

Psychoakustische Beurteilung von Ventilatoren mit der Methode des semantischen Differentials

Carolin Feldmann¹, Marc Schneider², Thomas Carolus¹

¹ Universität Siegen, Institut für Fluid- und Thermodynamik, 57076 Siegen,

E-Mail: Carolin.Feldmann@uni-siegen.de

² ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, 74673 Mulfingen, E-Mail: Marc.Schneider@de.ebmpapst.com

Einleitung

Ventilatoren sind in verschiedenen lufttechnischen Anlagen im Alltag anzutreffen. Sowohl in Ruhebereichen in Lüftungs- oder Klimaanlage als auch in Arbeits- oder Wohnbereichen in bspw. Haushaltsgeräten oder IT-Geräten werden Ventilatoren eingesetzt. Abhängig von vielen Faktoren wie Einsatzzweck, Expositionsdauer oder Beeinflussbarkeit des Geräusches durch Schalter und Regler kann der von den Anlagen emittierte Schall zu verschiedenen Empfindungen führen.

Ziel der Studie ist es, einen semantischen Raum zu entwickeln, der eine mehrdimensionale Aussage über Geräusche lufttechnischer Anlagen sowie isolierter Ventilatoren verschiedener Baugröße und -art ermöglicht.

2 Methode

Zur Ermittlung des semantischen Raumes werden zunächst mehreren Testteilnehmern Stimuli präsentiert, die sie mit eigenen Worten in einer sogenannten "freien Verbalisierung" (Schritt I) beschreiben und bewerten (vgl. Abbildung 1). Die Teilnehmer werden schriftlich instruiert, alles was ihnen zu den Stimuli einfällt zu notieren. Zusätzlich wird nach dem Versuch eine Diskussion mit den Teilnehmern durchgeführt, aus denen ebenfalls weitere Begrifflichkeiten gesammelt werden. Diese Sammlung von Begriffen wird vom Versuchsleiter in verschiedene Kategorien eingeteilt und nach Häufigkeit der Nennung sortiert (Schritt II). Aus den mehrfach genannten Adjektiven werden durch Hinzufügen von gegensätzlichen Begriffen Adjektivpaare gebildet. Im vierten Schritt werden den Versuchsteilnehmern erneut Stimuli präsentiert. Sie werden schriftlich instruiert, die Fragestellung: "Das Begriffspaar beschreibt oder bewertet die verschiedenen Ventilatorgeräusche" mit Hilfe einer fünfstufigen Likert-Skala zu beurteilen (Bildung der Likert-Skala auf Basis von [2], [3]). Als Antwortmöglichkeiten stehen "stimmt gar nicht", "stimmt kaum", "stimmt mittelmäßig", "stimmt ziemlich" sowie "stimmt außerordentlich" zur Verfügung. Aus diesen Beurteilungen können vom Versuchsleiter die Adjektivpaare zu einem semantischen Raum zusammengefasst werden, die im Mittel eine "außerordentliche" oder "ziemliche" Eignung aufweisen.

Zur Bildung des semantischen Raumes werden ausschließlich Akustikexperten befragt. Aus diesem Grund wird eine Überprüfung der Nutzbarkeit des semantischen Raumes für unübliche Hörer angeschlossen. Hier werden die Adjektivpaare im semantischen Differential auf eine kleine

Anzahl von Stimuli angewendet. Aus den Adjektivskalen werden hierzu bipolare bzw. unipolare siebenstufige Skalen erstellt. Im Anschluss daran wird die Anwendbarkeit der Adjektivskalen für jeden Teilnehmer im Interview abgefragt.

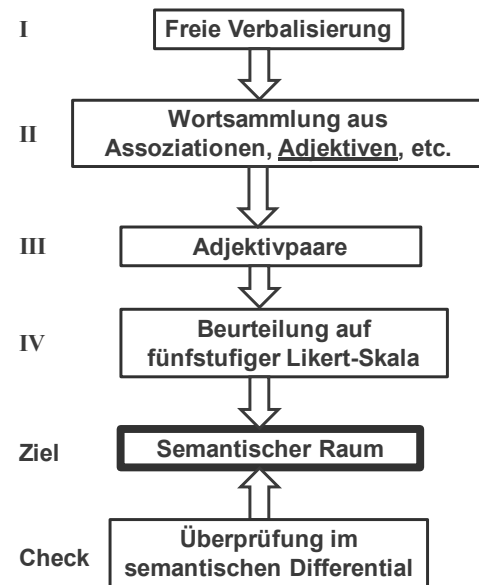


Abbildung 1: Ablauf der verwendeten Methodiken während der Untersuchung. Freie Verbalisierung und Beurteilung auf Likert-Skala durch Versuchsteilnehmer; Kategorisierung der Wortsammlung und Bildung der Adjektivpaare durch den Versuchsleiter.

2.1. Stimuli

Zum Aufbau des semantischen Raumes wurden 42 verschiedene Ventilatorgeräusche herangezogen. Diese enthalten sowohl Messungen isolierter Ventilatoren als auch Messungen verschiedener lufttechnischer Anlagen mit Ventilatoren. Es wurden Axial- und Radialventilatoren unterschiedlicher Baugrößen mit Durchmessern von 146 bis 650 mm verwendet. Die untersuchten Drehzahlen variieren von 560 bis 4500 min^{-1} . Als lufttechnische Anlagen wurden Wärmepumpen, Wärmetauscher (mit verbautem Axialventilator), Dunstabzugshauben und Luftreiniger (mit verbauten Radialventilatoren) ausgewählt.

Zur Überprüfung der ermittelten Adjektivpaare mit der Methode des semantischen Differentials wurden acht der 42 Stimuli ausgewählt. Es werden die Bautypen axial und radial isoliert und in den Einbaufällen Dunstabzugshaube, Luftreiniger und Wärmepumpe abgedeckt.

2.2. Versuchsumgebung

Sowohl die freie Verbalisierung als auch die Beurteilung auf der Likert-Skala fand in den Räumlichkeiten der Universität Oldenburg statt. Es wurden für die Versuche insgesamt vier Hörplätze kalibriert. Die Wiedergabe wurde über ein von einem Wiedergabemodul angesteuerten Lautsprecher realisiert (siehe Abbildung 2).

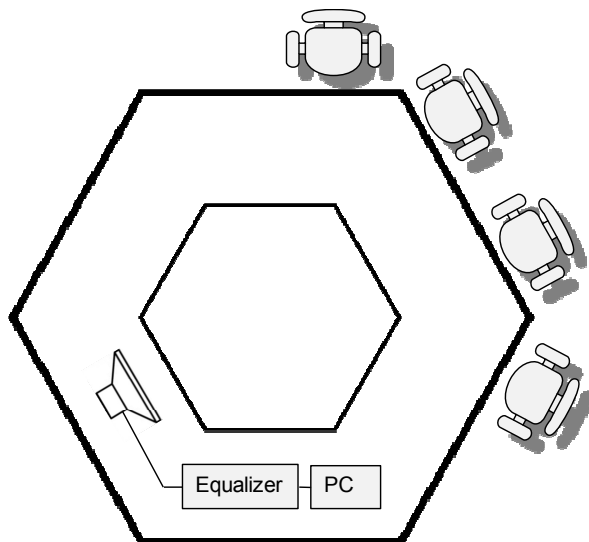


Abbildung 2: Draufsicht der Versuchsumgebung zum Aufbau des semantischen Raumes. Kalibriert wurden vier Hörplätze. Die Wiedergabe erfolgte über einen Lautsprecher, der über einen PC mit zwischengeschaltetem Equalizer angesteuert wurde.

Die Beurteilung von acht aus den 42 vorhandenen Stimuli wurde mit dem semantischen Differential sowohl an der Universität Oldenburg als auch an der Universität Siegen durchgeführt. In Oldenburg urteilte seriell jeweils ein Teilnehmer in einer Hörkabine, ausgestattet mit Tastatur, PC-Maus und Bildschirm. In Siegen nahmen maximal sechs Teilnehmer gleichzeitig an einer Beurteilung teil. Ihnen stand jeweils ein Touchpanel zur Verfügung, das zentral von einem PC außerhalb des Raumes angesteuert wurde.

2.3. Teilnehmer

Zum Aufbau des semantischen Raumes wurden insgesamt 12 Akustikexperten der Universität Oldenburg eingeladen (11 m / 1 w). An der finalen Beurteilung der acht ausgewählten Stimuli haben 51 Probanden teilgenommen (35 m / 16 w). 20 der Teilnehmer (10 m / 10 w) führten den Versuch in Oldenburg durch. Die Altersspanne lag zwischen 18 und 56 Jahren mit einem mittleren Alter von 23 Jahren.

3 Ergebnisse

3.1 Aufbau des semantischen Raumes

Aus der freien Verbalisierung resultierten über 500 Begrifflichkeiten, die Ventilatorgeräusche beschreiben und bewerten. Daraus ließen sich über 200 verschiedene Adjektive herausfiltern. Die hier am häufigsten genannten Adjektive wurden zur Bildung der Antonympaare genutzt.

Insgesamt wurde hier eine Liste von 100 Paaren zur Beurteilung auf der fünfstufigen Likert-Skala erstellt. Die Beurteilung ergab 35 Adjektivpaare mit außerordentlicher bzw. hoher Eignung im Bezug auf Ventilatorgeräusche (Tabelle 1). Zusätzlich wurden 2 Antonympaare mit guter Eignung der Liste hinzugefügt, um weitere Dimensionen abdecken zu können.

Tabelle 1: Liste der Adjektivpaare im semantischen Raum, aufgeteilt in bipolare Paare, d.h. Adjektive mit eindeutigem Gegensatz und unipolaren Adjektivpaaren, d.h. Adjektive, die eine einseitige Skala von "gar nicht" bis "völlig" bilden.

Nr.	bipolare Adjektivpaare	
1	niedertourig	hochtourig
2	statisch	bewegt
3	stationär	instationär
4	langsam	schnell
5	unruhig	ruhig
6	aufdringlich	unaufdringlich
7	aggressiv	entspannt
8	unangenehm	angenehm
9	billig	hochwertig
10	laut	leise
11	schwach	stark
12	leistungsschwach	leistungsstark
13	kraftlos	kräftig
14	klein	groß
15	dunkel	hell
16	tief	hoch
17	schrill	dumpf
18	scharf	stumpf
19	rau	glatt
20	hart	weich
21	leicht	schwer
22	grob	sanft
23	hohl	massiv
24	ungleichmäßig	gleichmäßig
	unipolare Adjektivpaare	
25	gar nicht ausblendbar	völlig ausblendbar
26	völlig lästig	gar nicht lästig
27	völlig störend	gar nicht störend
28	völlig fluktuierend	gar nicht fluktuierend
29	völlig schwankend	gar nicht schwankend
30	völlig tonhaltig	gar nicht tonhaltig
31	völlig rauschhaft	gar nicht rauschhaft
32	völlig schleifend	gar nicht schleifend
33	völlig brummend	gar nicht brummend
34	völlig dröhnend	gar nicht dröhnend
35	völlig röhrend	gar nicht röhrend
36	völlig pfeifend	gar nicht pfeifend
37	völlig zischend	gar nicht zischend

3.2. Überprüfung des semantischen Raumes

Sechs der 51 Teilnehmer im semantischen Differential mussten aufgrund zu geringer Reliabilität von der Auswertung ausgeschlossen werden. Im Interview gab eine Mehrheit der Teilnehmer an, dass die Begriffe "instationär-stationär" und "fluktuierend" nicht verständlich seien. Aus dem Interview ging ebenfalls hervor, dass der Begriff "pfeifend" nicht auf die acht Teststimuli angewendet werden könne, da keiner der Stimuli als besonders "pfeifend" angesehen wurde. Die Beurteilungen zeigten weiterhin nur eine geringe Skalenausnutzung der Begriffe "tonhaltig" und "rauschhaft" trotz instrumentell deutlich messbarer Unterschiede zwischen den Stimuli.

Zur Aufteilung in Wahrnehmungsdimensionen wurde eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse mit einem Datensatz von 10 Stimuli, jeweils beurteilt von 45 Teilnehmern auf 37 Adjektivskalen (KMO = 0,9, Bartlett-Test auf Sphärizität $\chi^2(666)=7707,220$, $p<0,001$)

Attribut-	Komponente						
	1	2	3	4	5	6	7
Nr.27	,88						
Nr.26	,86						
Nr.8	,86						
Nr.25	,84						
Nr.6	,83						
Nr.7	,79						
Nr.5	,71						
Nr.22	,70						
Nr.10	,64						
Nr.20	,64						
Nr.19	,57						
Nr.9	,52		,46				
Nr.15		,78					
Nr.17		-,76					
Nr.18		-,74					
Nr.16		,74					
Nr.21		-,52	,50				
Nr.11			,83				
Nr.12			,81				
Nr.13			,80				
Nr.23			,66				
Nr.14		-,40	,64				
Nr.29				,78			
Nr.28				,78			
Nr.3				,74			
Nr.2				,67			
Nr.24				,66			
Nr.31					,72		
Nr.37					,65		
Nr.32					,61		
Nr.30						,67	
Nr.36						,56	
Nr.34						,56	
Nr.33		,54				,52	
Nr.35		,48				,51	
Nr.4							,80
Nr.1							,76
erklärte	21,2	11,3	10,3	8,6	5,8	5,1	4,8

Diese basiert auf einem Datensatz von zehn Geräuschen, 45 Teilnehmern und 37 Adjektivskalen. Die Nutzbarkeit der Daten wurde mittels des Kaiser-Meyer-Olkin Kriterium (0,9 "marvelous", [1]) und Bartlett's Test auf Sphärizität ($\chi^2(666)=7707,220$, $p<0,001$) überprüft. Auf Basis des Kaiser-Kriteriums wurden sieben Komponenten extrahiert. Diese erklären insgesamt 67,1 % der rotierten Gesamtvarianz.

Die erste Komponente enthält 12 der 37 Adjektivskalen und beschreibt die Bewertung des Geräusches. Als Adjektive sind hier bspw. "störend", "ausblendbar", aber auch "laut-leise" und "rau-glatt" zu nennen.

Die Beschreibung des spektralen Gehalts teilt sich in zwei Komponenten (2 und 6) auf. Jede dieser Komponenten enthält jeweils vier Adjektivskalen. Während Komponente 2 die Klangfarbe über Adjektivpaare wie "hell-dunkel" oder "stumpf-scharf" beschreibt, beinhaltet Komponente sechs lautmalerische Begriffe wie "pfeifend" oder "dröhnend".

Komponente 3 enthält sechs Adjektivpaare Diese beschreiben die Leistungsstärke bzw. die Größe des Geräusches. Eine weitere Komponente umfasst sechs Begriffspaare, die die zeitliche Struktur der Stimuli wiedergeben.

Die Komponenten 5 und 7 enthalten mit drei bzw. zwei Adjektivpaaren die geringste Anzahl an Skalen. Komponente 5 beschreibt das Ton-Rausch-Verhältnis mit den Begriffen "rauschhaft", "zischend" und "schleifend". Die letzte Komponente gibt die wahrgenommene Geschwindigkeit mit den Begriffspaaren "langsam-schnell" und "niedertourig-hochtourig" wieder.

4 Zusammenfassung

Der Schall von Ventilatoren unterschiedlicher Bauarten und Baugrößen und in unterschiedlichen lufttechnischen Anlagen kann durch 13 unipolare und 24 bipolare Adjektivskalen umfassend beurteilt werden. Die Begriffe "instationär", "stationär" und "fluktuierend" sind als kritisch anzusehen, weil ungeübte Hörer häufig damit Verständnisprobleme hatten. Eine erste Einteilung in Wahrnehmungsdimensionen ergab sieben Komponenten, die im Wesentlichen die Bewertung, die Leistungsstärke, spektralen Gehalt und zeitliche Struktur der Stimuli wiedergeben.

Literatur

- [1] Kaiser, H.F.: Little jiffy, mark iv, Educ. Psychol. Meas. 34 (1974), 111-117
- [2] Bortz, J.; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler, Springer-Medizin-Verlag, 2006
- [3] Rohrmann, B.: Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung, Zeitschrift für Sozialpsychologie Nr. 9 (1978), 222-245