

# 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

<b>E.5</b>	<b>Fourier-Analyse.....</b>	<b>55</b>
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
<b>E.6</b>	<b>Entwurf des digitalen Bandpassfilters .....</b>	<b>60</b>
<b>E.7</b>	<b>Lineares Signalmodell des schmalbandigen zeitdiskreten Messsignals .....</b>	<b>61</b>
<b>E.8</b>	<b>Periodogrammbasierte Maximum-Likelihood (ML)-Frequenzschätzung.....</b>	<b>61</b>
<b>E.9</b>	<b>Bestimmung der Dämpfungskonstante.....</b>	<b>62</b>
<b>E.10</b>	<b>Bestimmung der Eigenfrequenzen der ungedämpften Saite.....</b>	<b>63</b>
<b>E.11</b>	<b>Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit .....</b>	<b>63</b>
<b>Anhang F</b>	<b>Messaufbau.....</b>	<b>65</b>
F.1	Monochord .....	65
F.2	TASCAM DR-22WL Digitalrecorder .....	68
<b>Anhang G</b>	<b>Kraftverlust durch die vier Umlenkrollen .....</b>	<b>69</b>
G.1	Theoretische Betrachtung an einer einzelnen Umlenkrolle.....	69
G.2	Stehende und liegende Umlenkrollen.....	70
<b>Anhang H</b>	<b>Messergebnisse .....</b>	<b>72</b>
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