

## Lehmbau 2.0

Lehmbau der Zukunft – Handwerkskunst nach ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Energie- u. Umwelttechnologien, Energie- u. Umwelttechnologien, Technologien und Innovationen für die klimaneutrale Stadt TIKS (früher: Stadt der Zukunft)	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.07.2024	<b>Projektende</b>	30.06.2025
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2025	<b>Projektaufzeit</b>	12 Monate
<b>Keywords</b>	Faseroptisches Messverfahren, DFOS, Stampflehm, Numerische Analyse, FEM		

### Projektbeschreibung

Die Sondierung zielt darauf ab, das Formänderungsverhalten von Stampflehmwandelementen unter Einfluss von Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen sowie Auflasten zu untersuchen. Der Fokus liegt auf dem prototypischen Versuch der Eignung faseroptischer Sensorik zu langfristiger Überwachung von lastabtragenden Stampflehmwänden. Das Projekt umfasst experimentelle Prüfserien an Stampflehmprüfkörpern in unterschiedlichen Größen, um Materialkennwerte und Formveränderungsverhalten zu erforschen. Das besondere Fokus dieser Sondierung liegt in der Untersuchung des feuchteabhängigen Materialkennwerts - Schwindmaß. Es wird weiters geprüft, ob sich das Messverfahren für langzeitige Messung des lastabhängigen Materialverhaltens, wie das Kriechen, eignet, und ob dieses Messverfahren für In-situ-Messungen an realen lastabtragenden Stampflehmwänden als Teil von Gebäuden tauglich ist.

Der theoretische Teil des Projekts integriert die experimentellen Erkenntnisse in ein numerisches Modell mit Finite Element Methode (FEM), um das Versagensverhalten von Wandelementen aus Stampflehm unter statischer Last zu modellieren.

### Abstract

The research project aims to investigate the deformation behavior of rammed earth wall elements under the influence of moisture and temperature fluctuations as well as superimposed loads. The focus is on the prototype test of the fiber optic sensor technology suitability for long-term monitoring of load-bearing rammed earth walls. The project includes experimental test series on rammed earth test specimens in different sizes in order to investigate material characteristics and deformation behavior. The special focus of this exploratory study is on the investigation of the moisture-dependent material parameter - shrinkage. Furthermore, it will be examined whether the measurement method is suitable for long-term measurement of load-dependent material behavior, such as creep, and whether this measurement method is suitable for in-situ measurements on real load-bearing rammed earth walls as part of buildings.

The theoretical part of the project integrates the experimental findings into a numerical model using the finite element method (FEM) in order to model the failure behavior of rammed earth wall elements under static load.

### Endberichtkurzfassung

Motivation und Forschungsfrage

Die konsequente Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bausektor ist eine der drängenden Herausforderungen unserer Zeit. Lehmabwesen, wie Stampflehm und Lehmziegel, können aufgrund ihrer vergleichbar geringen Emissionen in der Herstellung einen Beitrag zu dieser Senkung leisten. Eingesetzt als lastabtragende Wandbildner sind sie als Alternative zu mineralischen Baustoffen wie Beton und gebrannten Ziegel auch masserelevant. Speziell Stampflehmabwesen, also die lagenweise in eine Schalung eingebrachte und mechanisch verdichtete Mischung aus Lehm und Zuschlagstoffen (Kies), erlauben die Herstellung von monolithischen Wandelementen vor Ort oder die Herstellung von großformatigen Fertigteilen. Die Kenntnisse über das mechanische Verhalten, besonders über das mechanische Langzeitverhalten (Schwinden und Kriechen) dieser Bauweise sind lückenhaft und hemmen daher die Integration in gängige Planungsprozesse. Dieses Forschungsprojekt fragt nach der Eignung von faseroptischer Sensorik zur Verformungsmessung von Stampflehmabteilen für zukünftige Langzeitbeobachtungen.

#### Ausgangssituation

Lehm zeichnet sich durch seine einfache Verarbeitung, lokale Verfügbarkeit und die Bereitstellung eines hervorragenden Raumklimas aus. Seine äußerst günstige Energie- und Umweltbilanz (ÖKO-BAUDAT nach EN 15804+A2) macht ihn zu einer vielversprechenden Alternative in der Bauindustrie. Die Nutzung von Lehm als Baumaterial ist nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch sinnvoll: Lehm kann aus Aushubmaterial gewonnen werden, das nicht deponiert werden muss, wodurch die Kreislaufwirtschaft wesentlich gestärkt wird. Ohne den Einsatz von Zusatzstoffen wie Kalk oder Zement ist Lehm vollständig wiederverwertbar und ermöglicht damit eine nachhaltige, ressourcenschonende Bauweise.

Derzeit wird Lehm im Bauwesen jedoch nur vereinzelt angewendet. Es fehlt an etablierten Bemessungs- und Berechnungsgrundlagen für lastabtragende Lehmgebäude. Bestehende Bauwerke beruhen vorwiegend auf empirischen Erfahrungen des Handwerks, weniger auf ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen. Das Tragverhalten hängt in hohem Maße von der Feuchteverteilung, Verdichtung und den klimatischen Randbedingungen ab. Die wesentliche Wissenslücke betrifft die Abhängigkeit der Formänderungseigenschaften über die Zeit – insbesondere des Schwind- und Kriechverhaltens des Lehms. Dies erschwert den Einsatz des Baustoffs erheblich.

#### Inhalte und Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund adressiert die Sondierung die zentrale Frage, ob faseroptische Sensorik (Distributed Fiber Optic Sensing, DFOS) als zerstörungsfreies, kontinuierliches Messverfahren geeignet ist, um das Formänderungsverhalten von Stampflehmwänden unter Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen sowie unter Auflasten über längere Zeiträume zu erfassen und so eine Grundlage für die Langzeitüberwachung realer, lastabtragender Bauteile zu schaffen.

Für eine fundierte ingenieurmäßige Modellbildung fehlen umfassende Datensätze zum Formänderungsverhalten. Faseroptische Messverfahren (Distributed Fiber Optic Sensing, DFOS) bieten hierfür ein vielversprechendes Potenzial, ihre Anwendung im Stampflehm ist bisher nicht erprobt.

#### Methodische Vorgehensweise

Durch verteilte faseroptische Messverfahren kann eine lückenlose Erfassung von Formänderungen mit hoher Auflösung

entlang der gesamten Faserlänge realisiert werden. Auf diese Weise lassen sich lokale Veränderungen und kleinste Deformationen im Mikrometerbereich, wie Rissbildungen, frühzeitig erkennen. Aufgrund ihrer geringen Abmessungen und ihres niedrigen Gewichts beeinflussen die Sensorfasern oder -kabel die Materialeigenschaften des Prüfkörpers nicht und eignen sich daher ideal für zerstörungsfreie Messanwendungen. Bisher wurden faseroptische Sensoren vor allem in Betonbauteilen, auf Stahloberflächen oder im Bereich der Ingenieurgeodäsie angewandt.

Das Projekt umfasst (i) experimentelle Prüfserien an Stampflehmprüfkörpern in unterschiedlichen Größen, Dabei wurden zur Ermittlung von Materialkennwerten (Druckfestigkeit, E-Modul, Biegezug-festigkeit, Trocknungsschwindmass) und zur Verformungsmessung Kleinproben gestestet (ii) Zentral wird ge-prüft, ob sich das Messverfahren mit DFOS für die Erfassung des lastabhängigen Materialverhaltens (Kriechen) eignet und ob es (iii) für In-situ-Messungen an bauteilgroßen, lastabtragenden Stampflehm-elementen tauglich ist.

Die faseroptische Sensorkabel wurden sowohl eingestampft als auch in eine Nut auf die Oberfläche der Prüfkörper aufgebracht. Besonderer Fokus wurde auf den Verbund zwischen Sensorkabel, Kleber und Stampflehm gelegt. Die Messergebnisse wurden mittels konventioneller Referenzmethoden (Setzdehnungsaufnehmer, digitale 3D-Bildkorrelation) überprüft und validiert.

Der theoretische Projektteil integriert die experimentell gewonnenen Kennwerte in ein numerisches Modell mittels Finite-Elemente-Methode (FEM), um das Trag- und Verformungsverhalten von Stampflehm-elementen unter statischer Belastung realitätsnah abzubilden.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass das Messverfahren mit faseroptischer Sensorik grundsätzlich für die Erfassung von Formänderungen in Stampflehm geeignet ist. Sowohl eingestampfte als auch aufgeklebte Sensoren lieferten reproduzierbare Messdaten. Die mit DFOS gemessenen Dehnungen korrelierten gut mit den Referenzmessungen. Die experimentellen Ergebnisse zeigten, dass der Klebstoff, der auf Prüfkörperoberfläche aufgeklebten Sensorkabel, entscheidend für die Qualität der Messung ist. Weitere Ergebnisse zeigten jedoch, dass der Verbund zwischen eingestampften Sensorkabeln und Stampflehm bislang nicht ausreichend ist, um eine zuverlässige Dehnungsmessung zu gewährleisten. Das numerische Modell bildete den Belastungsversuch einer Lehmkappendecke realitätsnah ab und zeigte, dass experimentelle Materialparameter effektiv in die Modellierung überführt werden können. Zukünftige Forschung soll die Eignung von faseroptischer Sensorik für großmaßstäbliche Prüfungen und In-situ-Messungen im Stampflehm vertieft untersuchen, um langfristige Einflüsse von Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen (Schwinden) sowie mechanischer Beanspruchungen durch Auflasten (Kriechen) zerstörungsfrei und kontinuierlich zu erfassen. Die erzielten Ergebnisse sollen als Grundlage für ein Folgeprojekt dienen, das auf die Erarbeitung praxisorientierter Berechnungsmethoden für lastabtragende Stampflehmwände und die Entwicklung eines semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts mit Teilsicherheitsbeiwerten abzielt.

## Projektkoordinator

- Technische Universität Graz