

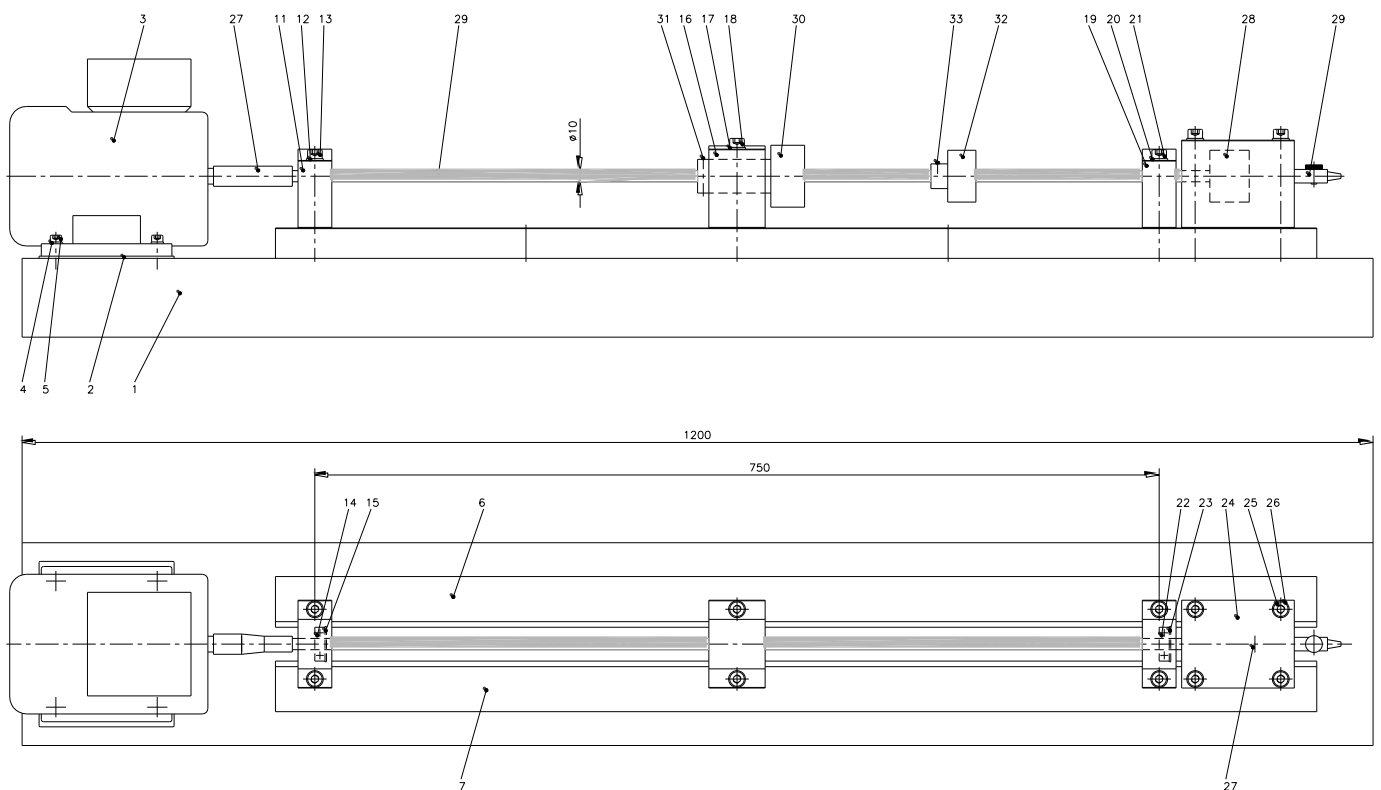
Rotationsdynamik

Diplomarbeit an der Abteilung Maschineningenieurwesen

Im praktischen Teil dieser Diplomarbeit wurde ein Prüfstand zum „Sichtbarmachen“ von Biegeschwingungen konstruiert, gefertigt und erprobt. Eine Welle wird von einem Motor über eine elastische Kupplung angetrieben, die Drehzahl kann stufenlos bis 5400 U/min eingestellt werden. Die Welle ist in zwei Pendelkugellagern (Typ 1200) geführt. Der Prüfstand ist auf einem U180-Profil aufgebaut und hat eine Gesamtlänge von 1200 mm. Die biegekritische Drehzahlen von Wellen mit Durchmesser 10 mm aus verschiedenen Materialien (Einfluss E-Modul) und unterschiedlichen Längen (Lagerabstand bis 780 mm) werden durch die starke Auslenkung bei und in der Nähe der biegekritischen Drehzahl eindeutig erkannt.

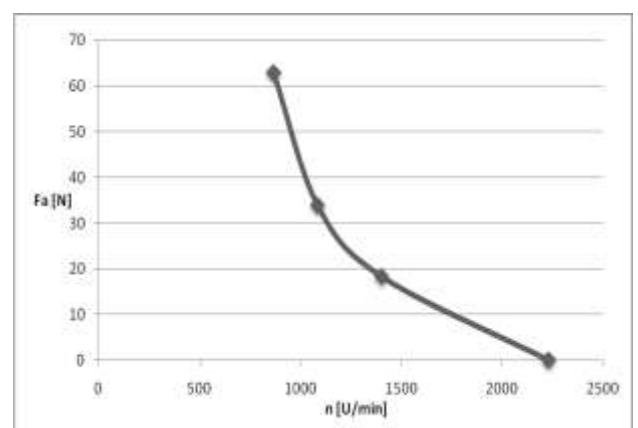
Die beiden Lager (Pos. 12,20), Zusatzmassen (Pos. 30,32) und das Fanglager (Pos. 18) können an verschiedenen Positionen auf den Leisten (Pos. 7,8) montiert werden, wodurch die biegekritische Drehzahl von verschiedensten Wellenanordnungen bestimmt werden können. Das Fanglager dient zur Messung der Wellenauslenkung f und zur Begrenzung des Ausschlages (Sicherheitseinrichtung).

Die Formeln nach Dunkerley ergaben für jede erprobte Wellenkonfiguration eine um ca. 3% niedrigere biegekritische Drehzahl als die gemessenen Werte.



Auch die Axialkraft hat einen Einfluss auf die Eigenfrequenz eines Systems. Zugkräfte erhöhen die Eigenfrequenz (z.B. gespannte Saite einer Gitarre, Fliehkraft auf Turbinenschaufel, ziehendes Fräsen in der HSC-Bearbeitung) und Druckkräfte senken die biegekritische Drehzahl (z.B. Kreiselumpenwelle, Abfall der biegekritischen Drehzahl um bis zu 20%). Durch einen mit Druckluft beaufschlagten Kolben (Pos.28), der eine Axialkraft auf die schlanke Welle ausübt, soll dieser Effekt nachgewiesen werden.

Die ersten Versuche sind erfolversprechend, allerdings sind die Messwerte bis jetzt nicht reproduzierbar und stimmen nicht mit der Theorie überein. Modifikationen bei der Kupplung und eine exaktere Ausrichtung Motor-Welle sollen hier die äußeren Einflüsse reduzieren. Weiters ist die Stützwirkung des nicht mitrotierenden Kolbens zu untersuchen.



Prof. Machinek stellte eine Formel zu Verfügung, in welcher der Einfluss der Druckkraft auf die biegekritische Drehzahl beschrieben wird, weitere Recherchen in der Literatur blieben erfolglos. In dieser Formel wird die Änderung der größten Auslenkung f eines mit ω rotierenden Stabes der Länge L , mit einer exzentrischen Massenmittelpunktsachse (Exzentrizität e) und einer Axialdruckkraft F folgendermaßen angegeben.

$$f = \frac{5 \cdot L^4}{384} \cdot \frac{\rho \cdot A \cdot (\omega^2 \cdot e + g)}{E \cdot I - \rho \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{L}{\pi}\right)^4 - F \cdot \left(\frac{L}{\pi}\right)^2}$$

Durch Nullsetzen des Nenners ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\omega_k = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{F}{F_0}} \quad ; \quad \omega_0 = \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A \cdot L^4}} \quad \text{und} \quad F_0 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Die Formel zeigt, dass die biegekritische Drehzahl ω_k der Welle mit Axialdruckkraft kleiner ist als die biegekritische Drehzahl ω_0 der Welle. Die Änderung ist vom Verhältnis der Druckkraft F zur Eulerschen Knicklast F_0 abhängig.

Auch eine schwache Dämpfung (Dämpfungsgrad \mathcal{D}) hat mathematisch formuliert einen ähnlichen Einfluss auf die Änderung der Eigenfrequenz eines Systems.

$$\omega_d = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \mathcal{D}^2}$$



Der Einfluss der Lagersteifigkeit auf die Eigenfrequenz kann bei diesem Versuchsstand durch einen gefederten Lagerbock gezeigt werden.

Interessant zu beobachten war, dass durch eine relativ starre Kupplung zwischen Motor und Welle ein ruhiger überkritischer Lauf der Welle nicht möglich war. Durch die Schiefstellung der Wellen stieg im überkritischen Drehzahlbereich der Schwingungsausgang innerhalb weniger Sekunden auf unerwartet hohe Werte. Erst eine sehr weiche Kupplung erlaubte einen ruhigen überkritischen Betrieb. Eine Schwingungsmessung und Frequenzanalyse bestätigte durch die großen Amplituden auch bei der 2, 3 und 4-fachen der Drehzahl die schlechte Ausrichtung der Welle (Fluchtfehler) und den Einfluss der verbogenen Welle.

Die Arbeitszeit pro Schüler betrug ca. 180 Stunden. Betreut wurde diese Diplomarbeit von DI Christian MAIER, Dr. Kurt MACHINEK (technische Unterstützung und FE-Analyse), FOL Gerhard BRAUNHOFER (Montage und Fertigung), Dipl.-Päd. Gerhard HARTMANN (Elektrotechnik) und Ing. Martin LASSL (Fräserei).