

# Hochfrequente Prüfvorrichtung für Dauerschwingversuche an der TU-Wien

---

## Technische Beschreibung

Materialermüdung ist eine plötzlich auftretende Versagensursache von Tragstrukturen oder mechanischen Komponenten und kann wie im Fall des ICE Zugunglücks 1998 in Eschede (D) verheerende Folgen haben. Der Unfall, ausgelöst durch einen Ermüdungsbruch eines Radreifens, forderte 101 Todesopfer.

Zyklische Belastungen rufen Schädigungen im Materialgefüge hervor, die letztendlich zum Ermüdungsversagen des Werkstoffes führen können. Für die Beurteilung des Ermüdungsverhaltens von Konstruktionsdetails oder von gesamten Tragstrukturen werden Dauerschwingversuche (Ermüdungsversuche) herangezogen. Beispielsweise muss vor dem Einbau eines Schrägkabels in eine Schrägkabelbrücke die Ermüdungsfestigkeit an einem baugleichen Schrägkabel experimentell bestimmt werden. Bei einem solchen Dauerschwingversuch wird das aus praktischen Gründen gekürzte Schrägkabel 2 Million Mal einer zyklischen Beanspruchung ausgesetzt. Der Versuchsablauf ist in entsprechenden Normen und Prüfvorschriften geregelt.

Bisher wurde die zyklische Belastung bei Versuchen an Schrägkabeln mit Hilfe von servo-hydraulisch gesteuerten Pressen aufgebracht. Bereits bei kleinen Kabelgrößen reduziert sich die Prüffrequenz bei den bekannten Prüfanstalten in Europa und den USA auf maximal 1 Hz. Das bedeutet: pro Sekunde wird ein Lastspiel auf den Prüfkörper aufgebracht. Die üblicherweise erforderlichen 2 Millionen Lastwechsel dauern bei einer Prüffrequenz von 1 Hz demnach 23 Tage. Für die Durchführung dieser Versuche ist nicht nur ein sehr hoher Zeit-, sondern für den Betrieb des Hydraulikaggregates auch ein enorm hoher Energieaufwand erforderlich (~40.000 kWh für 2 Mio. Lastwechsel).

An der Technischen Universität Wien wurde am Institut für Tragkonstruktionen - Betonbau ein neues, patentiertes Verfahren zur Durchführung von Dauerschwingversuchen an zugbeanspruchten Bauteilen wie Schrägkabel oder Spannglieder entwickelt [AT- 501 168]. Die neue Prüfmethode nutzt den Resonanzeffekt aus und ermöglicht damit wesentlich schnellere Prüffrequenzen und gleichzeitig einen wesentlich geringeren Energieeinsatz. Im Labor des Instituts für Tragkonstruktionen wurde, auf dieser Technologie basierend, eine Prüfvorrichtung mit einer maximalen statischen Last von 20.000 kN und einer Oberlast für Ermüdungsversuche von 10.000 kN errichtet.

In der Abbildung 1 ist die Prüfvorrichtung schematisch dargestellt. Der Prüfkörper (z.B. ein Schrägkabel oder ein Spannglied) und ein Behelfskabel werden mit Hilfe eines Hohlkolbenzylinders und eines Prüfrahmens auf das Grundkraftniveau vorgespannt. Zwischen dem Prüfkörper und dem Behelfskabel befindet sich eine Kopplungseinheit zur Verankerung des Prüf- und Behelfskabels sowie zur Aufnahme eines Schwingungserregers. Die

Prüfvorrichtung kann vereinfacht als Einmassenschwinger beschrieben werden, die erste Eigenfrequenz hängt von der Federsteifigkeit  $K$  und von der schwingenden Masse  $M$  ab. Die erste Eigenfrequenz kann über die Steifigkeit  $K$ , durch Variation des Behelfskabels, und über die Masse  $M$ , durch Variation der Zusatzmassen bei der Verankerungseinheit, eingestellt werden.

Wird nun mit Hilfe eines Schwingungserregers das System harmonisch angeregt, so kommt es, wenn die Erregerfrequenz gleich der Eigenfrequenz ist, zur Resonanz. Die Erregerkraft wird durch den dynamischen Vergrößerungsfaktor im Resonanzzustand vervielfacht und somit ist nur ein Bruchteil der erforderlichen Schwingbeanspruchung durch den Schwingungserreger zu erzeugen. Die neue Prüfmethode ermöglicht somit höhere Prüffrequenzen (20-40 Hz), und damit wesentlich kürzere Prüfzeiten bei einem gleichzeitig sehr geringen Energieeinsatz.

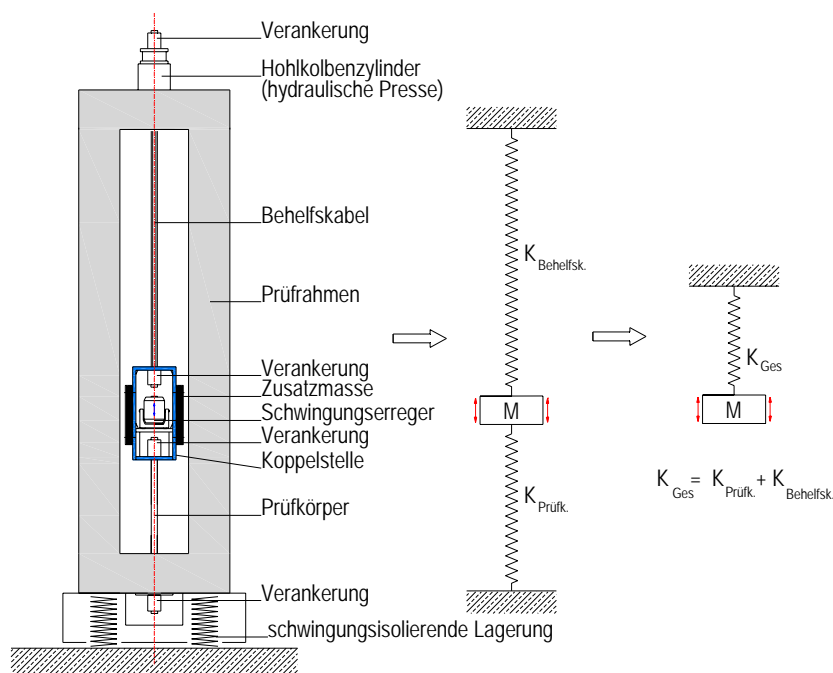


Abbildung 1: Schematische Darstellung der hochfrequenten Prüfvorrichtung für Dauerschwingversuche an der TU-Wien.

### Bau der Prüfvorrichtung (2006)

Ein wesentlicher Bestandteil bei der Planung und dem Bau der Versuchseinrichtung war der auf Druck beanspruchte Prüfraumen. Gewählt wurde ein trogförmiger Stahlbetonbauteil mit einer Masse von rund 150 Tonnen. Der Prüfraumen ist 2,8 m breit, 2 m hoch und 16 m lang. Der Prüfraumen wurde zunächst auf einer Rüstung im Erdgeschoß des Labors geschalt, bewehrt und betoniert. Nach dem Erhärten des Betons und dem Vorspannen wurde mit Hilfe von zwei Stahlportalen und vier Litzenhebern der Prüfraumen in das Kellergeschoß abgesenkt. Abbildung 2 (links) zeigt eine Untersicht des Prüfraumens vor dem Absenken und die verwendeten Auflager, Abbildung 2 (rechts) zeigt ein Bild während des Absenkvorganges.



Abbildung 2: Untersicht des Prüfrahmens und Feder Elemente als Auflager für eine schwingungsisolierende Lagerung (rechts); Prüfrahmen während des Absenkens (links).



Abbildung 3: Ansicht der Kopplungseinheit (links); Ansicht der Presse zum Aufbringen der Grundkraft (rechts).

### Ermüdungsversuche an Spanngliedern

Nach Beendigung der Baumeisterarbeiten, Bereitstellung von Stahleinbauteilen, wie z. B. der Kopplungseinheit (Abb. 3-links), und der Montage der Presse zum Aufbringen der Grundkraft (Abb. 3-rechts) konnten erste erfolgreiche Ermüdungsversuche an Spanngliedern durchgeführt werden. Die Ergebnisse der bisher getesteten Spannglieder haben die Funktionsfähigkeit der neuen Prüfvorrichtung (Abb. 4) eindrucksvoll bestätigt. Das Institut für Tragkonstruktionen ist damit in der Lage Ermüdungsversuche an großen zugbeanspruchten Bauteilen, wie z.B. Schrägkabel, um den Faktor 20 bis 40 schneller durchzuführen als die bekannte Prüfanstalten in Europa und den USA. Gleichzeitig ist durch den Wegfall des Betriebs eines Hydraulikaggregates nur mehr ein Bruchteil der Energie zum Betrieb des Unwuchterregers erforderlich.

Die positive Nutzung des Resonanzeffektes für die Beurteilung der Ermüdungsbeanspruchung kann auch für druck- und biegebeanspruchte Bauteile angewendet werden. Derzeit wird an Dauerschwingversuchen für Biegeträger gearbeitet.

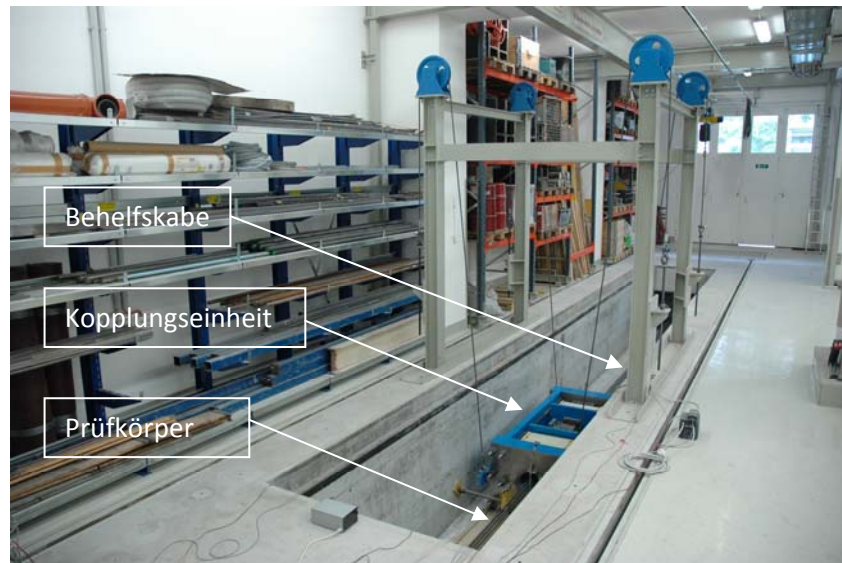


Abbildung 4: Ansicht der fertig gestellten Prüfvorrichtung mit eingebautem Prüfkörper

### Vorteile der neuen hochfrequenten Prüfvorrichtung gegenüber den bestehenden Prüfvorrichtungen

- *Reduktion der Prüfzeit um den Faktor 20 bis 40:*  
Die Prüfzeit beträgt an den bestehenden Prüfanstalten mindestens 23 Tagen für 2 Millionen Lastwechsel. Abhängig von den gewählten Steifigkeitsverhältnissen im Versuchsaufbau kann durch die positive Nutzung des Resonanzeffektes eine Prüfzeit von 14 bis 28 Stunden erreicht werden.
- *Reduktion des Energieeinsatzes gegenüber den bekannten Anlagen um den Faktor 1000:*  
Der Betrieb eines Hydraulikaggregates ist nicht mehr nötig. Die hydraulische Presse wird nur zum einmaligen Aufbringen der Grundkraft benötigt, im Anschluss daran ist kein Hydraulikaggregat mehr erforderlich.
- *Ressourcenschonung durch Energieersparnis - Reduktion des CO<sub>2</sub> Ausstoßes*
- *Ermüdungsversuche nahe der wirklichen Beanspruchung im Bauwerk:*  
In einem realen Bauwerk treten in der Regel wesentlich mehr als 2 Millionen Lastwechsel auf, jedoch mit einer geringeren Schwingungsamplitude. Ermüdungsversuche mit 10 Million und mehr Lastwechseln sind damit erstmal wirtschaftlich sinnvoll möglich. Forschung auf dem Gebiet der Ermüdungsfestigkeit im „high cycle fatigue“ Bereich ist durch die hohe Prüffrequenz in einem völlig neuen Maßstab kostengünstig und energiesparend möglich
- *Keine Kühlung des Hydraulikaggregates:*  
Für den konventionellen Dauerbetrieb eines Hydraulikaggregates ist die Kühlung des Hydrauliköls unbedingt erforderlich.
- *Reduktion der Kosten für die Laboratorien*
- *Reduktion der Kosten für die Auftraggeber – kürzere Prüfzeiten*