

# **Brückendynamik**

## **Schwingungsuntersuchungen von Schrägseilen**

Roman Geier  
roman.geier@al.net

*ULB Darmstadt*



16138819

## Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>AUFBAU DER ARBEIT .....</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
1.1	GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK ÜBER DYNAMISCHE PROBLEME IM BRÜCKENBAU .....	4
1.2	MOTIVATION, GEGENSTAND UND AUFGABENSTELLUNG DIESER ARBEIT .....	11
<b>2</b>	<b>ÜBERWACHUNG VON BRÜCKEN .....</b>	<b>13</b>
2.1	ALLGEMEINES .....	13
2.2	LAUFENDE ZUSTANDSÜBERWACHUNG (HEALTH MONITORING) VON BRÜCKEN.....	15
2.3	DAS MESS- UND AUSWERTESYSTEM BRIMOS ZUR ZUSTANDSÜBERWACHUNG .....	18
<b>3</b>	<b>GRUNDLAGEN FÜR DIE ZUSTANDSÜBERWACHUNG.....</b>	<b>23</b>
3.1	ÜBERSICHT .....	23
3.2	DEFINITIONEN .....	25
3.3	DER LINEARE EINMASSESCHWINGER .....	26
3.3.1	<i>Freie Schwingung.....</i>	27
3.3.2	<i>Erzwungene Schwingung.....</i>	27
3.4	DER LINEARE MEHRMASSENSCHWINGER .....	35
3.4.1	<i>Freie Schwingung.....</i>	35
3.4.2	<i>Erzwungene Schwingung.....</i>	37
3.5	DIE DÄMPFUNG VON BAUKONSTRUKTIONEN .....	43
3.5.1	<i>Definition der Dämpfung .....</i>	44
3.5.2	<i>Messtechnische Bestimmung der modalen Dämpfung .....</i>	47
3.6	BESTIMMUNG DER KABELKRAFT AUF BASIS VON EIGENFREQUENZMESSUNGEN .....	50
3.6.1	<i>Das massebehaftete Seil im statischen Gleichgewicht .....</i>	51
3.6.2	<i>Freie Schwingung eines idealen Seiles.....</i>	52
3.6.3	<i>Bestimmung der Eigenfrequenzen eines idealen Seiles.....</i>	54
3.7	EIGENFREQUENZ UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER BIEGESTEIFIGKEIT .....	56
3.8	MESSTECHNISCHE VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DES DYNAMISCHEN VERHALTENS... 61	61
3.8.1	<i>Die Methoden der Erzwungenen Anregung.....</i>	61
3.8.2	<i>Die Methode der Ambienten Anregung .....</i>	64
3.8.3	<i>Vergleich und Beurteilung der Erzwungenen und Ambienten Anregung .....</i>	65
3.9	METHODEN ZUR SYSTEMIDENTIFIKATION .....	70
3.9.1	<i>Allgemeine Formulierung .....</i>	70
3.9.2	<i>Mathematische Grundlagen der ambienten Systemidentifikation .....</i>	77
<b>4</b>	<b>KABEL FÜR SCHRÄGSEILBRÜCKEN.....</b>	<b>91</b>
4.1	ALLGEMEINES .....	91
4.2	TECHNOLOGIE DER KABEL UND SEILE .....	92
4.2.1	<i>Stabstahlbündel.....</i>	94
4.2.2	<i>Stahlseile .....</i>	94
4.2.3	<i>Vollverschlossenen Seile .....</i>	95
4.2.4	<i>Paralleldrahtkabel .....</i>	96
4.2.5	<i>Parallellitzenkabel .....</i>	97
4.2.6	<i>Monolitzenkabel .....</i>	97
4.2.7	<i>Zügelgurte .....</i>	99
4.2.8	<i>CFK-Kabel.....</i>	100

4.3	SCHUTZ DER KABEL.....	101
4.4	ABSCHÄTZUNG DER ERSTEN VERTIKALEN BIEGESCHWINGUNG.....	102
4.5	SCHWINGUNGSANREGUNG VON SCHRÄGSEILEN.....	104
4.5.1	<i>Allgemeines</i> .....	104
4.5.2	<i>Aerodynamische Grundlagen</i> .....	106
4.5.3	<i>Wirbelablösung (Vortex Shedding Excitation, Karman-Wirbel)</i> .....	108
4.5.4	<i>Flatterschwingungen durch Böenwirkung (Buffeting)</i> .....	109
4.5.5	<i>Formanregung (Galloping)</i> .....	109
4.5.6	<i>Windschatteninstabilität (Wake Instability)</i> .....	110
4.5.7	<i>Regen-Wind Induzierte Schwingungen (Wind-Rain Instability)</i> .....	111
4.5.8	<i>Beurteilung der Schwingungsanfälligkeit</i> .....	113
4.5.9	<i>Indirekte Anregung von Schrägseilen</i> .....	115
<b>5</b>	<b>DYNAMISCHE MESSUNGEN AN SCHRÄGSEILEN.....</b>	<b>118</b>
5.1	AUSWERTEVERFAHREN.....	118
5.2	BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN TRAGWERKE.....	125
5.3	DONAUBRÜCKE TULLN, ÖSTERREICH.....	130
5.3.1	<i>Allgemeines zum Bauwerk</i> .....	130
5.3.2	<i>Ergebnisse der Untersuchung</i> .....	132
5.3.3	<i>Lösungsansatz zur Behebung der Schwingungsprobleme</i> .....	142
5.4	VOESTBRÜCKE LINZ, ÖSTERREICH.....	146
5.4.1	<i>Allgemeines zum Bauwerk</i> .....	146
5.4.2	<i>Ergebnisse der Untersuchung</i> .....	148
5.5	KAO-PING-HSI BRÜCKE, TAIWAN.....	155
5.5.1	<i>Allgemeines zum Bauwerk</i> .....	155
5.5.2	<i>Ergebnisse der Untersuchung</i> .....	157
<b>6</b>	<b>ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN.....</b>	<b>165</b>
6.1	ALLGEMEINE ERKENNTNISSE.....	165
6.2	BESTIMMUNG DER KABELKRAFT UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER BIEGESTEIFIGKEIT.....	177
6.3	BESTIMMUNG DER DÄMPFUNGSPARAMETER.....	186
6.4	REFERENZVERSUCHE.....	191
<b>7</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND WEITERE FORSCHUNGSZIELE.....</b>	<b>201</b>
7.1	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	201
7.2	WEITERE FORSCHUNGSZIELE.....	203
7.3	KOMMENTAR.....	204
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>206</b>