PROSPECT

FACHMAGAZIN FÜR BÜHNEN- UND VERANSTALTUNGSTECHNIK Nr. 2 | 2016 | 10 € www.prospect.at www.akademie-goethe.at

Frankfurter Feuerwerk der Ideen

Ein Rückblick auf die strahlende, klingende Prolight + Sound. 22

MASTERPLAN für die Ton- und Bühnentechniker des AC/DC-Konzerts. 12

PHILHARMONISCHES PICKNICK mit beeindruckenden Zahlen. 20

FÜRCHTET EUCH NICHT Eine Wienerin gewann die „Goldene Maske". 36

TEXT Chr. Partl, G. Kartnig, F. Oberlehner, E. Papst, B. Grösel

Untersuchung der Lasten an Bühnenwinden bei Not-Halt

In den letzten Jahren wurde die Thematik der Störfallbelastungen in der Bühnentechnik vielfach diskutiert, wobei einige Unklarheiten bezüglich der tatsächlich auftretenden Belastungsgrößen sowie deren Ermittlung auftraten. Im Auftrag der Firma Waagner-Biro wurde daher am Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik der TU Wien ein Forschungsprojekt durchgeführt, welches sich mit den Störfallbelastungen an Seilwinden bei einem Not-Halt der Stoppkategorie 0 beschäftigt.

Beim Not-Halt der Stoppkategorie 0 liefert der Antrieb keine Leistung mehr und nach einer kurzen Ansprechverzögerung fallen die zuvor gelüfteten Bremsen ein, um die transportierte Last – Dekoration oder Personen – bis zum Stillstand abzubremsen. Der Not-Halt führt zu weit größeren Verzögerungswerten, als dies im Normalbetrieb der Fall ist, wodurch auch die Seilkräfte entsprechend größer sind. Aufgrund der Seilelastizität treten beim Abbremsvorgang Schwingungen auf, welche auch mit einer Schlaffseilbildung einhergehen können. Durch die dabei auftretenden Kraft- und Verzögerungsverläufe können sowohl die Anlage als auch die transportierte Last hohen Belastungen ausgesetzt sein. Eine Überlastung kann zu erheblichen Personen- und Materialschäden führen. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit [1] wurde ein Simulationsprogramm für den Not-Halt der Stoppkategorie 0 einer Seilwinde mittels MATLAB-Simulink entwickelt, welches die dynamischen Effekte beim Not-Halt insbesondere unter Beachtung der Elastizität des Hubseiles berücksichtigt und die wirkenden Seilkräfte, Beschleunigungen sowie weitere Systemgrößen ermittelt. Das System, bestehend aus Seilwinde, Seil und Last, kann durch drei gekoppelte Differentialgleichungen dargestellt werden. In Abbildung 1 ist das zerlegte und freigemachte System grob dargestellt.

Das Differentialgleichungssystem wurde unter Einhaltung einiger erweiternder Bedingungen in MATLAB-Simulink umgesetzt, wodurch diverse Systemgrößen ermittelt werden können. Im Speziellen sind dies die zurückgelegten Wege, die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe an der Trommel und an der Last sowie die entsprechenden Seilkräfte. Um das Simulationsmodell zu validieren, wurden messtechnische Untersuchungen an einer Seilwinde durchgeführt. Hierzu stand ein firmeneigener Prüfstand von Waagner-Biro zur Verfügung (siehe Abb. 2 und 3). Da die Systemparameter, wie beispielsweise die Bremsmomentverläufe, sehr großen Streuungen bzw. Unsicherheiten unterliegen, kann nicht von einer exakten Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung ausgegangen werden. Wie in Abb. 4 ersichtlich passen Simulation und Messung jedoch sehr gut zusammen. Für weitere Vergleiche mit diversen Systemeinstellungen, wie z. B. verschiedensten Seillängen, konnte somit das Simulationsmodell herangezogen werden.

Not-Halt beim Senken

In Abb. 5 wird im oberen Diagrammteil jeweils der simulierte Beschleunigungsverlauf der Trommel und jener der Last gemäß [1] abgebildet, während im unteren Diagramm die Seilkräfte der Simulation jenen einer Starrkörperberechnung nach [2] gegenübergestellt sind.

Beim Starrkörpermodell wird die Seilelastizität vernachlässigt und eine starre Verbindung zwischen Antriebseinheit und Last angenommen. Außerdem werden einige Vereinfachungen bei der Modellbildung getroffen, wie beispielsweise, dass die Bremsen nach einer gewissen Verzöge- →

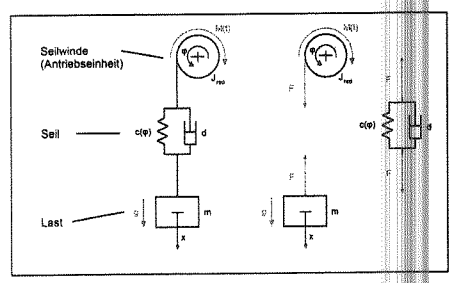


Abbildung 1: System zerlegt und freigemacht

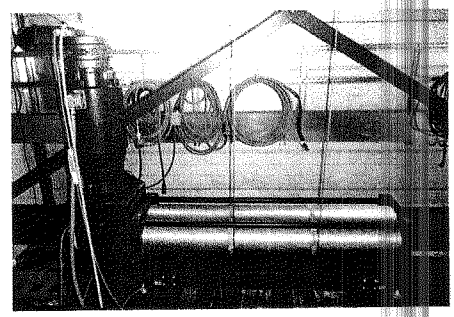


Abbildung 2: Seilwinde des Prüfstands bei Waagner-Biro

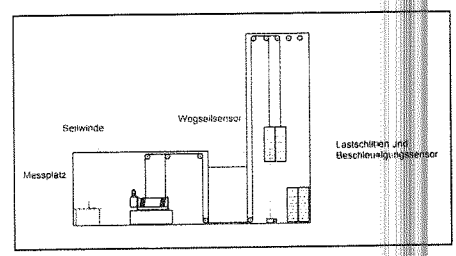


Abbildung 3: Schema des Prüfstands bei Waagner-Biro

Mitarbeit an dieser Arbeit:
Dipl.-Ing. Christof Partl: Verfasser der Diplomarbeit
Em. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bruno Grösel, TU Wien
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Kartnig, TU Wien
Dipl.-Ing. Florian Oberlehner, Waagner Biro
Ing. Erwin Papst, MSc., Waagner Biro

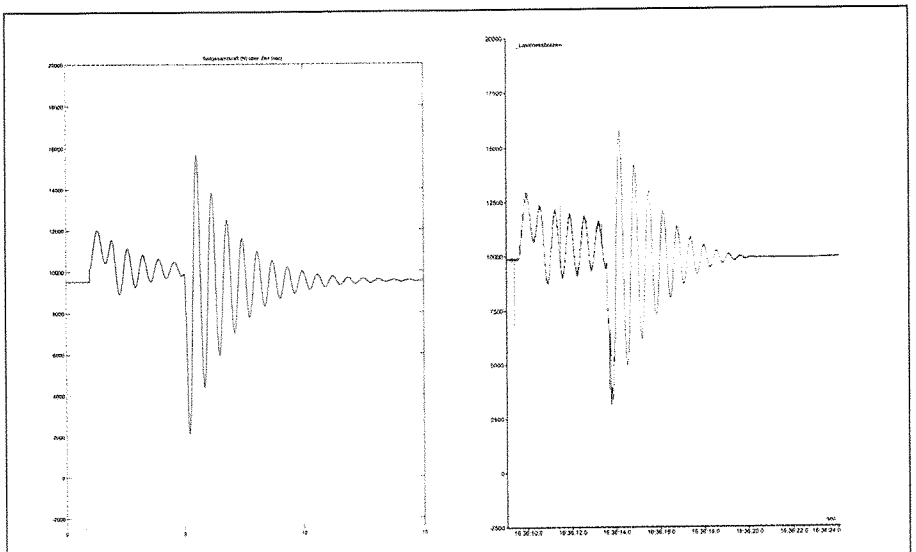


Abbildung 4: Vergleich des Kraftverlaufs von Simulation (links) und Messung (rechts) für eine Hublast von 1002 kg

→ rungszeit schlagartig mit voller Wirkung einfallen. Wie Abb. 5. zeigt, liegen die Störfallbelastungen laut Simulation deutlich über den berechneten Kräften aus dem Starrkörperansatz. Wird die freie Seillänge von 50 m auf 20 m reduziert, so erhöht sich die Maximalkraft laut Simulation sehr deutlich. Allerdings nähern sich die auftretenden Maximalkräfte bei einer weiteren Verringerung der freien Seillänge auf 5 m (zunehmende Federrate) wieder den Ergebnissen der Starrkörperberechnung an. Es zeichnet sich somit ein Bereich ab, innerhalb dessen die Seilkräfte einen Maximalwert einnehmen. Dieser Bereich ändert sich je nach Systemkonfiguration. Außerhalb dieses Bereichs treten deutlich geringere Kräfte auf. Variiert man für die abgebildete Anlage nur die freie Seillänge, so ergibt sich beispielsweise für eine Gesamtlast von rund 500 kg die Maximalkraft im Bereich von ca. 13 m bis 23 m. In diesem Bereich liegt eine annähernd gleichbleibende maximale Seilkraft vor, während außerhalb dieses Bereichs die Kraftamplitude wieder abnimmt. Grund für die Abnahme der Seilkräfte bei geringen Seillängen ist das Schwingverhalten des Systems. Durch die Federwirkung des Seils findet eine verzögerte Kraftwirkung an der Lastseite statt, wodurch die Beschleunigungsverläufe der Last- und Trommelseite unterschiedlich sind. Die Beschleunigungsverläufe schwingen dabei quasi gegengleich um einen Gleichgewichtswert. Ist nun die Seillänge so gering, dass die Beschleunigungsverläufe sich bereits während des Bremsmomentenaufbaus überschneiden (vgl. Abb. 5 – freie Seillänge 5 m) und somit um eine zwischenzeitliche Gleichgewichtslage schwingen, so verringern sich die Amplituden der Beschleunigungsverläufe und damit auch jene der Seilkraft. Bei großen freien Seillängen reagiert das System so langsam, dass es wiederum zu einer Verringerung der maximalen Kraftamplituden kommt. Dies ist dann der Fall, wenn der Aufbau der Seilkraft so lange dauert, dass die Trommel deutlich vor Erreichen der Maximalkraft bereits zum Stillstand gekommen ist. Dadurch wird die Gleichgewichtslage, um welche die Seilkraft bzw. der Beschleunigungsverlauf der Lastseite bei Erreichen der größten Kraftamplitude schwingt, durch die Ruhelage des Systems dargestellt (freie Seilschwingung der Last um die stehende Trommel).

Literatur

[1] Partl C.: Untersuchung der Lasten an Seilwinden der Bühnentechnik bei Not-Halt der Stoppkategorie 0, Diplomarbeit an der TU Wien, 2015

[2] Grösel B.: Bühnentechnik: Mechanische Einrichtungen, 5. Auflage, De Gruyter Oldenbourg, Berlin 2015

Not-Halt beim Heben

Bei hohen Hubgeschwindigkeiten und abruptem Abbremsen kann es zum Abheben der Last kommen. Als Vergleichsgröße für die Seilkräfte der Simulation soll wiederum ein vereinfachter Berechnungsansatz dienen. Durch einen reinen Starrkörperansatz würden hier allerdings Druckkräfte im Seil ermittelt werden, wodurch das Systemverhalten nicht realitätsnah abgebildet würde. Für den Lastfall Not-Halt beim Heben wird daher der Starrkörperansatz wie in [2] durch einen Feder-Masse-Schwinger erweitert. Diese Erweiterung ist nötig, um das Systemverhalten beim Not-Halt während einer Hubbewegung abbilden zu können. Um die Anfangswerte der Schwingungsgleichungen zu ermitteln, wird mit dem Starrkörperansatz eine Abhebegeschwindigkeit ermittelt und im Weiteren ein Wurf der Last nach oben mit dem Abbremsvorgang der Antriebseinheit verglichen. Die Differenz zwischen maximaler Wurfhöhe und dem zurückgelegten Bremsweg an der Trommel entspricht der Fallhöhe, aus welcher die Last ins schlaffe Seil fällt. Daraus können durch die Annahme einer Federwirkung des Seils die entsprechenden Seilkräfte ermittelt werden. In Abb. 6 sind die Seilkräfte der Simulation den Maximalkräften der vereinfachten Berechnung bei Seillängen von 50 m, 20 m und 5 m gegenübergestellt. Die zu ermittelnde Maximallast für die Hubbewegung tritt beim Fall der Last ins Schlaffseil auf. Wie aus den Diagrammen ersichtlich nimmt beim Not-Halt beim Heben die Seilkraft mit abnehmender Seillänge deutlich zu. Für den Hubfall ist somit immer die minimale Seillänge der kritische Fall. Die Seilkräfte können dabei, wie beim Vergleich von Abb. 5 mit Abb. 6 (gleiche Systemkonfiguration) ersichtlich, deutlich über jenen beim Senken liegen.

Diese Zunahme der Seilkräfte mit abnehmender Seillänge zeichnet sich sowohl bei der Simulation als auch bei den vereinfachten Berechnungen mit einem Feder-Masse-Schwinger ab. Durch die getroffenen Vereinfachungen, wie beispielsweise den sprungförmigen Bremsmomentenverlauf beim Berechnungsmodell, kommt es zu Abweichungen zwischen Simulation und Berechnung. ●

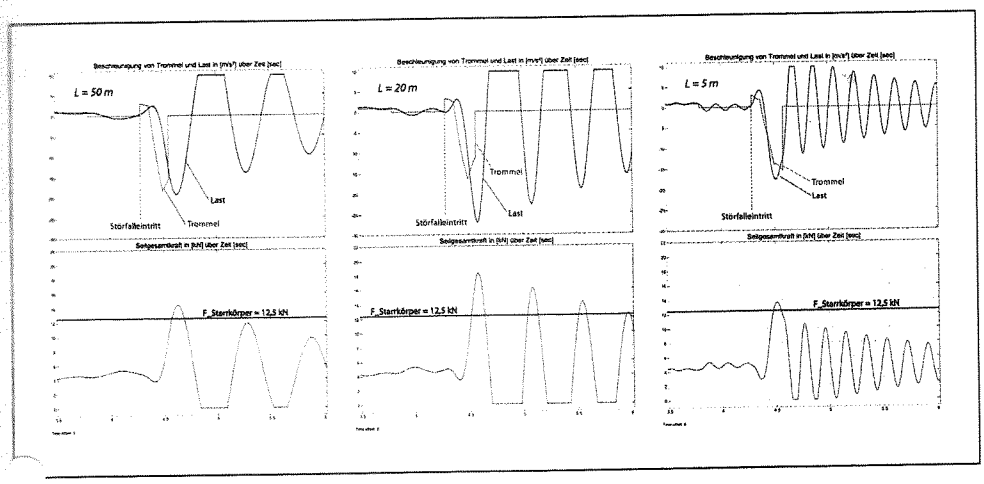


Abbildung 5: Vergleich der Beschleunigungs- (oben) und Kraftverläufe (unten) für 50 m, 20 m, 5 m freier Seillänge (von links nach rechts) mit der Seilkraft laut Starrkörper-Berechnung beim Senken der Last

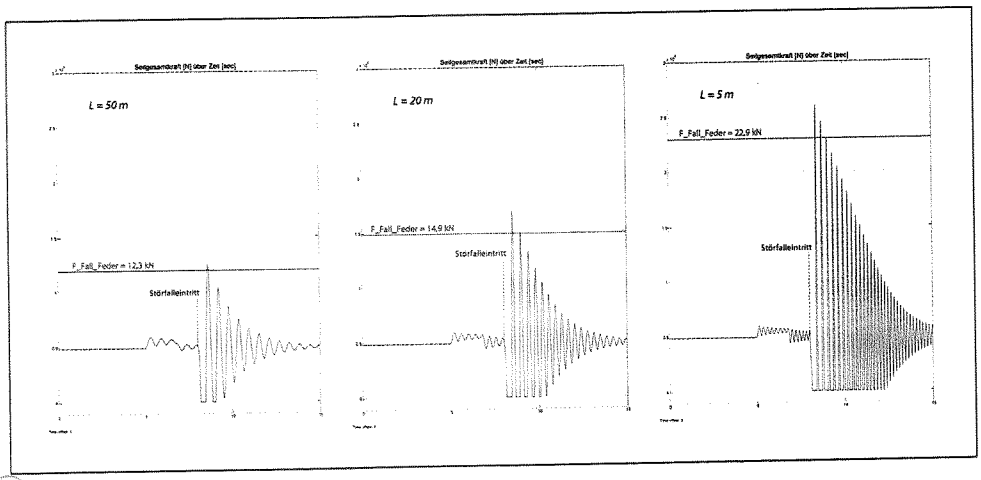
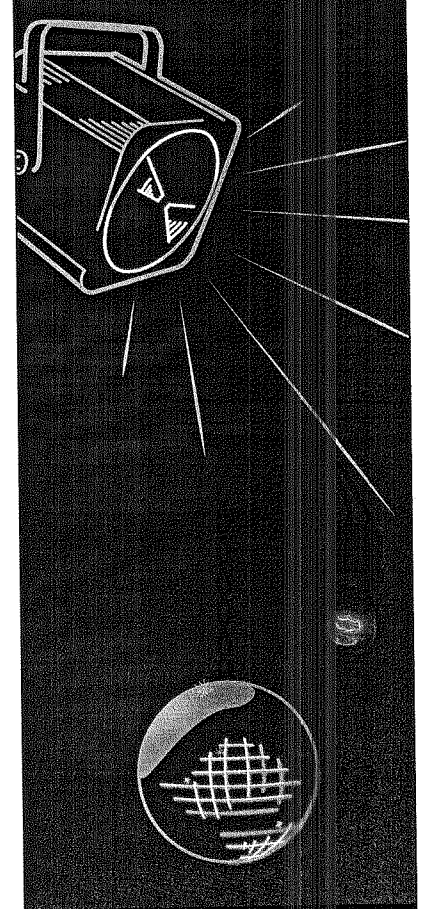


Abbildung 6: Vergleich des Kraftverlaufs der Simulation mit den Berechnungsergebnissen des vereinfachten dynamischen Modells (Feder-Masse-Schwinger) bei 50 m, 20 m, 5 m freier Seillänge (von links nach rechts) beim Heben der Last

Zusammenfassung

Das dynamische Verhalten der Lasten an Seilwinden wird wesentlich durch Seillänge, Seil-Elastizitätsmodul, Anzahl der Seile, Lastgewicht, Bremsmomentverlauf, Massenträgheitsmomente sowie die Hub- und Senkgeschwindigkeit beeinflusst. Sowohl beim Heben als auch beim Senken zeigt sich, dass infolge der Seilelastizität die tatsächlichen maximalen Beschleunigungen und Kräfte wesentlich von den Ergebnissen der Starrkörperberechnung abweichen.
Mit dem hier beschriebenen Modell, das durch Versuche validiert werden konnte, steht der Fa. Waagner-Biro nun ein Berechnungsansatz zur Verfügung, mit dem jede Seilwinde hinsichtlich maximaler Kräfte bei Störfallbelastung dimensioniert werden kann.

Der bisher verwendete Berechnungsansatz von Waagner-Biro – basierend auf einem starrkörperkinetischen Modell in Verbindung mit entsprechenden Dynamik-Beiwerten, wie er in ähnlicher Weise in der Kranbau-Norm DIN EN 13001-2 beschrieben ist – konnte im Zuge des beschriebenen Forschungsprojektes bestätigt werden.

sound • light • reflex
Veranstaltungstechnik
"make your event different"

Flexible Lösungen
für Deine Veranstaltung
Licht • Ton • Video
Bühne • Spezialeffekte
Ihr kompetenter Partner im Bereich der professionellen Veranstaltungstechnik
Besuche uns im Internet unter
soundlightreflex.com
Mobil: 0664/543 08 49
Tel: 02282/608 62
f.novotny@soundlightreflex.com
Leo Porsch Gasse 1/3/1
2230 Gänserndorf
oder auf Facebook
www.fb.com/soundlightreflex