

2.1 Inelastische Analyseverfahren im Erdbebeningenieurwesen: Ein Überblick

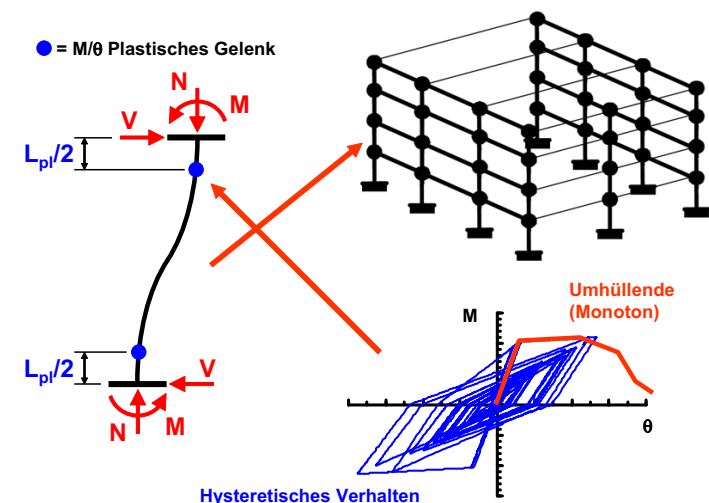
2.1.1 Einführung

- Ziel des verhaltensbasierten Erdbebeningenieurwesens ist die Vorhersage des Verhaltens des Tragwerks unter einem zukünftigen Erdbeben (Siehe Kapitel 1).
 - Das Verhalten ist charakterisiert durch die zu erwartenden Schäden an tragenden und nichttragenden Bauteilen, sowie am Inhalt des Gebäudes.
- Inelastische Analyseverfahren sind ein wichtiges Werkzeug des verhaltensbasierten Erdbebeningenieurwesens.
 - Schäden an tragenden und nicht-tragenden Bauteilen bedeuten meistens, dass inelastische Verformungen stattgefunden haben.
 - Traditionelle Analyseverfahren, die auf elastischen Methoden beruhen, können das Verhalten nur implizit vorhersagen.
 - Im Gegensatz dazu, ist das Ziel der inelastischen Analyseverfahren die direkte Vorhersage der zu erwartenden inelastischen Verschiebungen und Verformungen.
- Resultat der Analyse ist eine möglichst realistische Schätzung des Bedarfs an gewählten Bemessungsparametern. Dieser Bedarf soll dann mit den zulässigen Werten verglichen werden. Wichtige Bemessungsparameter sind zum Beispiel:
 - globale Verschiebungen (z.B. des Dachs oder von anderen wichtigen Referenzpunkten),
 - Stockwerksschiefstellungen
 - Verformungen und Schnittkräfte der Bauteile.

- Bei inelastischen Analyseverfahren sollen die Eigenschaften des Berechnungsmodells am Besten den mittleren Eigenschaften des Tragwerks entsprechen.
 - Dies erlaubt eine Schätzung des Mittelwerts des Bedarfs an gewählten Bemessungsparametern.
 - Der Ingenieur soll dann die Resultate selber interpretieren und die entsprechenden Entscheidungen bezüglich der Auslegung des Tragwerks treffen.

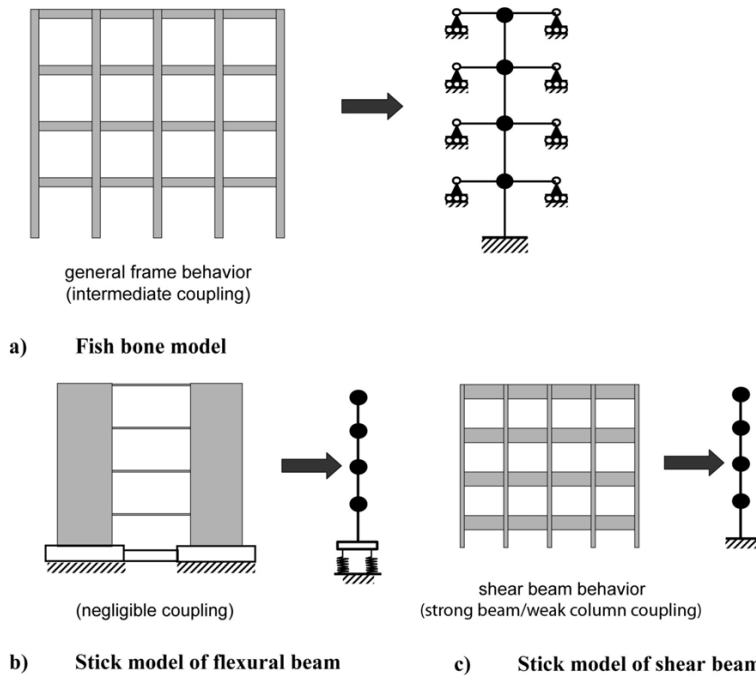
2.1.2 Dynamische Tragwerksmodelle

- Detaillierte Modelle



- Alle wichtigen Bauteile werden einzeln modelliert.
- Bauteilen, bei welchen inelastische Verformungen erwartet werden, sollen neben den elastischen Eigenschaften auch inelastische Eigenschaften zugewiesen werden.

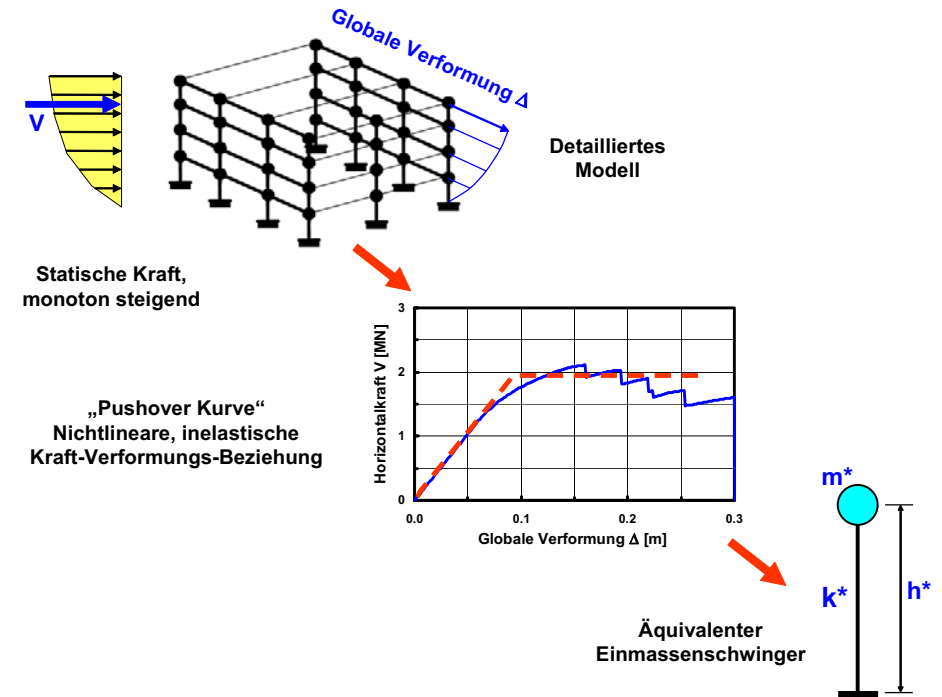
- In Abhängigkeit der gewählten inelastischen Analyseverfahren (siehe Abschnitt 2.1.3) sollen die inelastischen Eigenschaften entweder als Hysterese oder als Umhüllende definiert werden.
- Hinweise zur Festlegung der inelastischen Eigenschaften stammen entweder aus Versuchen oder aus der Literatur (d.h. aus Versuchen, die Andere durchgeführt haben).
- Äquivalente Mehrmassenschwinger (MMS)



Aus [ATC05]

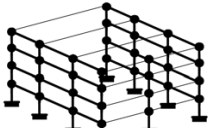
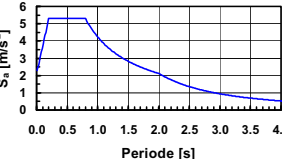
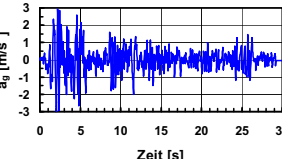


- Bei gewissen Tragwerken und Fragestellungen lohnt es sich, die Eigenschaften von gewissen Bauteilen in "Makro-Elemente" zu konsolidieren

- Äquivalente Einmassenschwinger (EMS)



- Der äquivalente Einmassenschwinger kann entweder elastisch oder inelastisch sein, dies in Abhängigkeit der gewählten inelastischen Analyseverfahren (siehe Abschnitt 2.1.3).
- Die Berechnung von Pushover Kurven und die nachfolgende Bestimmung der Eigenschaften des äquivalenten Einmassenschwingers werden im Abschnitt 2.2 ausführlich diskutiert.

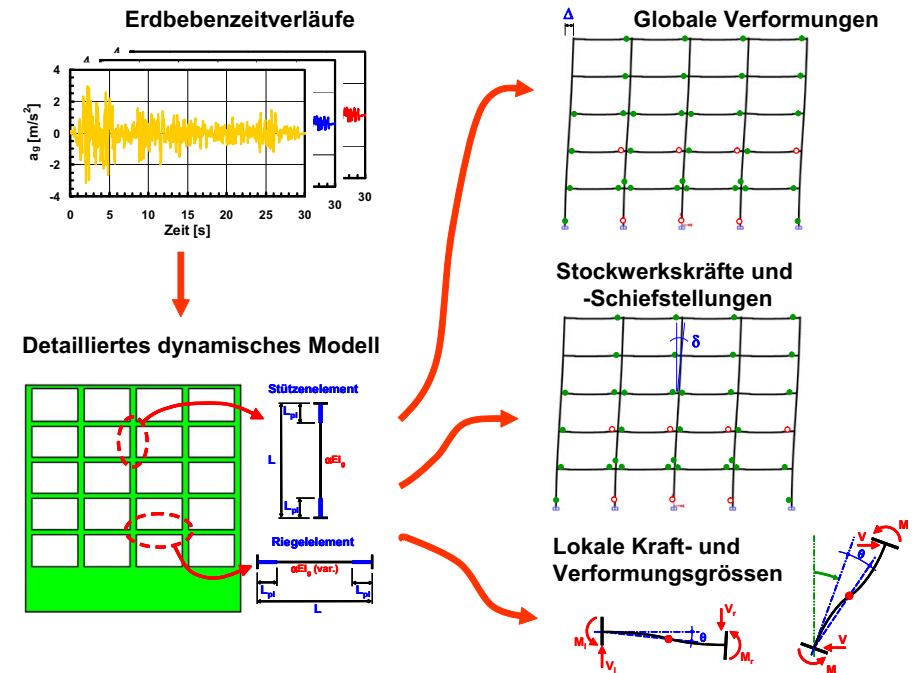
2.1.3 Mögliche inelastische Analyseverfahren im Erdbebeningenieurwesen

Dynamisches Tragwerksmodell	Charakterisierung der Bodenbewegung	
 <p>Detailliert</p>	 <p>Antwortspektren</p>	 <p>Mehrere Zeitverläufe</p>
 <p>Äquivalenter MMS</p>	<p>Nichtlineare statische Verfahren. Multimodale pushover Analyse.</p>	<p>Vereinfachte nichtlineare dynamische Analyse am äquivalenten MMS</p>
 <p>Äquivalenter EMS</p>	<p>Nichtlineare statische Verfahren. Pushover Analyse</p>	<p>Vereinfachte nichtlineare dynamische Analyse am äquivalenten EMS</p>



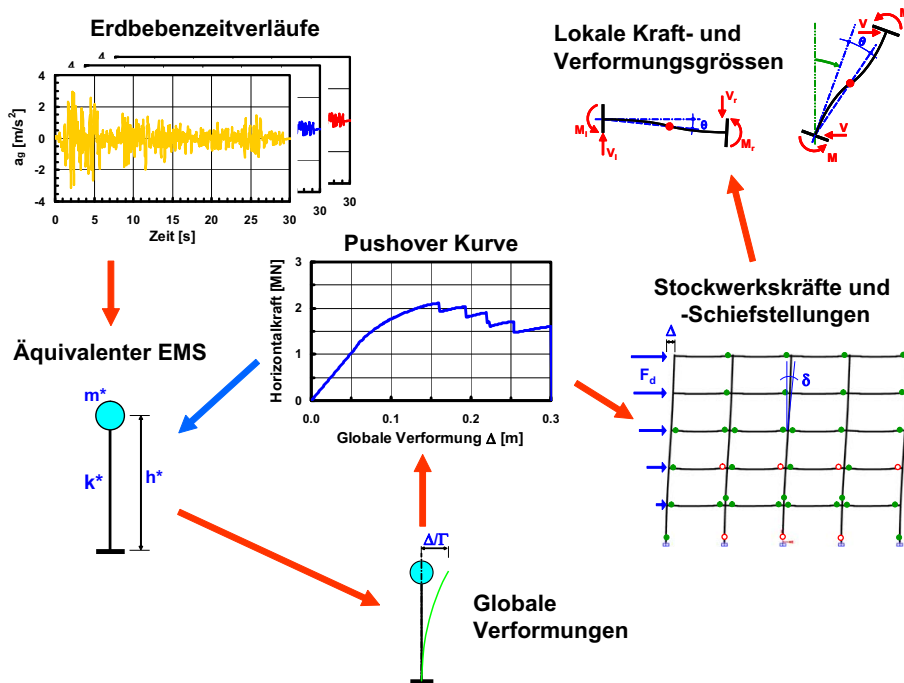
Aus [ATC05]

• Nichtlineare dynamische Analyse (NDA)



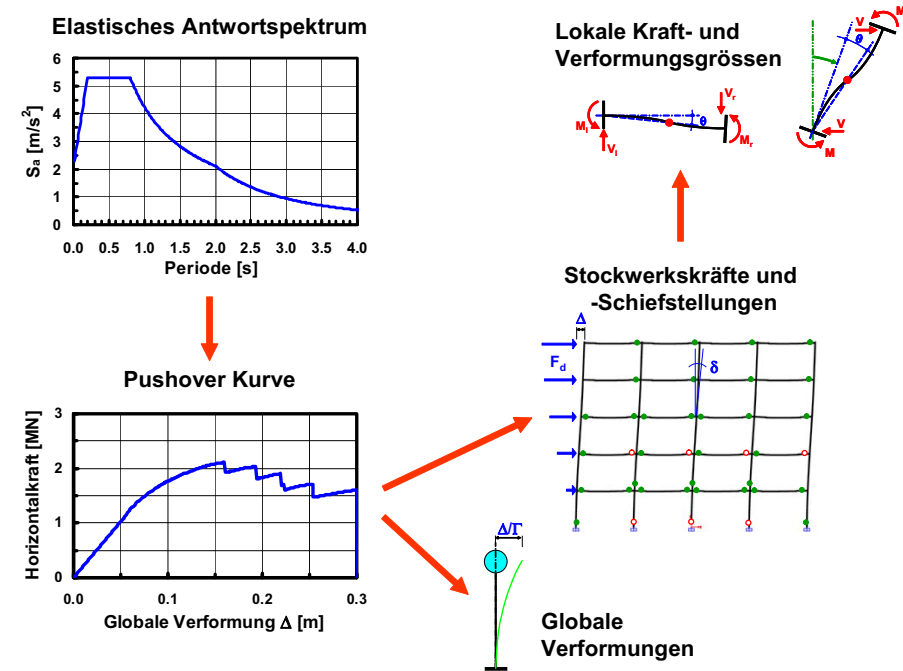
- Mit der NDA können die Unsicherheiten reduziert (aber nicht eliminiert) werden. Die Wahl der Zeitverläufe und die Charakterisierung der inelastischen Eigenschaften der Bauteile spielen dabei eine wesentliche Rolle.
- NDA sind im Allgemeinen extrem aufwendig (Vorbereitung, Durchführung, Interpretation der Resultate).
- Vereinfachte nichtlineare dyn. Analyse am äquivalenten MMS
 - Ähnlich wie NDA. Die lokale Kraft- und Verformungsgrößen werden aber nicht direkt sondern indirekt aus der Verformungsfigur des äquivalenten MMS geschätzt.

- Vereinfachte nichtlineare dynamische Analyse am äquivalenten EMS



- Sowohl bei elastischen als auch bei inelastischen äquivalenten EMS ist die Durchführung der Zeitverlaufsberechnungen relativ wenig aufwendig.
- Aus diesem Grund sind solche Analysen für probabilistische Verfahren gut geeignet (z.B. zur Berechnung von Verletzbarkeitskurven, siehe V1).
- Die dynamischen Eigenschaften des äquivalenten EMS werden typischerweise anhand von detaillierten Modellen festgelegt (Siehe Abschnitt 2.1.2).

- Nichtlineare statische Verfahren. Pushover Analyse



- Ähnlich wie “Vereinfachte nichtlineare dynamische Analyse am äquivalenten EMS”. Dazu kommen aber zusätzliche Unsicherheiten im Bezug auf die Bestimmung der globalen Verformungen des EMS anhand der Spektren.
- Nichtlineare statische Verfahren. Mutilmodale pushover Analyse
 - Ähnlich wie “Pushover Analyse”. Erlauben aber eine bessere Betrachtung der “oberen Eigenschwingungen” und deren Einfluss auf die Stockwerksschiefstellungen.