

### Titel

Langfassung Titel: „Tragfähigkeitsanalyse im Bestand mittels Schwingungsanalyse“

---

### Anlass/ Ausgangslage

---

Bei der Umnutzung von historischen Stahlbetondecken im Bestand lässt sich die Standsicherheit oft rechnerisch nicht nachweisen. Bei dem hier beschriebenen Verfahren soll die Geometrie der ersten Biegeeigenform genutzt werden, um Tragreserven von Decken in Folge von Einspannungen in angrenzende Bauteile nutzen zu können, welche ohne derartige dynamische Untersuchungen nicht bekannt wären. So sollen erforderliche Nachweise erbracht werden können.

### Gegenstand des Forschungsvorhabens

---

Die Eigenfrequenz eines Systems ist von der Steifigkeits- und der Massenverteilung der Struktur abhängig. Je steifer ein System ist, desto größer ist auch seine Eigenfrequenz. Da eine Einspannung am Auflager das Drehvermögen der Struktur reduziert, stellt diese eine höhere Steifigkeit gegenüber der gelenkigen Lagerung dar. Je größer die Einspannung am Auflager ist, desto größer wird die Eigenfrequenz verglichen mit dem gelenkigen System.

Die Abbildung 1 zeigt die erste Eigenform eines Einfeldbalkens für verschiedene Einspanngrade am linken Auflager. Es ist zu erkennen, dass die Geometrie der Eigenform, ähnlich wie die Biegelinie unter statischer Last, als Bestimmungsmerkmal für die Randeinspannung des Systems genutzt werden kann. So sind beispielsweise bei hohen Einspanngraden Wendepunkte in der Eigenform festzustellen, die bei der gelenkigen Lagerung nicht auftreten. Auch die Lage der maximalen Verrückung ist ein mögliches Charakteristikum, um Rückschlüsse auf die Randbedingungen ziehen zu können.

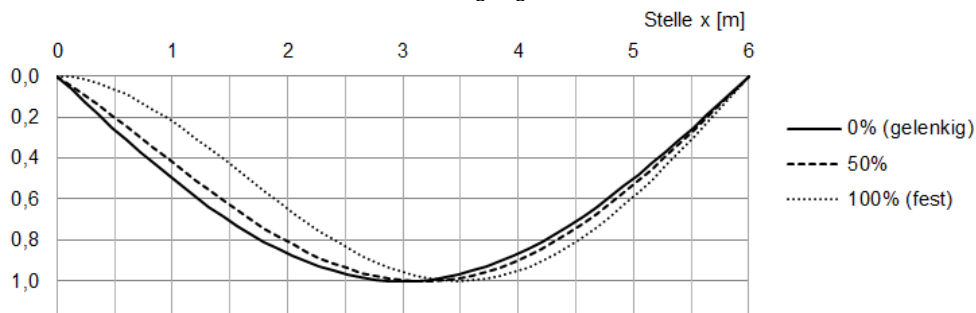


Abbildung 1: Erste normierte Eigenform eines Einfeldbalkens in Abhängigkeit des Einspanngrades am linken Auflager

Es sind zahlreiche Methoden zur Bestimmung der Steifigkeitsverteilung mittels modalen Parametern bekannt. Der Grundgedanke dabei ist stets, dass sich die dynamische Antwort einer Struktur auf eine erzwungene Schwingung durch Risse im Stahlbeton ändert. So sollen Schäden festgestellt und gegebenenfalls lokalisiert werden. Dies gestaltet sich aber bislang noch schwierig. Ein Grund dafür ist, dass sich der rissbedingte Steifigkeitsabfall zwar in einer Reduzierung der Eigenfrequenz widerspiegelt, doch fehlen oft die Bezugsdaten des ungerissenen Systems, um diese Änderungen unmittelbar auf den Schaden zurückführen zu können. Abbildung 2 verdeutlicht, wie gering der Einfluss der Steifigkeitsänderung infolge von Rissen hingegen auf die Eigenform ist. Demgegenüber steht der relativ große Einfluss der Randeinspannung auf die erste Eigenform. Abbildung 2 zeigt die normierten Eigenformen von drei Systemen mit unterschiedlicher Steifigkeitsverteilung (im dunkelgrau-markierten Bereich beträgt die Steifigkeit lediglich noch 60% der ursprünglichen Steifigkeit) und mit jeweils drei verschiedenen Einspanngraden (gelenkig; 50% Einspannung; feste Einspannung am linken Auflager). Die oberen drei Diagramme der Abbildung zeigen, dass unabhängig von der Steifigkeitsverteilung des Systems die Eigenformen stark von dem Einspanngrad am linken Auflager abhängen. Die unteren Diagramme zeigen die erste Eigenform jeweils für den gleichen Einspanngrad, aber für unterschiedliche Steifigkeitsverteilungen. Da hier kaum Unterschiede zwischen den Systemen zu erkennen sind, kann davon ausgegangen werden, dass die erste Eigenform, anders als die erste Eigenfrequenz, unabhängig von der Lastgeschichte und der damit verbundenen Steifigkeitsverteilung (Rissbildung) ist, und somit als Basis für die Berechnung einer Randeinspannung genutzt werden kann. Ein Bezug zum ungerissenen System ist somit entbehrlich.

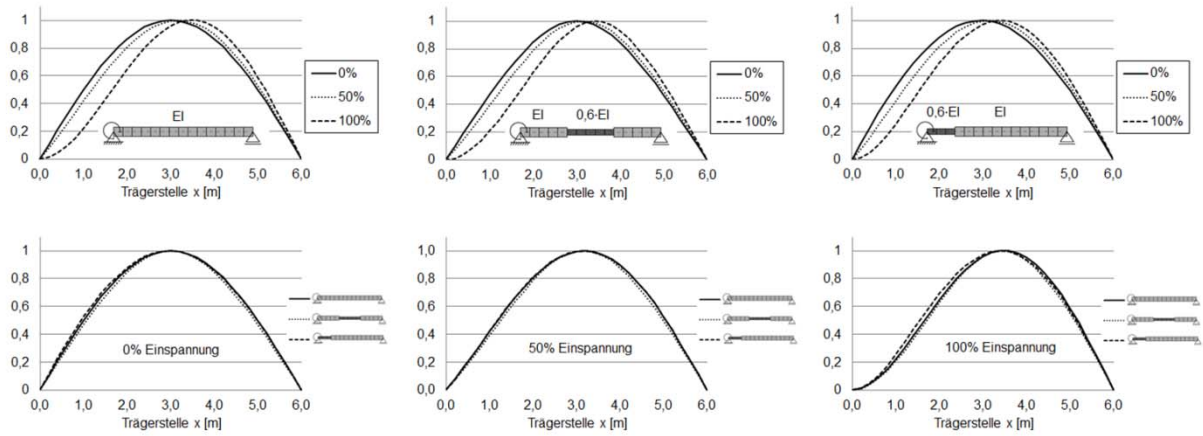


Abbildung 2: Vergleich der normierten Eigenformen in Abhängigkeit der Steifigkeitsverteilung und des Einspanngrades am linken Auflager

Die Einspannung von Deckenkonstruktionen ins Außenmauerwerk wird bei dem hier beschriebenen Verfahren durch eine Drehfeder berücksichtigt. Um diese Drehfedersteifigkeit zu ermitteln, werden die gemessenen Eigenformen mit denen eines FE-Modells verglichen. Dabei wird die Steifigkeit des Modells in ausreichender Näherung als konstant über die Systemlänge angesetzt. Durch das Variieren der Drehfeder des Modells wird die Summe der Fehlerquadrate zwischen der gemessenen und rechnerischen Eigenform iterativ minimiert, sodass diese möglichst genau übereinstimmen. Dadurch kann die dem realen System entsprechende Drehfeder ermittelt werden.

Das beschriebene Verfahren wurde an 9 Plattenstreifen aus Stahlbeton validiert. Es wurde dabei die Auflagerart und Auflagertiefe, die Auflast zur Einspannung sowie das Rissbild variiert.

Um die modalen Parameter einer Struktur messen zu können, muss diese in Schwingung versetzt werden. Dies geschah hier mit einem elektrodynamischen Schwingerreger (Shaker) und einem Impulshammer. Die Antwort der Struktur wurde mit Beschleunigungssensoren erfasst. Abbildung 3 zeigt den prinzipiellen Versuchsaufbau.

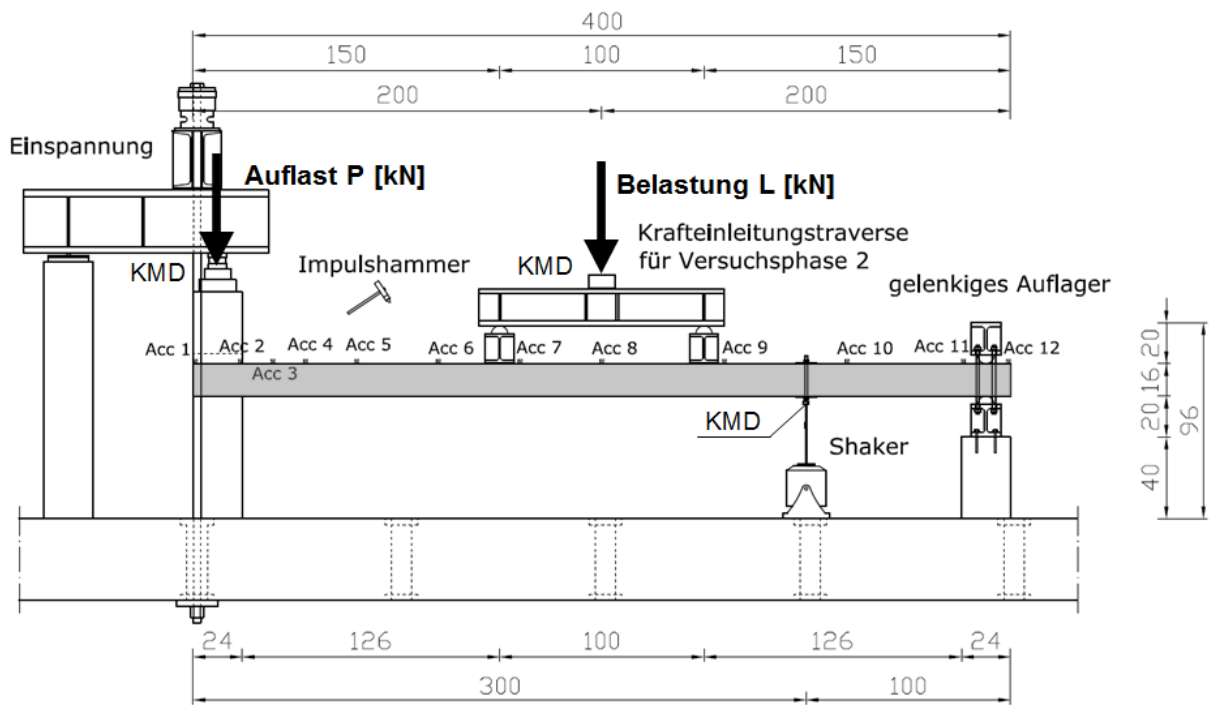


Abbildung 3: Versuchsaufbau (Probekörper - grau hinterlegt)

## Fazit

---

Durch das hier beschriebene Verfahren konnte gezeigt werden, dass Deckenplatten bei Auflasten eine Einspannung in das Außenmauerwerk aufweisen. Diese Einspannungen lassen sich durch Schwingungsmessungen bzw. durch den Verlauf der Biegeeigenformen bestimmen.

Dadurch konnte das notwendige Kriterium für den rechnerischen Ansatz einer Einspannung von Deckenplatten in Abhängigkeit der Auflast im Außenmauerwerk geschaffen werden. Mithilfe dieser Schwingungsanalysen wird ermöglicht, dass die erforderlichen Nachweise nach aktuellem Stand der Technik gegebenenfalls erbracht werden können.

## Eckdaten

---

Kurztitel: Schwingungsanalyse im Bestand

Forscher / Projektleitung:

Gesamtkosten: 266.750,00 €

Anteil Bundeszuschuss: 161.910,00 €

Projektlaufzeit: 24 Monate

## BILDER/ ABBILDUNGEN

---

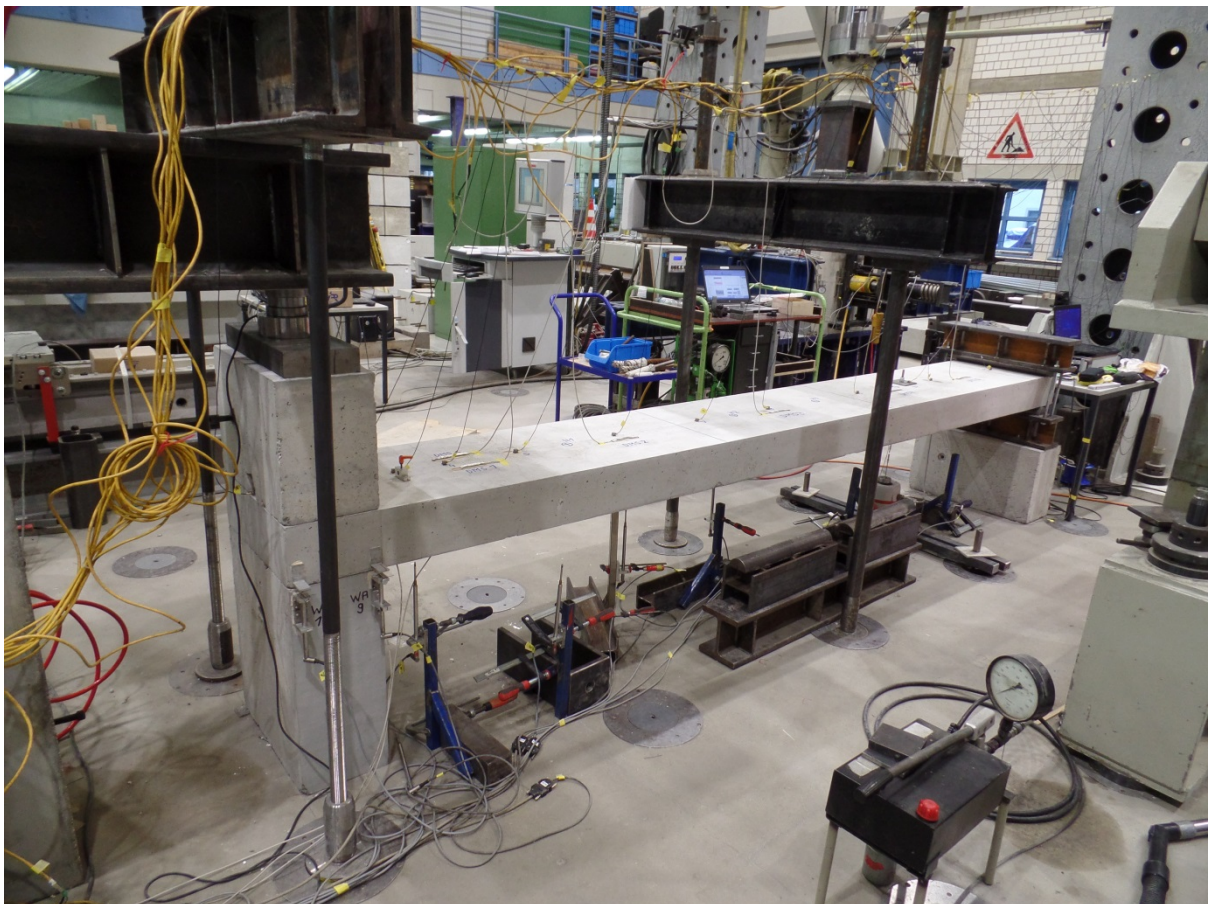


Bild 1: Versuchsaufbau



Bild 2: Einspannkonstruktion des linken Auflagers



Bild 3: Elektrodynamischer Schwingerreger (Shaker)

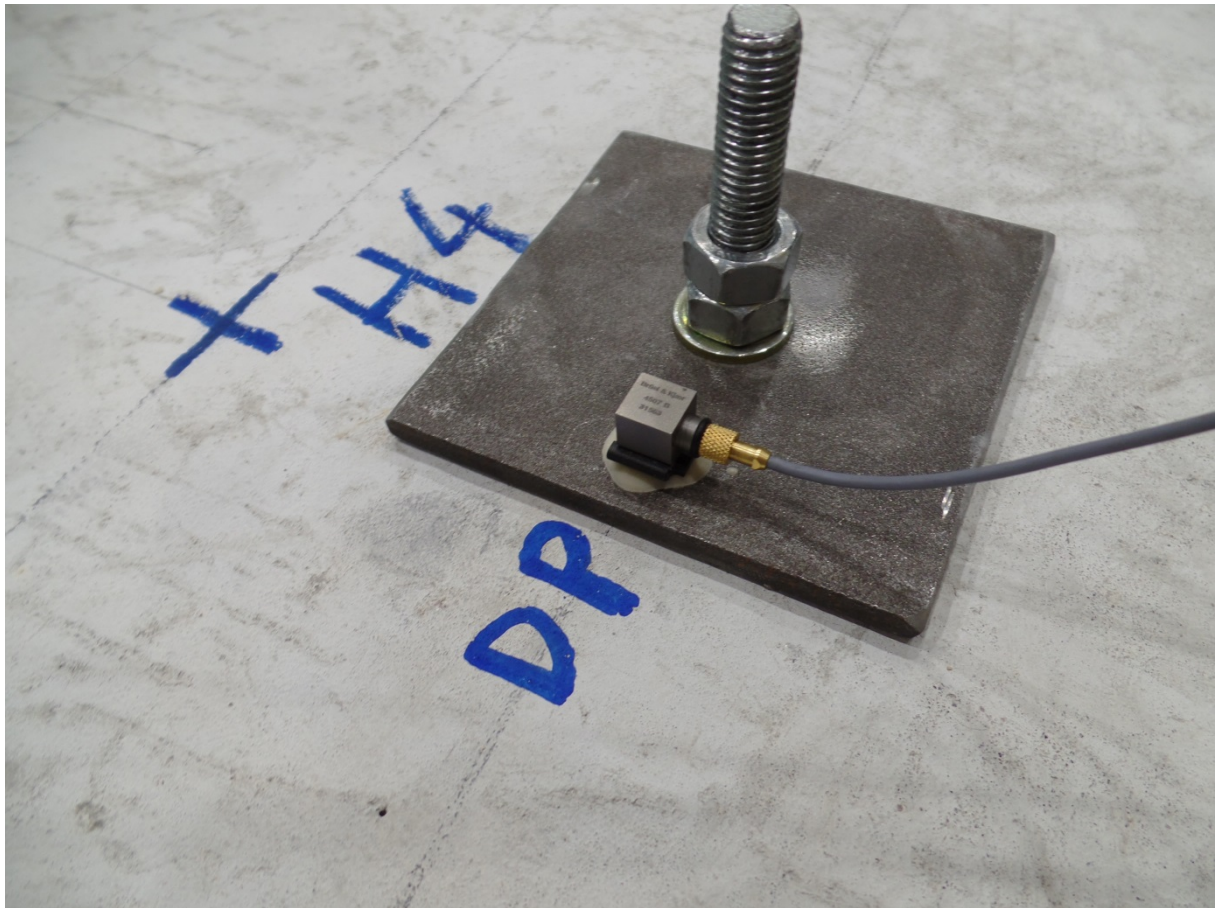


Bild 4: Beschleunigungssensor

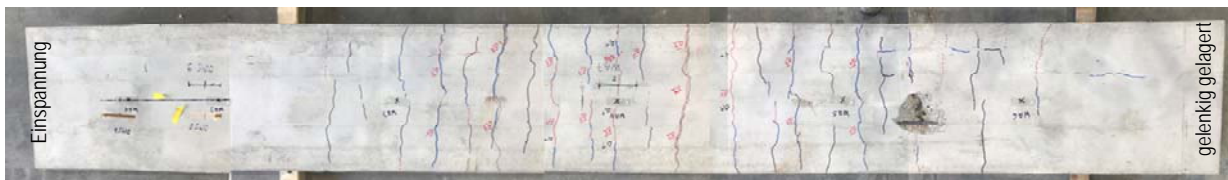


Bild 5: Rissbild des Probekörpers 5 aus zusammengesetzten Bildern