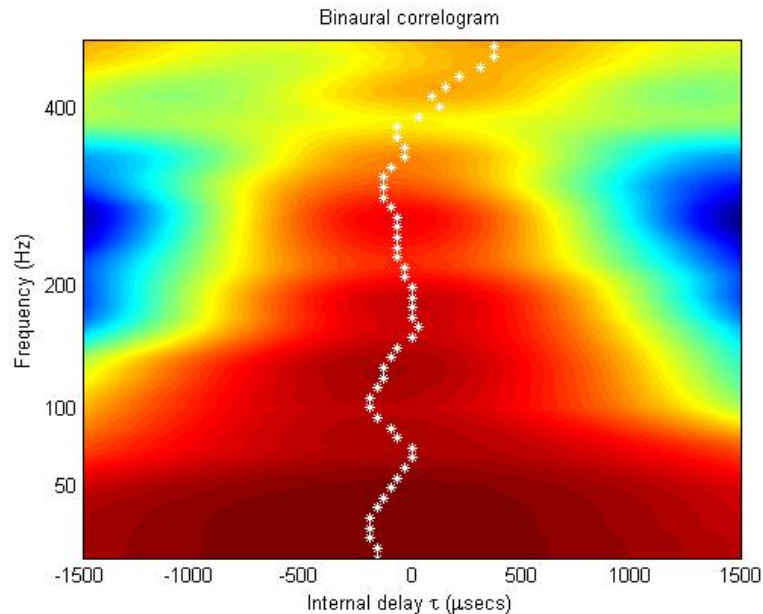
TP-Signal, 40 Hz, steile Flanke

6. Gehörmodellbasierte Hypothese

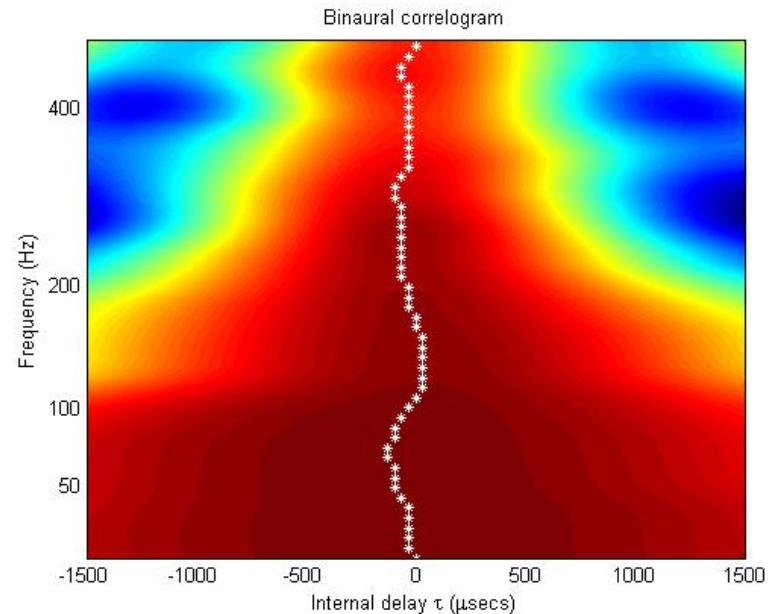


Binaurale Kreuzkorrelationsfunktion

Die großen Wellenlängen bei tiefen Frequenzen haben zur Folge, dass sich die beiden Ohrsignale kaum unterscheiden. Dadurch, dass bei der steilen Flanke (rechts) die Anregung auch bei den höheren Frequenzen durch die tieffrequenteren Komponenten bestimmt ist, ist hier auch die Korrelation bei den höheren Frequenzen ausgeprägter. Das dürfte den Effekt einer Synchronität stärken.



TP-Signal, 40 Hz, flache Flanke

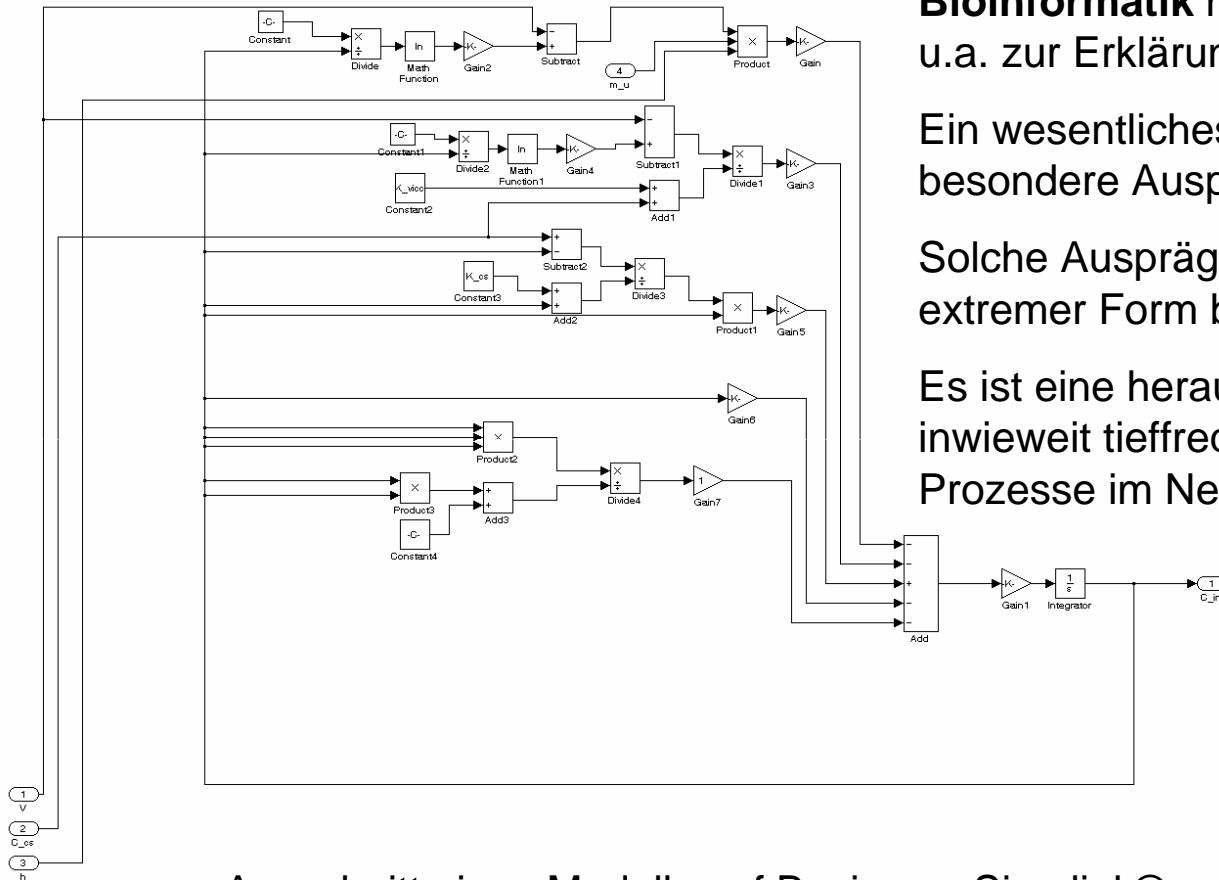


TP-Signal, 40 Hz, steile Flanke

6. Gehörmodellbasierte Hypothese



Weitergehende Modellierungen



Ausschnitt eines Modells auf Basis von Simulink®

Bioinformatik modelliert Zellprozesse u.a. zur Erklärung krankhaften Verhaltens.

Ein wesentliches Merkmal dabei sind besondere Ausprägungen von Synchronität.

Solche Ausprägungen spielen z.B. in extremer Form bei Epilepsie eine Rolle.

Es ist eine herausfordernde Fragestellung, inwieweit tieffrequenter Lärm solche Prozesse im Nervensystem anstoßen kann.

8. Fazit und Konsequenzen



- **Tieffrequenter Lärm kann eine ausgeprägte, mental belastende Wirkung haben.**
- **Mit welchen physiologischen Vorgängen diese Wirkung verbunden sein könnte, ist noch weitgehend unbekannt.**
- **Um hier zu mehr Erkenntnissen zu gelangen, ist eine Zusammenarbeit mit andern Fachdisziplinen (z.B. Neurologie, Bioinformatik) anzustreben.**
- **Im Lärmschutz ist dem Problem „Tieffrequenter Lärm“ verstärkt Beachtung zu zollen, da durch manche Lärmschutzmaßnahme das Problem sogar verstärkt werden kann.**
- **Auch bei Richtlinien ist darauf zu achten, dass tieffrequenter Lärm angemessen berücksichtigt wird oder dass sie nicht sogar einer Verstärkung des Problems Vorschub leisten, indem tief-frequente Komponenten unterbewertet werden.**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

krahe@uni-wuppertal.de