

Verformungsbasierte Erdbebenanalyse von Stahlbetontragwerken

Methodenvergleich für die Erdbebenanalyse

Advisor: Prof. Dr.-Ing Harald Schuler
Fachbereich Massivbau

Studierender: Moritz Müllerleile
FS 2014

Gliederung des Vortrags

Einleitung und Aufgabenstellung

- Zielsetzung und Vorgehen
- Untersuchtes Beispielgebäude

Erdbebenanalyse anhand zwei verschiedener Methoden

- Kurzvorstellung der Methoden
- Durchgeführte Berechnungen

Gegenüberstellung der Resultate

- Vergleich der Ergebnisse
- Vergleich der Methoden

Zielsetzung und Vorgehen

Methodenvergleich Erdbebenanalyse von Stahlbetontragwerken

- **Antwortspektrenverfahren** vs. **PushOver-Verfahren**
- Anwendungsbezogenes Berechnungsbeispiel
(Beispielgebäude als **3D-Modell** mit FEM-Software **AxisVM®**)

Vorgehen

- **Bemessung** der Gebäudeaussteifung mit dem **Antwortspektrenverfahren**
(linear-elastischen Berechnung / kräftebasierte Methode)
- **Nachrechnung** des Aussteifungssystems mit dem **PushOver-Verfahren**
(nichtlineare Berechnung / verformungsbasierte Methode)
- **Gegenüberstellung** der Resultate

Untersuchtes Beispielgebäude

Geometrie

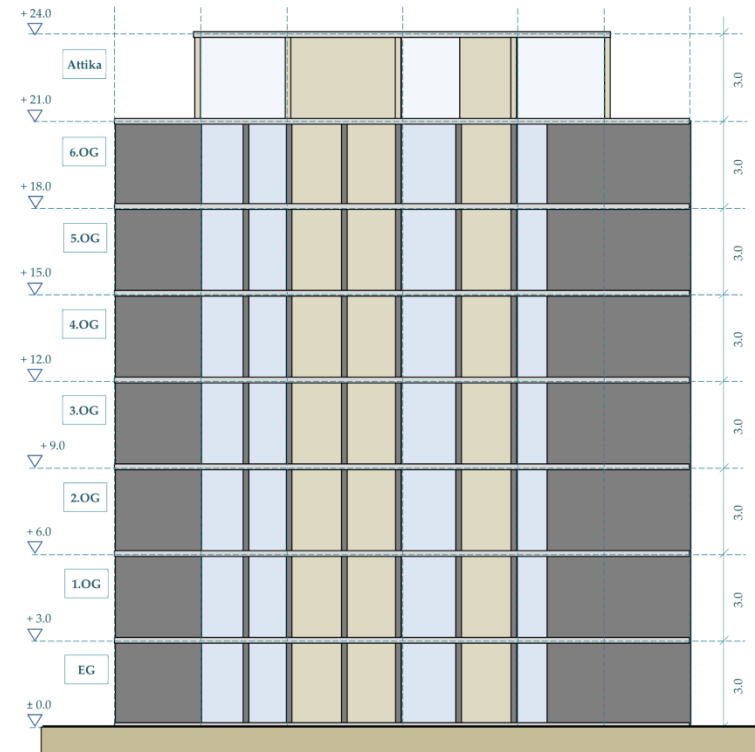
- 8 Stockwerke: EG, 6 OGs und Attika
- Gebäudehöhe 24.0 m über OK Terrain
- Grundrissabmessungen 20.0 x 26.0 m

Materialisierung

- Massivbauweise
- Tragwerk Stahlbeton

Nutzung

- Bürogebäude → q (Kat. B)



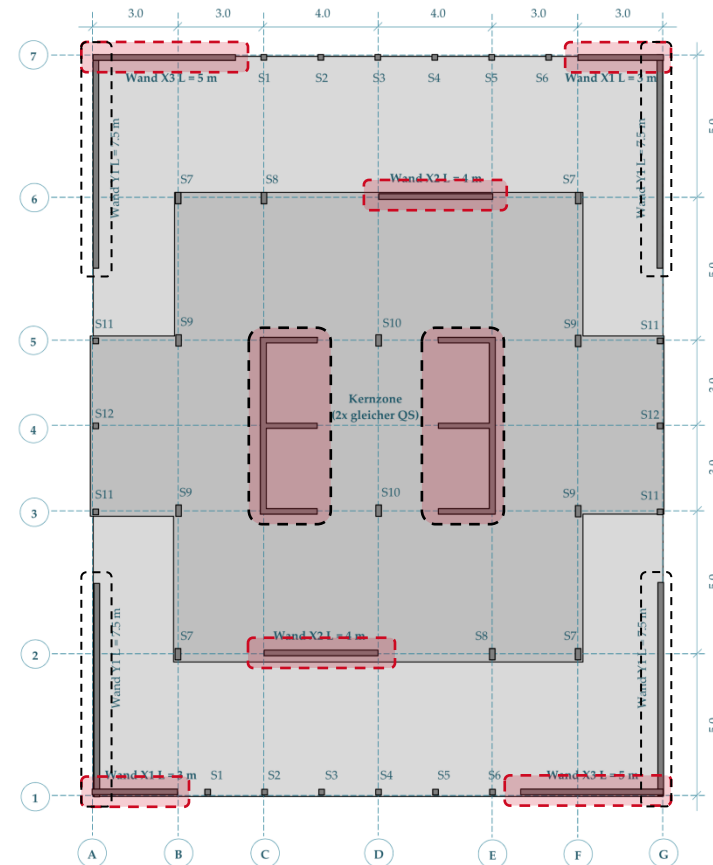
Untersuchtes Beispielgebäude

Vertikale Lastabtragung

- Flachdecken
- Stahlbetonstützen und –wände
- Grundriss **Regelgeschoss**
über gesamte Gebäudehöhe gleich

Horizontale Aussteifung

- Stahlbetonwände
 - Y-Richtung: 4x je 7.5 m
 - X-Richtung: 2x 3, 4 und 5m
- Zusätzlich **zweiteiliger** Liftkern



Antwortspektrenverfahren

Einwirkung Erdbeben



Antwort- bzw. Bemessungsspektrum
mit spezifischem Verhaltensbeiwert



Horizontale Ersatzkräfte aus
Antwortspektrum & Schwingungsanalyse



Nachweis der Tragfähigkeit

Einwirkende Schnittkräfte < Tragwiderstand Aussteifung

Tragwiderstand Bauwerk



Querschnittswiderstand der
aussteifenden Bauteile



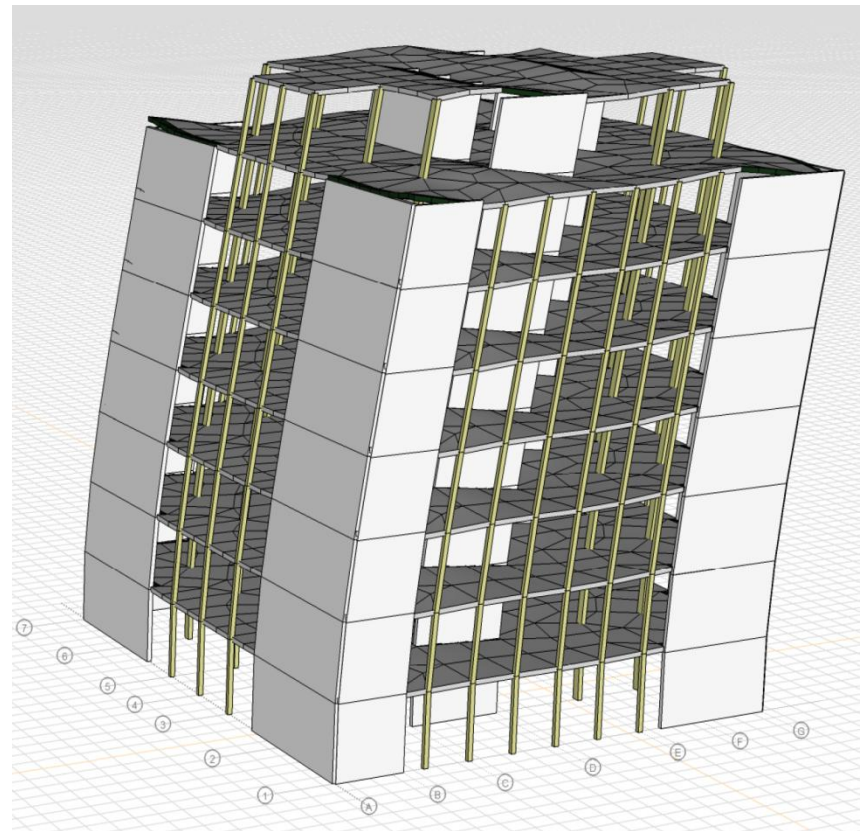
Antwortspektrenverfahren

FE-Modell AxisVM®

- 3D Stab-Schalen-Modell
 - Wände → Stäbe
 - Decken → Schalen
- Linear-elastische Ersatzsteifigkeit
 - Reduktion E-Modul Wände
 - $E_{\text{Wände,red}} = 50\% \cdot E_{\text{cm}}$

Schwingungsberechnung

- 1. Eigenform $f_{1,x} = 1.2 \text{ Hz}$

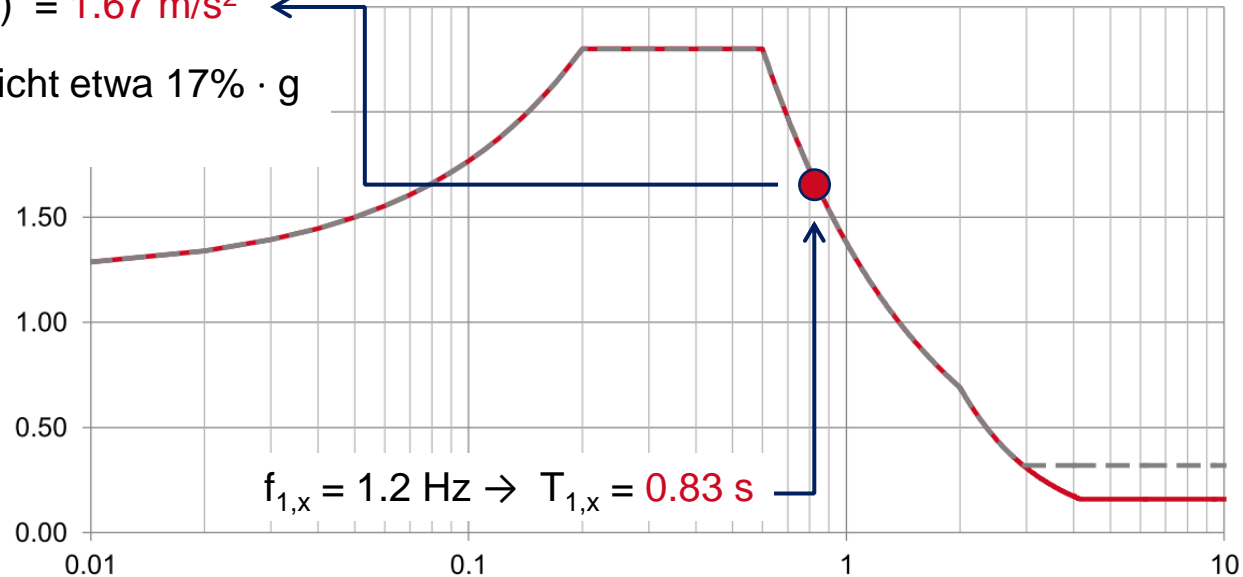


Antwortspektrenverfahren

Erdbebeneinwirkung

- Bemessungsspektrum gemäss SIA 261 (\approx EC 8)
 - Zone 3b / BGK C / BWK I

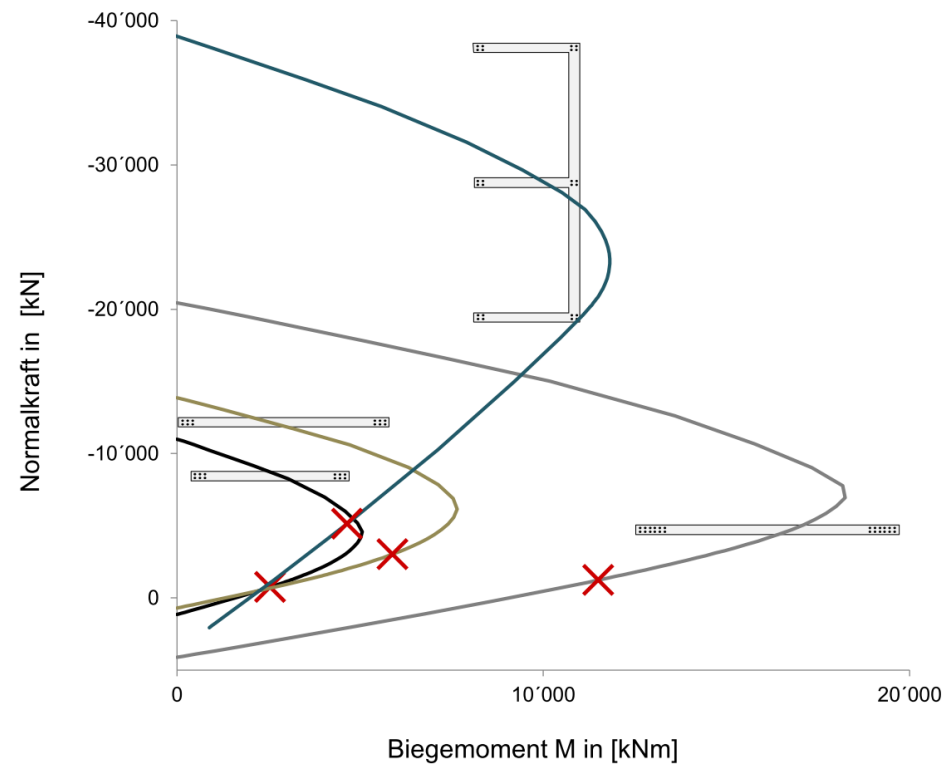
- $S_d(T_{1,x}) = 1.67 \text{ m/s}^2$
entspricht etwa $17\% \cdot g$



Antwortspektrenverfahren

Bemessung Gebäudeaussteifung

- M-N-Interaktion
 - **Biegemoment M**
infolge Erdbeben
 - **Normalkraft N**
infolge vertikalen Lasten
 $E_d = \{ \Sigma G_k + \psi_2 \cdot Q_k \}$
- **Ausnutzung 100%**
→ Referenz für Vergleich
mit PushOver



PushOver-Verfahren

Einwirkung Erdbeben



Bemessungsspektrum
mit Verhaltensbeiwert $q = 1.0$



Modale Transformation in
Spektralbeschleunigungsspektrum
(auf Niveau des äquivalenten EMS)



Verformungswiderstand Bauwerk



Kraft-Verformungslinie
(aus **Traglastberechnung**)



Modale Transformation in
Kapazitätsspektrum
(auf Niveau des äquivalenten EMS)



Nachweis der Verformungsfähigkeit

Einwirkende Kopfverschiebung < Bruchverschiebung Aussteifung

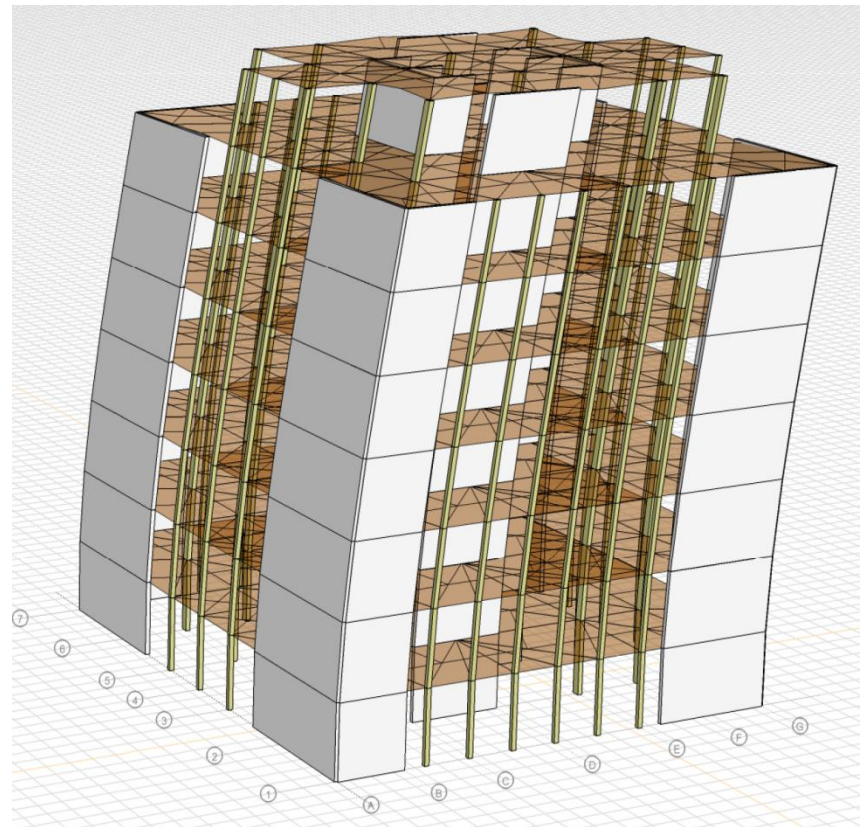
PushOver-Verfahren

FE-Modell AxisVM®

- 3D Stab-Modell
 - Wände → Stäbe
 - Decken → Koppellemente
- Linear-elastische Materialeigenschaften
→ keine Reduktion E-Modul
- Nichtlineare Steifigkeit

Schwingungsberechnung

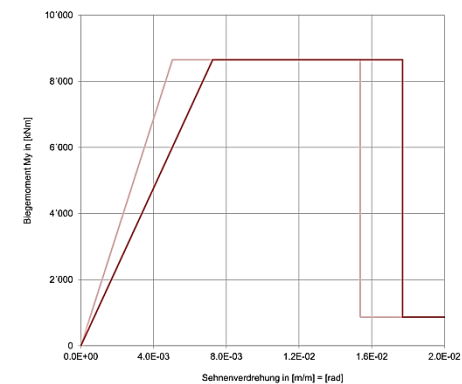
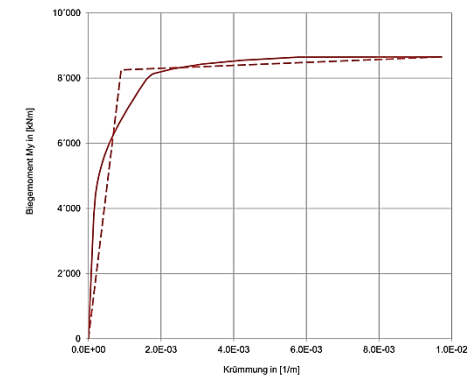
- 1. Eigenform $f_{1,x} = 1.2 \text{ Hz}$ (vgl. AWSV)



PushOver-Verfahren

Abbilden des nichtlinearen Tragverhaltens

- Querschnittsanalyse aussteifende Wände
 - **Momenten-Krümmungs-Linie**
- Umrechnen der Krümmungen in Verdrehungen
 - Krümmung [1/m] · [m] = Verdrehung [rad]
 - Schubspannweite L_v [m]
 - Prozesszonenlänge L_{pl} [m]
 - **Momenten-Sehnenverdrehungs-Linie**



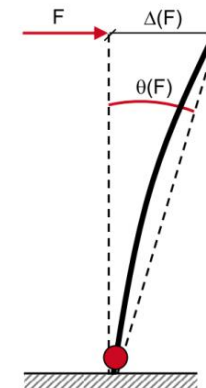
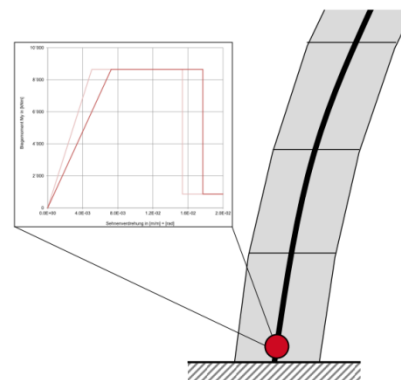
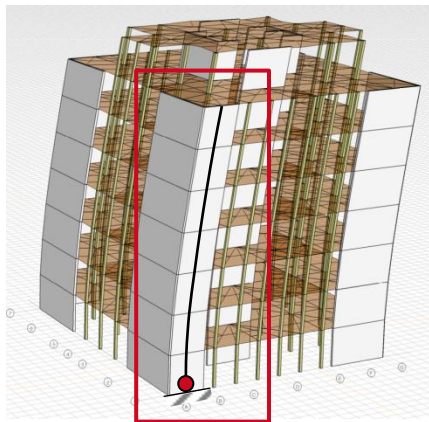
PushOver-Verfahren

Abbilden des nichtlinearen Tragverhaltens

Im 3D-Modell AxisVM®: →
Fusspunktgelenke an
aussteifenden Wänden

→ Nichtlineare
Federkennlinie
im Gelenk hinterlegt

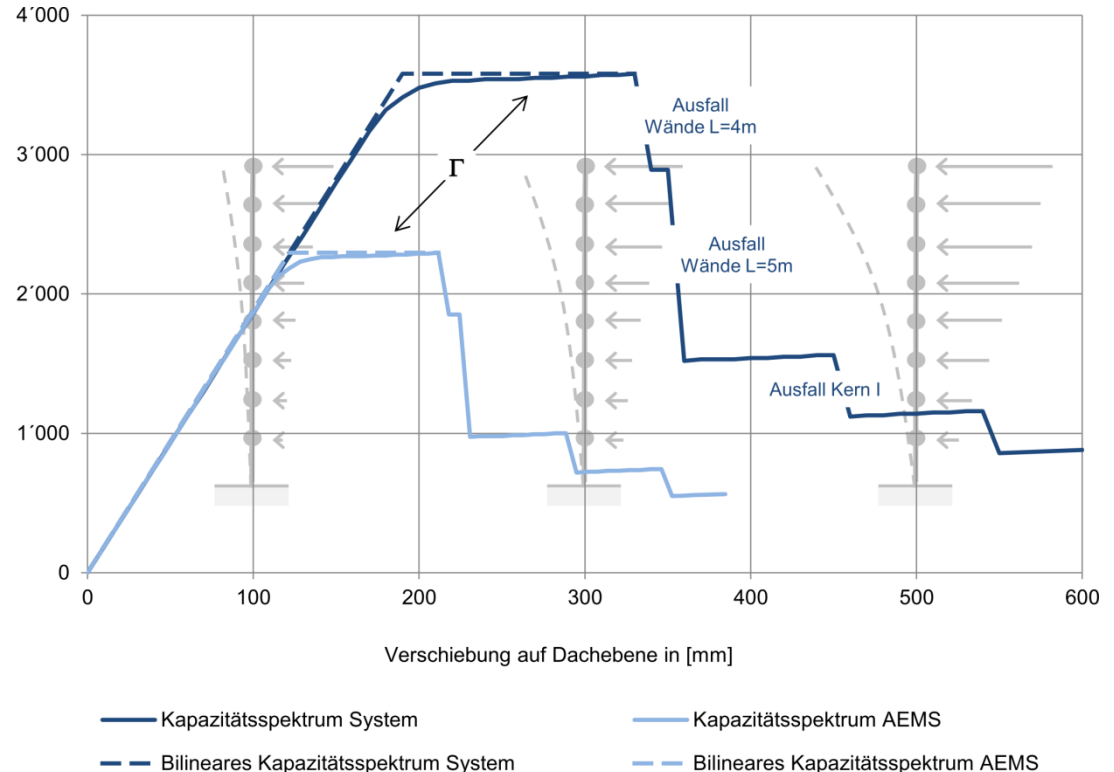
→ Nichtlineare
Verformungsberechnung
(Fusspunkt-Verdrehungen)



PushOver-Verfahren

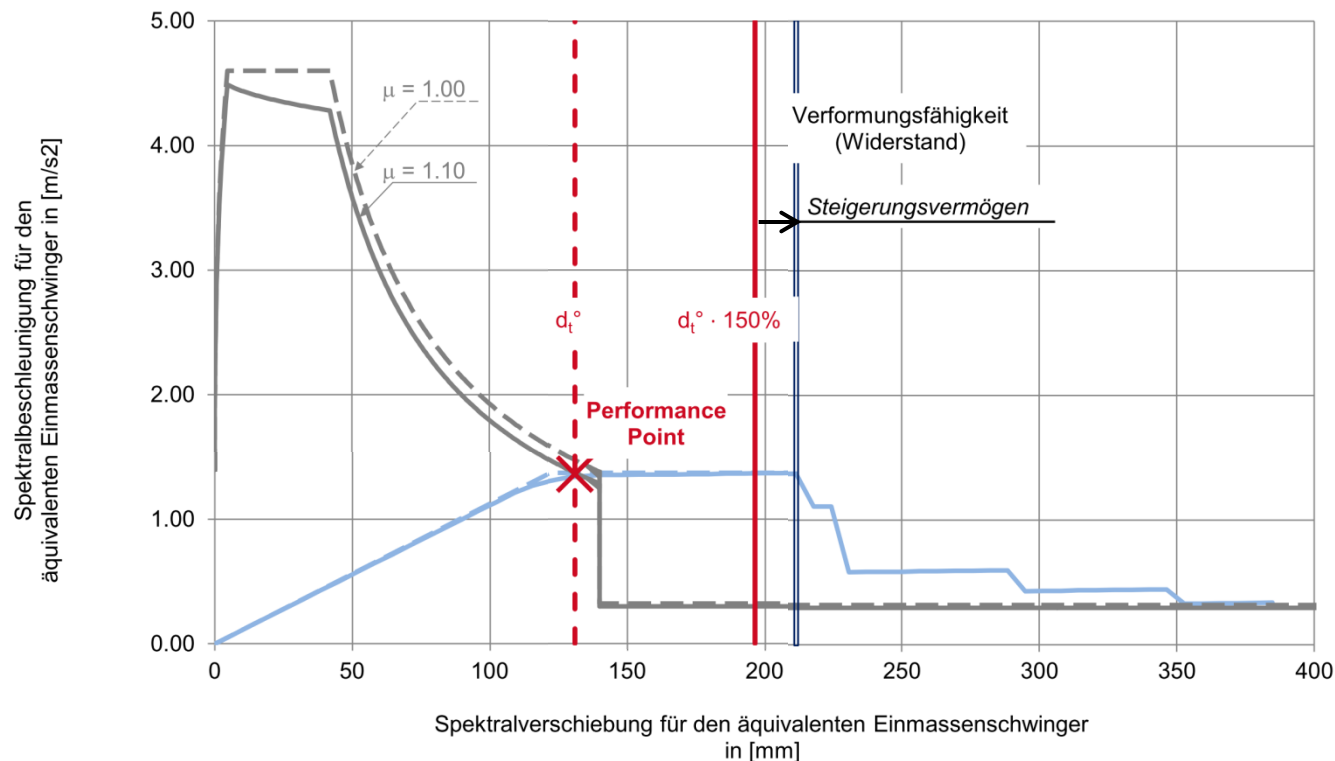
Nichtlineare Traglastberechnung

- Basislastfall
 $\Sigma F = 1.0 \text{ kN}$
- Lastverteilung
gemäss 1. EF
- Steigerung
weggesteuert
($\Delta_i = 10 \text{ mm}$)



PushOver-Verfahren

Verformungsnachweis im ADRS-Diagramm (Acceleration-Displacement-Response-Spectra)



Vergleich der Ergebnisse

Gegenüberstellung Erfüllungsfaktoren

Antwortspektrenverfahren		PushOver-Verfahren	
Nachweis	$\frac{\text{Tragwiderstand}}{\text{Beanspruchung}}$	Nachweis	$\frac{\text{Verformungsvermögen}}{\text{Auslenkung}}$
Referenz aus Bemessung	= 1.0	1.6	= ohne Sicherheitsfaktor (charakteristisch)
		1.2	= Mit $\gamma_D = 1.3$ (gemäss SIA 2018)
		1.1	= Mit $\gamma_D = 1.5$ (gemäss EC 8)

Einleitung

Aufgabenstellung

Antwortspektrenverfahren

PushOver-Verfahren

Vergleich Resultate

Vergleich der Methoden

	Antwortspektrenverfahren	PushOver-Verfahren
Rechnerische Ausnutzung	im Beispiel etwa +20 %, aber...	
Berechnungsaufwand	Standardverfahren	<ul style="list-style-type: none"> • Methodisches Grundwissen erforderlich • Teilweise aufwendig & sensitiv (M-θ-Linie)
Anwendungsbereiche	üblicherweise Neubau (elastische Bemessung, eher sicher Seite)	<ul style="list-style-type: none"> • Bestand / Nachrechnungen • Starkes Bemessungserdbeben (plastische Reserven relevant)
Gebäudetypen / Aussteifungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Hochbauten < 5 OGs • eher steife Systeme, z.B. Wandaussteifungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hochhäuser • eher weiche Systeme, z.B. Rahmentragwerke

Fazit

**PushOver-Verfahren für Stahlbeton kommt vor allem für „*verformungsfähige*“
Tragwerke in Frage (z.B. Rahmenaussteifung, reine Kernaussteifung)**

**PushOver-Verfahren empfiehlt sich für die Beurteilung **bestehender Gebäude mit
einer ungenügender Erdbebensicherheit** (Aussagen zum **Versagenszenario**)**

Besten Dank für die Aufmerksamkeit.