

Inhalt

1	Einführung	1
2	Stehende Wellen	1
3	Wellengleichung der eingespannten, transversal schwingenden Saite	3
3.1	Herleitung und Lösung	3
3.2	Einfluss der Reibung	7
4	Messaufbau, Messung und Auswertung der Messungen	8
4.1	Messaufbau	8
4.2	Messung der Dichte und des Querschnitts der Saite	8
4.3	Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit	8
4.4	Messung der zeitlichen Eigenschwingungen	9
4.5	Messung der Dämpfungskonstante	11
4.6	Messung der räumlichen Eigenschwingungen	11
5	Fazit	12
6	Literaturverzeichnis	13
Anhang A	Zweites Newtonsches Axiom	15
Anhang B	Lineare Deformation	16
B.1	Deformation eines Körpers in drei Dimensionen	16
B.2	Deformation eines fadenförmigen Körpers	18
Anhang C	Lösung der eindimensionalen Wellengleichung nach Bernoulli	25
C.1	Ungedämpfte Schwingungen	25
C.1.1	Finden der allgemeinen Lösung	25
C.1.2	Einfluss von Randbedingungen	27
C.1.3	Einfluss von Anfangsbedingungen	31
C.2	Ausgewählte Anfangsbedingungen	34
C.2.1	Anregung durch ideales Anzupfen	34
C.2.2	Anregung durch ideales Anschlagen	37
C.2.3	Reale Anregung der Saite	39
C.3	Gedämpfte Schwingungen	39
Anhang D	Betrachtungen zur mechanischen Energie der Welle	44
D.1	Fortschreitende ungedämpfte Welle	44
D.2	Superposition von zeitlichen und räumlichen Eigenschwingungen mit Dämpfung	45
D.2.1	Herleitung	45
D.2.2	Endlichkeit der mittleren Gesamtenergiedichte	48
Anhang E	Signalverarbeitung der Messsignale	50
E.1	Mathematische Erwartung	50
E.1.1	Mittelwert	50
E.1.2	Varianz	51
E.2	Messsignale	53
E.3	Lineares Signalmodell des breitbandigen zeitdiskreten Messsignals	54
E.4	Bestimmung der Varianz der Störung	55

E.5	Fourier-Analyse.....	55
E.5.1	Fourier-Analyse zeitkontinuierlicher periodischer Signale.....	55
E.5.2	Fourier-Analyse zeitdiskreter periodischer Signale	56
E.5.3	Identifizieren der Eigenfrequenzen der Saite im Leistungsdichtespektrum	60
E.6	Entwurf des digitalen Bandpassfilters	60
E.7	Lineares Signalmodell des schmalbandigen zeitdiskreten Messsignals	61
E.8	Periodogrammbasierte Maximum-Likelihood (ML)-Frequenzschätzung	61
E.9	Bestimmung der Dämpfungskonstante.....	62
E.10	Bestimmung der Eigenfrequenzen der ungedämpften Saite.....	63
E.11	Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit	63
Anhang F	Messaufbau.....	65
F.1	Monochord	65
F.2	TASCAM DR-22WL Digitalrecorder	68
Anhang G	Kraftverlust durch die vier Umlenkrollen	69
G.1	Theoretische Betrachtung an einer einzelnen Umlenkrolle.....	69
G.2	Stehende und liegende Umlenkrollen.....	70
Anhang H	Messergebnisse	72
H.1	Messung der Dichte und des Querschnitts	72
H.2	Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch Auswerten der Spannkraft	72
H.3	Auswertung von Schallsignalen	73
H.4	Messung der Eigenfrequenzen durch Auswerten der Schallsignale	73
H.4.1	Ergebnis der Fourier-Analyse	73
H.4.2	Ergebnis der ML-Schätzung der Grundfrequenz	78
H.4.3	Messung des Einflusses der Dämpfung	79
H.5	Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch Auswerten der Schallsignale	83
H.6	Messung der Eigenwellenlängen.....	84
H.7	Produkte der Eigenfrequenzen und der Eigenwellenlängen	86
H.8	Veranschaulichung der approximierten Wellenfunktion.....	88