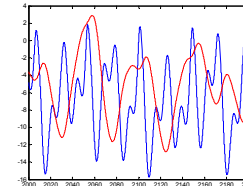
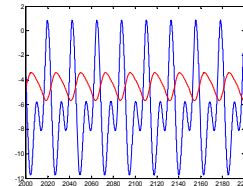
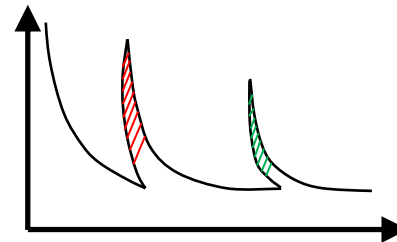
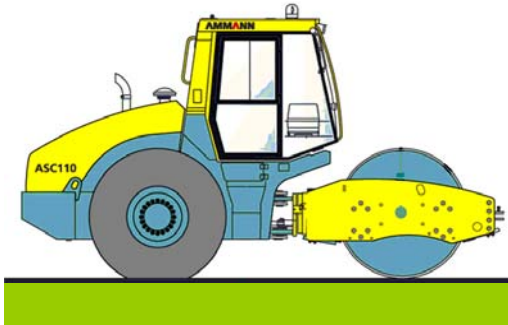


Identifikation und Validation nichtlinearer Schwingungssysteme

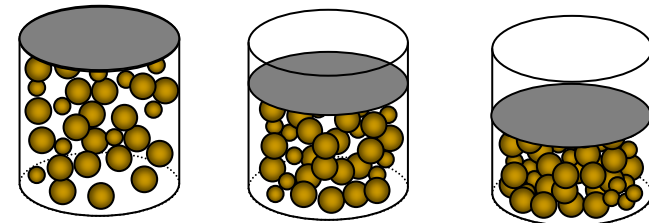
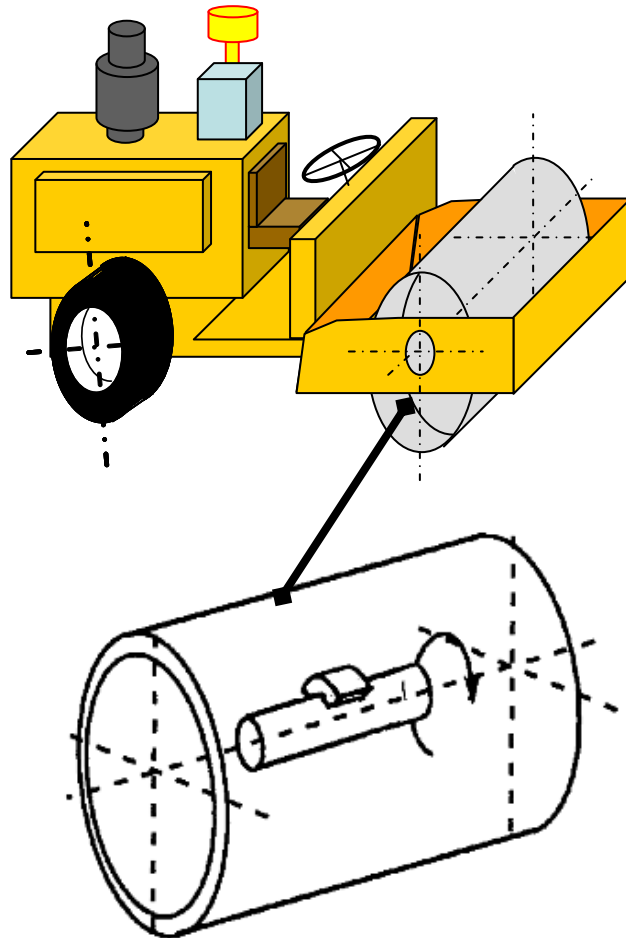


Messtechnik und Simulation in der
Bodenverdichtung

Inhalt

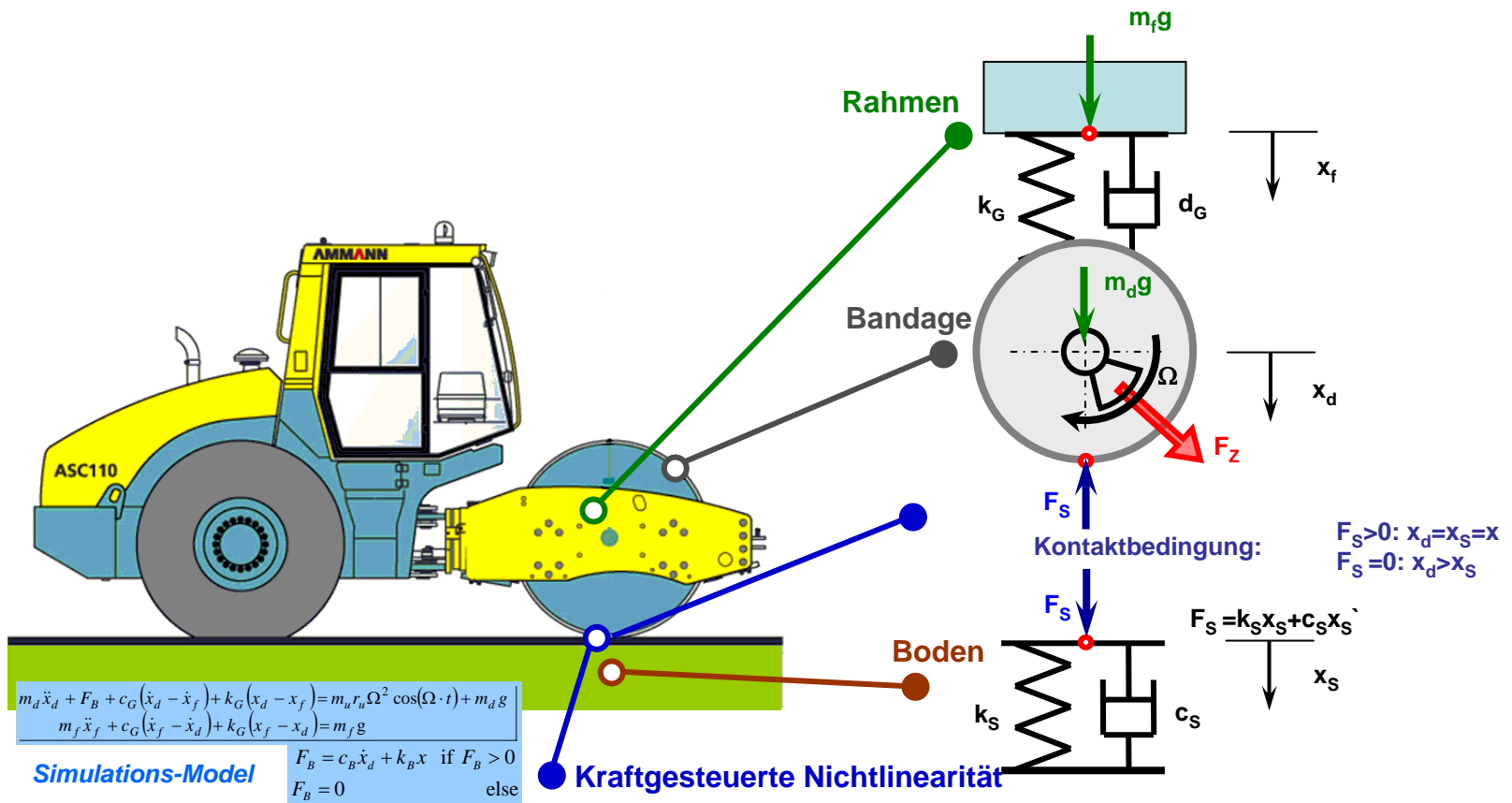
- Bodenverdichtung und Verdichtungsmaschinen
- Nichtlineare Effekte in der Bodenverdichtungstechnik
- Systemidentifikation
- Messtechnik auf Verdichtungsmaschinen
- Effekte starker Nichtlinearitäten
- Identifikation des nichtlinearen Systems

Bodenverdichtung



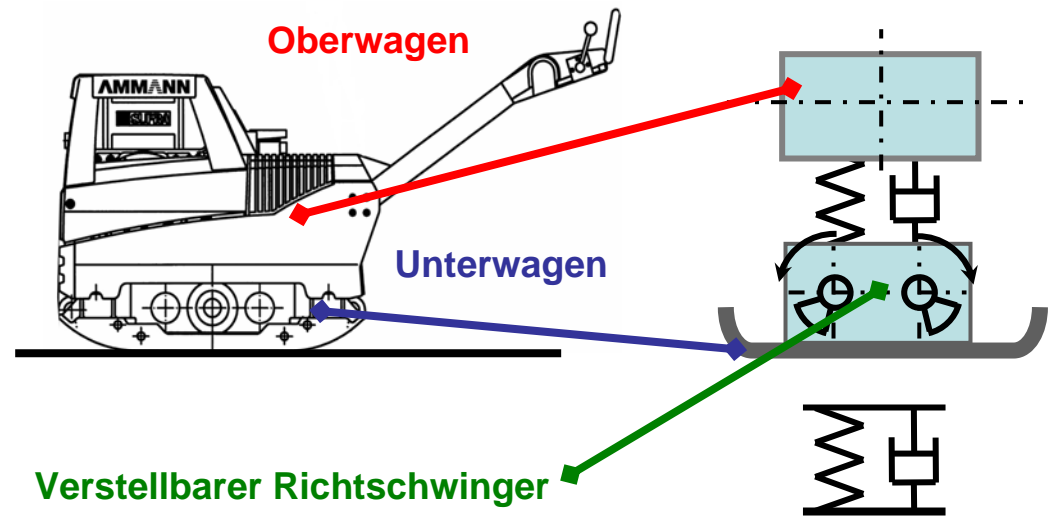
- Verdichtung durch:
 - Statische Kraft:
schwere Maschinen
 - **Dynamische Kraft:**
Unwuchterreger

Verdichtungsmaschinen



Verdichtungsmaschinen

- Vibrationsplatten:
 - Fortbewegung durch gerichtete Vibration

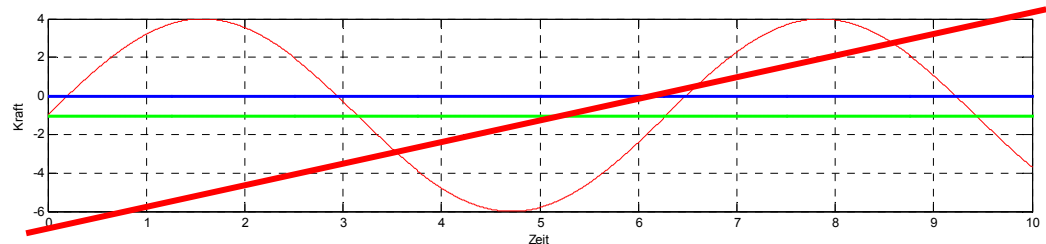
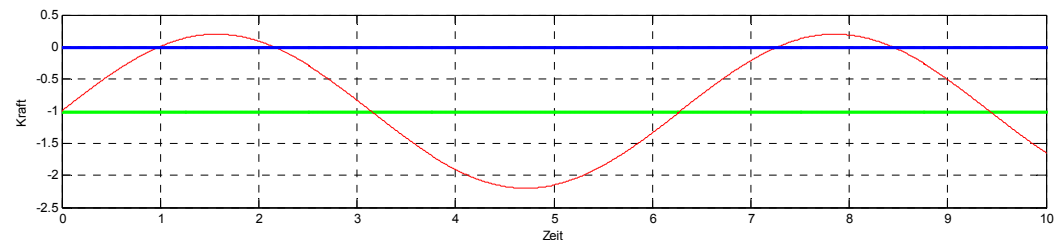
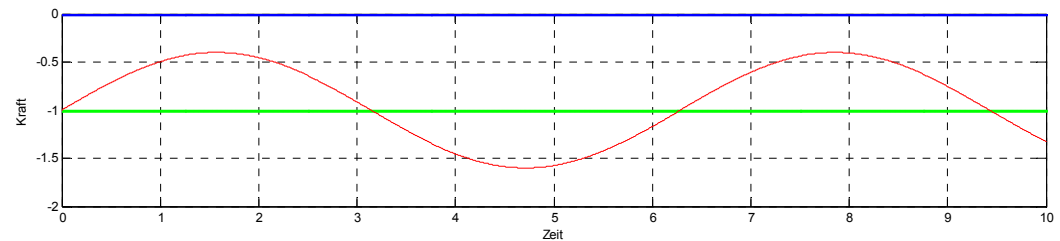


Nichtlineare Effekte in der Bodenverdichtungstechnik

- Rein lineares Verhalten
 - Maximale Kraft entspricht doppeltem Eigengewicht
- Kurzes Abheben
 - Annähernd lineares Verhalten
 - Oberwellen in der Systemantwort
- Längeres Abheben
 - Nichtlinearität wird dominierend
 - Antwort wird chaotisch und instabil

Grün: statische Kraftwirkung (Eigengewicht)

Rot: dynamische Anregung



Nichtlineare Effekte in der Bodenverdichtungstechnik

- Mittlere Kraft auf Boden = Gewichtskraft
 - Zeitweises Abheben vom Boden
 - **Höhere Maximalkräfte**
- Abheben vom Boden = Nichtlinearität
 - **Nichtlinearität für Funktion des Systems zwingend notwendig**

Identifikation von (linearen) Schwingungssystemen

- Nach Möglichkeiten des Systems:
 - Sinus Anregungen
 - Schrittantwort
- Ziel: Frequenzverhalten mittels Bode-Diagramm skizzieren
 - Identifizieren der einzelnen Resonanzfrequenzen und zuordnen zu den entsprechenden Freiheitsgraden

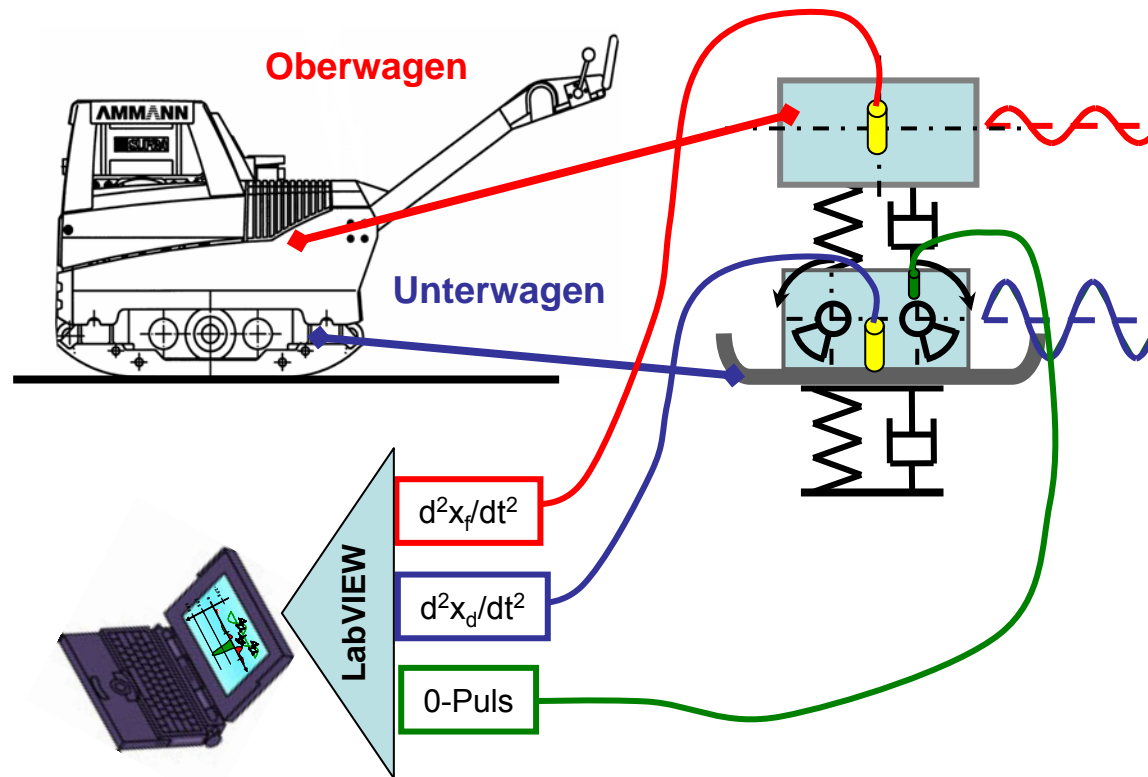
Behandlung von Nichtlinearitäten

- Für schwache Nichtlinearitäten
 - Systemänderung zur Vermeidung der Nichtlinearität
 - Isolieren der Nichtlinearität
 - Linearisierung um Betriebspunkt
- Für starke Nichtlinearitäten
 - System muss als nichtlineares System betrachtet werden, keine Linearisierungen möglich

Messtechnik auf Verdichtungsmaschinen

- Bestimmung der Dynamischen Bewegungen
 - Direkte Wegmessung nur umständlich möglich
 - Beschleunigungsmessung und Integration
- Periodische hohe Beschleunigungen durch Schläge beim Auftreffen auf den Boden.
 - Bis ca. 50 g im üblichen Betrieb

Messtechnik auf Verdichtungsmaschinen

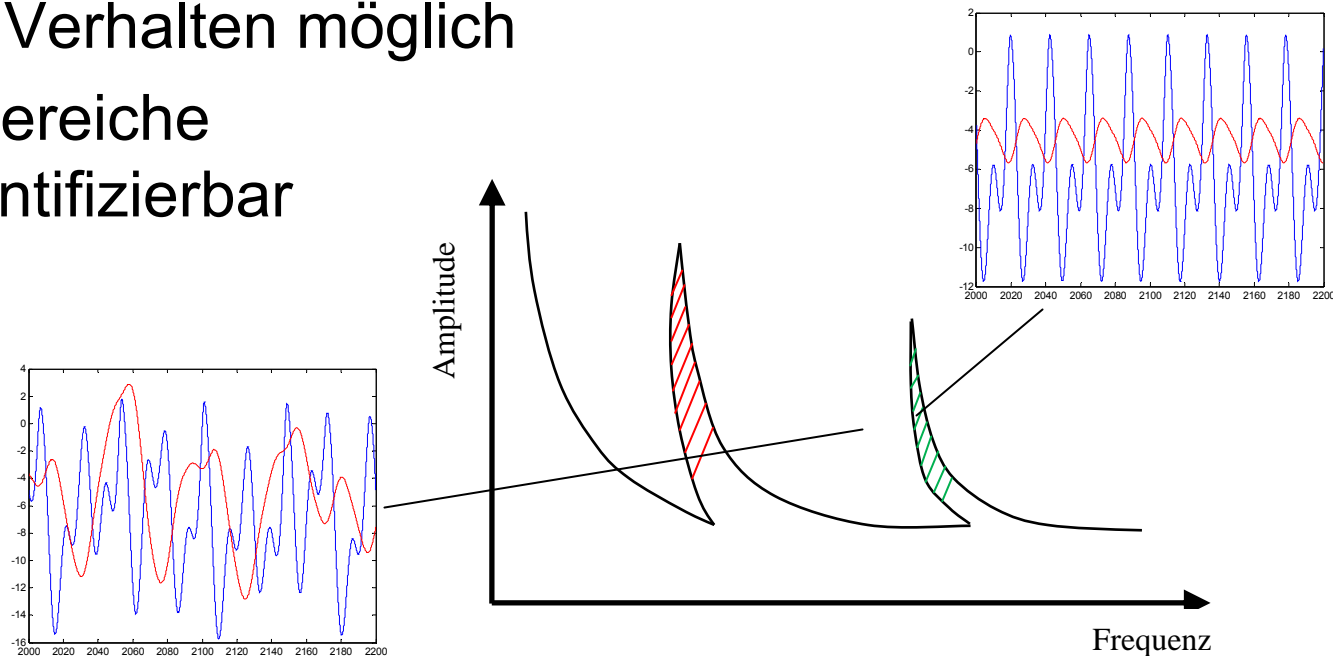


Auswertung der Daten

- 0-Impuls (Position des Unwuchterregers)
 - Rückmessung der effektiven Anregungsfrequenz
- Beschleunigungsmessungen
 - Hochpassfilter mit 2-3 Hz (Nur dynamische Anteile sind von Bedeutung)
 - Integration (Beschleunigung → Geschwindigkeit → Weg)
 - FFT der rekonstruierten Wegsignale

Effekte starker Nichtlinearitäten

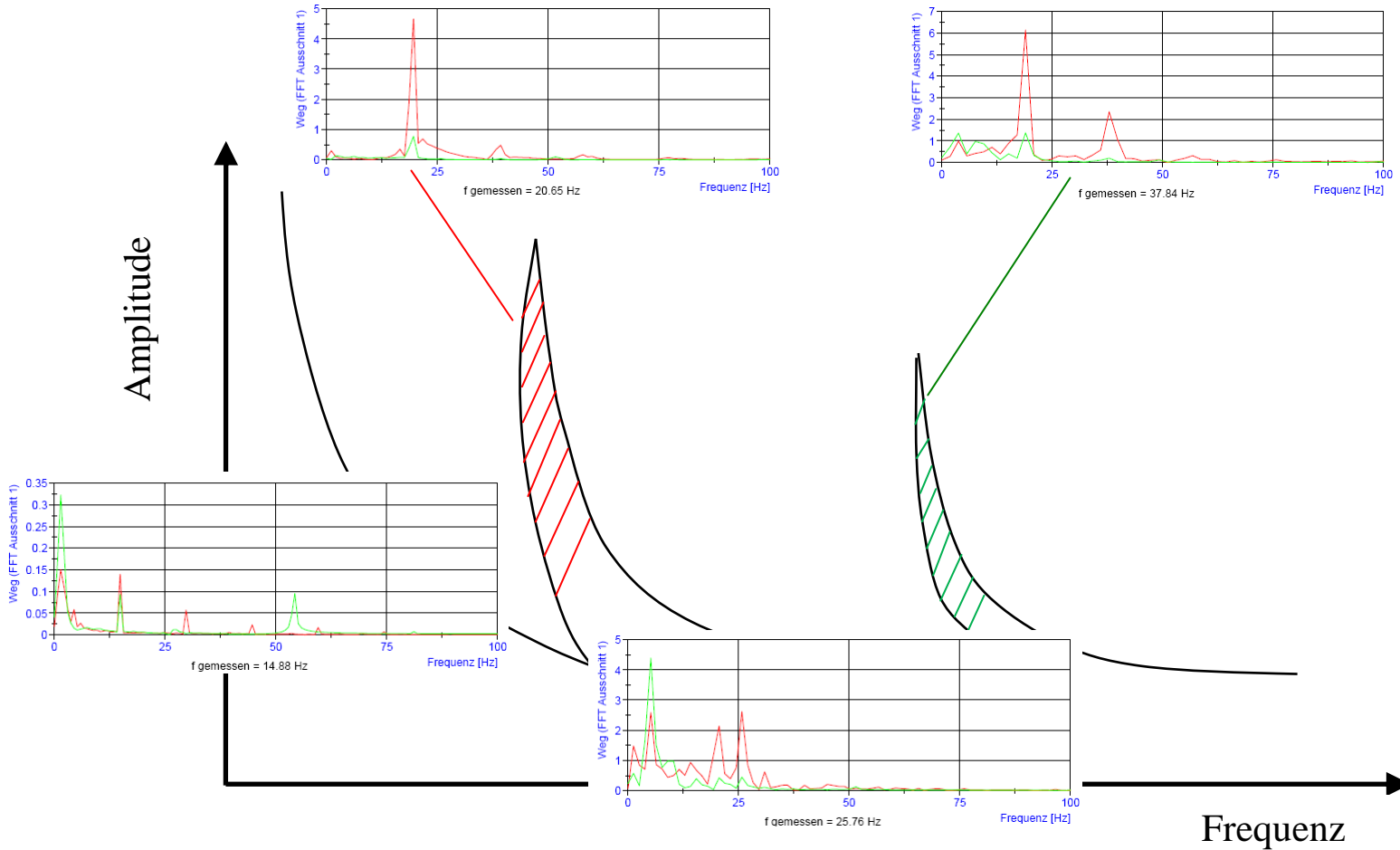
- Antwort auf monofrequente Anregung wird mehrfrequent
- Übertragungsverhalten abhängig von der Amplitude
 - System kann nicht als Bode-Diagramm repräsentiert werden
- Chaotisches Verhalten möglich
- Nur stabile Bereiche eindeutig identifizierbar



Vorgehen zur Identifikation

- lineare Resonanzen identifizieren
 - Anregung mit kleinen Amplituden im linearen Bereich
- Unterscheiden der stabilen und instabilen Betriebsbereiche
 - Anregung des Systems mit festen Frequenzen, Analyse der Systemantwort mittels FFT
- Vergleiche mit Simulationsmodell
 - Stabile / Instabile Bereiche, Schwingungsform der stabilen Bereiche

Systemidentifikation



Periodenverdoppelung und Chaos

- Starke Nichtlinearität kann bei genügend grosser Amplitude zu Periodenverdoppelungseffekten führen
 - Subharmonische Schwingungen entstehen
- Instabile Bereiche des Systems führen zu chaotischem Verhalten
 - Genaues Verhalten des Systems ist nicht mehr reproduzierbar, jedoch in seinen Grundzügen immer ähnlich

Fazit

- Stark nichtlineare Systeme können nicht linearisiert werden
 - Chaotisches Verhalten nicht weiter analysierbar
 - Stabile Bereiche finden und charakterisieren
- Einfache Modellansätze
 - Auch mit einem einfachen Modell sind die stabilen und chaotischen Bereiche reproduzierbar