

## Zwischen Psychoakustik und experimenteller Lärmwirkungsforschung

Jürgen Hellbrück

*Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt*

### Vorbemerkung

Mein Betrag zur Würdigung der Münchener Schule der Psychoakustik und zur Würdigung von Prof. Hugo Fastl Schaffen beruht auf vielen Begegnungen und persönlichen Erfahrungen. Er konzentriert sich auf das Thema Lautheit und Lästigkeit sowie Lärm und dessen Bewertung und Wirkungen.

Seit dem Ende der 1970er Jahren, als ich Prof. Fastl zum ersten Mal traf, kreuzten sich unsere Wege ständig, nicht nur in München und Eichstätt, oft auch bei unseren gemeinsamen Freunden, den Professoren Seiichiro Namba und Sonoko Kuwano an der Universität Osaka. Natürlich auch bei den Oldenburger Symposien, organisiert von Prof. August Schick. Zu Beginn war es die Kategorienskalisierung der Lautheit, zu der ich das Gespräch mit Professor Fastl suchte, vor allem deswegen, weil sie von Anhängern der neuen Psychophysik „kategorisch“ abgelehnt wurde, da sie im Widerspruch zu Stevens' Power Law stand. Damals lernte ich von Prof. Fastl den (ingenieurwissenschaftlich) unverkrampften Umgang kennen mit (scheinbar) widersprüchlichen wissenschaftlichen Theorien und Methoden. Darüber und auch über Untersuchungen zum Einfluss des Bedeutungskontextes auf Lautheit und beurteilte Lästigkeit von Alltagsgeräuschen werde ich berichten; ferner auch über Studien zum Einfluss der Schwankungsstärke bei der Störwirkung von Geräuschen auf die Leistung des sprachlichen Kurzzeitgedächtnisses. Das Spektrum reicht also von Psychoakustik bis experimenteller Lärmwirkungsforschung, wobei Letzteres nicht zu Prof. Fastls Kerngebieten zählt, aber deutlich macht, dass er keine Berührungsgänge vor angrenzenden wissenschaftlichen „Hoheitsgebieten“ hat.

Als kein gelernter Akustiker, sondern ein in die Akustik „reingeschmeckter“ („roigschmeckter“ hätte der Schwabe Eberhard Zwicker wohl gesagt) Psychologe und Grenzgänger möchte ich einige wenige Erfahrungen wiedergeben, die ich bei Kontakten mit der Münchener Schule und insbesondere mit Hugo Fastl sammelte. Meine Darlegungen werden aus Erinnerungen gespeist, die in den Details trügerisch sein können, aber im Großen und Ganzen sich weitgehend der Wahrheit annähern dürften.

### Kategorienskalisierung der Lautheit

Bei einer meiner ersten experimentellen Untersuchungen, die ich als wissenschaftlicher Jungspund durchführte, kam heraus, dass Frauen und Männer die Lautstärke von Sinus-

tönen statistisch signifikant unterschiedlich beurteilten, die Frauen etwas lauter als die Männer. Die Versuche waren mit Kopfhörern durchgeführt worden. Die Skalierung der Lautstärke erfolgte mit einer 5-stufigen Kategorienskala, deren Kategorien verbal bezeichnet waren, von „sehr leise“ bis „sehr laut“. Bei einer Wiederholung des Versuchs mit Verhältnisskalierung war der geschlechterspezifische Unterschied verschwunden bzw. nicht mehr nachweisbar. Er war auch nicht mehr vorhanden, als wir den Kategorienskalisierungs-Versuch mit Lautsprechern durchführten, dann aber mit Schmalbandrauschen. Dies führte zur Hypothese, dass das bei Frauen im Durchschnitt etwas kleinere Gehörgangsvolumen – wurde von uns nachgemessen und bestätigt – bei Kopfhörerarbeit zu einem etwas höheren Schalldruck vor dem Trommelfell führt [1]. Wesentlich für mich war damals weniger dieser geschlechterspezifische Unterschied als vielmehr die durch diese Untersuchung gewonnene Überzeugung, mit der Kategorienskala etwas herausgefunden zu haben, das sich mit der in der Psychoakustik üblichen Methode der Verhältnisskalierung (Magnitude estimation) nicht nachweisen ließ.

Ich weiß nicht mehr, wie Prof. Fastl von dieser Untersuchung erfuhr. Ich nehme an, durch einen Vortrag, den ich auf einem der Oldenburger Symposien zur Psychoakustik hielt, die von Prof. August Schick im Zwei-Jahres-Takt durchgeführt wurden. Jedenfalls lud er mich zu einem Vortrag nach München in Prof. Zwickers wöchentliches Kolloquium ein; für mich als Jungwissenschaftler und auch noch als Psychologe damals die Höhle des Löwen, denn dass Zwicker streng und auch bissig sein konnte, wusste ich.

Ich glaube, Zwicker hielt nicht viel von dieser Untersuchung, zeigte sich aber von seiner gnädigen Seite, und meinte sinngemäß: Ganz interessant, Ihr qualitatives Verfahren (gemeint war die Kategorienskalisierung), aber richtig – so ließ er durchblicken – sei das nicht. Richtig seien die Verhältnisskalierung und ihre verschiedenen Varianten. Zwicker hatte lange mit dem Begründer der „Neuen Psychophysik“, Stanley Smith Stevens, in Harvard zusammengearbeitet, für den Verhältnisskalierung Dogma war und Kategorienskalisierung Teufelszeug. Hugo Fastl nahm mich auf die Seite und meinte, er sähe das anders: Wenn man wissen will, um wie viel Mal lauter ein Schall als ein anderer sei, nimmt man Verhältnisskalierung; will man wissen, ob ein Schall „sehr leise“, „leise“, „laut“ etc. ist, nimmt man Kategorienskalisierung. Meinem damaligen

Chef, Prof. Otto Heller an der Uni Würzburg, der vor allem aufgrund seiner Kategorien-Unterteilungsskala den Audiologen bekannt sein dürfte, und dem ich über mein Münchener Abenteuer berichtete, hat das alles überhaupt nicht gefallen. Erstens dass Zwicker Kategorienskalisierung für ein „qualitatives Verfahren“ hielt, was Heller (und Zwicker natürlich auch) mit „ungenau“ und „ungefähr“ assoziierte, und irgendwie nicht richtig wissenschaftlich; zweitens, dass Fastl sowohl Kategorienskalisierung wie auch Verhältnisskalierung für daseinsberechtigt hielt. Ihm, Heller, war diese Laissez-fair-Haltung zu lax. Er war nämlich auch etwas streng, allerdings anders als Zwicker, nämlich als Advokat der Kategorienskalisierung. Darüber hinaus hatten Zwicker und Heller durchaus Gemeinsamkeiten. Beide waren etwa gleich alt, groß und hager, und beide – und das ist wesentlich – waren Württemberger. Sie hatten beide, so habe ich das damals wahrgenommen, etwas von dieser württembergisch-protestantischen Strenge. Mir selbst hat jedoch Fastls pragmatische und eher von bayerischem „Leben-und-Leben-Lassen“ geprägte Haltung ganz gut gefallen. Wenn ich heute zurückblicke, glaube ich, dass dies ein Schlüsselerlebnis war, das mich als Psychologen einer ingenieurwissenschaftlichen Grundeinstellung näher brachte. Und hat nicht Hugo Fastl am Ende recht behalten? Die Verhältnisskalierung gibt es immer noch und die Kategorienskalisierung hat in der Akustik und vor allem in der Audiometrie Fuß gefasst.

Das war mein erster Kontakt mit der Münchener Schule der Psychoakustik – ein durchaus prägender Einfluss. Und lohnend war er für mich auch: Hugo Fastl hat wesentlich dazu beigetragen, dass die Alexander-von-Humboldt-Stiftung mich für ein Postdoc-Stipendium an der Universität Osaka vorgeschlagen hat; Hugo Fastl, auch ein Förderer von jungen Wissenschaftlern, nicht nur in meinem Fall! In Osaka konnte ich zu unserer Freundschaft mit unseren japanischen Kollegen Namba und Kuwano beitragen.

### **Psychoakustische Beiträge zur Lästigkeit**

Ich komme nun zu psychoakustischen Beiträgen der Münchener Schule zur Frage des Lärms und der Lästigkeit. Über die Grundlagenforschung zur Funktionsweise des Gehörs hinausgehend, war es auch immer ein Anliegen der Münchener Schule, einen Beitrag zur Lärmbewertung zu leisten. Im Jahr 1988, gerade von meinem Forschungsaufenthalt in Japan zurückgekehrt, nahm mich Prof. August Schick zu einer Tagung des DAL (Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung) in Baden-Baden mit. Dort stellte Prof. Zwicker das Lautheitskonzept als Alternative zur A-Bewertung vor. Zum wiederholten Male präsentierte er als Beispiel das Geräusch eines Mopeds und demonstrierte akustisch, dass man ein Moped so frisieren kann, dass es deutlich lauter ist als das Original, und das ohne Ansteigen

des dB(A)-Wertes. Auf mich wirkte das damals sehr überzeugend. Aber in einer gut vorbereiteten, konzertierten Aktion haben führende Vertreter maßgeblicher - und „maßgebender“ - Bundesämter Eberhard Zwicker so in die Mangel genommen und seinen Vorschlag so vehement abgelehnt, dass er sichtlich betroffen, um nicht zu sagen schockiert war. Und das will bei Zwicker, der nach meiner Wahrnehmung nicht unter mangelndem Selbstbewusstsein litt, etwas heißen. Zwicker, August Schick und ich waren nach dieser Tagung noch ein Stück weit zusammen im Zug unterwegs, und Zwicker meinte sinngemäß: Die Geschichte wird sie eines Besseren belehren. Aber Zwicker wäre nicht Zwicker gewesen, wenn er historische Zeitläufe abgewartet hätte. Drei Jahre nach dieser Tagung erschien in der Zeitschrift für Lärmbekämpfung Zwickers Artikel zur „unbeeinflussten Lästigkeit“ (Unbiased Annoyance, abgekürzt UBA) [2]. Wenn sich nun einige bei der Abkürzung an ein wichtiges Bundesamt erinnert fühlen, dann kommt das nicht von ungefähr. Was Zwicker meinte: Psychoakustische Größen, wie Lautheit, Schärfe und Rauigkeit, bedingen in entsprechender Kombination die wahrgenommene und beurteilte Lästigkeit eines Geräusches. Es ging ihm um wahrgenommene Lästigkeit (perceived annoyance). Dass Lästigkeit durch Einstellungen und Erwartungen und Ähnliches verzerrt sein kann, gestand er durchaus zu. Aber dann ist das Lästigkeitsurteil eben nicht mehr „unbiased“. Über Zwickers Lästigkeitskonzept könnte man lange diskutieren. Und vielleicht würde ich ihm heute ähnlich antworten, wie er mir damals: „Ganz interessant Ihr Ansatz, Herr Professor“.

Natürlich haben wir, wenn wir wissenschaftlich über Wahrgenommenes reden, eigentlich immer nur ein Urteil zur Verfügung, eine sprachliche Äußerung oder ein Tastendruck, angeleitet durch eine Skalierungsvorschrift. In die Köpfe der Menschen können wir nicht reinschauen. Wahrnehmung und Urteil, ein Thema, das man erkenntnistheoretisch vertiefen könnte – aber nicht hier.

### **Einfluss des Kontextes auf beurteilte Lautheit und Lästigkeit**

Macht es einen Unterschied bei der Beurteilung der Lautheit oder der Beurteilung der Lästigkeit eines Geräusches, wenn das Geräusch kognitiv in unterschiedliche Kontexte eingeordnet wird. Psychologen würden gewiss spontan antworten: Aber ja, natürlich! Die Operationalisten aus der Münchener Schule würden vielleicht vorsichtiger antworten: Ja, wenn man es messen kann.

Hugo Fastl und ich haben zusammen mit früheren Mitarbeitern und Diplomandinnen versucht, einen messbaren Einfluss der Bedeutung von Geräuschen auf die Lautheits- und Lästigkeitsbeurteilung nachzuweisen. Dazu wurden Geräusche, deren Ursprung erkennbar war, von der Kaf-

feemühle über Tierlaute bis zu Kirchenglocken sowohl hinsichtlich der Lautstärke als auch hinsichtlich der Lästigkeit auf einer Kategorienskala beurteilt. Die gleichen Geräusche wurden auch in einer neutralisierten Version beurteilt. Bei der neutralisierten Form blieben wesentliche psychoakustische Eigenschaften erhalten, die Schallquelle war jedoch nicht mehr identifizierbar. Ergebnis war, dass zwischen der beurteilten Lautstärke bei den allermeisten Geräuschen kein Unterschied zwischen identifizierbaren und neutralisierten Geräuschen statistisch signifikant nachgewiesen werden konnte. Bei der beurteilten Lästigkeit dagegen ergaben sich viel häufiger signifikante Unterschiede zwischen Geräuschen, deren Quelle erkennbar war und ihren neutralisierten Gegenparts [3] [4]. Die Ergebnisse bestärkten damals zumindest mich in der Überzeugung, dass die kategoriale Lautstärke kontextfrei beurteilt werden kann, wenn man einmal von skalierungsmethodologischen Besonderheiten, wie Bezugssystemeffekten absieht. Dann aber legten Hugo Fastl und Daniel Menzel ihre Experimente zur Lautheit von Zuggeräuschen und Fahrzeuggeräuschen in Abhängigkeit von der optischen Gestaltung vor. Rote ICEs, weiße ICEs, rote Sportwagen und anders gefärbte wurden hinsichtlich der Lautheit beurteilt. Und siehe da, das aggressive Rot verstärkte die empfundene Lautstärke [5] [6]. Ausgerechnet Fastl aus der strengen Münchener Schule, die Wurzeln in der noch strengeren Schule des Operationalisten Stevens in Harvard hatte, weist empirisch eine nicht-akustisch bedingte Abhängigkeit des Lautheitsurteils nach. Und das mir, dem Psychologen.

Damals habe ich mich oft gefragt, wieso nicht ich auf diese Idee gekommen bin und eine solche Untersuchung durchgeführt habe. Das ist doch mehr Psycho als Akustik, oder? Und es gibt es doch in der Psychologie die vielen Untersuchungen, in denen nachgewiesen wurde, dass sich die Farbe von Lebensmitteln auf den Geschmack (oder sollte man besser sagen auf das Geschmacksurteil?) auswirkt und farbige Hintergrundbeleuchtung bei der Weinverkostung.

### **Schwankungsstärke und Kurzzeitgedächtnis**

Es ist schon viele Jahre her, es muss in den 1990er Jahren gewesen sein, da traf ich mich mit Hugo Fastl in München (übrigens nicht das erste Mal und auch nicht das letzte Mal). Meiner Erinnerung nach war es im Hirschgarten. Ich erzählte ihm von unseren Experimenten zur Wirkung von Geräuschen auf das verbale Kurzzeitgedächtnis. Das wichtige Ergebnis dieser Experimente war, dass Geräusche, die starke kurzzeitige Segmentierungen mit abrupten Energietransienten aufwiesen, das verbale Kurzzeitgedächtnis beeinträchtigten, während gleichartige Geräusche, die diese harten Segmentierungen nicht aufwiesen, keine

nachweisbaren Wirkungen hatten. Beispielsweise beeinträchtigt das Sprechen eines einzelnen Sprechers (oder Sprecherin) das Kurzzeitgedächtnis, während Stimmengewirr, bei dem die Mikropausen im Sprechen gefüllt sind, keine signifikante Wirkung hat. Das Singen eines Liedes im Hintergrund verschlechtert die Leistung, das gleiche Lied gesummt jedoch nicht. Ein Instrumentalmusikstück in Stakkato-Spielweise verschlechtert die Leistung, in Legato-Spielweise jedoch nicht. Hier geht es nun nicht um eine emotionale Bewertung eines Geräuschs, es geht nicht um Lästigkeit oder Wohlklang von Geräuschen, sondern um direkte Eingriffe von Geräuschen in den kognitiven Apparat, an die man sich auch nicht gewöhnen und gegen die man sich nicht wehren kann – alles experimentell nachgewiesen. Hier haben bestimmte Geräusche eine direkte und obligatorische, wenn auch sehr spezifische Wirkung auf Prozesse innerhalb des verbalen Kurzzeitgedächtnisses. Man bezeichnet diesen Effekt nach einem Vorschlag des britischen Kognitionspsychologen Dylan Jones als „Irrelevant Sound Effect“.

Aber irgendetwas muss doch vor aller kognitiven Verarbeitung dafür entscheidend sein, dass bestimmte Geräusche Eingang ins Kurzzeitgedächtnis finden und dort mit dem zu behaltenden Gedächtnismaterial interferieren, während andere Geräusche außen vor bleiben. Dieses entscheidende präattentive – also vor einer bewussten Verarbeitung wirksame – Kriterium muss im Wahrnehmungsapparat angelegt sein. Hugo Fastl meinte damals spontan, das sei die hörakustische Eigenschaft „Schwankungsstärke“. Die höchste Ausprägung erreicht die Schwankungsstärke bei einer Modulationsfrequenz von 4 Hz. Das entspräche aber auch, so Hugo Fastl, der mittleren Silbenfrequenz beim normalen flüssigen Sprechen. Ein interessanter Erklärungsansatz, den man eigentlich sofort hätte weiterverfolgen müssen. Es dauerte aber noch ca. 20 Jahre bis meine damalige Mitarbeiterin Sabine Schlittmeier (jetzt Professorin für Psychologie in Köln) zusammen mit Tobias Weißgerber, damals Bachelorstudent von Hugo Fastl, den Nachweis führte, dass die beeinträchtigende Wirkung von Geräuschen auf das verbale Kurzzeitgedächtnis hoch mit dem Grad der Schwankungsstärke korrelierte. Dazu wurden ca. 40 Geräusche, die wir im Laufe der Jahre auf ihre Wirkung untersucht hatten, hinsichtlich der Schwankungsstärke analysiert und ein Modell entwickelt, aufgrund dessen das Ausmaß der Störwirkung vorhergesagt werden konnte. Der Grad der Schwankungsstärke wurde dadurch mit dem empirisch gemessenen Ausmaß der Störung, die die jeweiligen Geräusche auf das Kurzzeitgedächtnis ausübten, in Zusammenhang gebracht. Die hohe Anzahl der Geräusche, die uns zur Verfügung stand, rechtfertigt das 20 Jahre währende Warten auf die Überprüfung von Hugo Fastls Hypothese. Und immerhin das

Warten wurde auch belohnt. Die signifikante Korrelation von  $r_s = .74$  zwischen der aufgrund des Schwankungsstärke-Modells vorausgesagten Fehlerrate und der beobachteten erhärtete diesen Verdacht. Die Schwankungsstärke gehört nun zu den heißen Kandidaten, die möglicherweise für den Irrelevant Sound Effect verantwortlich sind [7].

Als Beweis kann eine Korrelationsstudie natürlich nicht zählen. Dazu benötigt man eine experimentelle Untersuchung. Aber vielleicht findet sich noch jemand, der/die einen experimentellen Beweis versucht.

### Schlussbemerkung

Meine Darstellung gründet, wie eingangs gesagt, auf persönlichen Erinnerungen. Als Psychologe weiß ich, dass diese einen Bias enthalten. Aber ob es wirklich der Hirschgarten war, wo wir uns über den Irrelevant sound Effect austauschten, oder ein anderer Münchener Biergarten ist zweitrangig. Kein Zweifel besteht – und das wollte ich deutlich machen – an einem Brückenschlag von der „reinen“ Psychoakustik über Lästigkeit bis hin zu einer kognitiven Lärmwirkungsforschung. So habe ich Psychoakustik mit Hugo Fastl erlebt – manchmal mehr Psycho, manchmal mehr Akustik.

### Literatur

- [1] Hellbrück, J. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Lautstärkeempfindung - Realität oder Artefakt? *Z. für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 30 (1983), 387-399.
- [2] Zwicker, E.: Ein Vorschlag zur Definition und zur Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit. *Z. für Lärmbekämpfung* 38 (1991), 91-97.
- [3] Hellbrück, J., Fastl, H. & Keller, B.: Does meaning of sound influence loudness judgements? 18th International Congress on Acoustics (ICA), Kyoto, 4 – 9 April 2004, Proceedings CD-ROM (Tu2.X1.3 (II-1097)), (Invited Paper).
- [4] Zeitler, A., Fastl, H. & Hellbrück, J. (2003). Einfluss der Bedeutung auf die Lautstärkebeurteilung von Umweltgeräuschen. Proceedings (CD-ROM). DAGA 2003, Aachen
- [5] Menzel, D., Faccinelli, E., Fastl, H.: Untersuchung von Farbeinflüssen auf die Lautheit mit einem Einregelverfahren. In: Fortschritte der Akustik - DAGA 2008, DEGA, Berlin, 383–384 (2008).
- [6] Menzel, D., Fastl, H., Graf, R. & Hellbrück, J. (2008). Influence of vehicle color on loudness judgments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123 (5), 2477-2479.
- [7] Schlittmeier, S. J., Weißgerber, T., Kerber, S., Fastl, H., & Hellbrück, J.: Algorithmic Modeling of the Irrelevant Sound Effect (ISE) by the Hearing

Sensation Fluctuation Strength. *Attention, Perception, & Psychophysics* 74(1) (2012), 194-203.