

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 2878/Fachgruppe Umwelt/Verkehr

Herausgegeben vom Minister für Wissenschaft und Forschung

Prof. Dr. -Ing. Rolf Staufenbiel

Dipl. -Ing. Adalbert Kellner

Dr. -Ing. Günther Neuwerth

Institut für Luft- und Raumfahrt
an der Rhein. -Westf. Techn. Hochschule Aachen

Abhängigkeit der Lärmerzeugung
durch Rotoren von definierten Störungen
in der Zuströmung



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1979

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Staufenbiel, Rolf:

Abhängigkeit der Lärmerzeugung durch Rotoren
von definierten Störungen in der Zuströmung /
Rolf Staufenbiel ; Adalbert Kellner ; Günther
Neuwerth. - Opladen : Westdeutscher Verlag,
1979.

(Forschungsberichte des Landes Nordrhein-
Westfalen ; Nr. 2878 : Fachgruppe Umwelt,
Verkehr)

ISBN 978-3-663-20097-0

NE: Kellner, Adalbert;; Neuwerth, Günther:

© 1979 by Springer Fachmedien Wiesbaden
Ursprünglich erschienen bei Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen 1979
Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

ISBN 978-3-663-20097-0 ISBN 978-3-663-20457-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-20457-2

Inhalt

1. Einleitung	8
2. Aufbau der Versuchsanlagen	10
2.1 Rotorprüfstand	10
2.2 Erzeugung der Zuströmung	10
3. Meßtechnik	16
3.1 Akustische Messungen	16
3.2 Vermessung der gestörten Zuströmung	24
3.3 Instationäre Druckmessung auf den Rotorblättern	25
3.4 Korrelationsmessungen	29
4. Beschreibung der Lärmerzeugungsmechanismen	32
4.1 Stationäre Blattkräfte bei homogener Zuströmung	32
4.2 Instationäre Blattkräfte bei inhomogener Zuströmung	34
4.2.1 Einfluß der Geschwindigkeitsverteilung in der Zuströmung	34
4.2.2 Einfluß makroskopischer Turbulenzballen	37
4.2.3 Einfluß einlaufender Wirbel	38
4.3 Beurteilung der einzelnen Schallquellen	38
5. Ergebnisse der akustischen Messungen	40
5.1 Einfluß verschiedener Störkörper	40
5.2 Einfluß des Blatteinstellwinkels	46
5.3 Einfluß der Rotordrehzahl	48
5.4 Einfluß des Abstandes zwischen Rotor und Störkörper	48
5.5 Einfluß der Anzahl der Störungen auf dem Umfang	51
5.6 Einfluß der spezifischen Nachlaufparameter	53
6. Ergebnisse der instationären Druckmessungen	58
6.1 Erzeugung der Druckstörungen	58
6.2 Einfluß des Abstandes zwischen Rotor und Störkörper	60
7. Maßnahmen zur Beeinflussung einer vorgegebenen Störung	64
7.1 Lufteinblasung in die Nachlaufzellen	64
7.2 Beeinflussung der gestörten Zuströmung durch ein Drahtsieb	67
8. Untersuchung über Möglichkeiten der Kreuzkorrelation von Schall- drucksignalen in Hallräumen	71
8.1 Beeinflussung der Kreuzkorrelation akustischer Signale durch Hallraumeigenschaften	71
8.2 Anwendung auf eine spezielle Schallquelle	74

9. Theoretische Bestimmung der instationären Blattkräfte	76
9.1 Gegenüberstellung von verschiedenen Theorien	76
9.2 Beschreibung des Rechenverfahrens	79
9.3 Ergebnisse der instationären Kraftrechnung	81
10. Theoretischer Ansatz für die Schallfeldberechnung	88
10.1 Gegenüberstellung verschiedener Ansätze	88
10.2 Rechenverfahren für die Lärmberechnung	89
10.3 Ergebnis der Lärmberechnung	90
11. Schlußfolgerungen für praktische Maßnahmen zur Lärmreduzierung	94
12. Zusammenfassung	96
13. Literaturverzeichnis	98
Anhang A: Berechnung der instationären Kräfte	103
Anhang B: Verfahren zur Berechnung der abgestrahlten Schalleistung	119

Bezeichnungen

a	[cm]	Abstand zwischen Rotorebene und Störkörper
a_0	[m/sek]	Schallgeschwindigkeit
A	[m/sek]	Amplitude einer Nachlaufdelle
A_G	[m ²]	gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche
A_L	[m ²]	äquivalente Luftschallabsorptionsfläche
A_W	[m ²]	äquivalente Wandabsorptionsfläche
b	-	Blattzahl
B	[Hz]	Bandbreite
c_a	-	Auftriebsbeiwert
c_w	-	Widerstandsbeiwert
C_1, C_2	-	Abkürzung - Gleichung (A 23)
D_1	[N]	Fourierkoeffizient des zeitlichen Verlaufs der Umfangskomponente der Blattkraft
f	[Hz]	Frequenz
f_{Dm}	[Hz]	Frequenz der m-ten Harmonischen des Drehklanges
f_{kl}	[Hz]	Frequenz der l-ten Harmonischen der Kraftschwankung
f_W	-	Wölbung eines Profils
f_0	[Hz]	Mittelfrequenz
F(t)	[N]	Kraftverlauf an einem Punkt in der Rotorebene
F_f	-	komplexe Wölbungsfunktion nach [14]
F_α	-	komplexe Anstellwinkelfunktion nach [14]
$g_{r,c,\eta}$	-	Abkürzung - Gleichung (A 18)
G	[m/sek /cm]	maximaler Gradient in einer Nachlaufdelle

G	-	Gitterfunktions-Gleichung (A 23)
GSLP	[dB]	Gesamtschalleistungspegel
$h_{r,c,\eta}$	-	Abkürzung - Gleichung (A 18)
$H_0(z), H_1(z)$		Hankel-Funktionen
I	[Watt/m ²]	Schallintensität
I_0	[kp/m]	Impulsverlust einer Nachlaufdehle
J_q	-	Besselfunktion q-ter Ordnung
k	-	Anzahl der Störungen
K(t)	[N]	Kraftverlauf auf einem Rotorblatt
l	[cm]	Sehnenlänge eines Profils
l	-	Ordnungszahl der Kraftharmonischen
L	[N]	Auftrieb
L_D	[dB]	Pegel des instationären Druckes auf dem Rotorblatt
m	-	Ordnungszahl der Schallharmonischen
\dot{m}_{II}	[kg/sek]	Sekundärmassestrom
M	-	Blattspitzenmachzahl
M_C	-	Abkürzung - Gleichung (A 23)
n	[min ⁻¹]	Rotordrehzahl
n	-	Ordnungszahl eines Profils im Gitterverband (im Anhang A)
n	-	$n = m \cdot b$ (im Anhang B)
N	[Watt]	Schalleistung
N_C	-	Abkürzung - Gleichung (A 23)
OASPL	[dB]	Gesamtschallpegel im diffusen Schallfeld
p	[N/m ²]	Schalldruck
q	[N/m ²]	Staudruck
r	[m]	Koordinate des Rotors in radialer Richtung

r_{eff}	[m]	effektiver Radius des Rotors (akustisch)
$r_{1,2}$	-	Koordinaten (siehe Abb. B1)
R	[m]	Radius des Rotors
R_x, R_y	-	Autokorrelationsfunktion
R_{xy}	-	Kreuzkorrelationsfunktion
s	-	$s = l \cdot k$ (in Anhang B)
S	[cm]	Teilung eines Schaufelgitters
SLP	[dB]	Schalleistungspegel
SPL	[dB]	Pegel im diffusen Schallfeld
t	[sek]	Zeitvariable
T	[sek]	Nachhallzeit
T_1	[N]	Fourierkoeffizient des zeitlichen Verlaufes der Axialkomponenten der Blattkraft
T_R	[sek]	Umlaufzeit des Rotors
T_u	[%]	Turbulenzgrad
u_i	[m/sek]	induzierte Geschwindigkeit parallel zur Sehne
u_s	[m/sek]	Komponente der Störgeschwindigkeit parallel zur Sehne
U	[m/sek]	Umfangsgeschwindigkeit
v_{00}	[m/sek]	axiale Anströmgeschwindigkeit des Rotors
v_i	[m/sek]	induzierte Geschwindigkeit senkrecht zur Sehne
v_1	[m/sek]	Fourierkoeffizienten des axialen Geschwindigkeitsverlaufs v (ψ)
v_s	[m/sek]	Komponente der Störgeschwindigkeit senkrecht zur Sehne
V	[m ³]	Volumen des Hallraumes
w_s	[m/sek]	Störgeschwindigkeit
W	[m/sek]	resultierende Anströmgeschwindigkeit eines Blattelementes

x	[cm]	Koordinate in Sehnenrichtung
$x(t)$	-	zeitabhängige Funktion
y	[cm]	Koordinate senkrecht zur Sehne
$y(t)$	-	zeitabhängige Funktion
Y	-	Ortsvektor einer Schallquelle
α	[°]	Anstellwinkel eines Profils
$\bar{\alpha}$	-	mittlerer Absorptionsgrad
α_L	-	Luftschallabsorptionsgrad
β	[°]	Blatteinstellwinkel
γ_R	[m/sek]	Wirbelvertiefung am Referenzblattelement
γ_w	[m/sek]	Wirbelverteilung im Nachlauf
Δ	-	Abkürzung - Gleichung (A 18)
Δp	[N/m ²]	Druckdifferenz zwischen Druck- und Saugseite an einem Profil
Δ_{GSLP}	[dB]	Differenz der Gesamtschalleistungspegel eines Rotors bei gestörter und ungestörter Zuströmung
η	-	Koordinate in Sehnenrichtung
λ	[°]	Staffelungswinkel eines Schaufelgitters
Γ	[m ² /sek]	Zirkulation
Γ_R	[m ² /sek]	Zirkulation am Referenzblattelement
ν	[Hz]	Frequenz einer Störung
ξ	-	Koordinate in Sehnenrichtung
$\xi_{r,s}$	-	Einflußfunktionen
ρ	[kg/m ³]	Dichte eines Mediums
ρ_x, ρ_y	-	normierte Autokorrelationsfunktion
ρ_{xy}	-	normierte Kreuzkorrelationsfunktion
τ	[°]	Phasendifferenz

τ_v	[sek]	Verzögerungszeit
θ	[°]	Raumwinkel einer axialen Schnittebene des Rotors
φ_0	[%]	Luftfeuchtigkeit
κ	-	Koordinate in Sehnenrichtung
ψ	[°]	Winkel in Umfangsrichtung in der Rotorebene
ω	-	reduzierte Frequenz einer Störung
Ω	[Hz]	Drehfrequenz des Rotors

Indizes

eff	Effektivwert
l	Ordnungszahl der Kraftharmonischen
m	Ordnungszahl der Schallharmonischen
n	$n = m \cdot b$ (im Anhang B)
R	Referenzgröße
s	$s = l \cdot k$ (im Anhang B)
-	mittlerer Wert
^	Amplitude
~	fluktuierender Anteil