

# Inhaltsverzeichnis

		Seite
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Problemstellung und Zielsetzung .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Zur Theorie der Seilstatik bei Seilschwebebahnen .....</b>	<b>7</b>
3.1	Das biegeschlaffe, dehnungsfreie Seil	7
3.1.1	Die mathematische Formulierung der Kettenliniengleichung	7
3.1.2	Eine mathematische Näherung der Kettenliniengleichung	9
3.2	Das biegeschlaffe, elastische Seil	10
3.3	Das biegesteife, dehnungsfreie Seil	13
3.4	Vergleich der verschiedenen Modellierungsvarianten für Seile im Hinblick auf eine möglichst exakte und effektive Seillinienberechnung	16
3.4.1	Einfache Seilbahnmodelle zur Vergleichsrechnung mit den verschiedenen Varianten der Seilliniengleichung	16
3.4.1.1	Bestimmungsgleichungen für dehnungsfreie, biegeschlaffe Tragseile bei Verwendung der allgemeinen Kettenliniengleichung	18
3.4.1.2	Bestimmungsgleichungen für dehnungsfreie, biegeschlaffe Tragseile bei Verwendung der Parabelnäherung der allgemeinen Kettenliniengleichung	20
3.4.1.3	Bestimmungsgleichungen für elastische, biegeschlaffe Tragseile bei Verwendung der elastischen Kettenliniengleichung	22
3.4.1.4	Bestimmungsgleichungen für dehnungsfreie, biegesteife Tragseile bei Verwendung der Parabelnäherung der biegesteifen Kettenliniengleichung	25
3.4.2	Statische Vergleichsrechnungen an einer realen Seilbahnanlage	26
3.4.2.1	Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen bei dehnungsfreien und bei elastischen, biegeschlaffen Tragseilen	27
3.4.2.2	Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen bei dehnungsfreien, biegesteifen Tragseilen	33
3.5	Ersatzmodell zur statischen Berechnung der Seile einer Großkabinen-Pendelbahn	35

3.5.1	Festlegung der Modellannahmen	35
3.5.2	Bestimmungsgleichungen der statischen Seillinien einer Großkabinen-Pendelbahn	37
3.5.3	Rechenprogramm zur Lösung der nichtlinearen Gleichungssysteme der Seilstatik	45
<b>4</b>	<b>Zur Theorie der Tragseildynamik bei Seilschwebbahnen .....</b>	<b>47</b>
4.1	Bisheriger Stand der theoretischen Untersuchungen	48
4.1.1	Das Schwingungsverhalten von Seilen im Schwerfeld	48
4.1.2	Beschreibung des Tragseilrutschmechanismus mit Longitudinalwellen	51
4.1.3	Ersatzmodell zum Aufstellen der sogenannten Wellenfahrpläne	53
4.2	Eigene theoretische Untersuchungen	56
4.2.1	Mechanisches Ersatzmodell für das TragseilSchwingungssystem	56
4.2.2	Herleitung der Bewegungsgleichung eines vorgespannten, längsschwingenden, ungedämpften Seiles	58
4.2.3	Rand- und Koppelbedingungen	59
4.2.4	Lösung der eindimensionalen Wellengleichung	61
4.2.4.1	Die analytische Lösung der eindimensionalen Wellengleichung	61
4.2.4.2	Numerische Lösungen der eindimensionalen Wellengleichung	62
4.2.4.2.1	Eine explizite Lösungsmethode unter Verwendung der endlichen Differenzen	62
4.2.4.2.2	Eine implizite Lösungsmethode unter Verwendung der endlichen Differenzen	64
4.2.4.2.3	Formulierung der Randbedingungen mittels endlicher Differenzen	65
4.2.4.2.4	Konvergenz und Stabilität der expliziten und impliziten Differenzenmethoden	66
4.2.4.3	Vergleich von analytischer und numerischer Lösung der eindimensionalen Wellengleichung anhand eines einfachen Beispiels	68
4.2.4.3.1	Vergleich der expliziten numerischen Lösung mit der analytischen Lösung	70
4.2.4.3.2	Vergleich der impliziten numerischen Lösung mit der analytischen Lösung	72
4.2.4.4	Die eindimensionale Wellengleichung mit einer der Materialgeschwindigkeit proportionalen, ortsunabhängigen Dämpfung	73
4.2.5	Die Simulation der Kabinenfahrt	75
4.2.5.1	Statische Tragseilkraftkennfelder	75
4.2.5.2	Berücksichtigung der Kabinenfahrtgeschwindigkeit bei der dynamischen Tragseilkraftsimulation	77

4.2.6	Rechenprogramm zur dynamischen Simulation der Tragseilkräfte	80
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen zur Verifizierung der Rechenmodelle .....</b>	<b>84</b>
5.1	Beschreibung der Osterfelder-Seilbahn, der ausgewählten Meßorte und Meßgrößen	84
5.2	Konzeption der Meßdatenerfassung	88
5.3	Meßeinrichtungen	92
5.3.1	Tragseilkraft-Meßeinrichtungen	93
5.3.1.1	Längsdehnungs-Kraftaufnehmer	93
5.3.1.2	Querdehnungs-Kraftaufnehmer	95
5.3.1.3	Nachweis des linearen Übertragungsverhaltens beim Längsdehnungs-Kraftaufnehmer	97
5.3.1.4	Nachweis des linearen Übertragungsverhaltens beim Querdehnungs-Kraftaufnehmer	100
5.3.1.5	Kalibrierung der Kraftaufnehmer	102
5.3.1.6	Ermittlung des Tragseilelastizitätsmoduls	105
5.3.2	Tragseilwinkel-Meßeinrichtungen	108
5.3.3	Seilweg-Meßeinrichtungen	111
5.4	Durchführung der Messungen	113
<b>6</b>	<b>Vergleich von Messungs- und Berechnungsergebnissen .....</b>	<b>116</b>
6.1	Nachweis der Theorie durch Vergleich von Berechnungs- und Meßergebnissen auf grafischem Wege (Messung 1)	117
6.1.1	Die Tragseilkraftänderung	117
6.1.2	Der Tragseilrutsch	123
6.1.3	Die Tragseilwinkel	128
6.2	Numerische Analyse der Meßergebnisse (Messung 1)	132
6.2.1	Ergebnisse der Tragseilkraftmessungen	132
6.2.2	Ergebnisse der Tragseilrutschmessungen	135
6.2.3	Ergebnisse der Tragseilwinkelmessungen	137

6.3	Untersuchungsergebnisse bei Seilbahnbetrieb unter winterlichen Verhältnissen (Messung 2)	138
6.3.1	Ergebnisse der Tragseilkraftmessungen	138
6.3.2	Ergebnisse der Tragseilrutschmessungen	141
6.3.3	Ergebnisse der Tragseilwinkelmessungen	142
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>144</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenstellung der wichtigsten Formelzeichen .....</b>	<b>147</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>150</b>
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>165</b>