





Psychoakustische Analysen zur Steigerung der Usability von Medizinprodukten

Dr.-Ing. Mario Penzkofer

Prof. Dr.-Ing. Karsten Kluth









Übersicht

- 1) Einleitung
- 2) Grundlagen des Hörens
- 3) Psychoakustik Was ist das?
- 4) Anforderungen an akustische Feedbacks
- 5) Untersuchung akustischer Feedbacks von Medizinprodukten
- 6) Fazit









> Akustische Feedbacks

Bedeutung von akustischen Feedbacks im Alltag

























> Akustische Feedbacks

Bedeutung von akustischen Feedbacks in ausgewählten Bereichen – Automobilbranche Das Sounddesign von Fahrzeuginnen- und -außengeräuschen spielt eine wichtige Rolle bei der Fahrzeugentwicklung auf hohem Qualitätsniveau.







Der Qualitätseindruck hängt wesentlich von der akustischen Wahrnehmung ab.



















> Akustische Feedbacks

Bedeutung von akustischen Feedbacks in ausgewählten Bereichen - Medizin

Problem:

Während eines Arbeitstages werden Ärzte und medizinisches Personal mit einer Vielzahl an Klängen und Geräuschen konfrontiert.









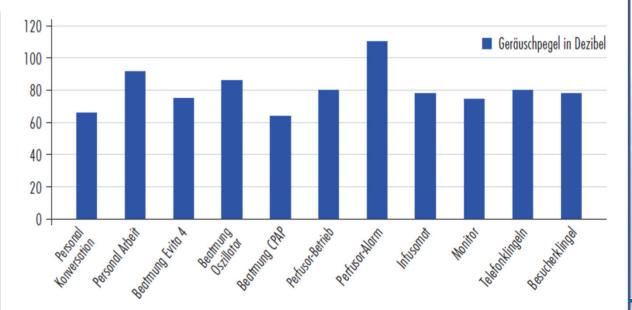
> Akustische Feedbacks

Bedeutung von akustischen Feedbacks in ausgewählten Bereichen - Medizin

Typische Geräuschkulisse im medizinischen Umfeld:

- > personal-, patienten- und besucherbedingte Geräusche
- Betriebsgeräusche der Geräte
- Alarm- und Warnsignale
- teilweise musikalische Hintergrundbeschallung

nal mit einer Vielzahl









Akustische Feedbacks

Bedeutung von akustischen Feedbacks in ausgewählten Bereichen - Medizin

Problem:

Während eines Arbeitstages werden Ärzte und medizinisches Personal mit einer Vielzahl an Klängen und Geräuschen konfrontiert.

Der Mensch kann sich auditiven Reizen kaum entziehen.

Der akustischen Kommunikation kommt gerade im sensiblen medizinischen Kontext eine besondere Bedeutung zu.

Töne/Klänge/Geräusche

- Liefern von Informationen
- Verbesserung der Bedienbarkeit von medizintechnischen Geräten
- Vermittlung einer angenehmen Atmosphäre für die Patienten









- > Akustische Feedbacks
 - Bedeutung von akustischen Feedbacks in ausgewählten Bereichen Medizin
- Gut gestaltete akustische Signale
 - sind wichtige Absicherungsmaßnahmen für das medizinische Personal und den Patienten,
 - signalisieren, warnen oder alarmieren über verschiedene Veränderungen des Patientenzustandes oder dienen zur Kontrolle der kontinuierlichen Zufuhr von Flüssigkeiten oder Medikamenten,
 - sollen falsche Interpretationen vermeiden.
- In Situationen visueller und haptischer Auslastung soll der Hörkanal zur zusätzlichen Patientenbeobachtung genutzt werden.

Voraussetzung zur Aufnahme akustischer Feedbacks ist das Vorhandensein eines hochsensiblen Messinstrumentes!





Übersicht

- 1) Einleitung
- 2) Grundlagen des Hörens
- 3) Psychoakustik Was ist das?
- 4) Anforderungen an akustische Feedbacks
- 5) Untersuchung akustischer Feedbacks von Medizinprodukten
- 6) Fazit





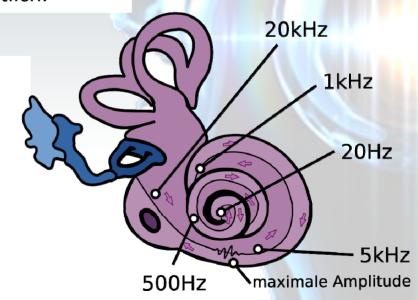




Das Gehör ermöglicht es, vielschichtige, komplexe Klangereignisse differenziert, strukturiert sowie affektiv wahrzunehmen.

16 000 Sinneszellen sind für die Umwandlung der mechanischen Schwingung in elektrische Nervenimpulse verantwortlich.

- ➤ Hochfrequente Töne mit der größten Auslenkung befinden sich in der Basis der Schnecke.
- ➤ **Tieffrequente Töne** stimulieren die Haarzellen erst weit im Inneren der Schnecke.
- ➤ Verschiedene Bereiche der Schnecke sind jeweils für bestimmte Frequenzen zuständig!
- Empfindlichster Bereich liegt bei 4 kHz!







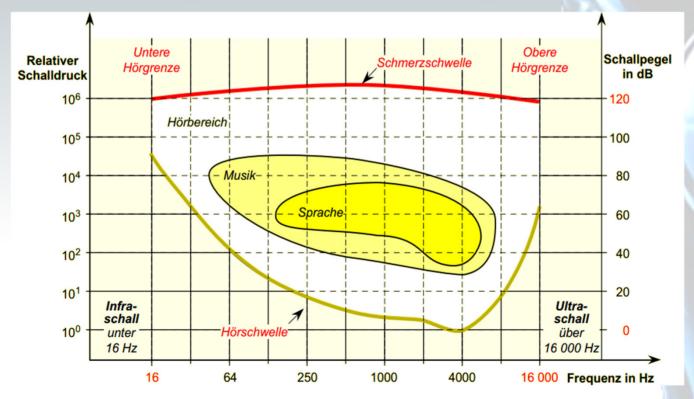




Grundlagen des Hörens

Hörbereich des Menschen:

- durch bestimmte Bereiche der Frequenz und des Schalldrucks begrenzt
- liegt bei normal hörenden Menschen zwischen 16 Hz und 16 kHz
- mit zunehmendem Alter geht die obere Grenze allerdings auf ca. 8 kHz zurück









Übersicht

- 1) Einleitung
- 2) Grundlagen des Hörens
- 3) Psychoakustik Was ist das?
- 4) Anforderungen an akustische Feedbacks
- 5) Untersuchung akustischer Feedbacks von Medizinprodukten
- 6) Fazit



Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Department MASCHINENBAU

Psychoakustik – Was ist das?

- > Teilgebiet der Akustik und der Psychophysik
- versucht die subjektiven Reaktionen auf alles, was wir hören, zu erklären und zu objektivieren,
- rforscht die **Fähigkeiten** und **Grenzen** des menschlichen Gehörs.



- > Psychoakustik bewegt sich im **Spannungsfeld** zwischen
 - den akustischen Reizen mit ihren objektivierbaren physikalischen Qualitäten und
 - den individuellen physiologischen und psychologischen Rückmeldungen,
- > erforscht die Wechselwirkungen von und die Beziehungen zwischen
 - akustischem Signal,
 - Physiologie des auditiven Systems und
 - psychologisch gefilterter Wahrnehmung.









Psychoakustik – Was ist das?

Ziel:

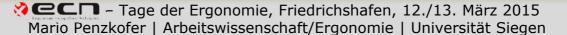
> Rückführung psychischer auf physikalische Variablen

Problem:

- akustische Reize sind eindeutig durch die objektiven, physikalischen Größen zu definieren
- entstehende Empfindungen können jedoch nur durch subjektive Beschreibungen von Versuchspersonen abgebildet werden

Die wichtigste Aufgabe der Psychoakustik ist die Darstellung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Reizgrößen und den verschiedenen Empfindungsgrößen





Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Department MASCHINENBAU





Psychoakustik – Was ist das?

Ziel:

Rückführung psychischer auf physikali

Problem:

- akustische Reize sind eindeutig durch
- entstehende Empfindungen können je Versuchspersonen abgebildet werden



Die wichtigste Aufgabe der Psychoaki

zwischen verschiedenen Reizgrößen und den verschiedenen Empfindungsgrößen









Psychoakustik – Was ist das?

Ziel:

> Rückführung psychischer auf physikalische Variablen

Problem:

- akustische Reize sind eindeutig durch die objektiven, physikalischen Größen zu definieren
- entstehende Empfindungen können jedoch nur durch subjektive Beschreibungen von Versuchspersonen abgebildet werden

Unterscheidung zwischen Reiz- und Empfindungsgrößen

- > Reiz: kann durch physikalische Reizgrößen eindeutig beschrieben werden
- ➤ **Empfindung:** wird durch einen Reiz ausgelöst, von allen Reizgrößen beeinflusst und durch subjektive Beschreibungen abgebildet.
 - Genauigkeit ist unbefriedigend.

Die wichtigste Aufgabe der Psychoakustik ist die Darstellung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Reizgrößen und den verschiedenen Empfindungsgrößen









Psychoakustik – Was ist das?

Dominante physikalische Reizgrößen:

Frequenz f [Hz]
beschreibt lokale Druckschwankungen, die durch die periodische Erregung

von Druckstörungen hervorgerufen werden

➤ Schalldruckpegel L_p [dB]
logarithmisches Maß zur Beschreibung der Stärke eines Schallereignisses

Psychoakustische Empfindungsgrößen:

- Lautheit
- Schärfe
- > Rauigkeit
- > Tonhaltigkeit/Tonalität
- > Schwankungsstärke
- Impulshaltigkeit



Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Department MASCHINENBAU





Psychoakustik – Was ist das?

Psychoakustische Empfindungsgrößen

Test 1 Test 2

b

C

a

Lautheit N [sone]

- entspricht umgangssprachlich dem Begriff der Lautstärke und beschreibt die subjektiv wahrgenommene Intensität von Schallen
- > wesentlicher Parameter im Bereich der Bewertung von Geräuschen und ihrer Qualität
- > Pegelanstieg von 10 dB führt zu einer Verdopplung der Lautheit

Schärfe [acum]

- wesentliches Merkmal zur Beurteilung der Klangfarbe
- repräsentiert einen wesentlichen Anteil der Klangfarbenwahrnehmung
- > mit zunehmender Schärfe werden Geräusche oft als aggressiver und lästiger beurteilt
- > je mehr hohe Frequenzen in einem Signal enthalten sind, desto schärfer wird es empfunden
- korreliert mit der bewerteten Lästigkeit von Geräuschen

Test 3









Psychoakustik – Was ist das?

Psychoakustische Empfindungsgrößen

Rauigkeit [asper]

- Empfindungsgröße für schnelle Amplitudenschwankungen
- > raue Schalle werden oft auch als "unangenehm" bezeichnet
- > Anwendung bei der Bewertung der akustischen Qualität von technischen Geräuschen

Test 4

<u>ab</u>nehmende Rauigkeit Test 5

<u>zu</u>nehmende Rauigkeit





Manufacture of the second seco

Übersicht

- 1) Einleitung
- 2) Grundlagen des Hörens
- 3) Psychoakustik Was ist das?
- 4) Anforderungen an akustische Feedbacks
- 5) Untersuchung akustischer Feedbacks von Medizinprodukten
- 6) Fazit









- ➤ Feedbacks sollen **charakterisierend** für das Produkt sein und eine **positive** sowie bestenfalls **eindeutige**
 - reiz-reaktionskompatible Bedeutung vermitteln.
- ➤ Hinweise zur Gestaltung akustischer Feedbacks sowie grundlegende Anforderungen finden sich deutschen und europäischen Normen:

DIN EN 60 601-1-8 (Medizinisch elektrische Geräte – Alarmsysteme)

Akustische Feedbacks

- zur Anzeige von: unbefriedigenden physiologischen Patienten-Zuständen, unbefriedigenden Funktionszustände des ME-Gerätes sowie
- zur Warnung des Bedieners vor möglichen Gefährdungen für den Patienten oder sich selbst.









DIN EN 60 601-1-8

Anforderungen:

- leicht unterscheidbar
- nicht unnötig ablenkend oder störend
- rationale Behandlung der Situation ermöglichen
- Reduzierung von Verwirrungen
- ➤ **Grundfrequenz:** untere Grenze 150 Hz
- ➤ Lautstärkepegel: 45 dB bis 85 dB generell hörbar über dem Hintergrundgeräuschpegel
 - unaufdringlich, nicht erschreckend und diskontinuierlich
 - hohe, laute Töne, schnelle Impulse für hohe Dringlichkeiten















DIN EN 981 (Sicherheit von Maschinen – Gefahren- und Informationssignale)

DIN 32 974 (Akustische Signale im öffentlichen Bereich)

DIN EN ISO 7731 (Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten)

DIN EN ISO 24 500 (Akustische Signale für Konsumgüter)

DIN EN ISO 24 501 (Schalldruckpegel von akustischen Signalen für Konsumgüter)









DIN Fachbericht 124 (Leitsätze zur Gestaltung barrierefreier Produkte)

Entwicklung technischer Produkte derart, dass möglichst alle Menschen diese Produkte bestimmungsgemäß nutzen können

Beachtung der folgenden auditiven Fähigkeiten:

- Lautheitsempfinden: vermindert, aber durch die Hörhilfe z.T. ausgeglichen
- Eingeschränkter Frequenzbereich
- Fähigkeit zur Selektion von Signalen (nimmt mit zunehmendem Alter ab): reduziert
- Fähigkeit zur akustischen Ortung: reduziert

Empfehlungen für die Gestaltung akustischer Feedbacks

- Schallpegel am Ohr des Nutzers 55 dB(A) bis 65 dB(A)
- Signal-Rausch-Verhältnis von mindestens 10 dB(A)
- Frequenzbereich von Tonsignalen zwischen 300 Hz und 2 kHz
- Kombination unterschiedlicher Frequenzen zur leichteren Erkennbarkeit
- eindeutig, intuitiv, gebräuchlich und ggf. eindeutig voneinander unterscheidbar







Übersicht

- 1) Einleitung
- 2) Grundlagen des Hörens
- 3) Psychoakustik Was ist das?
- 4) Anforderungen an akustische Feedbacks
- 5) Untersuchung akustischer Feedbacks von Medizinprodukten
- 6) Fazit







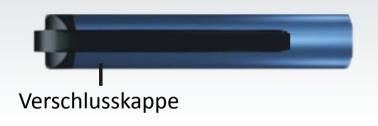


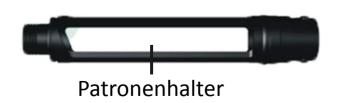
- Untersuchungsgegenstand
- Aufnahme akustischer Feedbacks
- Psychoakustische Analysen
- Durchführung subjektiver Befragungen

Mehrfachdosis-Behälter

Kanülenbasiertes Injektionsgerät mit erneuerbarem Behälter

Jeder Behälter hält Mehrfachdosen bereit, deren Größe feststehend oder variabel (durch den Benutzer vorgewählt) sein kann.







Halbautomatischer Insulin-Pen







Mario Penzkofer | Arbeitswissenschaft/Ergonomie | Universität Siegen

Aufnahme akustischer Feedbacks

Messumgebung:

Reflexionsarmer Schallmessraum nach DIN 45 635 Teil 1 (Halbraum, lichte Maße h x b x t = 3,25m x 4,5m x 3,5m, untere Grenzfrequenz: 125 Hz)

Messsystem:

Binaurales Kunstkopfsystem Head Acoustics HMS II/2

Berücksichtigung der menschlichen Anatomie und Höreigenschaften

Messbedingungen:

Abstand des Mikrofons zur Schallquelle: 50 cm

Auslösung: von Hand im Umfassungsgriff

Handgröße: normal







Aufnahme akustischer Feedbacks

Messung von

- "Klickgeräuschen" beim Einstellen der Dosis (6 Soundfiles)
- "Auslösegeräuschen" beim Injizieren der Dosis (8 Soundfiles)
- "Endgeräuschen" nach vollständiger Injektion (7 Soundfiles)



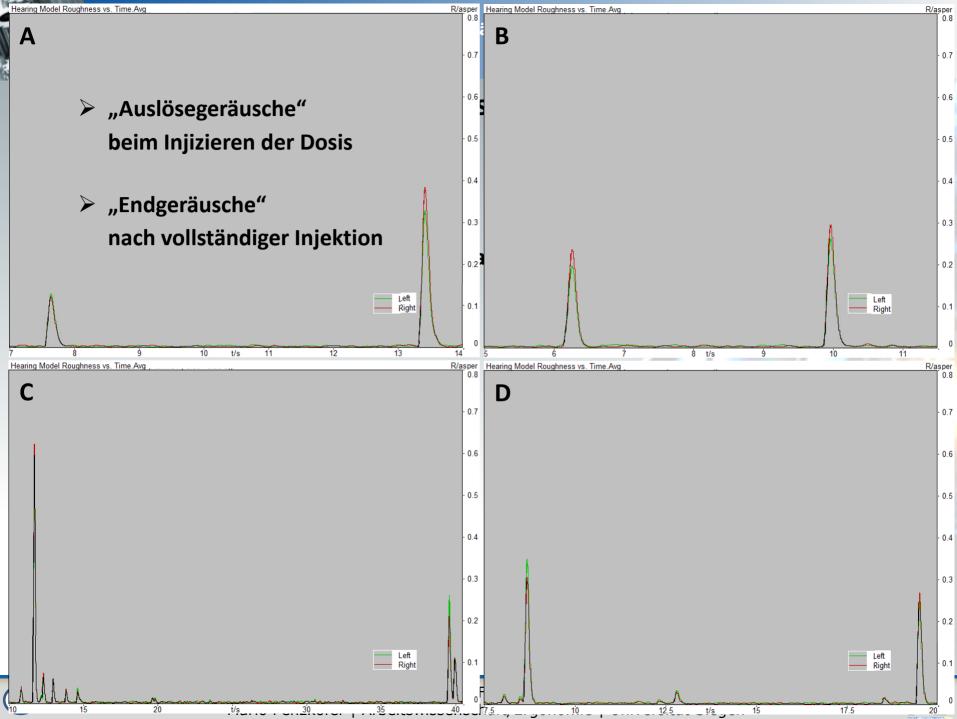


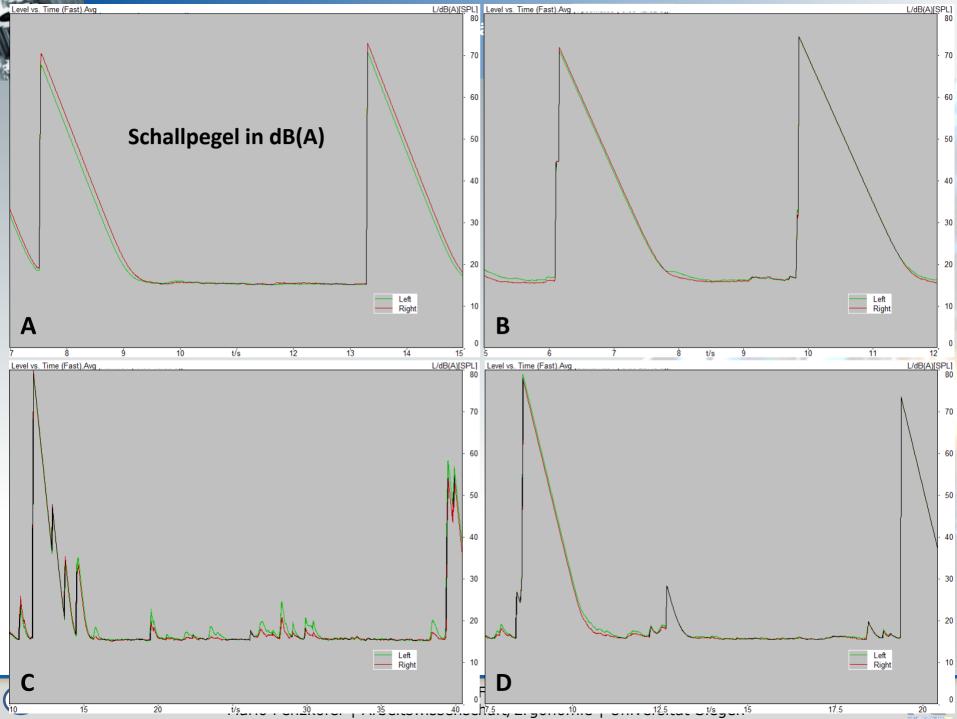
Psychoakustische Analysen

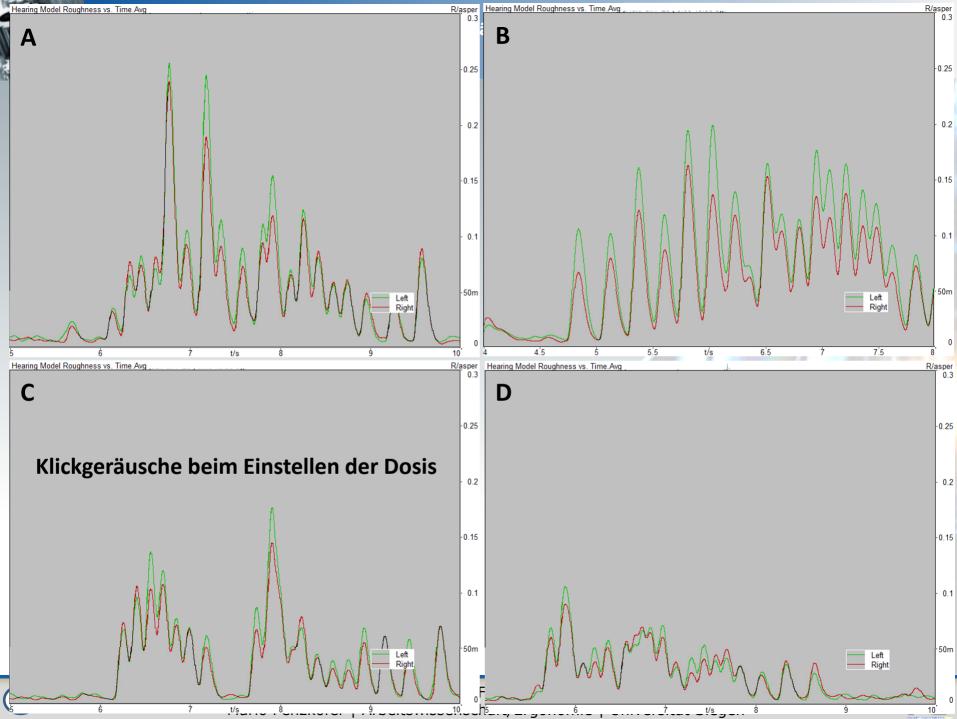
Rauigkeit:

raue Schalle werden oft auch als "unangenehm" bezeichnet















> Durchführung subjektiver Befragungen

31 Probanden (männlich/weiblich im Alter von 20-30 Jahren)

Audiometrie:

Feststellung der Hörfähigkeit (direkt vor den Hörversuchen, Dauer ca. 20 min)

Präsentation der "Betriebsgeräusche" (insgesamt 21 Soundfiles) über Kopfhörer (geschlossenes Modell: Beyerdynamics DT770 pro – 80 Ohm)

Fragebogen:

- personenbezogene Daten
- Empfindungen
- > aber auch:
 - Bedeutungszuordnung
 - Wiedererkennungswert
 - Dringlichkeit









Durchführung subjektiver Befragungen

Fragebogen:

- > Ist Ihr Gehör beeinträchtig? Wenn ja, wie? Gibt es Vorerkrankungen?
- Welche Art von Musik hören Sie gerne?
- ➤ Wie viele Stunden Musik hören Sie im Durchschnitt täglich? Über Kopfhörer?
- ➤ Wie oft besuchen Sie Musikveranstaltungen?

Bewerten Sie Ihre aktuelle Verfassung!

ruhig	4	3	2	1	0	1	2	3	4	erregt
traurig	4	3	2	1	0	1	2	3	4	fröhlich
gelangweilt	4	3	2	1	0	1	2	3	4	interessiert
müde	4	3	2	1	0	1	2	3	4	hellwach
entspannt	4	3	2	1	0	1	2	3	4	angespannt
lustlos	4	3	2	1	0	1	2	3	4	motiviert
abgelenkt	4	3	2	1	0	1	2	3	4	konzentriert

Ausprägungen:

0: weder noch

1: etwas

2: ziemlich

3: bspw. ruhig bzw. erregt

4: sehr



Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Department MASCHINENBAU





Untersuchung akustischer Feedbacks

Durchführung subjektiver Befragungen

4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4

Fragebogen:

leise

									Lautstarke
dezent	4	3 2	2 1	. 0	1	2	3 4	auffällig	
schwach	4	3 2	2 1	. 0	1	2	3 4	kraftvoll	
unangenehm	4	3 2	2 1	. 0	1	2	3 4	angenehm	leiser 4 3 2 1 0 1 2 3 4 lauter
tief	4	3 2	. 1	0	1	2	3 4	hoch	Frequenz
						$\overline{}$			FIEUUEIIZ
dunkel		3 2	. 1	. 0	1	2	3 4	hell	riequenz
dunkel beruhigend	4	3 2	╬		1	2	3 4	hell anregend	riequenz
	4 3		. 1	0	1 1 1				riequeiiz

scharf stumpf 3 2 1 0 2 3 4 wohltuend lästig 3 friedlich aggressiv 3 0 künstlich natürlich 0 2 3 4

Klangfarbe







Durchführung subjektiver Befragungen

Fragebogen:



scharf stumpf 3 2 1 0 2 3 4 wohltuend lästig 0 3 4 friedlich aggressiv 2 1 3 4 0 künstlich natürlich 3 2 2 3 1 0 4

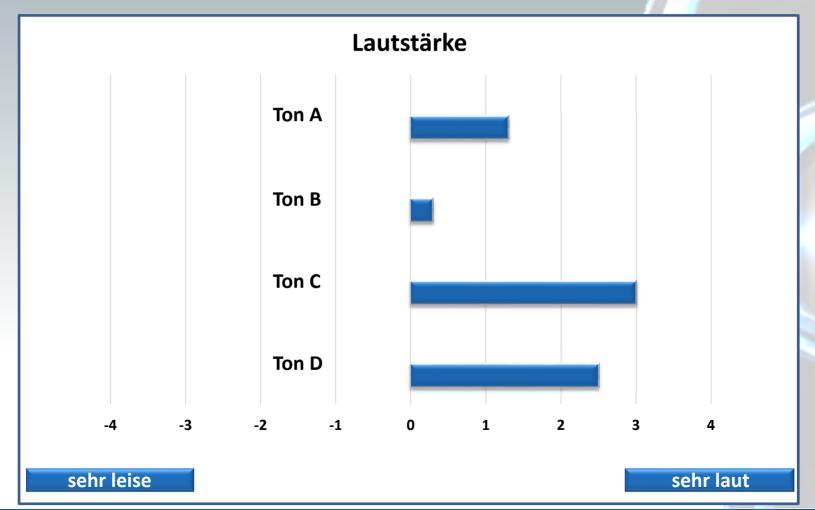
Klangfarbe



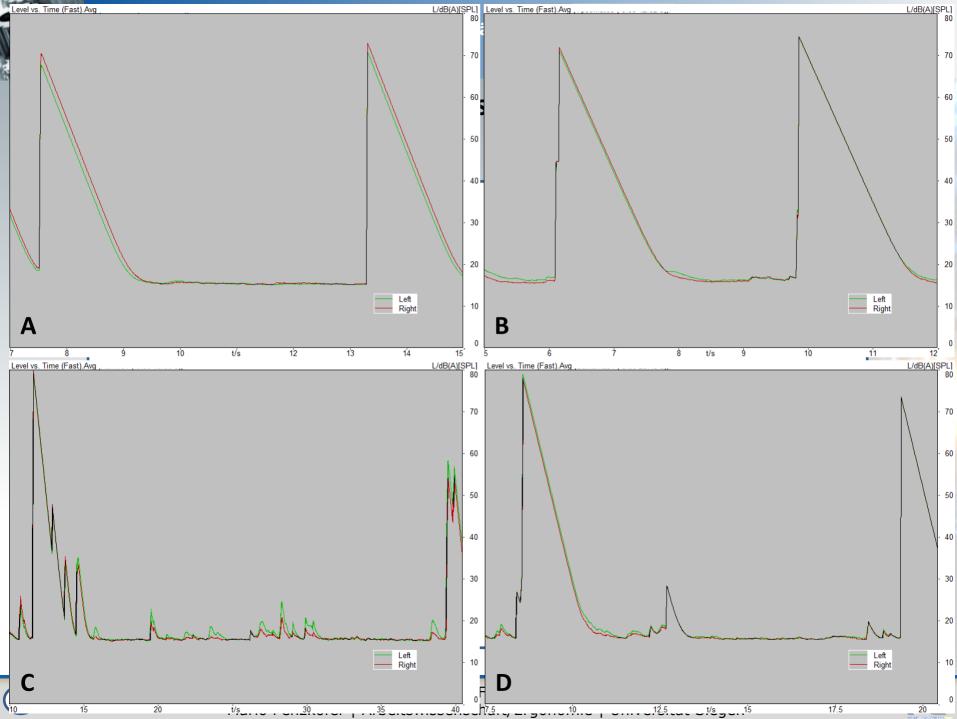








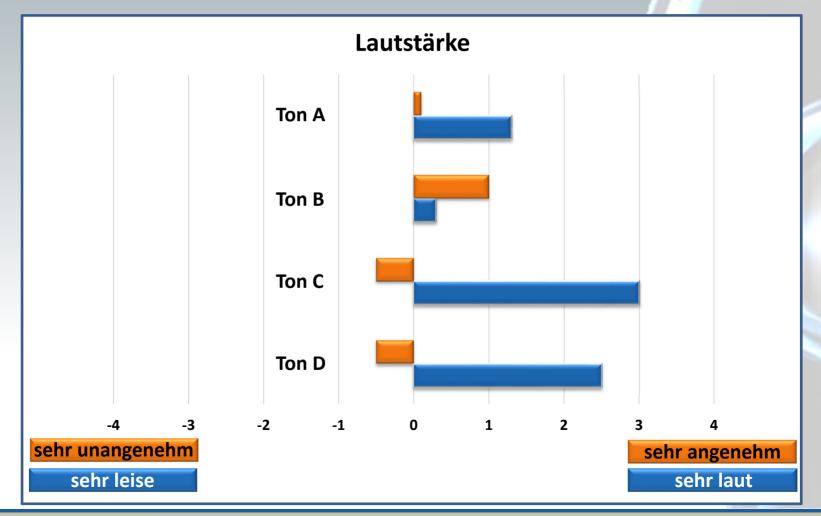










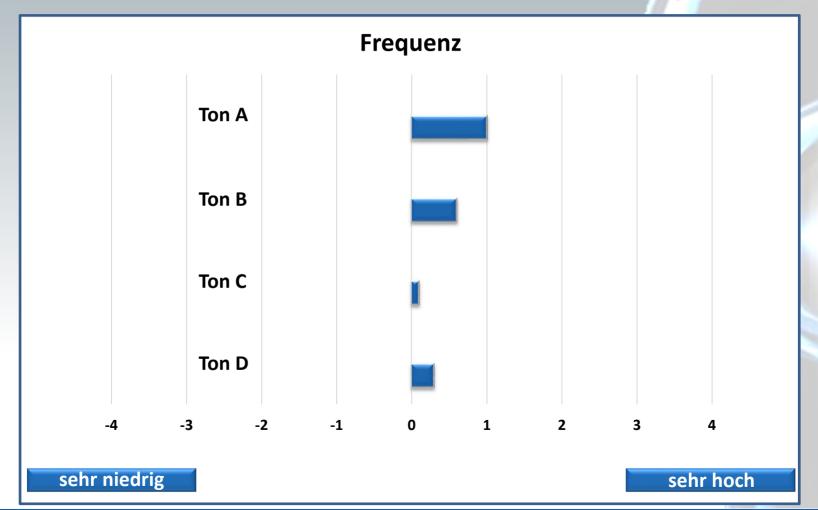










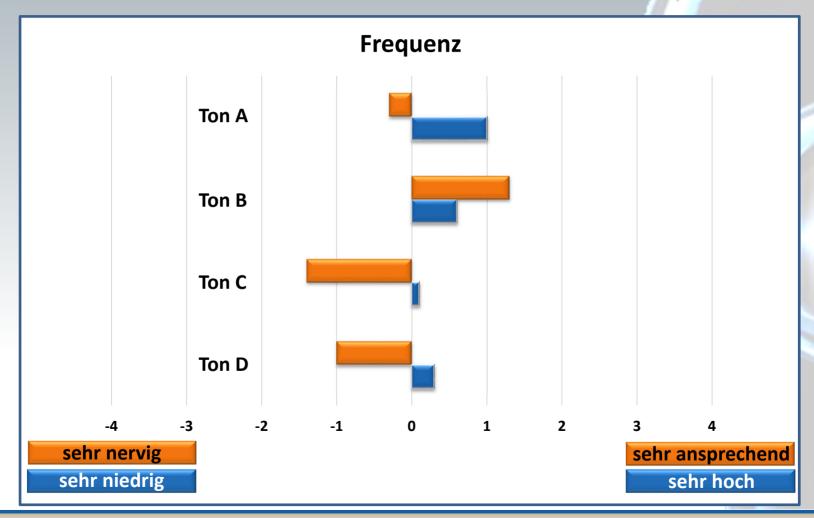










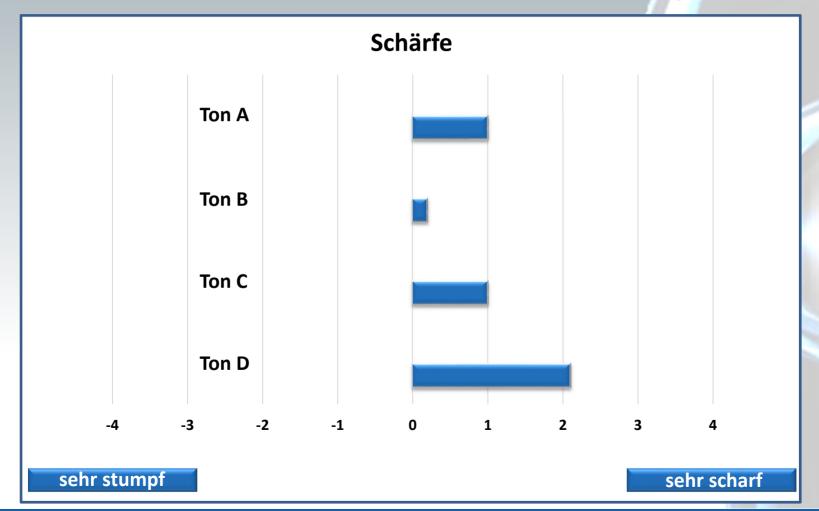










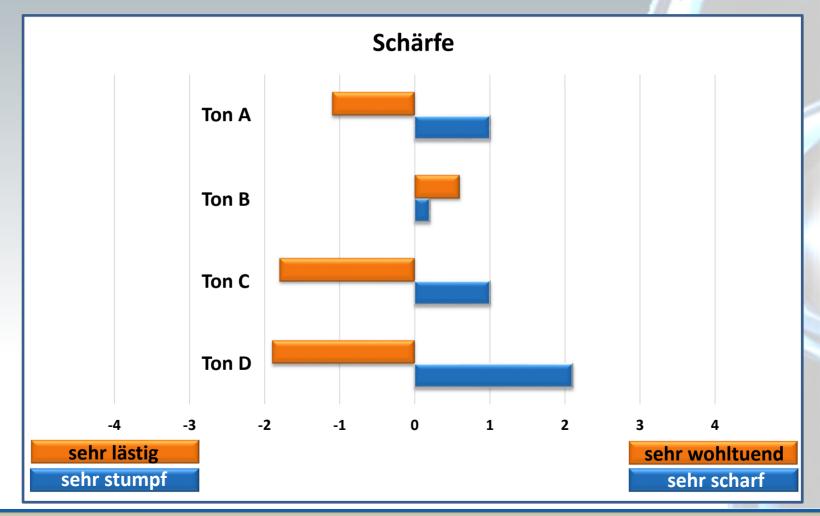










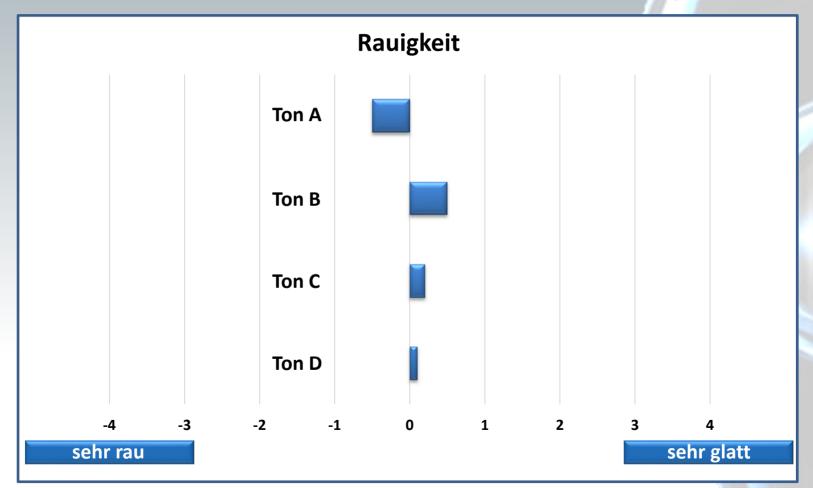




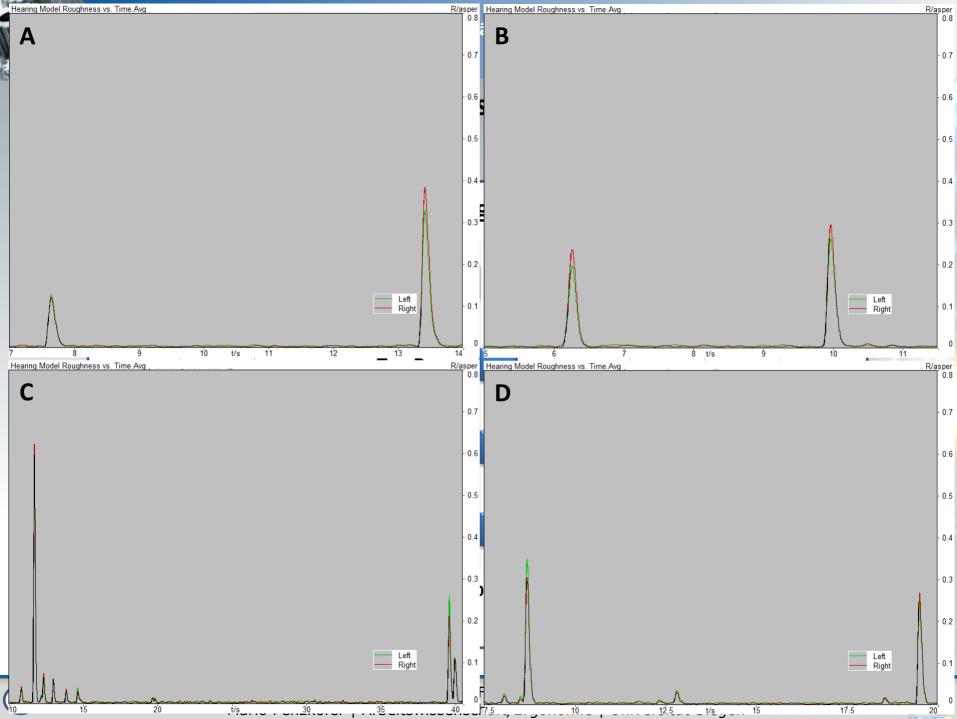








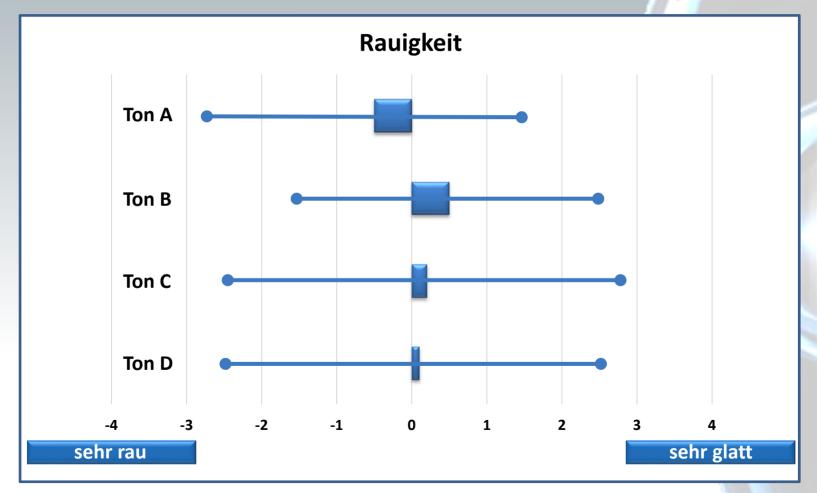










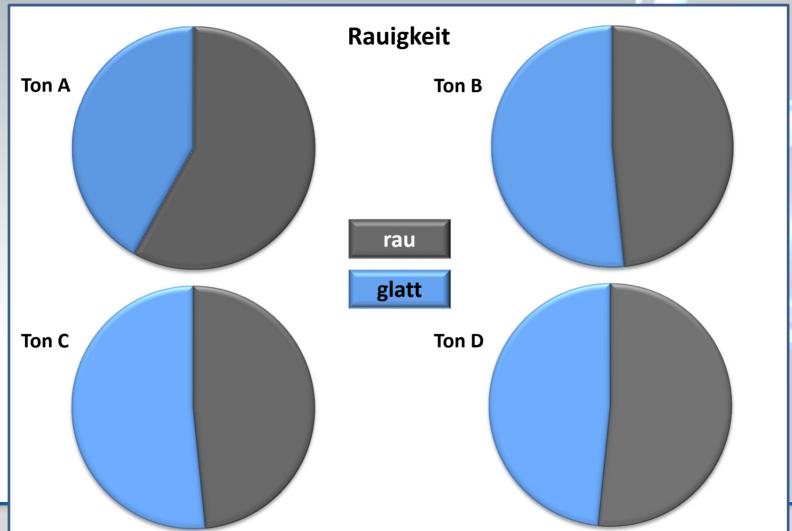










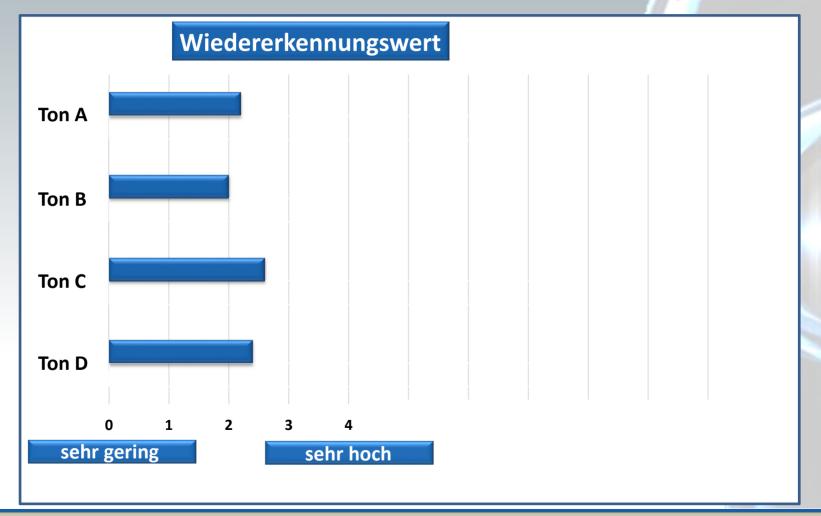










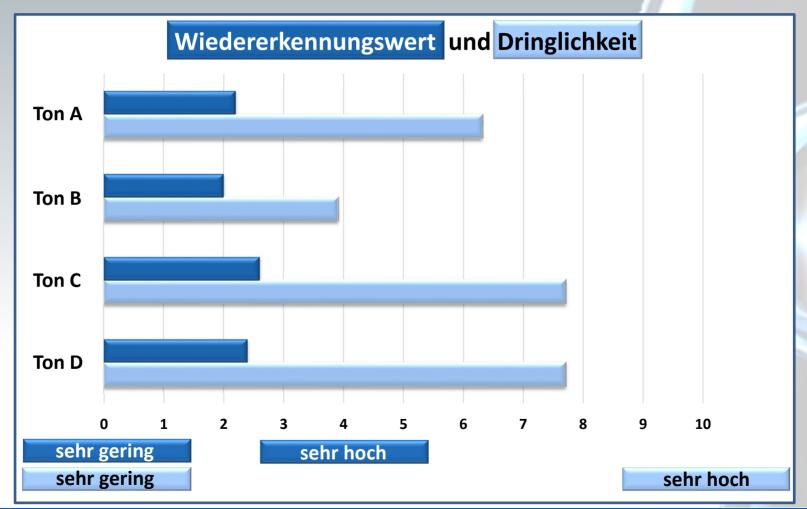










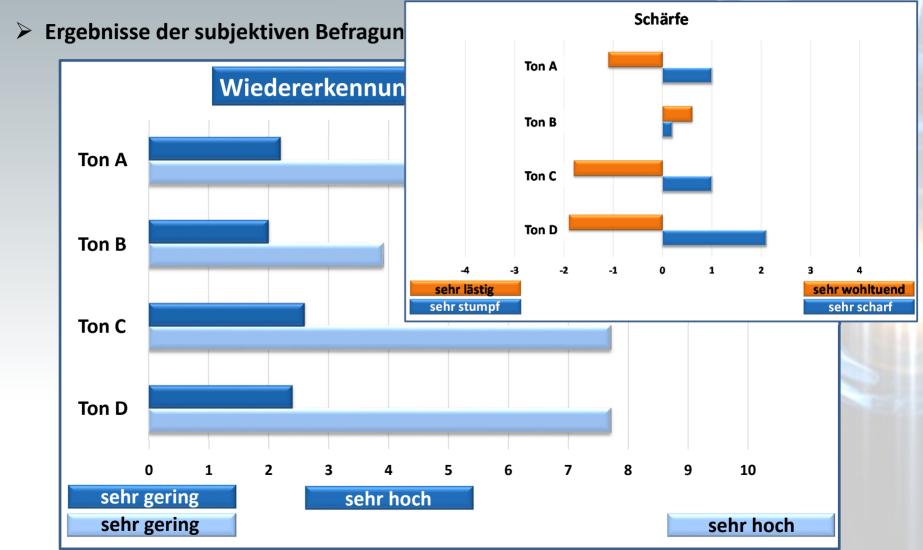




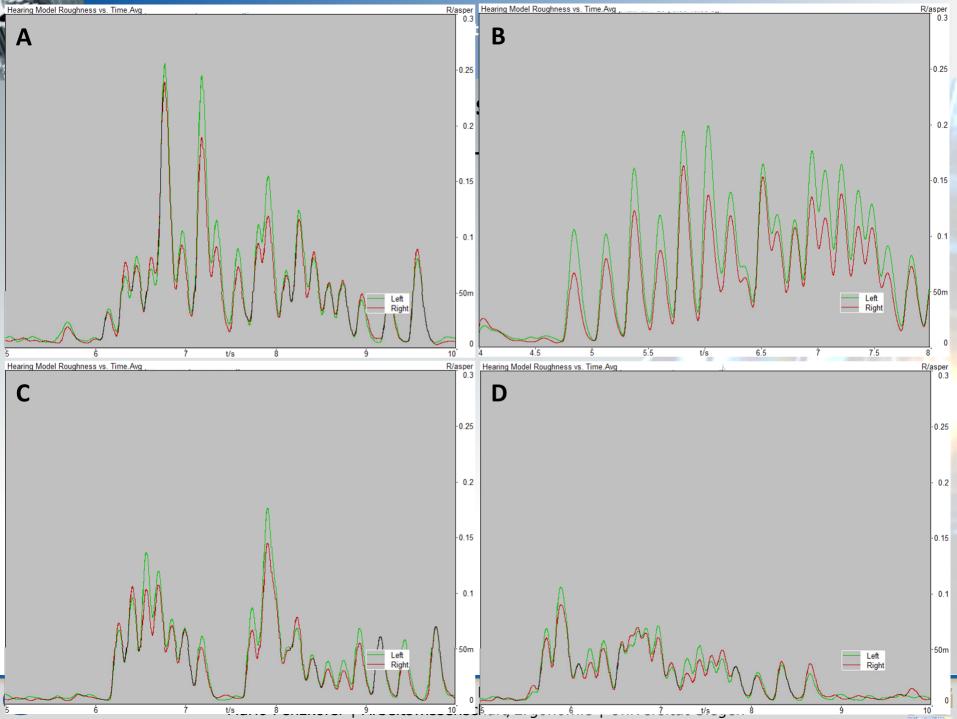


















> Ergebnisse der subjektiven Befragungen – Geräusche beim Einstellen der Dosis

Funktion	Ton A	Ton B	Ton C	Ton D
Zunahme eines Vorgangs	42%	32%	32%	42%
Abnahme eines Vorgangs	13%	7%	10%	3%
Einstellung eines Zustands	32%	48%	32%	48%
sonstige	13%	13%	26%	7%

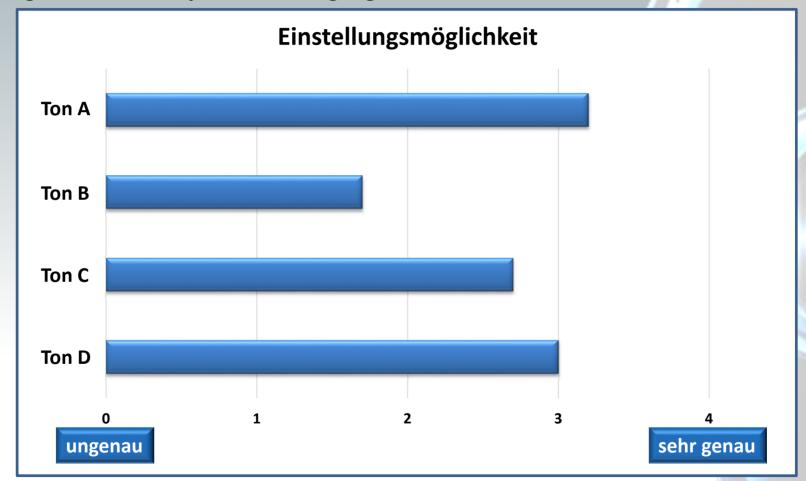








Ergebnisse der subjektiven Befragungen – Geräusche beim Einstellen der Dosis









Übersicht

- **Einleitung**
- 2) Grundlagen des Hörens
- Psychoakustik Was ist das?
- 4) Anforderungen an akustische Feedbacks
- 5) Untersuchung akustischer Feedbacks von Medizinprodukten
- **Fazit**











Fazit

- Psychoakustische Analysen erlauben die quantitative und qualitative Bewertung von akustischen Feedbacks.
 - Mathematische Berechnungen der Kenngrößen sollten durch subjektive Befragungen gestützt/ergänzt werden.
 - Nur ein großes Probandenkollektiv liefert aussagekräftige Daten.
 - Schulung der Probanden im Vorfeld sinnvoll.
- > Die Ergebnisse liefern Anhaltspunkte zur Optimierung der Geräusche.
- "Dilemma des Sounddesigns"
 - Als angenehm empfundene Geräusche haben keinen besonders hohen Wiedererkennungswert,
 - dennoch sollen Schärfe und Rauigkeit möglichst vermieden werden.
- > Schwierigkeit bei der Optimierung mechanischer Feedbacks.
- > Größerer Gestaltungsspielraum durch elektronisch generierte Feedbacks möglich!









Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Universität Siegen
Arbeitswissenschaft/Ergonomie
Paul-Bonatz-Str. 9-11
57068 Siegen
www.ergonomie.uni-siegen.de

Dr.-Ing. Mario Penzkofer

penzkofer@ergonomie.uni-siegen.de
Tel. (0271) 740 - 2251

