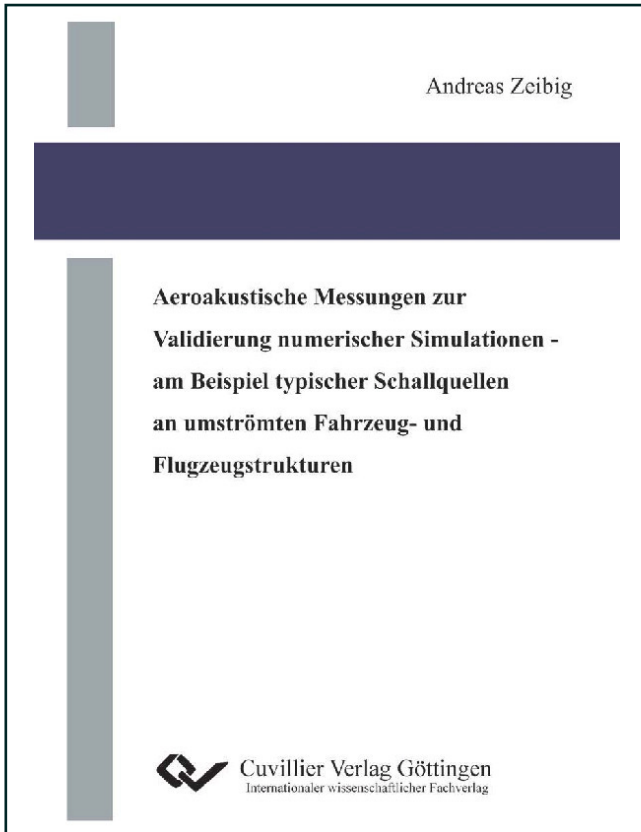




Andreas Zeibig (Autor)

**Aeroakustische Messungen zur Validierung
numerischer Simulationen - am Beispiel typischer
Schallquellen an umströmten Fahrzeug- und
Flugzeugstrukturen**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/608>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	i
Inhaltsverzeichnis.....	iii
Formelzeichen und Abkürzungen	vii
Lateinische Buchstaben.....	vii
Griechische Buchstaben	xi
Mathematische Operatoren und Schreibweisen	xii
Abkürzungen	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Einführung in das Thema	1
1.2 Stand der Forschung.....	1
1.3 Zielstellung der Arbeit	6
2 Theorie der Schallentstehung an umströmten Fahrzeug- und Flugzeugstrukturen	9
2.1 Die Grundgleichungen der Strömungsmechanik	9
2.2 Die inhomogene Wellengleichung der Strömungsakustik.....	12
2.3 Quellglieder der inhomogenen Wellengleichung, akustische Ersatz-strahler.....	14
2.4 Aeroakustische Schallquellen an Fahrzeugen und Flugzeugen	17
2.5 Umströmungslärmquellen	19
2.5.1 Kantengeräusche, Turbulente Grenzschicht	20
2.5.2 Aerodynamische Resonanzen (Hiebtöne).....	22
2.5.3 Aerodynamisch-akustische Resonanzphänomene	25
3 Überblick über numerische aeroakustische Berechnungsverfahren und Ableitung des Validierungskonzepts	29
3.1 Aeroakustische Modellierung	29
3.1.1 Arbeitsschritte einer numerischen Simulation.....	29
3.1.2 Einteilung aeroakustischer numerischer Berechnungsverfahren	31
3.1.3 Direkte Berechnungsverfahren	33
3.1.4 Hybride Berechnungsverfahren	33
3.1.5 Modellierungsfehler	37
3.2 Validierungskonzept.....	38
3.2.1 Validierungsschritte	39
3.2.2 Priorisierung der zu validierenden Größen und Informationen	40
3.2.3 Auswahl der aerodynamischen Validierungsgrößen.....	41
3.2.4 Auswahl der akustischen Validierungsgrößen	46
3.2.5 Korrelationsuntersuchungen.....	48
3.2.6 Zusammenfassung des Validierungskonzepts.....	48

4	Messverfahren und Messlabore	49
4.1	Auswahl von Messverfahren für aeroakustische Validierungsmessungen	49
4.2	Strömungsmessverfahren	53
4.2.1	<i>Hitzdrahtmesstechnik</i>	53
4.2.2	<i>Messung von aerodynamischen Wanddruckschwankungen</i>	55
4.3	Akustische Messverfahren	59
4.3.1	<i>Besonderheiten bei akustischen Messungen an umströmten Strukturen</i>	59
4.3.2	<i>Modellierung der Schallabstrahlung nach der aeroakustischen Analogie mit elektroakustischen Ersatzstrahlern</i>	60
4.4	Korrelationsuntersuchungen	62
4.5	Messverfahren zur Ortung und Trennung von Schallquellen	66
4.5.1	<i>Kurzdarstellung verschiedener Messverfahren zur Ortung von Schallquellen</i>	66
4.5.2	<i>Mikrofonarray mit Beamforming</i>	67
4.6	Aeroakustische Windkanäle für Validierungsmessungen	79
4.6.1	<i>Aeroakustische Windkanäle</i>	79
4.6.2	<i>Der aeroakustische Windkanal am IAS</i>	81
4.7	Durchführung der Messungen	83
5	Untersuchte Modellstrukturen	85
5.1	Referenzstrukturen für aeroakustische Untersuchungen	85
5.2	Dünne, ebene Platte	88
5.3	Aerodynamisches Profil NACA 0012	91
5.4	Strebe (Halbzylinder mit Heckdreikant)	93
6	Messergebnisse	101
6.1	Aeroakustischer Windkanal am IAS	101
6.1.1	<i>Aerodynamische Referenz</i>	101
6.1.2	<i>Akustische Referenz</i>	102
6.1.3	<i>Vergleich mit anderen Windkanälen</i>	104
6.2	Überprüfung und Erprobung von Messmethoden	108
6.2.1	<i>Auswahl und Kalibrierung der Sensoren zur Messung der Wanddruckschwankungen</i>	108
6.2.2	<i>Messung an Punktstrahlern zur Charakterisierung der Arrayeigenschaften</i>	112
6.3	Dünne, ebene Platte	115
6.3.1	<i>Strömungsfeld</i>	116
6.3.2	<i>Schallfeld</i>	117
6.4	Aerodynamisches Profil NACA 0012	119
6.4.1	<i>Strömungsfeld</i>	119
6.4.2	<i>Schallfeld</i>	120
6.4.3	<i>Schallquellenlokalisierung und -trennung</i>	122
6.5	Strebe	123
6.5.1	<i>Testfall $l_{HD} / d_{HZ} = 2,5$ (Strebe mit kurzem Heckdreikant)</i>	123
6.5.2	<i>Testfall $l_{HD} / d_{HZ} = 4$ (Strebe mit mittlerem Heckdreikant)</i>	140
6.5.3	<i>Testfall $l_{HD} / d_{HZ} = 5$ (Strebe mit langem Heckdreikant)</i>	147
6.5.4	<i>Diskussion der Messergebnisse für alle Streben-Testfälle</i>	154

7	Vergleiche mit Berechnungsergebnissen anderer Autoren.....	159
7.1	Dünne, ebene Platte.....	159
7.1.1	<i>Strömungsfeld</i>	159
7.1.2	<i>Schallfeld</i>	161
7.2	Aerodynamisches Profil NACA 0012.....	163
7.2.1	<i>Strömungsfeld</i>	163
7.2.2	<i>Schallfeld</i>	165
7.3	Strebe.....	169
7.3.1	<i>Strömungsfeld</i>	169
7.3.2	<i>Schallfeld</i>	174
7.4	Fazit der Vergleiche	176
7.4.1	<i>Berechnungsverfahren</i>	176
7.4.2	<i>Messverfahren</i>	178
8	Zusammenfassung.....	181
	Literaturverzeichnis.....	187
Anhang A	Mathematische und physikalische Grundlagen.....	199
Anhang A.1	Indexschreibweise von Vektoren und Tensoren	199
Anhang A.2	Ähnlichkeitskennzahlen	200
Anhang A.3	Huygenssches Prinzip, Fresnel-Zonen	202
Anhang B	Berechnungsverfahren und Validierungskonzept.....	203
Anhang B.1	Aeroakustische Berechnungsverfahren mit Relevanz für diese Arbeit, kurzer Überblick.....	203
Anhang B.2	Anforderungsliste für aeroakustische Validierungsmessungen	208
Anhang C	Messverfahren	211
Anhang C.1	Zusammenstellung wichtiger Messverfahren für Validierungsmessungen ...	211
Anhang C.2	Hitzdrahtmesstechnik	212
Anhang D	Zusätzliche Messergebnisse.....	217
Anhang D.1	Strebe.....	217
Anhang D.1.1	<i>Testfall $l_{HD} / d_{HZ} = 2,5$</i>	217
Anhang D.1.2	<i>Testfall $l_{HD} / d_{HZ} = 4$</i>	220
Anhang D.1.3	<i>Testfall $l_{HD} / d_{HZ} = 5$</i>	222