

# BAUDYNAMIK

## Erdbebensicherheit von (Turmdreh-)kranen

# Yokohama, Japan 2011



# Taipeh, Taiwan 2009



# Montenegro, 1979



# Inhalt

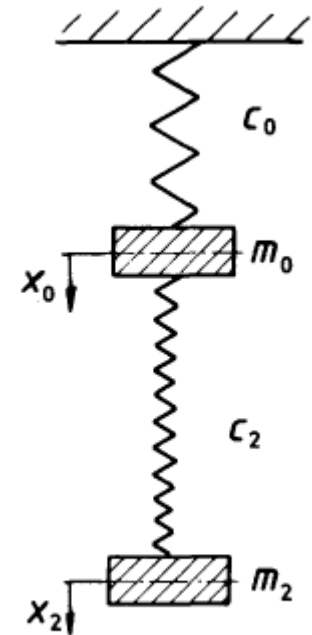
- Grundlagen
- Berechnungsansätze
- Einflüsse / Auswirkung
- Konstruktions-Optimierungsmethoden
- Kranarten
  - Brückenkran
  - Portalkran
  - Turmdrehkran
  - Fahrzeugkrane

# Einfluss des Erdbebens

- Größe des Krans ist maßgebend
- Kräfte greifen im Massenschwerpunkt an
- Ansprechbeschleunigung steigt proportional mit der Höhe
- Entwicklung
  - Größere Höhen
  - Größere Auslegerlängen
  - Höhere Traglasten
  - Größeres Eigengewicht

# Eigenfrequenz

- Entscheidend für Widerstandsfähigkeit
- Eigenfrequenz in vertikaler Richtung
  - Steifigkeiten
  - Massenverhältnisse
  - Weiter Faktoren
    - Stellung der Laufkatze
    - ...
- Eigenfrequenz in horizontaler Richtung



# Eigenfrequenz

- Eigenfrequenz soll möglichst hoch sein
  - Schwingungerscheinung klingt schneller ab

- Optimal
  - Hohe Steifigkeit
  - Kleine Masse

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

$$T = \frac{1}{f_0}$$

- Zweite Eigenfrequenz darf nicht vernachlässigt werden



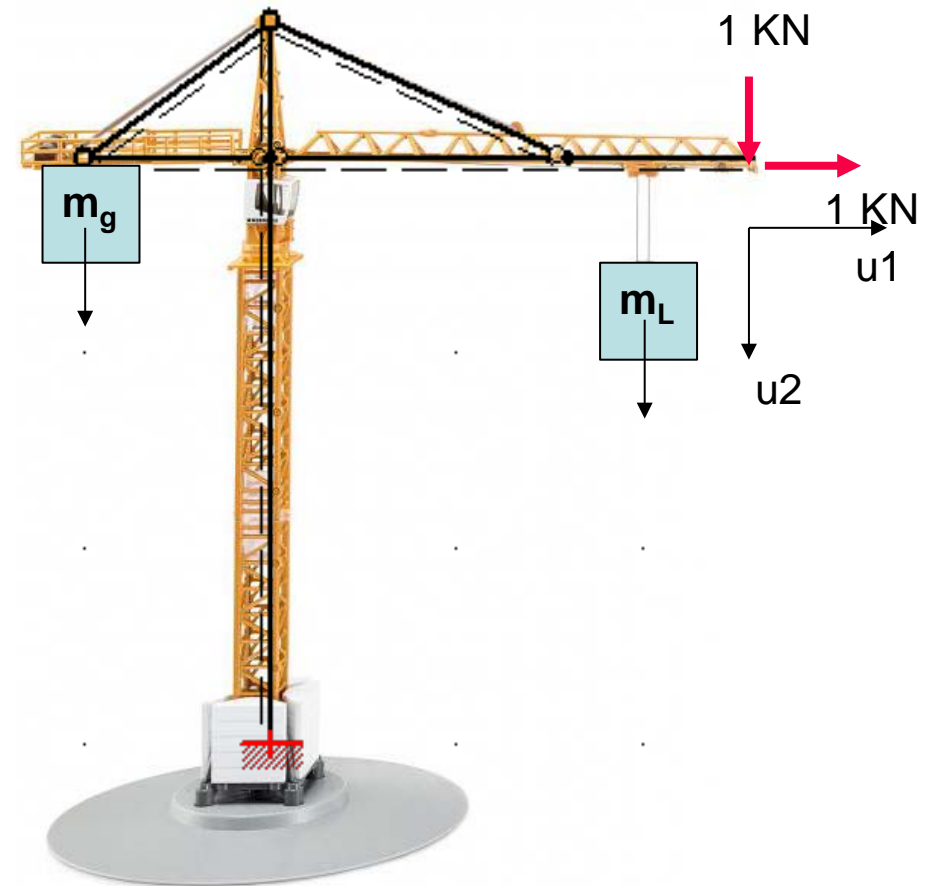


# Weitere Einflüsse

- Dämpfung
  - Vernachlässigbar bei kurzer Kraftwirkungsdauer
  - Kleinere Kräfte bei großer Dämpfung
  - Für Kran ~2%
- Einfluss des Lastpendelns
  - Keine Auswirkung
- Steifigkeit von Turm und Ausleger

# Praktische Berechnung eines Turmdrehkrans

- Statisches System
- Querschnittswerte (Ausleger, Turm, Seile)
- Massen (Eigen- und Gegengewicht, Nutzlast)
- Systemsteifigkeitsmatrix



# Praktische Berechnung

- Elastizitätsmatrix

- $\underline{f} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix}$  mit  $f_{12} = f_{21}$

- Steifigkeitsmatrix  $\Rightarrow$  Invertierung von  $\underline{f}$

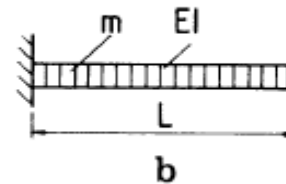
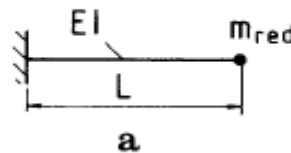
- $\underline{c} = \underline{f}^{-1} = \frac{1}{\det} \begin{bmatrix} f_{22} & -f_{12} \\ -f_{21} & f_{11} \end{bmatrix}$

- Massenmatrix

- $\underline{m} = \begin{bmatrix} m_T + m_A & 0 \\ 0 & m_A \end{bmatrix}$  mit:  $m_A, m_T \dots$  red. Massen

# Praktische Berechnung

- Reduzierte Masse Ausleger, Turm
- Idealisierung als Kragträger



$$\omega^2 = \frac{3EI}{L^3 m_{red}} \quad \omega^2 = 1,875^4 \frac{EI}{L^3}$$

$$m_{red} = 0,243 * m$$

$$m_{A,red} = 0,24 * m_A$$

$$m_{T,red} = 0,24 * m_T + (1 - 0,24) * m_A$$

# Praktische Berechnung

- Ermittlung der Eigenfrequenzen
- $\underline{c} - \omega^2 * \underline{m} = 0 \quad \Rightarrow \omega_{1,2}$
- Ansprechbeschleunigung aus Antwortspektrum bei Erregung in Eigenfrequenz
- Schwingungsbeiwerte (zur Berücksichtigung der Eigenformen)
- Seismische Kraftbeiwerte (horizontal, vertikal)
- SRSS Kombination (Überlagerung von 2 Eigenfrequenzen)

# Praktische Berechnung

- Betrachtung als statischer Lastfall
- NW der Standsicherheit (Gleiten, Kippen)
- NW der Tragfähigkeit (Knicken)
- Nachweise gelten als erfüllt, wenn Kräfte durch Erdbeben nicht größer sind als durch Nutzlasten

# Literatur

- Marko Kos – Aseismischer Anlagenbau (Grundlagen und Anwendungen (1983)
- ISO 11031: 2016 Cranes -- Principles for seismically resistant design
- Videos:
  - <https://www.youtube.com/watch?v=gFxsDOX7sSM>
  - <https://www.youtube.com/watch?v=4ZNTaH2-oE0>