

Schallleistungsbestimmung an Lippenorgelpfeifen: Messverfahren und Einflussfaktoren

Katrin Hoge^{1,2}, Andras Miklos³, Judit Angster¹

¹Fraunhofer-Institut Bauphysik, Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart, Email: angster@ibp.fhg.de

²TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden

³Steinbeis Transfer Zentrum Angewandte Akustik, Landauer Str. 24, 70499 Stuttgart

Einleitung

Die Gruppe Musikalische Akustik am Fraunhofer IBP, Stuttgart forscht seit Jahren sehr erfolgreich auf dem Gebiet des Orgelbaus. In einer engen Zusammenarbeit mit Orgelbauunternehmen aus ganz Europa entstand ein neues, EU gefördertes Projekt "Innovative Design Method for Matching the Pipe Organ to the Acoustics of the Room". Dieses Projekt hat zum Ziel den Orgelbauern Hilfsmittel in die Hand zu geben um eine Vorab-Anpassung der Orgel an ihren Aufstellungsort zu unterstützen. Von besonderem Interesse hinsichtlich der Anpassung an unterschiedlich große Räume sind die abgestrahlte Schallleistung und deren Einflussgrößen. Hier sollen nun zwei verschiedene Messmethoden gegenübergestellt werden: das konventionelle Hallraum-Direktverfahren nach [1] und eine Intensitätsmessung mittels Mikrofon-Array im reflexionsarmen Raum. Die Messungen sollen Aufschluss über den Einfluss der Geometrie der Pfeife und das Verhalten der abgestrahlten Leistung in Abhängigkeit des Winddrucks¹ geben. Besonderes Augenmerk wird außerdem auf die Eignung der Messverfahren für die Lippenorgelpfeife gerichtet. Weiterhin ist es vorgesehen eine relativ einfache Messmethode zu finden, womit die Schallleistung von zahlreichen Pfeifen serienmäßig bestimmt werden kann.

Tabelle 1: ausgewählte Messpfeifen: Durchmesser und Grundtonfrequenz

	Parameter		
	Register	Durchmesser [mm]	Grundtonfrequenz [Hz]
R5_tief	Flöte	76,0	208
R4_tief	Prinzipal	63,7	208
M_tief	Gamba (Streicher)	38,4	208
R5_hoch	Flöte	43,3	470
R4_hoch	Prinzipal	34,2	470
G	Gedackt	67,0	180

Messung nach dem Hallraum-Direktverfahren

Für die Messung im Hallraum werden sechs verschiedene Lippenpfeifen ausgewählt. So finden sich Pfeifen unterschiedlicher Register, verschiedener Tonlage und eine gedackte Pfeife. Die wichtigsten Parameter, deren Einfluss auf die Schallleistung bestimmt werden soll, sind in **Tab. 1** beispielhaft aufgeführt. Zudem wird die Wirkung des

¹ Winddruck bezeichnet den Betriebsdruck der Orgel. Er wird in Millimeter Wassersäule angegeben (10mmWS \approx 100Pa)

Winddrucks untersucht: die Messung erfolgt mit unterschiedlichen Winddrücken (50 bis 90mmWS). Die Ergebnisse dieser Messung sind in **Tab. 2** zusammengefasst.

Es ist deutlich zu erkennen, dass eine Erhöhung des Winddrucks auch eine höhere Schallleistung zur Folge hat.

Tabelle 2: Gesamtschallleistungspegel im Hallraum

	Winddruck [mmWS]		
	50	70	90
R5_tief	88dB	92dB	93dB
R4_tief	89dB	95dB	97dB
M_tief	84dB	89dB	89dB
R5_hoch	91dB	93dB	93dB
R4_hoch	90dB	92dB	95dB
G	87dB	88dB	92dB

Auch der Einfluss der Geometrie der Pfeifen auf die abgestrahlte Leistung lässt sich aus **Tab. 2** ablesen. Man kann grob sagen, je weiter eine Pfeife mensuriert ist, desto mehr Leistung strahlt sie ab.

Will man die Anwendbarkeit der Messung für die Lippenorgelpfeife abschätzen lohnt sich ein Blick auf die Standardabweichung der Schalldruckpegel. In **Abb. 1** ist die Standardabweichung für alle Pfeifen nach Mittelung über alle Quellen- und Mikrofonpositionen und für einen Winddruck von 50mmWS dargestellt. Durch die schwarze Linie ist die maximal zulässige Abweichung gekennzeichnet. Während die Pfeifen höherer Frequenz dieser Bedingung genügen, ist die Standardabweichung der tieferen Pfeifen besonders um den wichtigen Grundton sehr hoch. Dies ist hauptsächlich auf die geringe Anzahl von Raummoden, die bei tiefen Frequenzen angeregt werden und das tonale Spektrum der Pfeifen zurückzuführen. Auch weitere Quellen- oder Mikrofonpositionen bringen keine Verbesserung. Zusätzlich strahlen offene Lippen- Orgelpfeifen näherungsweise wie zwei abhängige Punktquellen, so dass sich ein Interferenzfeld ausbildet und ebenfalls Einfluss auf die Messgenauigkeit nimmt.

Intensitätsmessung im reflexionsarmen Raum

Die Messungen im Hallraum sind durch die hohe Anzahl an Quellen- und Mikrofonpositionen sehr zeit- und arbeitsintensiv, weiterhin liefern sie für tiefere Frequenzen keine ausreichende Messgenauigkeit. Daher wird nun die

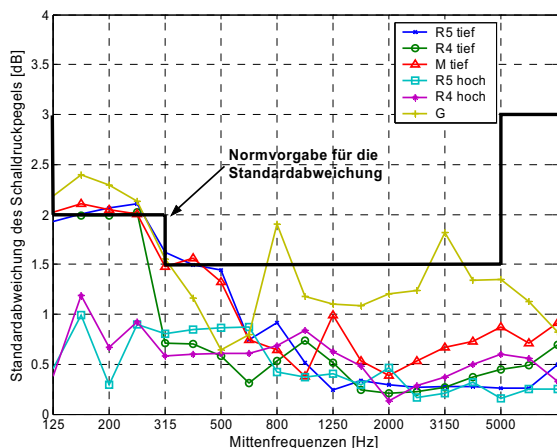


Abbildung 1: Vergleich der Standardabweichung des Schalldruckpegels aller Pfeifen bei 50mmWS nach Mittelung über alle Quellenpositionen

Möglichkeit der Schallleistungsbestimmung mittels einer Mikrofon-Array Intensitätsmessung im reflexionsarmen Raum näher betrachtet. Das Array umfasst 96 Mikrofone die für den jeweils gewünschten Frequenzbereich zu einem Rechteck zusammengefügt werden. Die Intensitäten werden mittels SONAH (statistically optimized nearfield acoustical holography) berechnet [2]. Die Auswertung der Leistung erfolgt im Nachhinein über ein Flächenauswahlwerkzeug in der Software. Für diese Messung werden nur zwei Pfeifen, **R4_tief** und **G**, gewählt. In einem ersten Aufbau werden zwei quadratische, oben und unten offene Hüllflächen um den Pfeifenmund und das offene Resonatorende (nur R4_tief) gelegt und die Leistung berechnet. Während der zweiten Messung soll festgestellt werden wie aussagekräftig schon eine einzelne Messung direkt vor dem Pfeifenmund ist (**Abb.2**). Diese annähernde Bestimmung der Schallleistung sollte den großen Aufwand bei serienmäßigen Messungen vereinfachen. Die Ergebnisse sind in **Tab. 3** zusammengefasst.

Tabelle 3: Gesamtschallleistungspegel Mikro-Array

		Winddruck [mmWS]		
		50	70	90
R4_tief	Hüllfläche	93dB	95dB	96dB
	Pfeifenmund	91dB	93dB	95dB
G	Hüllfläche	89dB	91dB	92dB
	Pfeifenmund	88dB	90dB	91dB

Die Hüllflächen-Leistungspegel von R4_tief entsprechen gut den Werten aus der Hallraummessung, nur der Wert für 50mmWS fällt aus der Reihe. Für G weisen beide Mikrofon-Array Messungen eine gute Übereinstimmung auf. Im Vergleich mit den im Hallraum gemessenen Werten werden hier deutlich höhere Leistungen berechnet. Hierfür ist sicherlich die sehr große Messungengenauigkeit beim Hallraum-Direktverfahren mit verantwortlich.

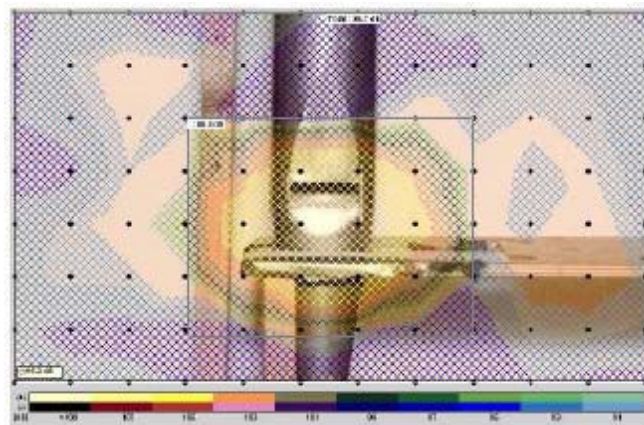


Abbildung 2: Typisches Berechnungsergebnis der Schallleistung gemessen vor dem Pfeifenmund einer gedackten Pfeife.

Zusammenfassung

Beide untersuchten Messmethoden zur Bestimmung der Schallleistung weisen Vor- und Nachteile auf. Das Hallraum-Direktverfahren ist für tonale Quellen und besonders im tiefen Frequenzbereich aufwendig. Zusätzlich strahlen offene Lippenorgelpfeifen näherungsweise wie zwei abhängige Punktquellen, so dass sich ein Interferenzfeld ausbildet und ebenfalls Einfluss auf die Messgenauigkeit nimmt. Dafür gibt die Standardabweichung eine klare Aussage über die Genauigkeit der Messung.

Eine annähernde Schallleistungsbestimmung mittels Mikrofon -Array ist mit sehr viel weniger Aufwand verbunden, trotzdem können dem Hallraumverfahren ähnliche Ergebnisse erreicht werden. Weiterer Vorteil ist, dass die graphische Aufbereitung der Daten sehr vielfältig ist.

Eine weitere Möglichkeit kann noch die Quellstärkenberechnung bieten, dabei wird die abstrahlende Pfeife in ihre Einzelquellen zerlegt und diese als Kugelstrahler angenommen. Die Zuverlässigkeit dieser Methode, sowie die Annäherung der Pfeife als zwei Kugelstrahler und der Zusammenhang von Druck und Schnelle müssen jedoch noch näher untersucht werden.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 3741:1999:
- [2] HALD, J.: Non-stationary STSF, Brüel & Kjaer Technical Review, Naerum Denmark 2000
- [3] Miklos, A.; Angster, J.: Properties of the Sound of Flue Organ Pipes; Acustica/Acta Acustica, 86, S.611-622; 2000
- [4] Hoge, K.: Praktikumsbericht. Fraunhofer IBP, Stuttgart, 2006

Acknowledgement

This research is supported by the European Commission (Contract No: EUCRAFT 017712) and by 10 European organ builder firms.