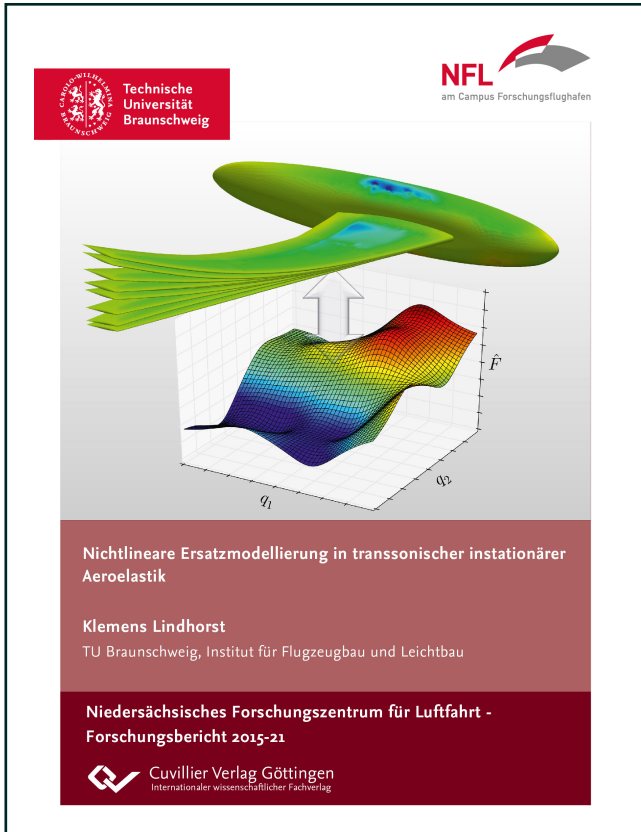




Klemens Lindhorst (Autor)
**Nichtlineare Ersatzmodellierung in transsonischer
instationärer Aeroelastik**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7164>

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

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1. Motivation und Forschungshypothese | 3 |
| 1.2. Stand der Forschung | 4 |
| 2. Analyse aeroelastischer Systeme | 7 |
| 2.1. Lösung des Strömungsproblems | 7 |
| 2.1.1. Analytischer Ansatz für ein zweidimensionales Profil | 8 |
| 2.1.2. Numerisches Verfahren: Computational Fluid Dynamics (CFD) | 11 |
| 2.2. Lösung des Strukturproblems | 15 |
| 2.2.1. Stationäre Strukturberechnung | 16 |
| 2.2.2. Instationäre Strukturberechnung | 16 |
| 2.2.3. Finite Elemente Methode (FEM) | 18 |
| 2.3. Partitionierter Lösungsansatz zur Analyse aeroelastischer Systeme | 20 |
| 2.3.1. Instationäre Kopplungsschemata | 22 |
| 2.3.2. Einbindung des Ersatzmodells in den partitionierten Ansatz | 24 |
| 3. Ansatz der Ersatzmodellierung | 27 |
| 3.1. Proper Orthogonal Decomposition | 28 |
| 3.2. Markov-Ketten-Ansatz | 31 |
| 3.2.1. ARMA-Modell | 31 |
| 3.2.2. NARMA-Modell | 32 |
| 3.2.3. Modellierung instationärer Aerodynamik mittels Markov-Ketten | 32 |
| 3.2.4. Modellierung einer diskreten Böe mit der Markov-Kette | 34 |
| 3.3. Nichtlineare Abbildungsmethoden | 35 |
| 3.3.1. Polynomiale Abbildung | 36 |
| 3.3.2. Neuronale Netze mit radialen Basisfunktionen | 36 |
| 3.3.3. Weitere Abbildungsverfahren | 49 |
| 3.3.4. Vergleichsstudie der Verfahren | 53 |
| 3.4. Training des Gesamtmodells | 58 |
| 3.5. Einbinden von Metaparametern | 60 |
| 4. Anwendung auf einen 2D-Fall: NLR7301 | 63 |
| 4.1. Strukturmodell | 63 |
| 4.2. Fluidmodell | 64 |
| 4.3. Identifikation des Ersatzmodells | 67 |
| 4.3.1. Trainingsdaten | 67 |
| 4.3.2. Parameterdefinition | 69 |
| 4.4. Stationäre Analyse | 72 |
| 4.5. Instationäre Analyse: Limit Cycle Oscillations | 74 |
| 4.6. Variation der Strömungsparameter | 78 |
| 4.7. Zusammenfassung | 80 |



| | |
|--|------------|
| 5. Anwendung auf einen einfachen 3D-Fall: AGARD445.6 | 81 |
| 5.1. Strukturmodell | 81 |
| 5.2. Fluidmodell | 83 |
| 5.3. Bestimmung der Flattergrenze bei $Ma=0,901$ | 84 |
| 5.3.1. Modellidentifikation | 84 |
| 5.3.2. Flatteruntersuchung | 86 |
| 5.4. Einbinden zusätzlicher Parameter: Machzahl | 90 |
| 5.4.1. Modellidentifikation | 91 |
| 5.4.2. Bestimmung der Flattergrenze im transsonischen und unteren super- sonischen Bereich | 91 |
| 5.5. Zusammenfassung | 94 |
| 6. Anwendung auf einen realitätsnahen 3D-Fall: HIRENASD | 95 |
| 6.1. Strukturmodell | 95 |
| 6.2. Fluidmodell | 98 |
| 6.3. Balkeninterpolation | 101 |
| 6.3.1. Überschneidungs- und Klaffungszonen bei Knicken im Balkenverlauf . | 102 |
| 6.4. Validation des aeroelastischen Modells anhand des Testfalls 132 | 105 |
| 6.5. Untersuchung bei höheren Anstellwinkeln | 107 |
| 6.5.1. Identifikation des Ersatzmodells | 112 |
| 6.5.2. Stationäre Analyse | 115 |
| 6.5.3. Instationäre Analyse | 118 |
| 6.6. Variation des Strukturmodells | 121 |
| 6.6.1. Stationäre Analyse | 122 |
| 6.6.2. Instationäre Analyse | 125 |
| 6.7. Einbinden zusätzlicher Parameter: Anstellwinkel | 127 |
| 6.7.1. Untersuchung der stationären Analyse anhand des Testfalls 132 . . . | 127 |
| 6.7.2. Untersuchung der instationären Analyse bei interpolierten Anstellwin- keln | 130 |
| 6.8. Zusammenfassung | 132 |
| 7. Ausblick: Vorhersage von Böen | 133 |
| 7.1. Böenvorhersage ohne Strukturkopplung | 133 |
| 7.2. Böenvorhersage mit Strukturkopplung | 135 |
| 7.3. Zusammenfassung | 137 |
| 8. Zusammenfassung und Ausblick | 139 |
| A. Allgemeiner Anhang | 149 |
| A.1. Kombination zweier POD-Basen | 149 |
| A.2. Bestimmung ellipsoider Funktionsformen mittels SVD | 149 |
| A.3. Strömungsbedingungen in reibungsfreier Strömung | 150 |
| A.4. Strömungsbedingungen in reibungsbehafteter Strömung: Sutherland-Modell . | 150 |
| A.5. Iterative Bestimmung der Flattergrenze mit Hilfe des logarithmischen Dekre- ments | 151 |
| B. Anhang zusätzlicher Ergebnisse zum AGARD445.6-Flügel | 153 |
| B.1. Ersatzmodellidentifikation im transsonischen und unteren supersonischen Be- reich mit der Machzahl als Metaparameter | 153 |
| B.2. Bestimmung der Flattergrenze mit variiertem Strukturmodell | 154 |



| | |
|--|------------|
| C. Anhang zusätzlicher Ergebnisse zur HIRENASD-Konfiguration | 157 |
| C.1. Aerodynamische Kurven und Druckverteilungen des starren Flügels beim Testfall 132 | 157 |
| C.2. Stationäre Analyse bei höheren Anstellwinkel mit dem Ersatzmodell | 159 |
| C.3. Stationäre Analyse mit variierten Strukturmodellen | 161 |
| C.4. Ersatzmodellidentifikation mit dem Anstellwinkel als Metaparameter | 163 |
| C.5. Ersatzmodell-Untersuchung des Testfalls 132 | 165 |
| C.6. Transiente Analyse mit interpoliertem Anstellwinkel und Strukturvariation . | 167 |
| C.7. Transiente Analyse mit Anstellwinkel-, Struktur- und Strömungsvariation . . | 169 |