

Tonhaltigkeit aus psychophysikalischer Sichtweise: Untersuchung zur Versuchspersoneninstruktion bei der Bewertung der Tonhaltigkeit

M. Vormann¹, A. Schick^{2*}, M. Meis², M. Klatt², V. Mellert²

¹ Fachbereich Physik, AG Akustik ² Graduiertenkolleg Psychoakustik

^{*} Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen im Fachbereich Psychologie
Carl von Ossietzky Universität, 26111 Oldenburg

Einleitung

Durch die berechnete Tonhaltigkeit (THK) nach DIN45681 [1] soll die (subjektive) Begutachtung eines Sachverständigen durch eine objektive Bewertung der THK ergänzt werden. Dabei wird zugunsten einfacher Berechenbarkeit die menschliche Wahrnehmung des Phänomens THK auf die „Berücksichtigung der besonderen Lästigkeit von tonhaltigen Geräuschen“ [1] reduziert. In der Literatur [3][4][5] wird gezeigt, daß Unterschiede zwischen berechneter und subjektiv beurteilter THK auftreten. Es wird deshalb untersucht, ob obige Vereinfachung ausreichend ist.

Tonhaltigkeit

Der Begriff THK wird im deutschsprachigen Raum definiert durch die DIN45681 [1]. Diese Definition ist implizit: „Ein Geräusch ist tonhaltig im Sinne dieser Norm, wenn es einen Ton enthält, dessen Pegel den Pegel der Geräuschanteile in der Frequenzgruppe um die Tonfrequenz ohne den Ton um weniger als 6 dB unterschreitet. ... In den [subjektiven] Beurteilungsverfahren ist der Begriff Tonhaltigkeit recht weit gefaßt. So sind z. B. auch Tonzuschläge für heulende oder kreischende Töne anzuschlagen“ [1]. Der *Tonzuschlag* ist folgendermaßen definiert [1]: „Tonzuschlag ist eine Korrekturgröße zum äquivalenten Dauerschallpegel, die bei der Bildung von Beurteilungspegeln zur Berücksichtigung der besonderen Lästigkeit tonhaltiger Geräusche angewandt wird“.

Hier wird deutlich, daß die so definierte THK implizit als negative Eigenschaft des Geräusches festgelegt ist. Die THK als solches spielt nur eine untergeordnete Rolle, die eigentliche Meßgröße ist die Lästigkeit. Sie wird durch die Vergabe eines Malus, des Tonzuschlages, gemessen.

Für das in der DIN45681 [1] verwendete Tone-to-Noise-Verfahren müssen die tonalen Komponenten von Geräuschen bzgl. ihrer Frequenz und Amplitude (quasi-) stationär sein und dürfen eine Frequenz von 100 Hz nicht unterschreiten. Auch andere Verfahren zur Berechnung der THK wie das Prominence-Ratio-Verfahren [2] oder die in [3][4][5] beschriebenen Verfahren unterliegen ähnlichen Einschränkungen. Auch das generelle Problem bzgl. der Definition der *subjektiv empfundenen* THK bleibt ungeklärt. Es wird deshalb versucht THK, unabhängig von den speziellen Berechnungsverfahren, psychophysikalisch zu erfassen und zu beschreiben, um so eine wahrnehmungbezogene Definition des *Höreindrucks* THK zu erhalten. Insbesondere soll unter THK nicht mehr implizit Lästigkeit, sondern das Auftreten tonhaltiger Komponenten verstanden werden.

Damit wird der Vorgang der Vergabe eines Malus in zwei getrennte Stufen, vgl. Abb.1, aufgeteilt. In einem ersten Schritt wird nur die THK beurteilt, woraus ein spezifisches Maß hierfür hervorgeht. Anhand dieses Maßes wird dann in einem zweiten Schritt die Lästigkeit ermittelt.

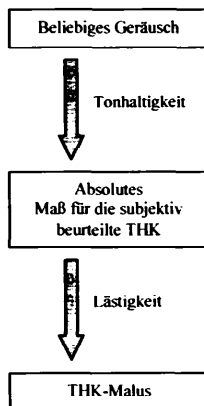


Abb. 1: Trennung von THK und Lästigkeit

Orientierung für subjektive Beurteilung der Tonhaltigkeit

Bei der subjektiven Beurteilung der THK von Geräuschen tritt das Problem auf, daß es außer der DIN45681 keine (allgemeingültige) Definition der THK gibt. Werden Bewertungsexperimente mit Versuchspersonen (VP) durchgeführt, so wissen sie in der Regel nicht unmittelbar (vgl. Ergebnisse), was der Begriff THK für eine Hörempfindung beschreiben soll („Laien“). Eine Ausnahme bilden sog. „Experten“, die die DIN45681 kennen und die sich den entsprechenden Höreindruck vorstellen können. Die Schwierigkeit besteht darin, VP die THK zu definieren, bzw. durch Hörbeispiele den *Höreindruck* THK zu veranschaulichen (Orientierung). Dressen/Weber [3][4] sowie Ostendorf/Weber [5] benutzen dazu repräsentative Geräuschbeispiele aus einem Satz von natürlichen und künstlichen Geräuschen, die anschließend kategorial (5 Stufen) bewertet werden. Seiter et al. [6] orientieren die VP ebenfalls mit repräsentativen Geräuschbeispielen und führen eine Größenschätzung ohne Ankerschall durch. Beckenbauer [7] verwendet Größenschätzung mit Ankerschall, läßt jedoch die VP direkt die Lästigkeit von Industriegeräuschen bewerten. Ellermeier et al. [8][9] benutzen das Freizeichen beim Telefon als Orientierung zur THK (6 stufige Kategorienskalerung, bzw. BTL skalierte Paarvergleiche). McKenzie/ Bullmore [10] orientieren ihre VP nicht mittels Beispielen, sondern lassen die Geräusche von Windkraftanlagen zuerst kategorial (3 Stufen) skalieren und anschließend auf gleiche Lästigkeit mit einem Referenzgeräusch einstellen.

Hypothese 1:	THK ist eine Empfindungsgröße nach Zwicker
Hypothese 2:	THK ist eine universelle Größe und kann sich negativ aber auch positiv (z.B. in der Musik) auf die Beurteilung von Geräuschen auswirken
Frage 1:	Kann THK nur sinnvoll von „Experten“ beurteilt werden, bzw. ist das ausreichend und zweckmäßig für die Praxis?
Frage 2:	Ist THK überhaupt ein sinnvoller Begriff, zur Beschreibung der subjektiven Tonhaltigkeit oder sind Alternativen wie „Tonstärke“, „Ausprägtheit von Tönen“, „Tonartigkeit“, „Tonhaftigkeit“, o.ä. besser geeignet? (Vgl. englisch sprachige Literatur: tonality, tonalness, tonal noise, etc.)
Frage 3:	Ist ein reiner Ton nach diesem Konzept maximal tonhaltig oder handelt es sich hierbei um eine andere Empfindung als THK?
Frage 4:	Wie ist die Abhängigkeit der <i>empfundenen</i> THK von physikalischen Größen: Frequenz, Lautheit, spektrale Verteilung, Zeitverlauf, ... ?
Frage 5:	Existiert ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der THK und der Lästigkeit [1] und welchen Einfluß besitzt die Darbietungsdauer eines tonhaltigen Geräusches auf diese Abhängigkeit?

Tabelle 1: Hypothesen und Fragen zur empfindungsbezogenen Tonhaltigkeit

Es stellt sich die Frage, ob der *Höreindruck* THK allgemeingültig definiert werden kann. Dazu sollen die Hypothesen und Fragen (Tab. 1) geklärt werden, die in der Literatur nicht beantwortet sind und sich aus Voruntersuchungen bzw. durch Befragungen von VP ergeben haben.

Voruntersuchung zur Orientierung der VP

Das Ziel besteht darin, geeignete Geräusche zur Orientierung von VP für THK-Beurteilungen zu erhalten. Dafür werden 16 'Laien' und 16 'Experten' (jeweils normalhörend) 4 Geräusche (rosa Rauschen (RR) mit einem Sinuston bei 700 Hz, Dauer 30 s, Zeitverlauf wie in Abb. 2) in statistischer Reihenfolge (lateinische Quadrate) über Kopfhörer bei gleicher Lautheit von 10 sone dargeboten. Die VP sollen auf 4-stufiger Kategorienskala (Abb. 3) ankreuzen: „wie geeignet halten sie die dargebotenen Geräusche, den Höreindruck THK Menschen zu demonstrieren, welche die Definition dieses Begriffes nicht kennen?“.

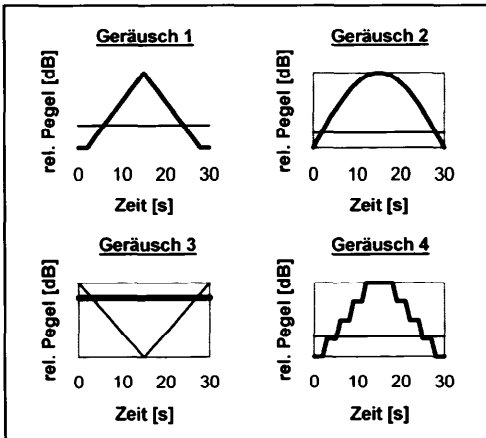


Abb. 2: Zeitverläufe der Geräusche. fette Linien bedeuten Pegel des Sinustones, dünne Linien Pegel des RR.

Die 'Experten' führen den Versuch 2 mal mit 1 Tag Abstand durch, ihnen werden keine Orientierungsgeräusche dargeboten. Den 'Laien' werden die 4 Geräusche 2 mal hintereinander in unterschiedlicher Reihenfolge vorgespielt, sie beurteilen nur die 2. Darbietung.

Ergebnisse

Der überwiegende Teil 'Laien' kennt im Vorfeld dieses Versuchs den Höreindruck THK; nicht aber den Begriff dafür. 'Laien' betrachten den Versuch anfangs als Detektionsexperiment, nach der Orientierung ändert sich dies. Das zeigt, daß THK kein Begriff des täglichen Lebens ist. Um- oder Beschreibungen des Höreindrucks THK werden von den 'Laien' jedoch schnell verstanden, hilfreich hierfür sind Beispiele.

Die VP sind sich einig, daß alle dargebotenen Geräusche prinzipiell dazu geeignet sind, als Beispiel für den Höreindruck THK zu dienen (Abb. 4: 'Experten': ▲ 1. Beurteilung, ● 2. Beurteilung und ■ 'Laien'. Jeweils ca. 85% der Urteile liegen in den Kategorien 2, 3 und 4). Auffällig ist, daß nahezu gleiche Kategorienhäufigkeit angegeben werden, vgl. Abb. 4.

Werden aus den kategorialen Urteilen die Präferenzen extrahiert, so erkennt man einen erheblichen Unterschied zwischen 'Laien' und 'Experten', Abb. 5. Aus den Präferenzurteilen der 'Experten' läßt sich kaum ein Unterschied zwischen der 1. und 2. Messung ablesen. Im Gegensatz dazu weichen die Präferenzurteile der 'Laien' von denen der 'Experten' deutlich ab.

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, daß zunächst eine sinnvolle, an der Wahrnehmung des Menschen orientierte Definition für die subjektive THK erforderlich ist, um Literaturdaten vergleichbar zu machen und ein einheitliches Meßverfahren zu erhalten.

Ausgehend von dieser subjektiven Definition können dann die

objektiven Berechnungsverfahren an die Daten von VP angepaßt werden. Insbesondere die Berücksichtigung der zeitlichen Struktur und Dauer tonhaltiger Geräusche ist dabei von Interesse. Aus den Ergebnissen des objektiven Berechnungsverfahrens kann anschließend die Lästigkeit abgeleitet werden.

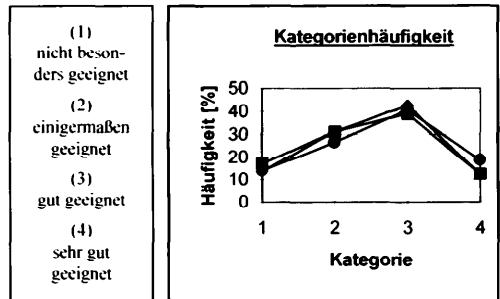


Abb. 3: Kategorien Abb. 4: Kategorienhäufigkeit der Urteile

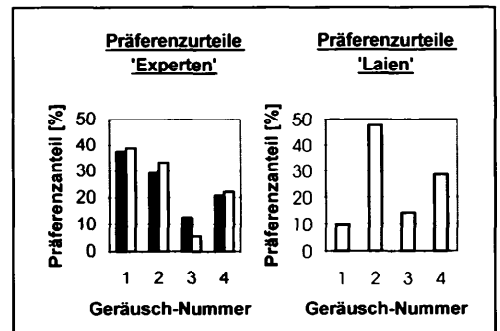


Abb. 5: Präferenzurteile: links: 'Experten', schwarz: 1. Beurteilung, weiß 2. Beurteilung; rechts: 'Laien', grau

- [1] DIN 45681 (Entwurf) "Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschmissionen", Januar 1992
- [2] ANSI S1.13-1995 (ASA118-1995): „Measurement of Sound Pressure Levels in Air“ 1995
- [3] Dreesen, Weber: „Objektive und subjektive Beurteilung der Tonhaltigkeit“, DAGA 94, S. 1129-1132, 1994
- [4] Dreesen, Weber: „Validierung von Tonhaltigkeitsberechnungsverfahren“, DAGA 95, S. 835-838, 1995
- [5] Ostendorf, Weber: „Berechnung der THK und subjektive Beurteilungen im Labor am Beispiel von Windenergieanlagen-geräuschen“, DAGA98, in diesem Band
- [6] Seiter, Stemplinger, Beckenbauer: „Untersuchung zur THK von Geräuschen“ DAGA 96, S. 238-239, 1996
- [7] Beckenbauer: „Anwendung der DIN 45681 (Entwurf) in der Praxis“ DAGA 93, S. 620-623, 1993
- [8] Ellermeyer, Daniel, Gerl, Zenger: „Skalierung der THK von Reifengeräuschen: Vergleich von BTL-Skalierung, Größenschätzung und Kategorisierung“, DAGA98, in diesem Band
- [9] Daniel, Vormann, Ellermeyer: „Berechnung der THK von Reifengeräuschen mit einem Modell der Tonhöhenwahrnehmung“ DAGA98, in diesem Band
- [10] McKenzie, Bullmore: „Verification of Objective Assessment Method for Tonal Noise from Wind Farms“, InterNoise 96 S. 2115-2120, 1996