Karlsruhe Institute of Technology

Institute of Mechanics
Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Betsch
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Seelig

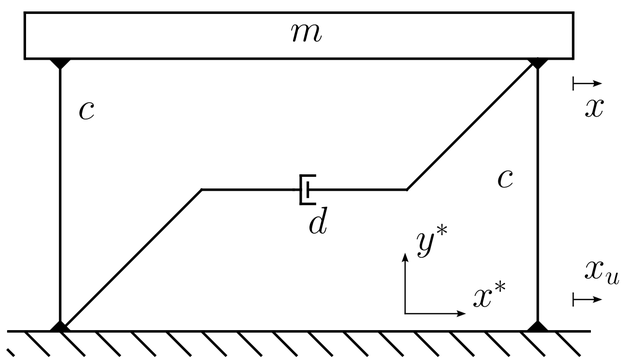
Analyse eines Geschossrahmens: Numerische Untersuchung des Einflusses von nichtlinearem Materialverhalten

Luis Kaiser | Bachelorarbeit (2025)

Motivation

Die Berücksichtigung nichtlinearer Materialmodelle ist für die realitätsnahe Beschreibung des Schwingungsverhaltens von Tragwerken unter dynamischen Lasten von zentraler Bedeutung. Ihre Untersuchung ermöglicht eine fundierte Bewertung der strukturellen Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Bauwerken.

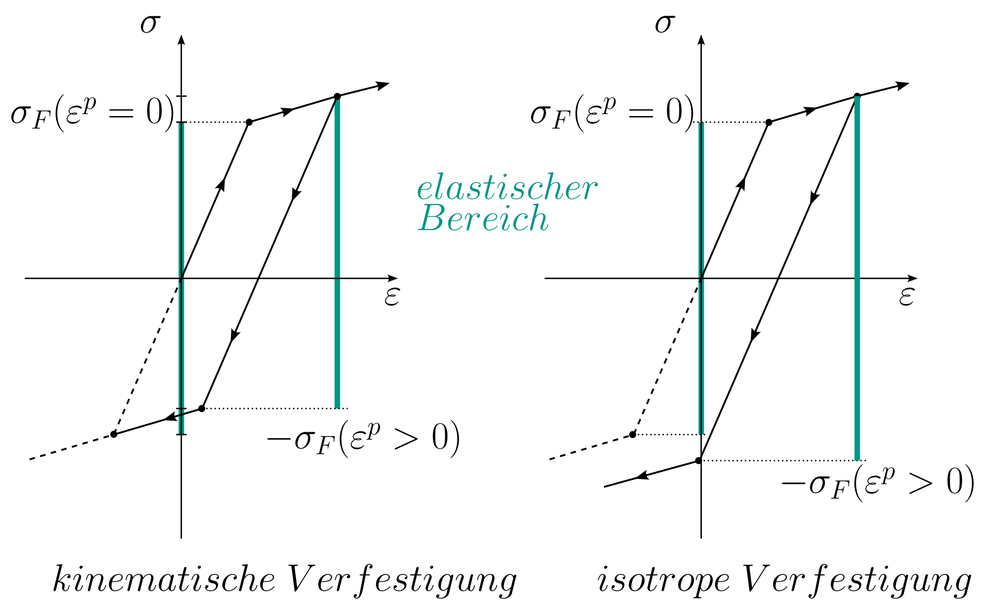
Nichtlineare Bewegungsgleichung



Die Materialeigenschaften der Stützen werden durch die nichtlineare Funktion F dargestellt. Die Funktion F beschreibt die auf die Masse m wirkende Rückstellkraft und ist von der relativen Auslenkung $u = x - x_u$ abhängig.

$$m\ddot{x} + d\dot{u} + F(u) = 0$$

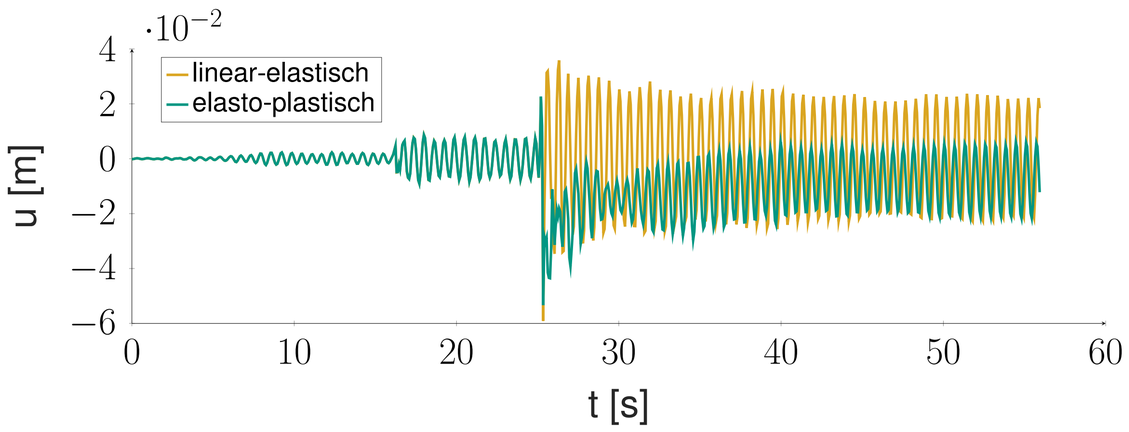
Modellierung der Materialeigenschaften



kinematische Verfestigung *isotrope Verfestigung*

Bei großen Verformungen ist das Hookesche Gesetz aufgrund seiner Linearität unzureichend. Elasto-plastische Modelle berücksichtigen auch nichtlineare Effekte wie Verfestigung und plastische Deformation.

Schwingung unter seismischer Belastung



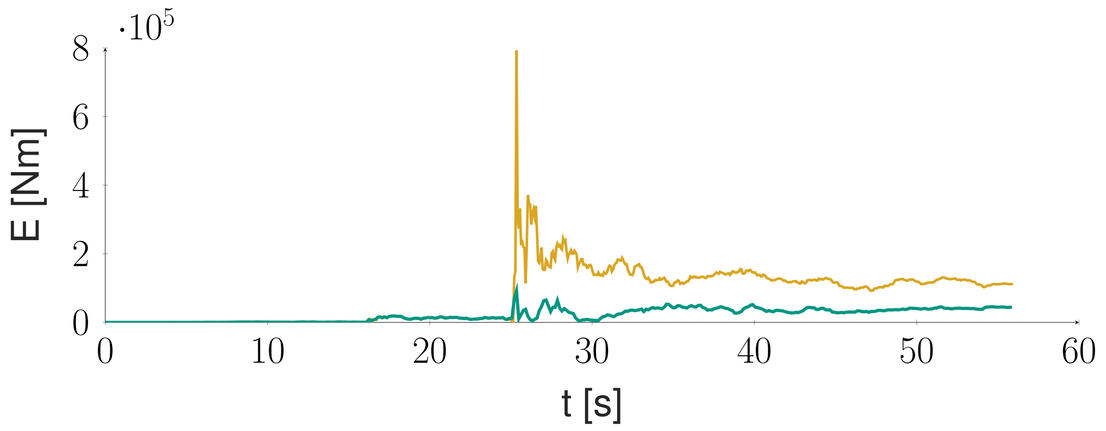
Dissipation von Energie

Unter Vernachlässigung der Dämpfung d kann die Bewegungsgleichung wie folgt integriert werden [1]

$$\frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \int_0^t F(u)\dot{u}\,dt$$

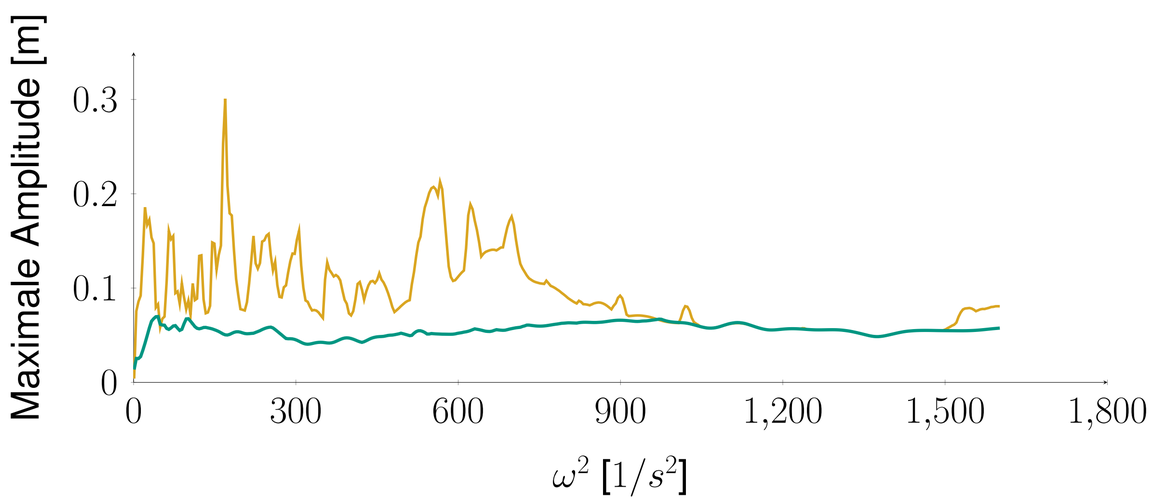
Dadurch ergibt sich die durch die plastische Verformung dissipierte Energie zu:

$$E_{pl} = \int_0^t F(u)\dot{u}\,dt - \frac{1}{2}k(u - u_p)^2$$



Während der plastischen Verformung wird ein Teil der eingetragenen Energie dissipiert. Diese Dissipation führt zu einer Senkung des Gesamtenergieniveaus und zu einer Reduktion der Schwingungsamplituden, was letztlich eine geringere dynamische Beanspruchung des Systems zur Folge hat.

Kritische Schwingbereiche



Durch die Variation der Systemsteifigkeit können kritische Schwingungsfrequenzen für einzelne Erdbeben ermittelt werden. Der Vergleich der Materialmodelle zeigt, dass elasto-plastische Modelle eine wirtschaftlichere Konstruktion ermöglichen.

[1] CHOPRA, A. K. *Dynamics of structures :* 2. ed. Prentice-Hall international series in civil engineering and engineering mechanics. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, c2001.