

Eberhard Zwicker - Zum 100. Geburtstag

Hugo Fastl

Am 15. Januar 2024 wäre Eberhard Zwicker 100 Jahre alt geworden. Aus diesem Anlass soll hier an bis heute fortwirkende Leistungen des Gründers der Münchener Schule der Psychoakustik erinnert werden. Die Darstellung basiert wesentlich auf detaillierteren Ausführungen von H. Fastl aus [1] sowie P. Költzsch aus [2].

Eberhard Zwicker – for the 100th birthday

Eberhard Zwicker would have been 100 years old on January 15, 2024. On this occasion, we would like to commemorate the achievements of the founder of the Munich School of Psychoacoustics, having an impact until today. The presentation is largely based on more detailed publications by H. Fastl from [1] and P. Költzsch from [2].

Lebenslauf



Abb. 1: Eberhard Zwicker an seinem Schreibtisch, © T. Zwicker

Eberhard Zwicker wurde am 15. Januar 1924 in Öhringen (Baden-Württemberg, bei Heilbronn) geboren, er ist nach schwerer, geduldig ertragener Krankheit am 22. November 1990 in Icking (bei München) verstorben.

Von 1933–1941 besuchte Zwicker das Gymnasium in Bad Cannstatt, legte dort 1941 die Reifeprüfung ab und wurde unmittelbar danach als Funker zur Wehrmacht einberufen.

Nach dem 2. Weltkrieg studierte Eberhard Zwicker von 1946–1950 Physik und Elektrische Nachrichtentechnik an der TH Stuttgart (Dipl.-Ing. 1950). 1952 promovierte er an der TH Stuttgart mit der Dissertation „Die Grenzen der Hörbarkeit der Amplituden- und Frequenzmodulation von Tönen und ihre Berücksichtigung in der Übertragungstechnik und der Hörphysiologie“.

Der Überlieferung nach wurde dabei das Fundament seiner lebenslangen Beschäftigung mit der Psychoakustik gelegt. Im Institut von Richard Feldtkeller

der TH Stuttgart sollte in den 1950er Jahren ein Projekt zur Verbesserung der Qualität der Magnetbandaufzeichnung bearbeitet werden. Eberhard Zwicker ist diese Aufgabe nicht wie üblich mit rein technischen Untersuchungen angegangen, sondern hat die Lösung in Studien zum Empfänger der Information, dem menschlichen Gehör gesucht.

Auf diesem Konzept fußt auch seine Habilitationsschrift von 1956 „Die elementaren Grundlagen zur Bestimmung der Informationskapazität des Gehörs“ [3]. Sein Kernsatz „Eine optimale Übertragung ist dann erreicht, wenn all das, was das Gehör aufnehmen kann, auch übertragen wird, nicht mehr und nicht weniger“ gilt auch heute noch als Maxime moderner Verfahren der Nachrichtenübertragung und Speicherung.

Zwischen 1957 und 1964 wurde Eberhard Zwicker zu Forschungsaufenthalten in die USA eingeladen:

- Harvard University, Cambridge (Mass.), Psychoacoustics Laboratories, Forschungen mit Nobelpreisträger Georg von Békésy (1899–1972) und Stanley Smith Stevens (1906–1973),
- Syracuse University, Syracuse (N. Y.), Bio-Acoustics Laboratory
- Bell Telephone Laboratories, Murray Hill (N. Y.).

Abb. 2: Zwicker bei den Bell Labs, © T. Zwicker

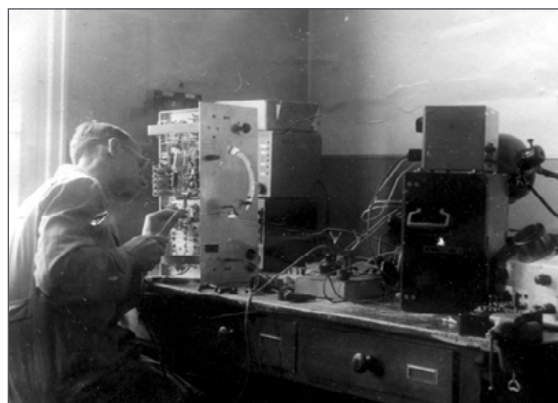




Abb. 3: Eberhard Zwicker mit Bundesverdienstkreuz,
© T. Zwicker

An der TH Stuttgart war Eberhard Zwicker zunächst Wissenschaftlicher Assistent (1952–1956). 1956 erteilte ihm die TH Stuttgart die *Venia legendi* für Elektroakustik, die er ab 1957 als Privatdozent wahrnahm. In die Zeit fielen einige der erwähnten Auslandsaufenthalte. 1961 wurde er Wissenschaftlicher Rat und hatte anschließend dort diese Stelle und die eines apl. Professors (1962–1967) inne.

1967 wurde Eberhard Zwicker zum Ordinarius für Elektroakustik und Direktor des neuen Instituts für Elektroakustik der TH München berufen. Es gelang ihm, dieses Institut zu einer national und international hochangesehenen Lehr- und Forschungsstätte für Psychoakustik aufzubauen und die sog. „*Münchener Schule der Psychoakustik*“ zu begründen. [1]

1977–1979 war Eberhard Zwicker Dekan der Fakultät für Elektrotechnik der TU München. Im Zeitraum zwischen 1964–1984 übte er seine Forschungs- und Lehrtätigkeit zeitweise, z. T. einsemestrig, in England, Japan, Frankreich, Schweiz, den Niederlanden, Belgien, Spanien, Polen, Tschechoslowakei, Ungarn, Italien, Österreich und Argentinien aus.

Eberhard Zwicker hat in seine Forschungstätigkeit viele Nachwuchswissenschaftler und -wissenschaftlerinnen einbezogen; in seinem Wirkungszeitraum an der TU München betreute er 35 Doktoranden und zahlreiche Habilitanden. Die Münchner Schule der Psychoakustik hat in dieser Zeit über 600 Publikationen veröffentlicht, die meisten davon mit Zwicker als hauptverantwortlichem Autor oder Alleinautor [2].

Ehrungen

- 1982 Ehrenmitgliedschaft der Audio Engineering Society
- 1987 Silver Medal in Psychological and Physiological Acoustics der Acoustical Society of America (ASA), Auszeichnung mit dieser Medaille als erster Nichtamerikaner
- 1988 Karl-Küpfmüller-Ring der TH Darmstadt, Satzung: Verleihung als „*außerordentliche Ehrung an Wissenschaftler, die durch ihre Forschungstätigkeit die wissenschaftlichen Erkenntnisse auch außerhalb ihres Fachgebietes gefördert und die wissenschaftliche oder technische Entwicklung maßgeblich beeinflusst haben*“
- 1988 Förderpreis Stiftung „Forschungsgemeinschaft Deutscher Hörgeräte-Akustiker (FDHA)“, verliehen in Hamburg, „*in Anerkennung seiner wissenschaftlichen Leistungen, die in seinen grundlegenden, für die Hörgeräteentwicklung richtungsweisenden Beiträgen zur Nachrichtenverarbeitung im auditorischen System des Menschen ihren Niederschlag gefunden haben*“
- 1988 Bundesverdienstkreuz am Bande des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland
- 1991 (posthum) Helmholtz-Medaille der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA), erstmalige Vergabe dieser Auszeichnung, für „*herausragende Leistungen in Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Psychoakustik*“
- 1991 (posthum) AES Gold Medal Award (Audio Engineering Society), „*for his career-long outstanding contributions to the science of hearing; in particular, for his research work on loudness perception, with the concept of ‘Frequenzgruppen’ or auditory critical bandwidths and development of loudness measuring devices, for his discovery concerning temporal auditory processing, for his physical model of cochlear hydrodynamics, and for his work with cochlear transplants.*“

Berühmte Wissenschaftler erachten es als besonders große Ehre, wenn ihr Name nicht nur im Namensverzeichnis, sondern auch im Sachverzeichnis erscheint. Bei Eberhard Zwicker sind dies:

- Lautstärkeberechnungsverfahren nach Zwicker (Zwicker loudness)
- Zwicker-Ton (akustischer Nachton)

Besondere Werke

Eberhard Zwicker hat die Ergebnisse seiner Forschungsarbeiten neben Publikationen in einschlägigen Fachzeitschriften in Büchern zusammenfassend dargestellt. Hier ist insbesondere

- „*Das Ohr als Nachrichtenempfänger*“, zweite neu bearbeitete Auflage;

Autoren: Eberhard Zwicker und Richard Feldtkeller. S. Hirzel-Verlag Stuttgart, 1967 (232 Seiten und 217 Abbildungen). [4]

zu nennen, das mehrfach übersetzt wurde:

- The ear as a communication receiver. (Eberhard Zwicker and Richard Feldtkeller). Übersetzung ins Englische durch Hannes Müsch. AIP Press, Woodbury, NY 1999 (297 Seiten).
- Psychoacoustique: l'oreille, récepteur d'information (par Eberhard Zwicker, Richard Feldtkeller). Übersetzung ins Französische durch Christel Sorin. Masson, Paris 1981 (234 Seiten).
- Ucho kak priemnik informacii. (Э. Цвикер, Р. Фелдtkeller). Übersetzung ins Russische von I. D. Gurvica (Redaktion: B. G. Belkina). 2. überarbeitete und verbesserte Auflage. Izdatel'stvo Svjaž, Moskva 1971 (255 Seiten).

Bis zu seinem Tod arbeitete Eberhard Zwicker am Buch

- „*Psychoacoustics. Facts and Models*“ (Zwicker, E. and Fastl, H.). 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin, u. a. 1990 [5].

Die zusammenfassende Darstellung der Arbeiten der Münchener Schule der Psychoakustik wurde vom Autor weitergeführt und ist in folgendem Buch publiziert:

- „*Psychoacoustics. Facts and Models*“ (H. Fastl and E. Zwicker). 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin, u. a. 2007 (with 53 psychoacoustic demonstrations on CD-ROM). [6]

Contents:

- Stimuli and Procedures
- Hearing Area
- Information Processing in the Auditory System
- Masking
- Pitch and Pitch Strength
- Critical Bands and Excitation
- Just-Noticeable Sound Changes
- Loudness
- Sharpness and Sensory Pleasantness
- Fluctuation Strength
- Roughness
- Subjective Duration
- Rhythm
- The Ear's Own Nonlinear Distortion
- Binaural Hearing
- Examples of Application

Contents of CD:

- Psychoacoustic Demonstrations

Dieses Buch wurde von Professor Ke'an Chen ins Chinesische übersetzt und 2022 von der Northwestern Polytechnical University (NPU) Press, Xi'an, China publiziert.



Abb. 4 (links): Buch Zwicker/Feldtkeller [4], © S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1967

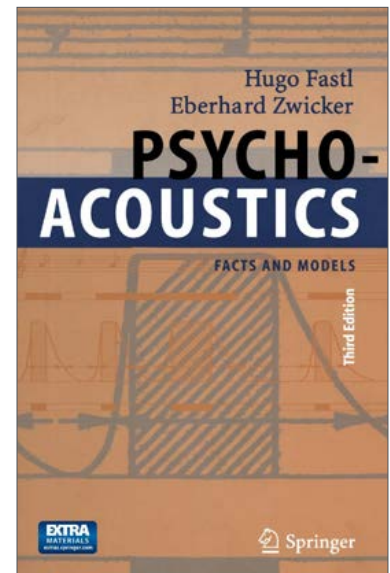


Abb. 5 (rechts): Buch Fastl/Zwicker 2007 [6], © Springer-Verlag, Heidelberg 2007

Marksteine von Zwicker in der Psychoakustik

Grundlegende psychoakustische Größen und Erkenntnisse, auf denen aktuell noch viele wissenschaftliche Arbeiten oder Verfahren aufbauen, hat Zwicker geschaffen oder diese weiterentwickelt.

Frequenzgruppe

Stark vereinfacht kann das Konzept der Frequenzgruppen folgendermaßen charakterisiert werden: Im Gehör werden Schalle durch Filter mit frequenzabhängiger Bandbreite, sogenannte Frequenzgruppen, analysiert. Unter 500 Hz weisen die Frequenzgruppen eine Bandbreite von 100 Hz auf, bei höheren Frequenzen eine Bandbreite von etwa 20 % der Mittenfrequenz [7]. Die Frequenzgruppen werden im Englischen als critical bands bezeichnet. Es ist verwunderlich, dass in neueren deutschsprachigen Publikationen die Frequenzgruppen als „kritische Bänder“ firmieren.

Bark-Skala

Werden die Frequenzgruppen lückenlos aneinandergereiht entsteht eine „gehörgerechte Frequenzskala“ die zu Ehren des berühmten Dresdener Akustikforschers Barkhausen die Bezeichnung Bark-Skala trägt. Die 32 mm Länge der Basilarmembran im Innenohr vom Helicotrema zum Ovalen Fenster werden direkt auf die Bark-Skala von 0 bis 24 Bark abgebildet [4].

Erregungsmuster

Die aus Mithörschwellen-Messungen abgeleiteten Erregungsmuster (Abb. 6) repräsentieren ein Maß für die Frequenzaufösung im Gehör; sie bilden den Ausgangspunkt zahlreicher praktischer Anwendungen.

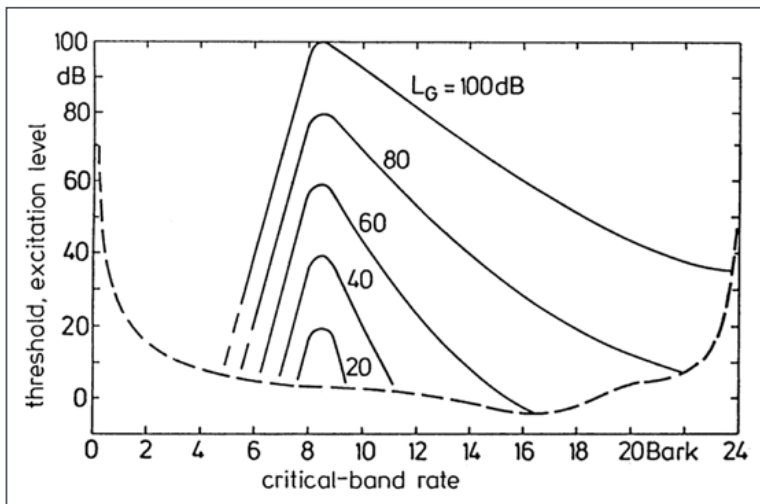


Abb. 6: Aus Mithörschwellen abgeleitete Erregungsmuster von Schmalbandrauschen bei 1 kHz mit 160 Hz Bandbreite für Pegel zwischen 20 dB und 100 dB. (nach [6])

Zwicker-Ton

Nach dem Abschalten von Breitbandrauschen mit einer spektralen Lücke erscheint ein kurzer leiser Ton mit einer Tonhöhe im Bereich der Lücke, den Zwicker 1964 entdeckt und als „negative afterimage“ beschrieben hat [8], für den sich aber international die Bezeichnung Zwicker-Ton eingebürgert hat.

Subjektive Dauer

Bei kurzen Dauern müssen für gleiche wahrgenommene Dauern die physikalischen Dauern von Pausen wesentlich länger sein als diejenigen von Impulsen. Beispielsweise erzeugt ein Impuls von 100 ms die gleiche wahrgenommene Dauer wie eine Pause von 380 ms [9].

Zwicker-Lautheit

Die Messung und Modellierung der Lautheit hat Eberhard Zwicker jahrzehntelang beschäftigt. Wesentliche Meilensteine sind in Kapitel 8 des Buches „Psychoacoustics – Facts and Models“ zusammengefasst [6]. Anhand Abbildung 7 sollen zentrale Aspekte der Berücksichtigung spektraler Effekte erläutert werden [10].

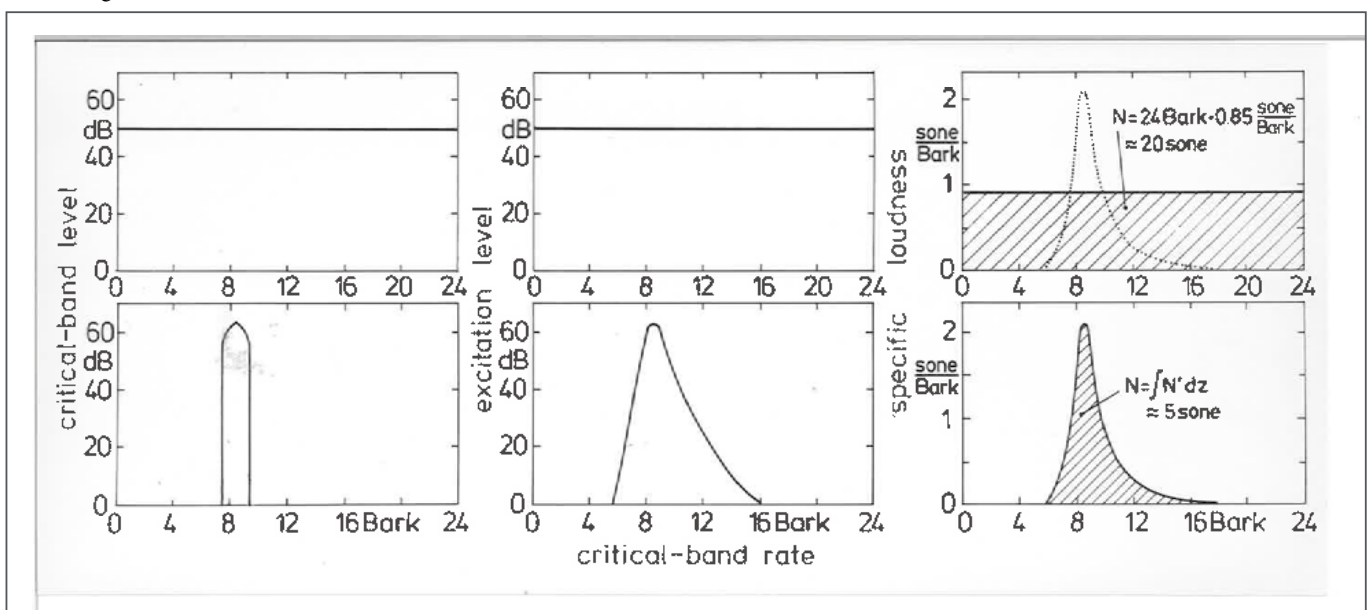
Die oberen Teilbilder erläutern die Verarbeitungsschritte für Breitbandrauschen, die unteren Teilbilder für ein Schmalbandrauschen bei 1 kHz mit 160 Hz Bandbreite. Die linken Teilbilder zeigen die Spektralverteilungen längs der Bark-Skala, die mittleren Teilbilder die zugehörigen Erregungsmuster. Die rechten Teilbilder repräsentieren die entsprechenden Lautheitsmuster. Besonders bedeutsam ist, dass die Flächen der Lautheitsmuster (schraffiert) der wahrgenommenen Lautheit direkt entsprechen. Anhand des Flächenvergleichs wird deutlich, dass breitbandige Schalle trotz gleichem Pegel erheblich lauter wahrgenommen werden als schmalbandige Schalle. Dies wird durch die gepunktete Kurve im rechten oberen Teilbild nochmal verdeutlicht.

Das in Abbildung 7 erläuterte Verfahren kann für die Berechnung der Lautheit stationärer Schalle verwendet werden. Es wurde auch in DIN 45631 [11] standardisiert.

Allerdings sind die meisten Alltagsgeräusche instationär und deshalb wurde das Verfahren zur Berechnung der Zwicker-Lautheit erweitert [12]. Nach einiger Zeit der Erprobung wurde das Verfahren in DIN 45631/A1 [13] standardisiert. Anhand von Abbildung 8 sollen wesentliche Verarbeitungsschritte erläutert werden.

Der Schalldruck $p(t)$ wird durch ein Mikrofon auf-

Abb. 7: Fig.8.16 aus [6]



genommen, verstärkt und einem Filter, das zwischen Freifeld und Diffusfeld unterscheidet, zugeführt. Es folgt eine Filterbank welche die Bark-Skala grob nachbildet; anschließend wird in jedem Kanal durch Gleichrichtung und einen Tiefpass mit 2 ms Zeitkonstante die Hüllkurve gebildet. Der Block N' symbolisiert die Transformation in die spezifische Lautheit, der Block NL steht für das dauerabhängige Abklingen: Nach kurzen Schallen klingt die Erregung steiler ab als nach längeren Schallen. Der Block + symbolisiert die Flächenbildung im Lautheitsmuster, der Block LP die zeitliche Integration durch einen Tiefpass dritter Ordnung. $N(t)$ schließlich repräsentiert die zeitvariante Lautheit.

Das hier im Prinzip erläuterte Verfahren zur Berechnung der Zwicker-Lautheit zeitvarianter Schalle wurde 2017 im internationalen Standard ISO 532-1 [14] publiziert.

Psychoakustik in einer Ingenieur fakultät

„Als Zwicker sein wissenschaftliches Lebenswerk begann, gehörten Mut und Selbstsicherheit dazu, sich in einer ingenieurwissenschaftlichen Fakultät mit ‚subjektiven‘ Reaktionen auf Schallsignale zu beschäftigen. Wenn die Psychoakustik, die Wissenschaft vom ‚System Gehör‘, heute in wachsendem Maße Interesse, Anerkennung und

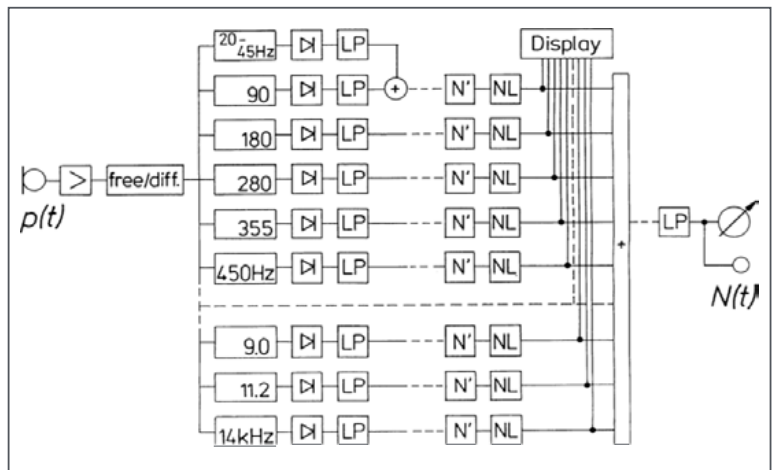


Abb. 8: Blockdiagramm eines Lautheits-Messgerätes für instationäre Schalle

informationstechnische Anwendungen findet, so gibt es sonst kaum eine einzelne Person, welche daran so große Verdienste hat wie Eberhard Zwicker“ [15].

Brücke zwischen Physiologie und Psychoakustik

Wie weit werden psychoakustische Erkenntnisse durch physiologische Erkenntnisse erklärbar? Die Brücke zwischen beiden Welten wird stetig belastbarer, und es ist spannend, sie zu beschreiten. Eberhard

Light-weight, wireless & easy to use!

An omni-directional sound source for room acoustic measurements

- Complies with the ISO 3382 directivity pattern.
- Weighs only 1.5 kg.
- Connects via cable or AptX Bluetooth up to 30 m.
- Pre-installed rechargeable battery, providing 1.5 hours of continuous playback.

Odeon Omni
available for
purchase



odeon.dk/omni
sales@odeon.dk

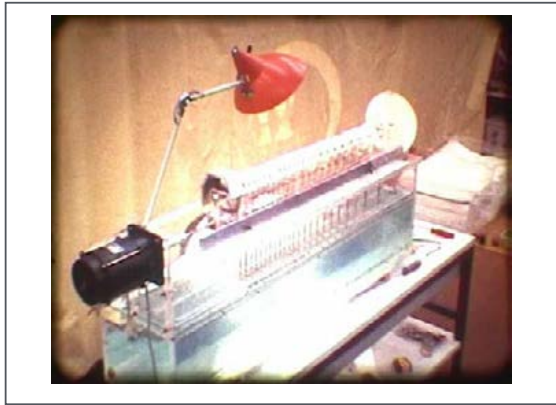


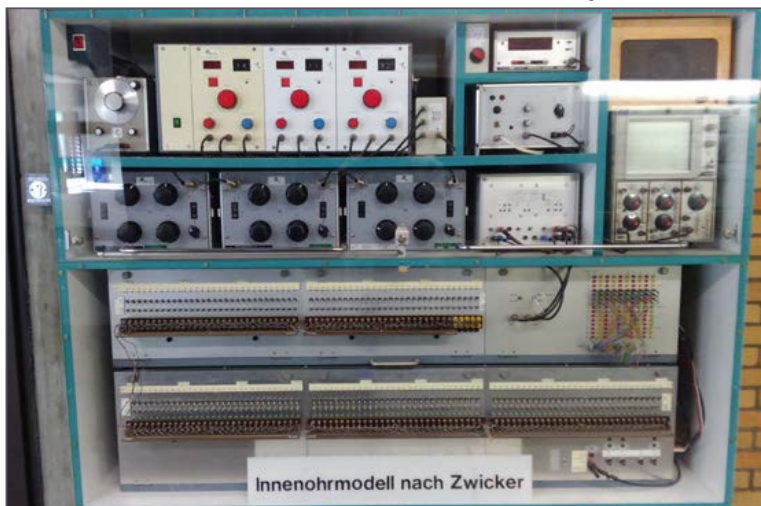
Abb. 9: Zwickers hydroakustisches Innenohrmodell,
© T. Zwicker

Zwicker ist zwar insbesondere durch seine Leistungen auf dem Gebiet der Psychoakustik bekannt geworden. Er hat aber auch auf dem Gebiet der Physiologie wichtige Beiträge geleistet.

Für die Erstellung von Modellen des Innenohrs waren wesentliche anatomische Daten nicht verfügbar. Es ist ganz typisch für Eberhard Zwicker, dass er selbst diese Lücke schloss. Er erlernte bei Heinrich Spoendlin in Zürich (CH) und Ted Evans in Keele (GB) physiologische Präparationstechniken, die er dann in München anwandte. Der Autor hatte als junger Doktorand u. a. die Aufgabe, aus dem Schlachthof München Innenohre von Schweinen für seinen Doktorvater zu besorgen. Dieser konnte in umfangreichen Studien nachweisen, dass insbesondere die Abmessungen der Deckmembran im Corti-Organ in klassischen Darstellungen durch Fixationsartefakte verfälscht waren [16]. Mit den entsprechend korrigierten Eingangsgrößen konnten wesentlich verbesserte Innenohrmodelle erarbeitet werden.

Zum einen studierte Eberhard Zwicker in hydroakustischen Modellen den adäquaten Reiz der inneren Haarzellen des Corti-Organs. [17]

Abb. 10: Zwickers elektronisches Innenohrmodell in analoger RC-Technik



Zum anderen erstellte Eberhard Zwicker unter Mit Hilfe von Werkstudenten, die dazu unzählige Lötstellen realisierten, ein elektronisches Innenohrmodell. Dieses Modell konnte die Frequenz-Ortstransformation, die pegelabhängige Frequenzselektivität, die Nichtlinearitäten und sogar die otoakustischen Emissionen quantitativ nachbilden.

Darüber hinaus wurden auch digitale Innenohrmodelle erstellt [18].

Praktische Anwendungen

Geräuschbeurteilung

Eberhard Zwicker hat sein Leben lang für eine gehörgerechte Geräuschbeurteilung gekämpft. Anstelle des A-bewerteten Schallpegels in dB(A) sollte die Lautheit N in sone angewandt werden. Erste Erfolge konnte er selbst noch anstoßen (z. B. [19]). Leider hat er aber nicht mehr erlebt, dass in der Münchener Schule der Psychoakustik entwickelte Größen wie Lautheit, Schärfe, Rauigkeit oder Schwankungsstärke heutzutage weltweit mit großem Erfolg für die Geräuschbewertung eingesetzt werden [6].

Audiologie

Bereits während seiner USA-Aufenthalte begann Eberhard Zwicker sein psychoakustisches Wissen für die Diagnose und Rehabilitation von Hörstörungen einzusetzen.

Besonders hervorzuheben sind seine Untersuchungen von otoakustischen Emissionen mit deren Hilfe

Abb. 11: Ur-Lautheitsmesser in analoger LC-Technik,
© T. Zwicker





Abb. 12: Lautheitsmesser mit digitaler Signalverarbeitung, © T. Zwicker



Abb. 13: Gerät zur Messung verzögerter, evozierter otoakustischer Emissionen (DEOAE), © T. Zwicker

das Hörvermögen von Babys zuverlässig prognostiziert werden kann [20]. Solche Verfahren gehören heutzutage zu den routinemäßigen Screenings von Neugeborenen.

Anhand der psychoakustischen Tuningkurven kann die reduzierte Frequenzselektivität bei Hörstörungen erfasst werden [21].

Während die Pegelunterschiedsschwelle bei Normalhörenden um 1,5 dB liegt, erreicht sie bei Patienten mit Acusticus neurinom Werte über 4 dB. Somit kann mit einer sehr einfachen psychoakustischen Messung ein Tumor an der Hörbahn zuverlässig diagnostiziert werden. [22]

Das reduzierte Zeitaufhebungsvermögen Schwerhöriger kann wichtige Hinweise auf deren Probleme in Cocktailparty-Situationen geben [23].

Eberhard Zwicker als Mensch

Aus Sicht der Kollegen

„Wer mit Zwicker zusammentraf, konnte nicht umhin, von seiner geistigen Präsenz, temperamentvollen Redlichkeit und Autorität beeindruckt zu sein. Dass er zugleich ein äußerst feinfühlig, hilfsbereiter Mitmensch war, das wissen – außer seinen Angehörigen – hauptsächlich diejenigen, welche das Glück hatten, längere Zeit mit ihm zusammen-zuarbeiten.“ [15]

„Seine schwäbische Herkunft hat Eberhard Zwicker wesentlich geprägt. (...) Er war sich als weltbekannter, angesehener Forscher, als Ordinarius und Institutsleiter niemals zu gut, sich um ‚Kleinigkeiten‘ persönlich zu kümmern – gleichgültig, ob diese Technisches, Administratives oder Zwischenmenschliches betrafen. Seine persönliche Anspruchslosigkeit und sein hausväterlich-sparsamer Umgang mit den verfügbaren Ressourcen hinderten ihn nicht an weitblickender Großzügigkeit, wo diese am Platz war. Und angesichts seines Fleißes und seiner geradezu unglaublichen Arbeitskraft sind die Geduld und das Verständnis, welche er zu jeder Zeit für seine Mitarbeiter aufbrachte, besonders bemerkenswert.“ [24, S. 44]

Aus Sicht seines Sohnes Dr. Tilmann Zwicker

„Mein Vater war:

- sehr verständnisvoll, fair, menschlich, bescheiden, weltoffen, von starker Familienorientierung und im Sinne von Werterhaltung konservativ („altmodisch“ war er überhaupt nicht!).
- von äußerst umfangreichem Wissen, nicht nur was seine Wissenschaft und das Ingenieurwesen anging, sondern auch weit darüber hinaus, denn er kannte sich auch in Astronomie und Geologie bestens aus und war dazu ein höchst erfolgreicher Schreiner und Gärtner auf semi-professionellem Niveau. Überhaupt waren sein praktischer Ansatz und seine handwerklichen Fähigkeiten im Bekannten- und Freundeskreis legendär.
- neben seiner Wissenschaft und seiner Familie liebte er die Berge und die Natur – bei gutem Wetter zog er des öfteren zusammen mit dem Familienhund in aller Frühe los, um möglichst bei Sonnenaufgang oder zumindest noch in den Morgenstunden einen Gipfel in den bayrischen Bergen zu erklimmen.“ [25].

So war es Tradition, dass jeder Doktorand vor seinem Rigorosum mit seinem Doktorvater Eberhard Zwicker eine Bergwanderung durchführen durfte. Dabei wurde der Schwierigkeitsgrad der Tour den bergsteigerischen Fähigkeiten des Doktoranden optimal angepasst. Start war jeweils gegen 4 Uhr früh in Icking.

Als Habilitand durfte der Autor mit Eberhard Zwicker von Hütte zu Hütte auf eine dreitägige Bergtour im Karwendelgebirge gehen, von der beide mit unvergesslichen Eindrücken und wundervollen Erlebnissen zurückgekehrt sind.

Schlussbemerkung

Zum Schluss soll hier der Nobelpreisträger Georg von Bekesy mit Auszügen aus seiner Einschätzung zu Eberhard Zwicker zu Wort kommen:



Abb. 14: Zwicker und Fastl im Karwendelgebirge,
© T. Zwicker

„Herrn Prof. Dr. R. Feldtkeller,
Harvard University, 5. Jan. 1962

Sehr geehrter Herr Prof. Feldtkeller!

Es hat mich außerordentlich gefreut, aus Ihrem Brief vom 1.12. zu vernehmen, dass die Fakultät für Maschinenwesen beschlossen hat, die Ernennung von Herrn Dozent Dr. E. Zwicker zum apl. Professor bei dem Kultusministerium zu beantragen.

Da ich Herrn Dr. Zwicker schon seit vielen, vielen Jahren kenne, mit ihm viele Besprechungen und Diskussionen gehabt habe und im Laboratorium hier bei uns in Harvard bei seiner Arbeit anwesend war, so kann ich die Fakultät nur beglückwünschen, wenn die Möglichkeit besteht, dass sie Herrn Dr. Zwicker als Kollegen haben wird.

Als Wissenschaftler habe ich ihn immer hoch geschätzt wegen seines Fleisses, seiner vollständig korrekten Beschreibung der Befunde und seiner Erfindungsgabe, nachrichtentechnische Methoden auf gewisse spezielle Probleme, wie das Ohr, mit grossem Erfolg anzuwenden. Ich bin ganz sicher, er hat und er wird auch fernerhin als Wissenschaftler viele junge Studenten beeinflussen und ihnen Genauigkeit der Beobachtung und Objektivität des Urteils beibringen.

Im Laboratorium hat er sich immer durch eine vollständige Beherrschung sämtlicher Instrumente bis in die kleinsten Detailfragen ausgezeichnet. Es ist gerade diese ausserordentliche Kenntnis der Kleinigkeiten, was seinen Arbeiten einen soliden Untergrund liefert.

Als Vortragender habe ich ihn öfters bei Vorlesungen gehört und diese waren klar, leicht zu verstehen und das

ganze Gebiet von jeder Seite erschöpfend behandelnd. Als Organisator hat er sich in jeder Beziehung durch die Organisation des Internationalen Kongresses in Stuttgart einen bleibenden Namen verschafft. Er hat keine Mühe gescheut, ist nie ausser Fassung gekommen und hat den alten Ruf deutscher Organisationsfähigkeit bestätigt. Ich habe von allen übrigen Kollegen in Europa nur freundliche Worte über seine Tätigkeit als Organisator gehört. Ich glaube daher nicht zu übertreiben, wenn ich annehme, dass er die Organisation eines Instituts mit Erfolg wird übernehmen können.

Als Kollege wird er von allen meinen Bekannten hoch geschätzt, wegen seiner geraden Aufrichtigkeit und seines freundlichen Benehmens.

Als Mensch ist er für mich eines der bestbalancierten Individuen, das wir hier im Laboratorium gehabt haben und das gleiche gilt nicht nur für ihn, sondern auch für seine Gemahlin, was die Grundlage für eine stetige ungestörte wissenschaftliche Arbeit liefert ...

Mit herzlichen Grüssen

Ihr G. v. Békésy“

Der Autor dankt Herrn Dr.-Ing. Tilmann Zwicker für wertvolle Hinweise und die Überlassung von Archivmaterial.

Literatur

- [1] Fastl, H.: Die Münchener Schule der Psychoakustik. *Acustica/Nuntius acusticus* 92, Heft 1, S. 1–21, 2006.
<http://mediatum.ub.tum.de/doc/1138488/950811.pdf>
- [2] Költzsch, P.: Schriftenreihe Geschichte der Akustik, Heft 10: Eberhard Zwicker, Lothar Cremer und Manfred Heckl, DEGA e. V, 2017.
- [3] Zwicker, E.: Die elementaren Grundlagen zur Bestimmung der Informationskapazität des Gehörs. *Acustica* 6, 4, S. 365–381, 1956.
- [4] Zwicker, E.; Feldtkeller, R.: Das Ohr als Nachrichtenempfänger. Zweite neubearbeitete Auflage. S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1967 (232 Seiten, 217 Abbildungen).
- [5] Zwicker, E.; Fastl, H.: *Psychoacoustics. Facts and Models*, 1. Auflage Springer-Verlag, Berlin 1990.
- [6] Fastl, H.; Zwicker, E.: *Psychoacoustics. Facts and Models*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin u.a. 2007 (with 53 psychoacoustic demonstrations on CD-ROM).
- [7] Zwicker, E.: Zur Unterteilung des hörbaren Frequenzbereichs in Frequenzgruppen. *Acustica* 10, 185, 1960.
- [8] Zwicker, E.: “Negative afterimage” in hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 36, pp. 2413–2415, 1964.
- [9] Zwicker, E.: Subjektive und objektive Dauer von Schallimpulsen und Schallpausen. *Acustica* 22, pp. 214–218, 1970.
- [10] Zwicker, E.: Ein Verfahren zur Berechnung der Lautstärke. *Acustica* 10, pp. 304–308, 1960.
- [11] DIN 45631:1991-03: Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum; Verfahren nach E. Zwicker. 1991.
- [12] Zwicker, E.: Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 62, pp. 675–682, 1977. Erratum: *J. Acoust. Soc. Am.* 63, p. 283, 1978.
- [13] DIN 45631/A1:2010-03: Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum – Verfahren nach E. Zwicker – Änderung 1: Berechnung der Lautheit

- zeitvarianter Geräusche; mit CD-ROM. 2010.
- [14] ISO 532-1: 2017-06: Acoustics – Methods for calculating loudness – Part 1: Zwicker method. 2017.
 - [15] Terhardt, E.: Eberhard Zwicker †. *Acustica* 73, S. 175, 1991. (Zum Tod von E. Zwicker)
 - [16] Zwicker, E.: Die Abmessungen des Innenohrs des Hauschweines. *Acustica* 25, pp. 232–239, 1971.
 - [17] Zwicker, E.: Spaltweite und Spaltströmung in einem Ausschnittmodell des Innenohrs. *Acustica* 31, pp. 47–49, 1974.
 - [18] Zwicker, E.; Peisl, W.: Cochlear preprocessing in analog models, in digital models and in human inner ear. *Hearing Research* 44, pp. 209–216, 1990.
[https://doi.org/10.1016/0378-5955\(90\)90081-Y](https://doi.org/10.1016/0378-5955(90)90081-Y)
 - [19] Zwicker, E.: Loudness patterns (ISO 532 B), an excellent guide to noise-reduced design and to expected public reaction. In: *Proc. of NOISE-CON 88*, (J. S. Bolton, Ed.) Noise Contr. Found., New York, pp. 15–26, 1988.
 - [20] Zwicker, E.; Schorn, K.: Delayed evoked otoacoustic emissions – an ideal screening test for excluding hearing impairment in infants. *Audiology* 29, pp. 241–251, 1990.
<https://doi.org/10.3109/00206099009072855>
 - [21] Zwicker, E.: Klassifizierung von Hörschäden nach dem Frequenzselektionsvermögen. In: *Kybernetik 1977*, ed. by G. Hauske, E. Butenandt, pp. 413–415. Oldenbourg, München 1978.
 - [22] Fastl, H.; Zwicker, E.: Ein Gerät zur Messung von Pegel- und Frequenzunterschiedsschwellen. *Z. Hörger. Akustik* 18, pp. 26–34, 1979.
https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/zfaudiologie/archiv/HGak_1979_18-1_026-034_Original.pdf (letzter Aufruf: 14.12.2023)
 - [23] Zwicker, E.: The temporal resolution of hearing – An expedient measuring method for speech intelligibility. *Audiol.*

Acoustics 25, pp. 156–169, 1986.

Zwicker, E.: Das Zeitaufklärungsvermögen des Gehörs – Eine zweckmäßige Meßmethode im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit. *Audiol. Akustik* 25, S. 156–169, 1986.

https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/zfaudiologie/archiv/AudAk_1986_25-S.pdf (letzter Aufruf: 14.12.2023)

- [24] Terhardt, E.: Eberhard Zwicker – In memoriam. *TUM-Mitteilungen* 2/3, S. 44, 1990/1991.

- [25] Zwicker, T.: Rede zur Verleihung (posthum) der Helmholtz-Medaille an Eberhard Zwicker durch die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA). *DAGA 1991*, Bochum. ■



**Prof. Dr.-Ing.
Hugo Fastl**
Technische Universität München

FIT FÜR DIE LEBENSZYKLUSBETRACHTUNG PRODUKTE DER ACOUSTICS DIVISION



akustik@regupol.de
www.regupol.com

Schallschutz ✓
Erschütterungsschutz ✓
Ressourcenschutz ✓

Mit dem Cradle to Cradle-Zertifikat und der Umweltproduktdeklaration (EPD) schaffen wir Transparenz für das Nachhaltige Bauen.



Was sind Ihre Schutzziele?