

Lautheitsverhältnisse und -differenzen sind kommutativ



Benno Dielmann & Wolfgang Ellermeier

Institut für experimentelle Psychologie, Universität Regensburg, Deutschland
Department of Acoustics, Aalborg University, Dänemark
mail@benno-dielmann.de, we@acoustics.dk



Einleitung

In der **Psychophysik** wird Empfindungsstärke häufig mit direkten Skalierungsverfahren gemessen, indem die Versuchspersonen entweder **Verhältnisse** oder **Differenzen** ihrer subjektiven Empfindungen beurteilen. Die verhältnisbasierten Methoden (z.B. Magnitude Estimation, Fraktionierung) scheinen dabei inkompatibel zu den differenzbasierten (z.B. Äquisektion, Kategorisierung) zu sein.

Bereits 1961 hat jedoch **Torgerson** die Vermutung aufgestellt, dass dem nicht so sei, sondern dass die Versuchspersonen nur eine einzige quantitative Beziehung zwischen zwei Stimuli benutzen, egal ob sie nach Verhältnissen oder Differenzen gefragt wurden. Diese Behauptung wurde in der Forschungsliteratur als *Torgersonsche Vermutung* bekannt (z.B. Ellermeier, Narens & Dielmann, 2003; Birnbaum, 1982).

Angesichts vieler impliziter Annahmen in Torgersons Vermutung soll diese hier auf Basis einer stärker formalisierten Theorie überprüft werden. Eine solche Grundlage bietet **Narens** (1996) mit seiner axiomatischen „**Theory of Ratio Magnitude**

Estimation“, die er später (Narens, 1997) explizit um Torgersons Problem erweitert hat. Narens (1997) postuliert, dass Versuchspersonen unabhängig davon, ob eine Verhältnis- oder Differenzinstruktion gegeben wurde, ein und dieselbe verhältnisskalierbare, „innerpsychologische“ Struktur verwenden, um Reizstärken auf einem physikalischen Kontinuum zu beurteilen.

Wenn dem so ist und man die Urteile der Versuchspersonen als Funktionen f und g auf der Menge der Stimuli beschreibt, gilt folgendes „*Generalized Commutativity Principle*“ (GCP):

$$f * g = g * f,$$

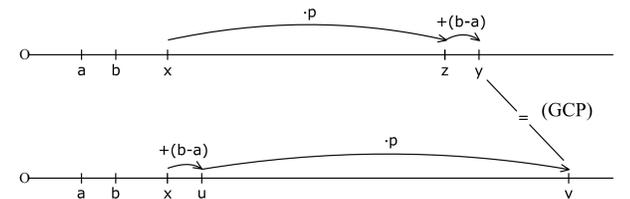
wobei $*$ die Komposition der Funktionen ist. Solche Funktionen können z.B. sein:

- $D_{a,b}(x) = y$, wenn die Versuchsperson einen Stimulus y einstellt, so dass für sie der Lautheitsunterschied zwischen x und y derselbe ist wie zwischen a und b .
- $R_p(x) = y$, wenn die Versuchsperson einen Stimulus y einstellt, sodass dieser für sie p -mal so laut ist wie x .

Das GCP lässt sich damit so schreiben:

$$D_{a,b}[R_p(x)] = R_p[D_{a,b}(x)]$$

bzw. grafisch am Beispiel von Streckenlängen so darstellen:



Der mit R_p ausgehend von x eingestellte Reiz dient in der ersten Kommutation als Ausgangsreiz für $D_{a,b}$, wobei y eingestellt wird. In der zweiten Kommutation wird zuerst $D_{a,b}$ und von dessen Ergebnis ausgehend über R_p ein Reiz v produziert.

Wenn sich die beiden Stimuli y und v statistisch nicht unterscheiden gilt das GCP, d.h. Torgersons Vermutung war richtig.

Methoden

Stimuli und Versuchsaufbau:

- 1-kHz – Sinustöne von 500 ms Dauer
- Berechnet von einem digitalen Signalprozessor (TDT AP2), eingestellt über einen programmierbaren Abschwächer (TDT PA4)
- Präsentiert in einer schallisolierten Kammer diotisch über Kopfhörer

Experimentaldesign:

- Ausgangsreiz: 55 dB SPL
- Zwei unterschiedliche Verhältnisinstruktionen für die R_p : x2, x3
- Zwei unterschiedliche [a,b]-Differenzen für die $D_{a,b}$: [40,50], [40,62] dB SPL
- Daraus ergeben sich je 4 Kombinationen für die $R_p[D_{a,b}(55)]$ und $D_{a,b}[R_p(55)]$, also 8 aufbauende Bedingungen
- Also insgesamt 12 Bedingungen

Versuchsablauf:

- 9 Versuchspersonen mit normalem Gehör; Alter 20-39 Jahre; 7 Studentinnen und 2 Studenten
- 16 Blöcke mit jeweils allen 12 Bedingungen in zufälliger Reihenfolge
- Also insgesamt 16 Darbietungen einer jeden Bedingung

Die Versuchspersonen bekamen jeweils den Ausgangsreiz und einen Einstellton im Wechsel vorgespielt und konnten dann den Einstellton entsprechend ihres Lautheitseindrucks verändern. In den $D_{a,b}$ – Bedingungen wurden jeweils vor dem Ausgangsreiz noch die a, b – Töne gespielt. Der Abspiel-Einstell – Ablauf wiederholte sich so oft, bis die Vp mit der Einstellung zufrieden waren und den Durchgang per Tastendruck beendeten.

Ergebnisse

Die Sorgfalt, mit der die Versuchspersonen vorgehen, zeigt sich an durchschnittlichen 53,5 Sekunden, die sie für jede Einstellung aufwendeten, sowie an den im Median 11 Lautstärkeänderungen pro Einstellung. Die mittlere Standardabweichung aller Einstellungen betrug 2,976 dB SPL.

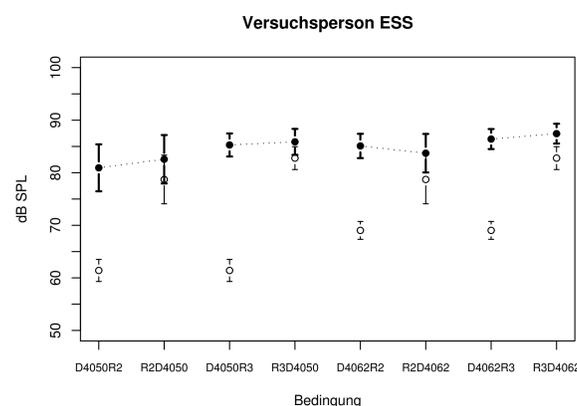
Die mittlere Standardabweichung für die nicht aufbauenden $D_{a,b}$ – Bedingungen lag mit 1,997 dB SPL deutlich unter der der nicht aufbauenden R_p – Bedingungen (3,537). Das zeigt, dass die Versuchspersonen mit der für dieses Experiment neu entwickelten Differenzabgleichsaufgabe gut zurecht kamen.

Die mittleren Einstellungen der R_2 und R_3 – Bedingungen bzw. der $D_{40,50}$ und $D_{40,62}$ – Bedingungen waren bei allen Versuchspersonen ausnahmslos monoton geordnet.

Überprüfung des Generalized Commutativity Principle (GCP)

Das GCP wurde für jede Versuchsperson und Funktionenkombination einzeln mit einem Wilcoxon-Rangsummentest geprüft. Es wurden pro Person also vier Tests gerechnet, jeweils mit der H_0 : $D_{a,b}[R_p(x)] = R_p[D_{a,b}(x)]$.

Ein Beispiel



In der Grafik sind die gemittelten Einstellungen der Versuchsperson ESS mit den jeweiligen Standardabweichungen für alle Bedingungen eingetragen. Leere Kreise \circ zeigen Mittelwerte der einfachen, gefüllte Kreise \bullet die der darauf aufbauenden Bedingungen. Die im GCP-Test verglichenen Mittelwerte sind jeweils durch eine gepunktete Linie verbunden. Je parallelere diese Linien zur x-Achse sind, desto GCP-konformer sind die Daten.

Es ist erkennbar, dass, obwohl sich die Einstellungen der nicht aufbauenden Bedingungen deutlich unterscheiden, die der aufbauenden sehr nahe beieinanderliegen. Je zwei Kommutationen liegen nie mehr als 1,62 dB SPL auseinander; keine lässt sich durch den Wilcoxon-Test statistisch unterscheiden.

Gesamte Stichprobe

Vp	$D_{40,50}[R_2(55)]$ vs. $R_2[D_{40,50}(55)]$		$D_{40,50}[R_3(55)]$ vs. $R_3[D_{40,50}(55)]$		$D_{40,62}[R_2(55)]$ vs. $R_2[D_{40,62}(55)]$		$D_{40,62}[R_3(55)]$ vs. $R_3[D_{40,62}(55)]$	
	Diff[^{dB}]	p	Diff[^{dB}]	p	Diff[^{dB}]	p	Diff[^{dB}]	p
EES	+2.22	.045*	+2.66	.001**	+2.16	.019*	+2.59	.001**
EGH	-2.17	.099	-2.50	.060	+0.54	1.00	-1.08	.488
EMT	+1.12	.484	-0.12	.820	-1.38	.130	-3.03	.002**
EPK	-1.88	.086	+0.12	.895	+2.97	<.000**	+3.59	.012*
ESP	-1.19	.281	-0.06	.734	-0.84	.375	+0.16	1.00
ESS	-1.62	.212	-0.59	.733	+1.38	.374	-1.03	.240
EVW	+1.62	.140	+1.28	.055	+0.97	.342	+0.59	.332
QSG	+0.09	.850	+0.50	1.00	+1.06	.266	+0.53	.791
QSR	-2.00	.213	-1.25	.316	-0.34	.821	-0.31	.835

Die Tabelle zeigt die vier Kommutationen, die zum Test des GCP verwendet wurden. Signifikante p-Werte (* bzw. **) deuten auf eine Verletzung des GCP hin.

Abgesehen von Versuchsperson EES, die das GCP in allen vier Kommutationen verletzte und EPK, bei der in den Kommutationen mit $D_{40,62}$ Signifikanzen auftraten, zeigte die Mehrheit der Versuchspersonen keine systematische Verletzung des GCP.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass Verhältnis- und Differenzproduktionen kommutativ sind und stimmen damit sowohl mit Narens (1997) Theorie als auch mit Torgersons Vermutung überein.

Die Tatsache, dass einige wenige Versuchspersonen Verhältnisse und Differenzen tatsächlich zu unterscheiden scheinen, ist konsistent mit der Beobachtung von anderen Autoren (z.B. Birnbaum, 1982).

Das neu entwickelte Differenzabgleichparadigma ($D_{a,b}$) stellt eine praktikable Möglichkeit dar, differenz- und verhältnisbasierte Paradigma miteinander zu kombinieren. Die Vpn kamen gut mit der Aufgabenstellung zurecht, stellten die Reize sogar mit

einer geringeren Varianz als in den R_p -Aufgaben ein.

Verhältnisse oder Differenzen?

Narens (1996, 1997) zeigt, dass, wenn

$$\psi(R_p(x)) = r \cdot \psi(x),$$

und wenn $D_{a,b}$ und R_p kommutativ sind, dann ist

$$\psi(D_{a,b}(x)) = u \cdot \psi(x).$$

Das bedeutet, dass von Versuchspersonen berichtete Verhältnisse und Differenzen simultan als numerische Verhältnisse repräsentiert werden können.

Literaturverzeichnis

- Birnbaum, M. H. (1982). Controversies in psychological measurement. In B. Wegener (Ed.), *Social attitudes and psychological measurement* (pp. 401–485). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Ellermeier, W., Narens, L., & Dielmann, B. (2003). Perceptual ratios, differences and the underlying scale. In Berglund, B. & Borg, E. (Eds.), *Fechner Day 2003. Proceedings of the 19th annual meeting of the ISP*, (pp. 71–76). Stockholm. International Society for Psychophysics.
- Narens, L. (1996). A theory of ratio magnitude estimation. *Journal of Mathematical Psychology*, 40(2), 109–129.
- Narens, L. (1997). On subjective intensity and its measurement. In A. A. J. Marley (Ed.), *Choice, decision, and measurement: Essays in honor of R. Duncan Luce* (pp. 189–205). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Torgerson, W. S. (1961). Distances and ratios in psychophysical scaling. *Acta Psychologica*, 19, 201–205.