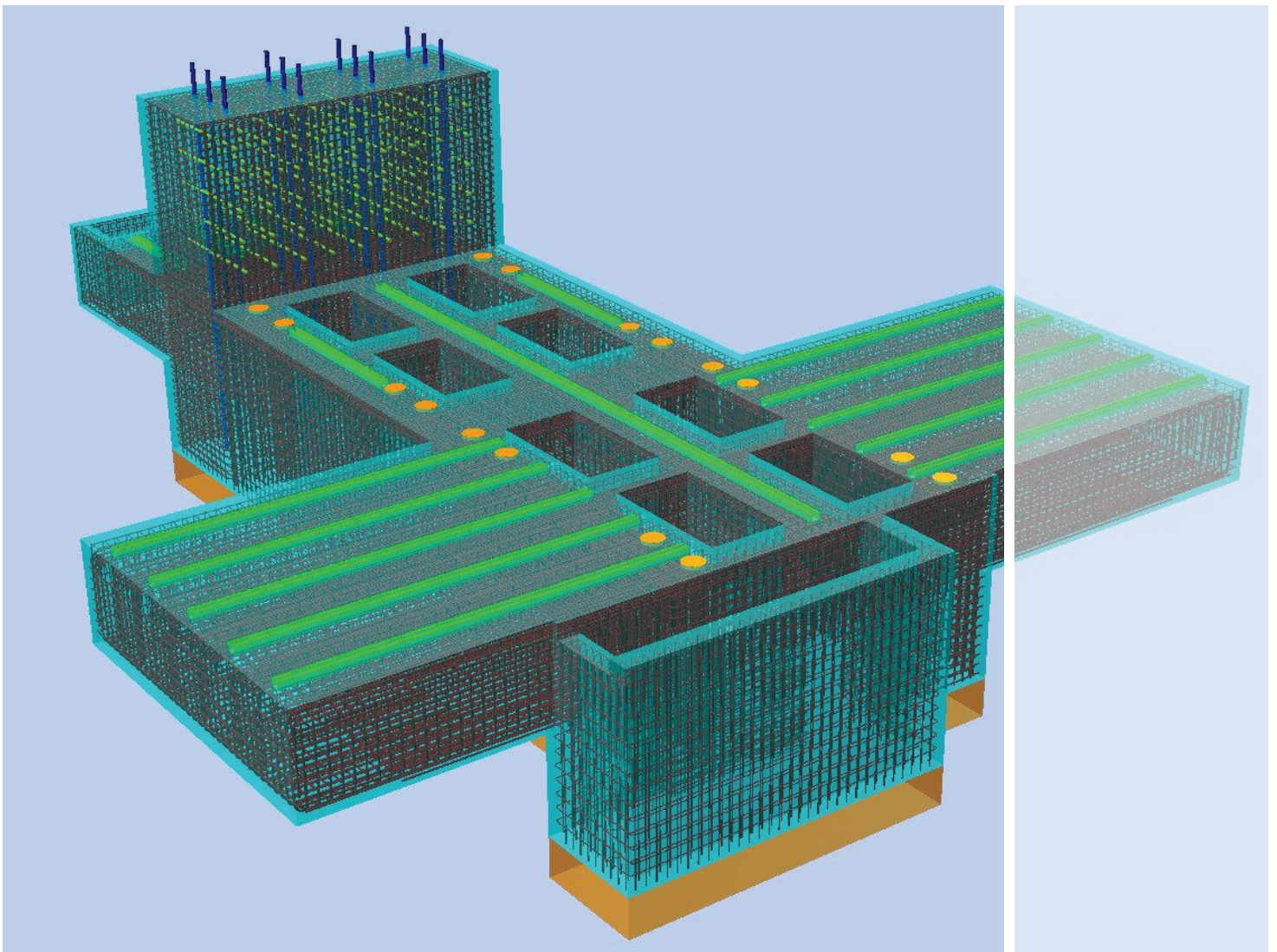


# Ermüdung von Beton und Stahlbetonbauteilen 2013



# Forschungsbereich: Ermüdung von Beton und Stahlbetonbauteilen

## Ausgangssituation

Bauwerke oder Bauteile aus Stahlbeton, die überwiegend durch nicht ruhende Belastungen beansprucht werden, sind grundsätzlich als ermüdungsgefährdet anzusehen. Beispiele für ermüdungsgefährdete Bauwerke sind Straßen- und Eisenbahnbrücken, Türme, Windenergie- und Offshoreanlagen. So sind zum Beispiel Tragstrukturen von Windenergieanlagen (WEA) durch Lasten aus dem Anlagenbetrieb sowie durch Wind- und Wellenbelastung hochdynamisch beansprucht. Während der planmäßigen Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren erhalten landgestützte WEA mehr als  $N = 10^9$  Lastwechsel. Bei Offshore-WEA können infolge Wellenbeanspruchungen zusätzlich mehr als  $N = 10^9$  Lastwechsel auftreten. Auch Eisenbahnbrücken auf Hochgeschwindigkeitsstrecken werden mit erheblichen Lastwechselzahlen beansprucht, da wegen der Anregung durch die Hochgeschwindigkeitszüge und der technisch begrenzten Bauwerksteifigkeit Resonanzerscheinungen unter Betrieb nicht ausgeschlossen werden können. Allerdings ist die Ermüdungsfestigkeit von Beton bisher nur bis zum Bereich von  $N = 10^7$  Lastwechsel relativ gut erforscht. Die Festigkeiten bei höheren Lastwechselzahlen entziehen sich aufgrund der langen Versuchsdauern unseren bisherigen Kenntnissen.

Die Erforschung des Ermüdungsverhaltens sowie der Ermüdungsfestigkeit von Beton wird seit einigen Jahrzehnten verfolgt und hat in den letzten Jahren durch den Bau von neuen Hochgeschwindigkeitseisenbahnbrücken und Windenergieanlagen weiter an Aktualität gewonnen.

Abbildung 1:  
Ermüdungsgefährdete Bauwerke



Aus den bisherigen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass sowohl das Ermüdungsverhalten als auch die Ermüdungsfestigkeit von Beton von zahlreichen Parametern abhängig sind. Neben dem Bereich der hohen Lastwechselzahlen sind einige dieser Faktoren noch unzureichend erforscht.

## Sachstandsbericht

Um den aktuellen Stand der Forschung hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit von Beton und deren Einflussparameter darzustellen, wird derzeit ein „Sachstandsbericht—Über den Stand der Forschung zu Grenzzuständen der Ermüdung von dynamisch hoch beanspruchten Tragwerken aus Beton“ erarbeitet. Zudem werden die zurzeit anzuwendenden Normregelungen erfasst und verglichen. Schließlich wird ein Forschungskonzept entwickelt, welches noch unzureichend erforschte Bereiche und bestehende Fragestellungen zur Betonermüdung aufzeigt und Untersuchungsansätze liefert. Der Sachstandsbericht ist durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton finanziert.

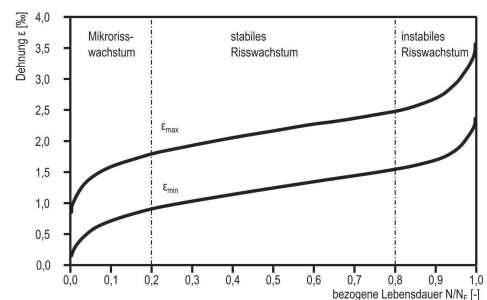


Abbildung 2:  
Dehnungsverlauf von Beton bei einachsialer Druckschwellbeanspruchung

## Dehnratenabhängigkeit der Betonermüdung

Versuche im Bereich hoher Lastwechselzahlen sind extrem zeitaufwendig. Um eine wirtschaftliche Erforschung des VHCF-Bereichs zu ermöglichen, müssen Ermüdungsversuche unter einer maximal zulässigen Belastungsfrequenz durchgeführt werden. In einem weiteren Vorhaben soll der Einfluss der Belastungsfrequenz auf die Ermüdungsfestigkeit von Beton genauer untersucht und beschrieben werden. Prinzipiell gilt, dass eine erhöhte Belastungsfrequenz zu einer erhöhten Bruchlastwechselzahl führt. Ein wesentlicher Forschungsgegenstand ist daher die



Ermittlung einer maximal zulässigen Belastungsfrequenz  $f_{max}$  bzw. Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}$  für druckschwellbeanspruchten Beton. Es wird vermutet, dass der Frequenz Einfluss maßgeblich von der Steigerung der Betondruckfestigkeit infolge hoher Dehngeschwindigkeiten bestimmt wird. Erste Untersuchungen bestätigen diese Hypothese. Weiterhin soll untersucht werden, ob die ertragbaren Lastwechselzahlen aus Versuchen mit hohen Dehngeschwindigkeiten auf entsprechende Lastwechselzahlen mit praxisrelevanten Dehngeschwindigkeiten transformiert werden können. Dadurch könnten Ermüdungsversuche mit hohen Belastungsfrequenzen durchgeführt werden, und der Frequenz Einfluss im Nachgang mit Hilfe einer zu entwickelnden Übertragungsfunktion numerisch berücksichtigt werden.

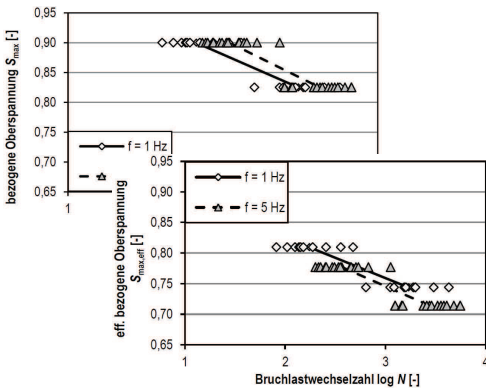


Abbildung 3: Bruchlastwechselzahlen in Abhängigkeit der, auf die statische und die dynamische Druckfestigkeit bezogenen, Oberspannungen und unterschiedlichen Belastungsfrequenzen

### Mehrfachversuchsstand für Ermüdungsversuche

Eine weitere Methode um Ermüdungsuntersuchungen effizienter durchzuführen ist, neben der Erhöhung der Prüffrequenz, die zeitgleiche Prüfung von mehreren Proben in einem Prüfstand. Diesbezüglich wird zurzeit ein Mehrfachversuchsstand entwickelt, in dem gleichzeitig fünf übereinanderstehende Betonproben geprüft werden können. Dabei müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Zentrische Lasteinleitung
- Verhinderung des Ausknickens
- Vertikale Verformbarkeit der Betonproben
- Probekörperabmessungen  $d/h = 60/180$  mm
- Minimierung des Kraftverlustes im Belastungsstrang
- Verhinderung der gegenseitigen Beeinflussung der Betonproben

Im Falle eines Probekörperversagens, kann entweder ein „Stahldummy“ oder ein Stahladapter in den Belastungsstrang eingestellt und die Prüfung fortgesetzt werden. Erste Versuche verliefen erfolgreich.

### Großgerät für Ermüdungsversuche

Ein weiteres Forschungsfeld des Instituts für Massivbau soll zukünftig, neben der Untersuchung von Ermüdungsfestigkeiten kleiner Betonproben, im Bereich von Ermüdungsversuchen an großen Bauteilen liegen. Anders als bei der bisherigen Lasterzeugung mit hydraulischen Prüfzylindern, sollen die dynamischen Lasten hierbei durch synchronisierte, gegenläufig rotierende Unwuchten erzeugt werden.

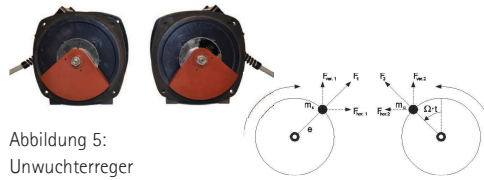


Abbildung 5: Unwuchterreger

Durch die Gegenläufigkeit löschen sich die erzeugten Horizontalkräfte aus und es wird eine Vertikalkraft mit einem sinusförmigen Lastzeitverlauf erzeugt. Hintergrund dieses Versuchsaufbaus ist es, die dynamischen Eigenschaften des Probekörpers gezielt auszunutzen. Durch die Unwuchtmotoren werden die Bauteile nahe ihrer ersten Biegeeigenfrequenz angeregt. Das führt dazu, dass sich die auf das Bauteil wirkende Belastung um ein Vielfaches zur „reinen“ Schwingbelastung erhöht. Somit ist es möglich, hohe Beanspruchungen im Bauteil zu erzeugen, wohingegen der Energieaufwand minimal bleibt. Zudem können, je nach Probekörper und Erregertechnik, Prüffrequenzen von bis zu 50 Hz erzeugt werden. Diesbezüglich wird zurzeit ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziertes Großgerät erstellt.

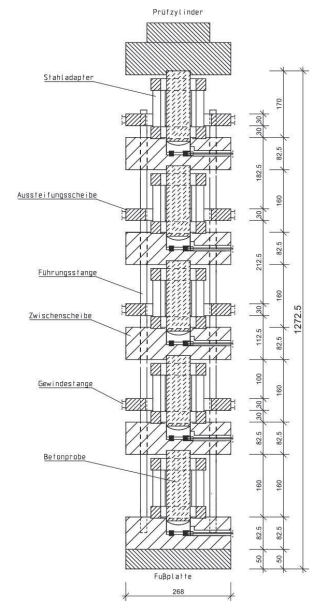


Abbildung 4: Entwurf des Mehrfachversuchsstandes

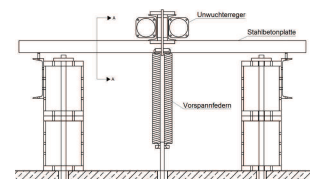
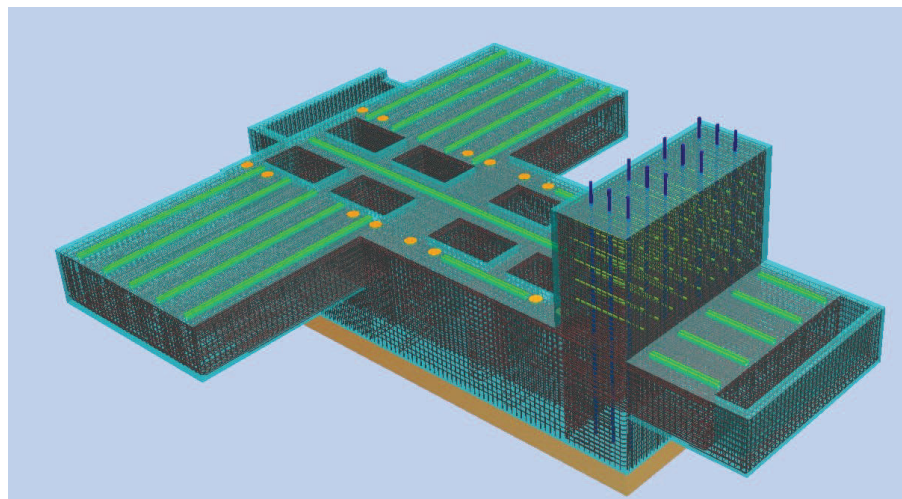


Abbildung 6: Versuchsaufbau der Vorversuche

Abbildung 7: Fundament des Großgerätes, Visualisierung MarxKronal



## Bildernachweis

Titelbild:  
Fundament des Großgeräts, Visualisierung MarxKrontal

Abbildung 1:  
Stöbnitztalbrücke, Visualisierung LAP  
Neckartalbrücke Weitingen auf der BAB 81, ©structurae.de  
Troll A Plattform, Gasförderplattform, ©wikipedia.de  
Windenergieanlage, ©wind-energie.de

Abbildung 2 bis 6:  
Institutseigene Bilder

Abbildung 7:  
Fundament des Großgeräts, Visualisierung MarxKrontal

## Projektfinanzierung und Projektpartner

Das Projekt „Sachstandbericht—Über den Stand der Forschung zu Grenzzuständen der Ermüdung von dynamisch hoch beanspruchten Tragwerken aus Beton“ wird durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton finanziert.

Die Herstellung des Großgeräts für Ermüdungsversuche wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziert.

## Anschrift Institut

Institut für Massivbau  
Appelstraße 9A  
30167 Hannover

## Kontakt Daten zum Projekt

Univ. Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx  
Tel.: +49-511-762-3352  
Email: marx@ifma.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Sebastian Schneider  
Tel.: +49-511-762-3359  
Email: schneider@ifma.uni-hannover.de

