

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	XI
Formelzeichenverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Ausgangssituation	2
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	6
2 Stand der Forschung und Technik	9
2.1 Unterteilung von Kranen	9
2.1.1 Gittermast-Fahrzeugkrane	11
2.1.2 Lkw-Ladekrane	13
2.2 Vorschriften für die Berechnung der Stahltragwerke von Gittermast-Fahrzeugkranen und Lkw-Ladekranen	15
2.2.1 Internationale und europäische Normgebung im Kranbau	15
2.2.2 Einteilung der Lasten gemäß ISO 8686-2 und ISO 15442	18
2.2.3 Lastannahmen für Gittermast-Fahrzeugkrane	19
2.2.4 Lastannahmen für Lkw-Ladekrane	24
2.2.5 Festigkeitsnachweise	26
2.3 Grundlagen der Finite-Elemente-Methode	28
2.3.1 Ablauf einer Finite-Elemente-Analyse	29
2.3.2 Statische und dynamische Finite-Elemente-Berechnung	30
2.4 Forschungsarbeiten zu dynamischen Kranbelastungen	34
2.5 Resultierende Forschungslücke	43
3 Modellentwicklung für die Abbildung dynamischer Tragwerksbelastungen 45	
3.1 Einordnung der Schwingungsmodelle in die normativen Festigkeitsnachweise	45
3.2 Theoretische Grundlagen zu den Schwingungsmodellen	48
3.2.1 Schwingungen mit einem Freiheitsgrad	49
3.2.2 Analyse der Tragwerksschwingungen auf Basis der modalen Superposition	52
3.2.3 Rayleigh-Dämpfung	55
3.2.4 Berechnung der Schwingungsanregung	57
3.2.5 Analytische Lösung der Bewegungsgleichung	60
3.2.6 Berechnung statischer Ersatzlasten	62
3.3 Fazit zu den entwickelten Schwingungsmodellen	64

VII

4 Numerische Analysen	67
4.1 Analysierte Auslegersysteme und Rüstzustände von Gittermast-Fahrzeugkranen und Lkw-Ladekranen	67
4.2 Modellbildung	72
4.2.1 FE-Modelle der Krane	72
4.2.2 Modellierung der Antriebe	74
4.3 Antriebsparameter der analysierten Arbeitsvorgänge von Gittermast-Fahrzeugkranen	75
4.3.1 Arbeitsvorgang Drehen	76
4.3.2 Arbeitsvorgang Wippen	76
4.3.3 Kombinierter Arbeitsvorgang aus Wippen und Senken	77
4.4 Antriebsparameter der analysierten Arbeitsvorgänge von Lkw-Ladekranen	79
4.4.1 Arbeitsvorgang Drehen	79
4.4.2 Arbeitsvorgänge Lastheben und Lastsenken	80
4.5 Vorgehen zur Bewertung der Berechnungsmethoden	81
4.6 Auswahl geeigneter Überlagerungsregeln für die Berechnung von statischen Ersatzlasten	84
4.7 Ergebnisse der numerischen Berechnungen von Gittermast-Fahrzeugkranen	88
4.7.1 Arbeitsvorgang Drehen	88
4.7.2 Arbeitsvorgang Wippen	100
4.7.3 Kombinierter Arbeitsvorgang aus Wippen und Senken	106
4.8 Ergebnisse der numerischen Berechnungen von Lkw-Ladekranen	109
4.8.1 Arbeitsvorgang Drehen	109
4.8.2 Arbeitsvorgänge Lastheben und Lastsenken	115
4.9 Fazit zu den numerischen Analysen	124
5 Experimentelle Analysen	127
5.1 Versuchskran und Versuchsablauf	127
5.2 Vergleich von Messungen und statischen Berechnungen	130
5.2.1 Statische Verformungen der Kranstrukturen für den Vorgang Drehen	131
5.2.2 Statische Verformungen der Kranstrukturen für den Vorgang Senken	134
5.2.3 Fazit zum Vergleich der Messungen mit den statischen FE-Berechnungen	136
5.3 Bestimmung der Tragwerksdämpfung	137
5.3.1 Vorgehen bei der Berechnung der Dämpfung	137
5.3.2 Tragwerksdämpfung in seitlicher Richtung	138
5.3.3 Tragwerksdämpfung in der Tragwerksebene	142
5.3.4 Fazit zur Dämpfungsberechnung	145
5.4 Vergleich von Messungen und dynamischen Berechnungsmethoden	145
5.4.1 Auswertung des Arbeitsvorgangs Drehen	146

5.4.2 Auswertung des Arbeitsvorgangs Senken	152
5.4.3 Fazit zum Vergleich der Messungen mit den dynamischen Berechnungsmethoden	157
6 Zusammenfassung und Ausblick	159
Literaturverzeichnis	165
Verzeichnis der betreuten Studienarbeiten	173
Abbildungsverzeichnis	175
Tabellenverzeichnis	195
Anhang A Numerische Analysen	A-1
A.1 Ergebnisse der numerischen Berechnungen von Gittermast-Fahrzeugkranen	A-1
A.1.1 Arbeitsvorgang Drehen	A-1
A.1.2 Arbeitsvorgang Wippen	A-7
A.2 Ergebnisse der numerischen Berechnungen von Lkw-Ladekranen	A-16
A.2.1 Arbeitsvorgang Drehen	A-16
A.2.2 Arbeitsvorgänge Lastheben und Lastsenken	A-20
Anhang B Experimentelle Analysen	B-1
B.1 Experimentell untersuchte Kranstrukturen für den Arbeitsvorgang Drehen	B-1
B.2 Bestimmung des logarithmischen Dekrements	B-6
B.3 Tragwerksdämpfung in seitlicher Richtung und in der Tragwerksebene	B-14
B.4 Zeitlicher Verlauf des Drehwinkels aus Messung und dynamischer FE-Berechnung	B-22
B.5 Zeitlicher Verlauf der Bewegung des Hauptarmzylinders aus Messung und dynamischer FE-Berechnung	B-27
B.6 Maximale Auslenkungen während des Arbeitsvorgangs Drehen	B-31
B.7 Maximale Auslenkungen während des Arbeitsvorgangs Senken	B-36