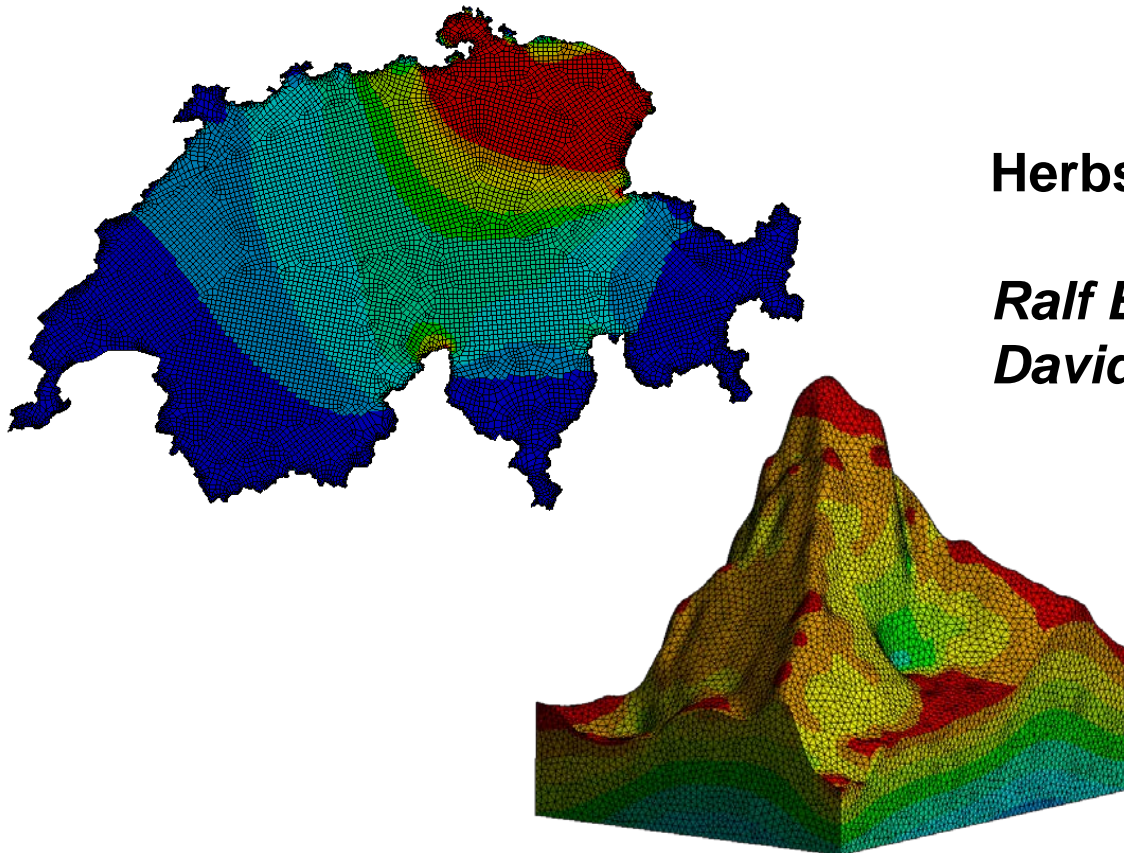


**Willkommen zur Vorlesung**

# Angewandte FEM in der Statik

**Herbst 2016**

***Ralf Baumann  
David Schiffmann***



+ Genereller Ablauf (Vorlesung, Übungen, Pause)

+ Unterlagen (Skript, Präsentationen, Aufgaben)

+ Ablage auf Ilias

+ Infrastruktur

+ ANSYS Student



The screenshot shows the Ilias course interface for 'TA.BA\_FEM1.H1601'. The title is 'TA.BA\_FEM1.H1601' with the subtitle 'TA.Angewandte FEM in der Statik HS 1601'. The navigation bar includes 'Zurück', 'Inhalt' (selected), 'Info', 'Einstellungen', 'Mitglieder', 'Lernfortschritt', and 'Metadaten'. Below the navigation bar are links for 'Zeigen', 'Verwalten', 'Sortierung', and 'Seite gestalten'. A green button 'Neues Objekt hinzufügen' is on the right. The 'INHALT' section lists 'Kursunterlagen' and 'Übungsprotokolle'. The 'Übungsprotokolle' entry includes a deadline: 'Bitte geben Sie hier Ihre FEM Protokolle ab. Nächste Abgabefrist: 20 Tage, 5 Stunden, 59 Minuten'.

TA.BA\_FEM1.H1601  
TA.Angewandte FEM in der Statik HS 1601

◀ Zurück Inhalt Info Einstellungen Mitglieder Lernfortschritt Metadaten

[Zeigen](#) [Verwalten](#) [Sortierung](#) [Seite gestalten](#)

Neues Objekt hinzufügen ▼

INHALT

📁 Kursunterlagen ▼

📄 Übungsprotokolle ▼  
Bitte geben Sie hier Ihre FEM Protokolle ab.  
Nächste Abgabefrist: 20 Tage, 5 Stunden, 59 Minuten

## Testatbedingungen

1. Mind. 4 Übungsprotokolle von den 8 Übungsaufgaben aus dem Selbststudium angefertigt und auf Ilias abgelegt.



### Übungsprotokolle

Bitte geben Sie hier Ihre Übungsprotokolle ab.

Diese gilt es jeweils bis zum angegebenen Termin abzugeben,

und

Angewandte FEM in der Statik	Übungsprotokoll
<b>Übungsprotokoll</b>	<b>Name:</b>
Übungsaufgabe:	Datum:
<b>A. Idealisierung</b> (Vereinfachungen, Dimensionalität, Randbedingungen, Lasten, etc.)	
<b>B. Modellgenerierung und Analyse</b> (Geometrie, Elementwahl, Vernetzung, Verfahren, etc.)	
<b>C. Ergebnisse</b> (max. Deformationen, max. Spannungen, Reaktionskräfte, etc.)	
<b>D. Validierung</b> (Plausibilität, Verifikation, etc.)	
<b>E. Schlussfolgerungen</b> (Erkenntnisse, Learnings, etc.)	
<b>F. Offene Punkte? Was blieb unklar?</b>	
Hochschule Luzern – Technik & Architektur	
R. Baumann	








## Testatbedingungen

2. Bearbeitung eines kleinen FEM-Projektes und anschliessenden Test bestanden.

Ausgabe Arbeit: 24.11.2016

Test: 15.12.2016

Autor(en)	Titel	Verlag	Jahr
Argyris, J., Mlejnek, H. P. Bathe, K.J.	<b>Die Methode der Finiten Elemente</b>	Vieweg	1976
	<b>Finite Elemente Methoden</b>	Springer	2002
Fröhlich, P.	<b>FEM-Leitfaden - Einführung und praktischer Einsatz</b>	Springer	1995
Gebhardt, Ch.	<b>ANSYS DesignSpace – FEM-Simulation für Konstrukteure</b>	Hanser	2009
Gebhardt, Ch.	<b>Praxisbuch FEM mit Ansys Workbench</b>	Hanser	2011
Klein, B.	<b>FEM – Grundlagen und Anwendungen der Finite-Element-Methode</b> (kann von <a href="http://www.springerlink.com">www.springerlink.com</a> mit HSLU-Account heruntergeladen werden)	Vieweg	2003
Müller, G., Groth C.	<b>FEM für Praktiker – Band 1: Grundlagen</b>	Expert	2002
Müller, G., Groth C.,	<b>FEM für Praktiker – Band 2: Strukturdynamik</b>	Expert	2002
Müller, G., Groth C.	<b>FEM für Praktiker – Band 3: Temperaturfelder</b>	Expert	2001
Steinbuch, R.	<b>Simulation im konstruktiven Maschinenbau</b>	Carl-Hanser	2004
Zienkiewicz, O. C.	<b>The Finite Element Method</b>	McGraw-Hill	2000
Nasdala, L.	<b>FEM-Formelsammlung Statik und Dynamik</b> (kann von <a href="http://www.springerlink.com">www.springerlink.com</a> mit HSLU-Account heruntergeladen werden)	Vieweg	2010

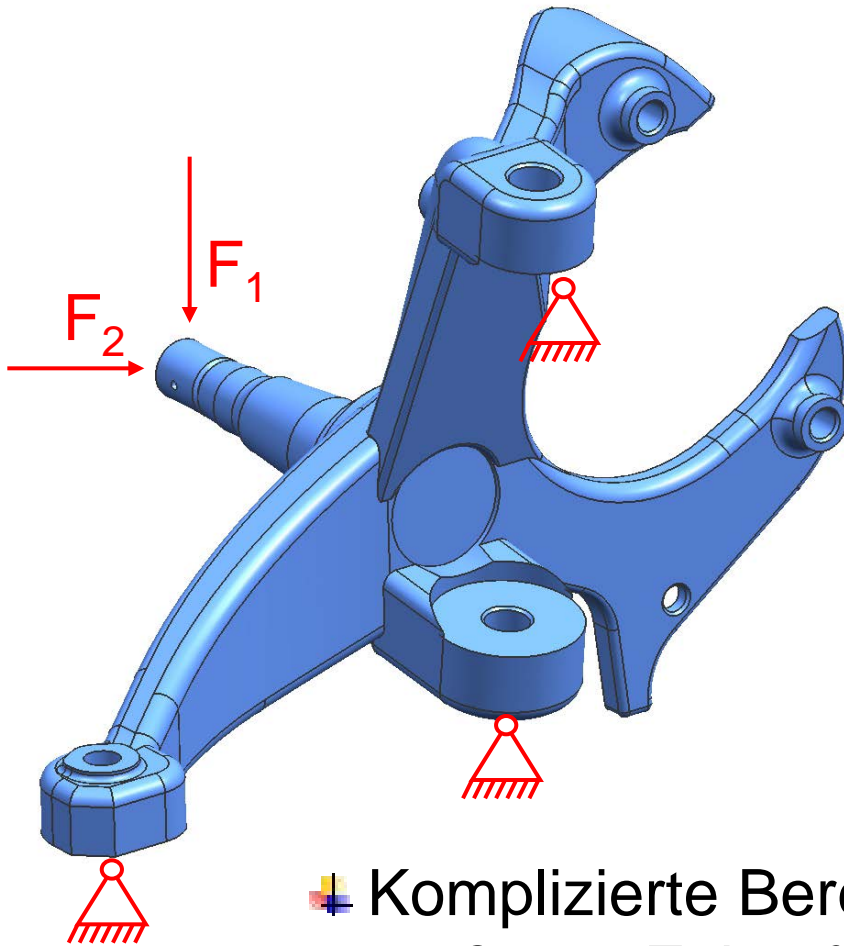
-  Allgemeine Einführung
-  Konzept der FEM
-  Ablauf von Analysen und Grundregeln
-  Modellbildung und Idealisierung
-  Handhabung des Ansys-Programms
-  Lineare und nichtlineare Strukturanalysen
-  viele, viele Übungen

SW	Inhalt
1	Einführung in die FEM
2	Konzept der FEM
3	Idealisierung und Linienmodelle
4	Ebener Spannungszustand (ESZ)
5	Vernetzung und Parametrierung
6	Ebener Verzerrungszustand (EVZ)
7	Axialsymmetrie
8	Volumenmodellierung und CAD-Import
9	Schalenmodellierung
10	Kontaktmodellierung
11	Submodellierung-Technik
12	Materialnichtlinearität
13	Eigenwerbeulen
14	Geometrische Nichtlinearität

- ✚ Sie haben einen Überblick über die FEM und kennen die Möglichkeiten sowie die Risiken.
- ✚ Sie kennen die Grundlagen der Modellbildung mit FEM und können FE-Analysen planen und strukturieren.
- ✚ Sie können Strukturkomponenten praxis- und beanspruchungsgerecht idealisieren und strukturmechanische FE-Analysen mit einem kommerziellen FE-Programm durchführen.
- ✚ Sie verstehen es, die Resultate zu beurteilen und auf Richtigkeit zu überprüfen.
- ✚ Sie sind aufgrund des erworbenen Grundwissens in der Lage Ihren Kenntnisstand selbständig für komplexere und umfassendere Problemstellungen aus der Statik zu erweitern.








- ✚ Einfache Berechnungsmethoden lassen sich in den Taschenbüchern der Ingenieurwissenschaften nachschlagen.
- ✚ Eine Anwendung dieser wenig zeitaufwendigen Methoden eignet sich deshalb vor allem zur Grobdimensionierung.
- ✚ Von besonderem praktischen Wert ist, dass diese einfachen Methoden oft auf *geschlossen lösbaren* analytischen Gleichungen beruhen.



Deformationen?  
Spannungen?

...

✚ Komplizierte Berechnungsmethoden, die einen größeren Zeitaufwand benötigen führen dagegen im allgemeinen auf *numerische Lösungen*.

-  **FDM: Finite Differenzen Methoden** auf der Grundlage von Differenzenverfahren
-  **FVM: Finite Volumen Methoden** auf der Grundlage von Bilanzgleichungen für strömungstechnische Aufgaben
-  **FEM: Finite Elemente Methoden** für nahezu alle Ingenieuraufgaben
-  **BEM: Boundary Elemente Methoden** - teilweise alternativ zu FEM-Programmen
-  **MKS: Mehrkörper-Simulationsprogramme** für Bewegungs- und Schwingungsaufgaben

## Lernstopp

## FEM – Finite Element Methode

Math.: ein numerisches Verfahren zur Lösung von partiellen Differentialgleichungen, wie z.B.

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial y} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} = 0$$
$$\frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2 u_x}{\partial y \partial x} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} = 0$$

die in ein algebraisches Gleichungssystem überführt werden:

$$[K] \{u\} = \{F\}$$

Matrix      Vektoren

## **FEM – Finite Element Methode**

Allg.: Der Grundgedanke besteht darin, das Tragwerk (oder Gebiet) in viele endliche (finite) Elemente aufzuteilen, die an den Elementrändern verknüpft sind. Für die gesuchte Funktion (z.B. Verschiebungen, Temperatur, etc.) werden Ansätze gewählt, die nur in den einzelnen Elementen definiert sind und deren unbekannten Faktoren die Verschiebungen bzw. Temperatur an den Elementknoten darstellen.

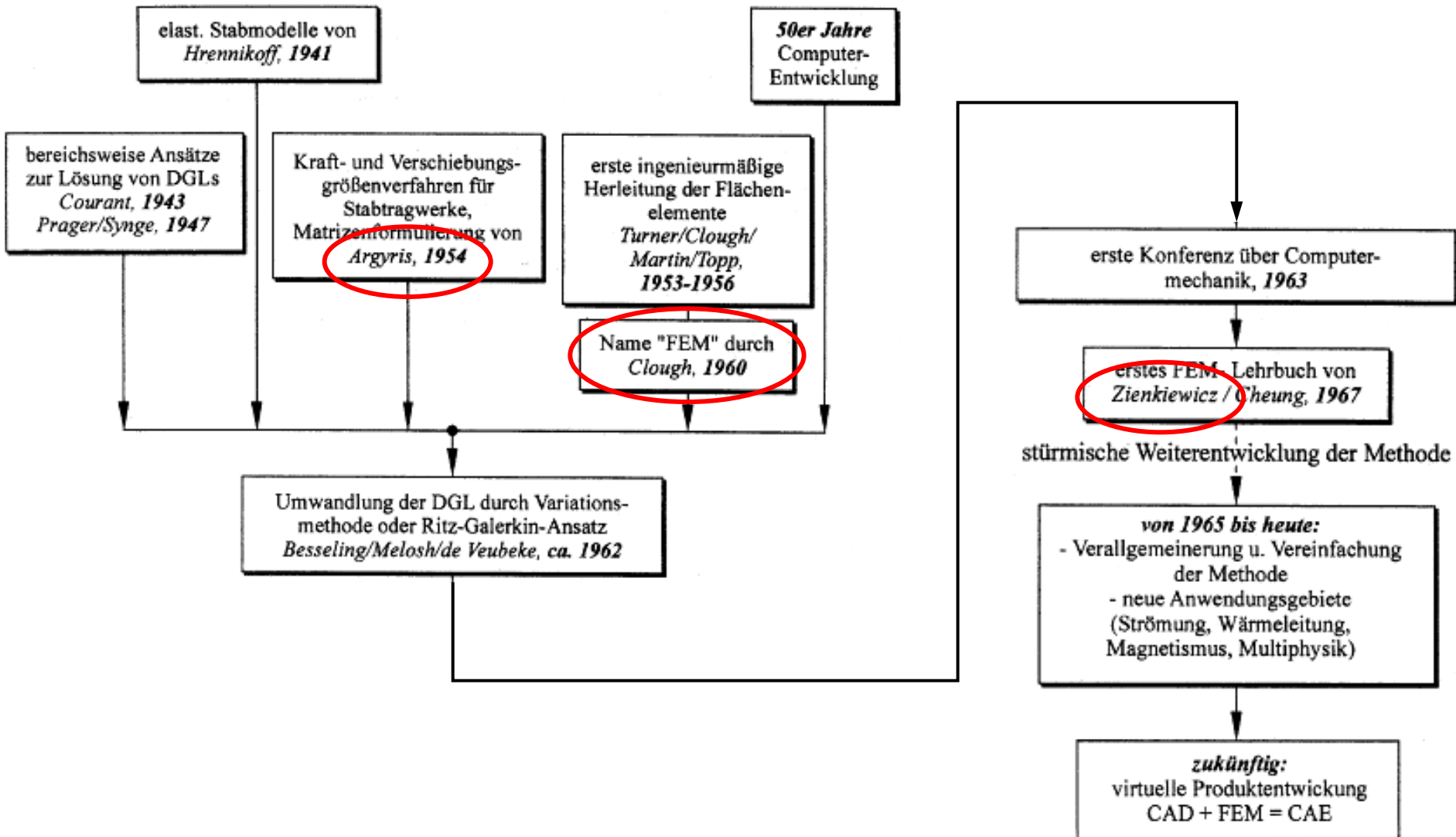
# Wie funktioniert das ?



Baustein => Finite Element

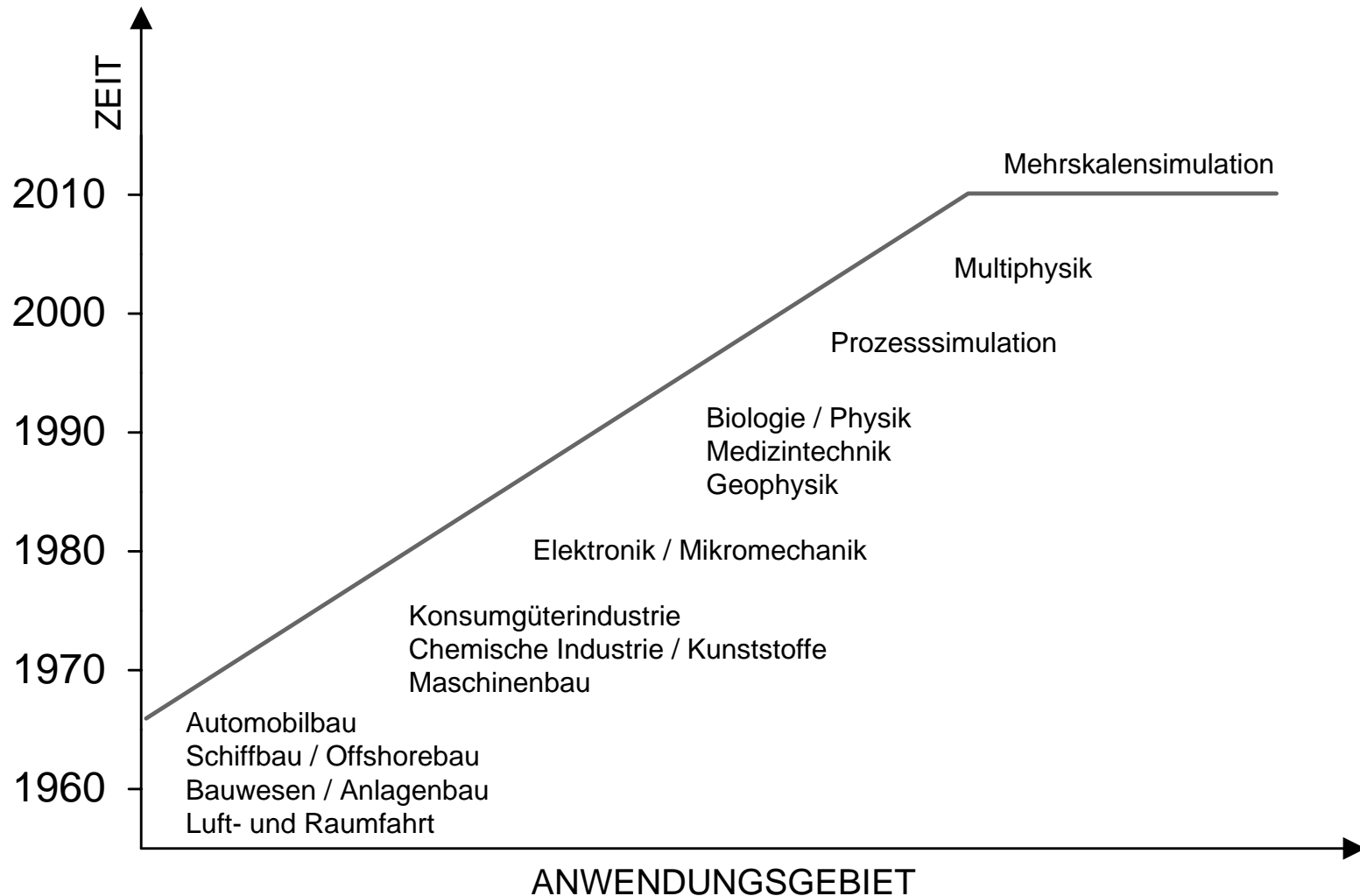


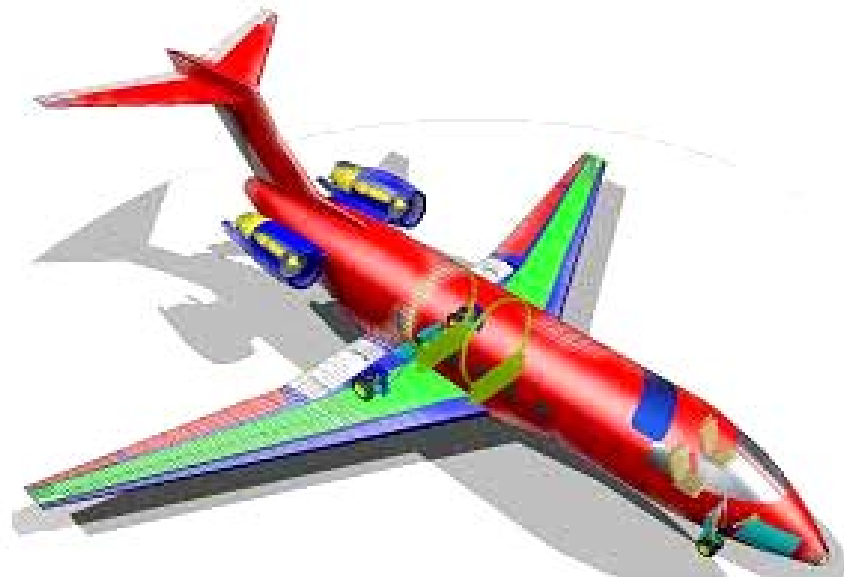
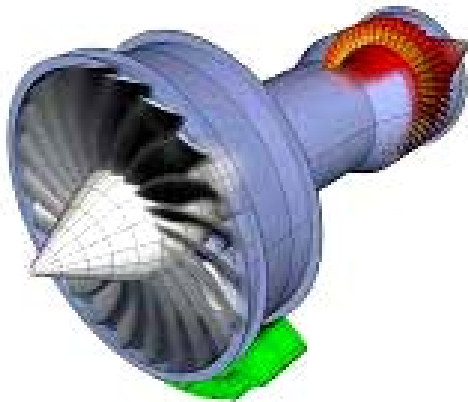
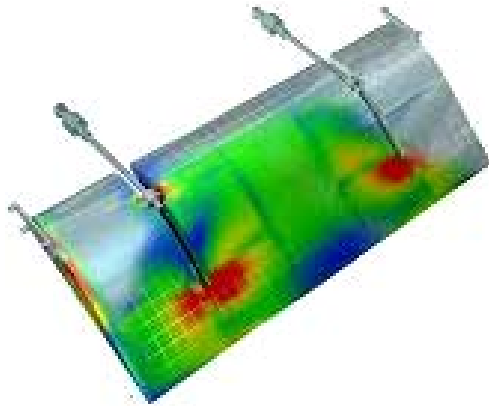
Struktur => Analyse

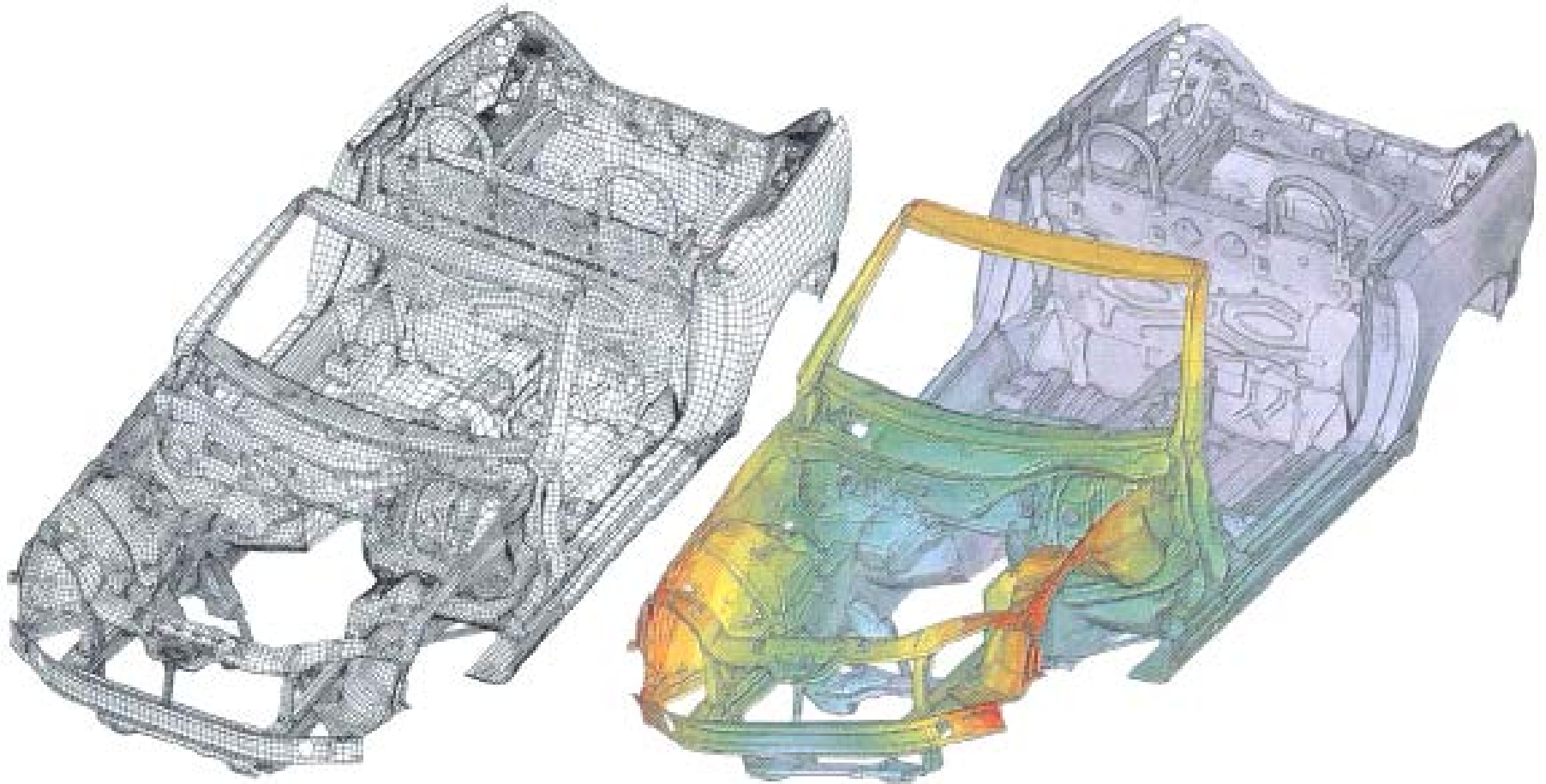


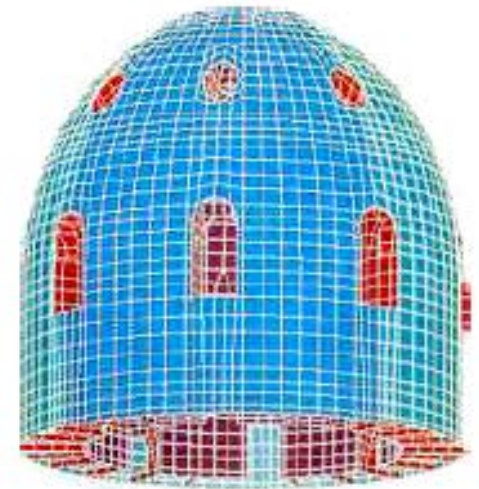
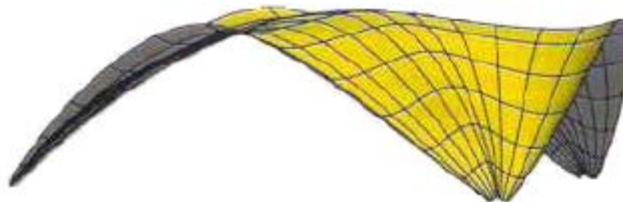


# Entwicklung der Einsatzgebiete














Die Kuppel der Dresdner Frauenkirche  
vor ihrer Zerstörung (links)  
und im FEM-Modell

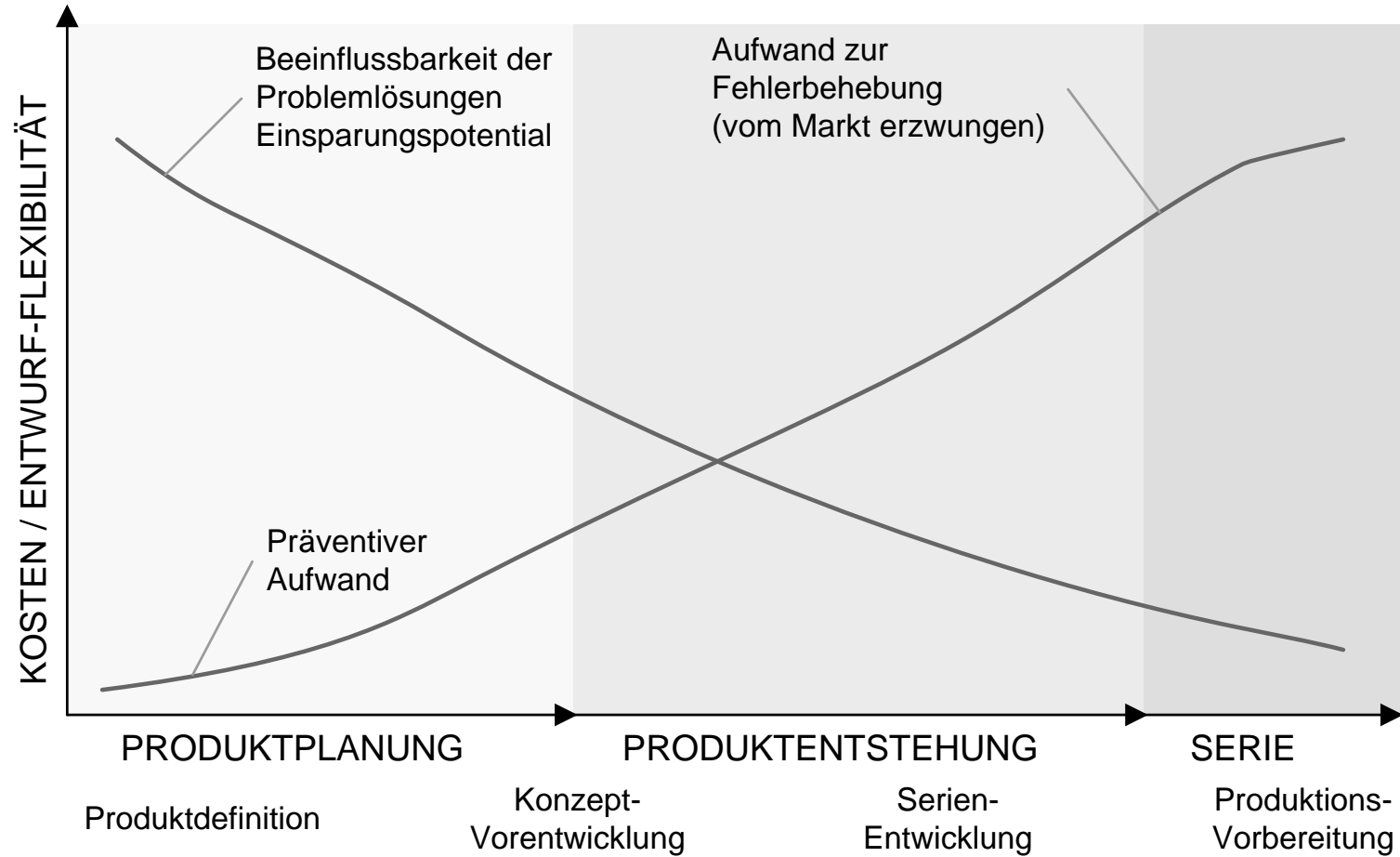
## FEM1

## FEM2

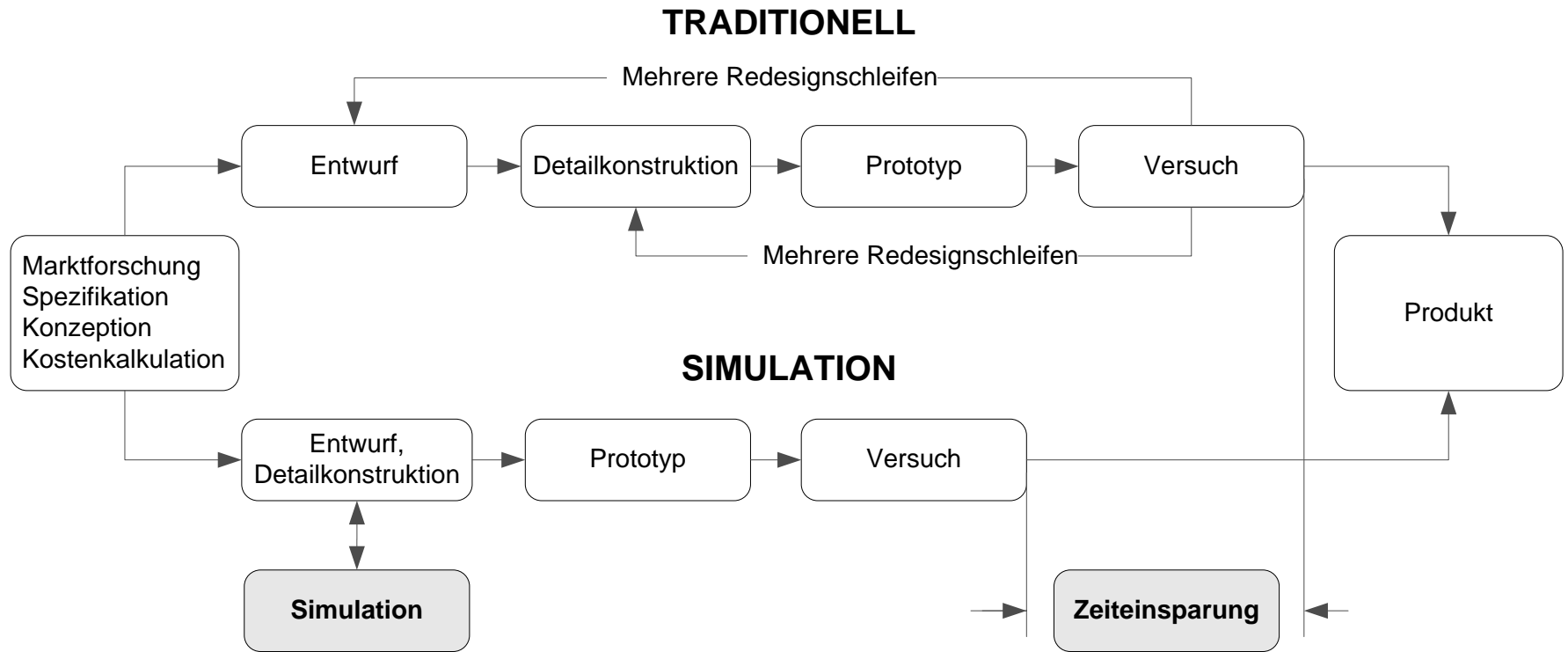
<ul style="list-style-type: none"> <li>• lineare Elastostatik</li> <li>• nichtlineare Elastostatik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hooke'sches Materialverhalten ( <math>\sigma = E \cdot \varepsilon</math> )</li> <li>- nichtlineares Materialverhalten (Plastizität)</li> <li>- geometrisch nichtlineare Probleme (Instabilitätsprobleme, grosse Verschiebungen bei kleinen Dehnungen)</li> <li>- impulsartige grosse Verformungen (Crash)</li> <li>- Umformprozesse (IHU)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• lineare Elastodynamik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigenschwingungen</li> <li>- freie und erzwungene Schwingungen</li> <li>- zufallserregte Schwingungen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nichtlineare Elastodynamik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zeit- und verschiebungsabhängige Kräfte</li> <li>- Stabilität, Kreiselbewegung</li> <li>- Explosion</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elastohydrodynamik</li> <li>• Ermüdungsfestigkeit</li> <li>• statische und dynamische Aeroelastizität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schmierfilme</li> <li>- Lebensdauer, Risswachstum</li> <li>- elast. Strukturverhalten unter Anströmung</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• lineare und nichtlineare Thermoelastizität</li> <li>• Wärmeübertragungsprobleme</li> <li>• Flüssigkeitsströmungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mechanische Beanspruchung unter hohen Temperaturen</li> <li>- stationäre und instationäre Wärmeleitung</li> <li>- Sickerströmung, Geschwindigkeits- Druck- und Temperaturfelder flüssiger Medien</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrotechnik</li> <li>• Akustik</li> <li>• Giesstechnologie</li> <li>• Multiphysik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elektromagnetische Felder</li> <li>- Schalldruckverteilung, Druckstösse</li> <li>- Spritz- und Druckgiessen, Schwerkraftgiessen</li> <li>- gekoppelte Strömung, Temperatur mit Elastik</li> </ul>

## Lernstopp

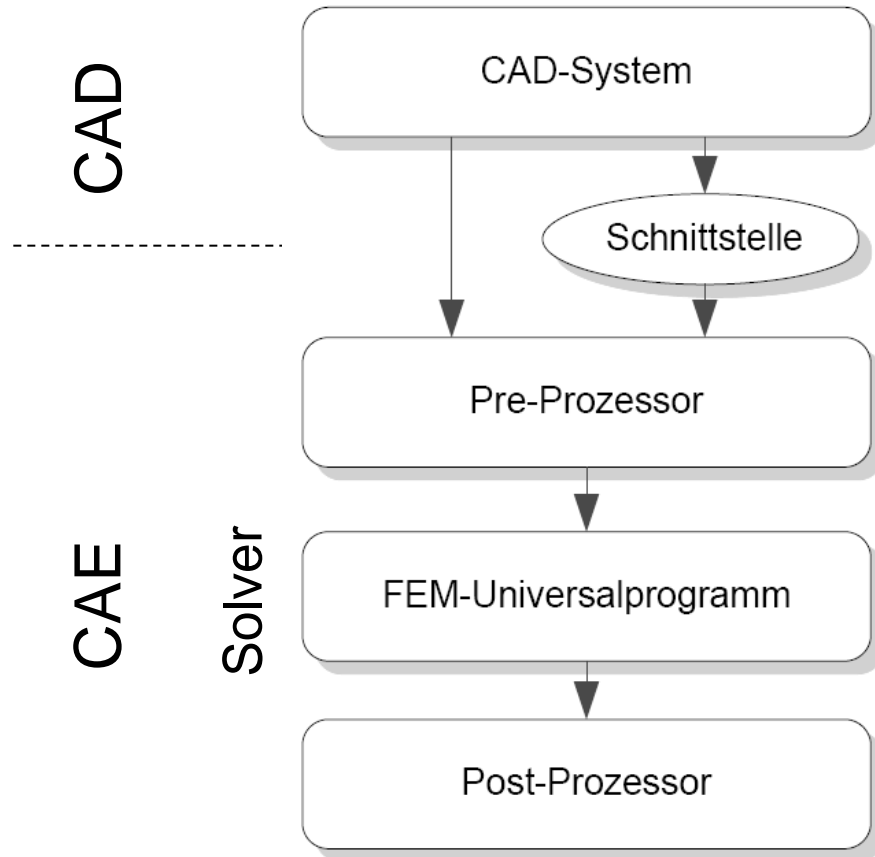
-  Verkürzung der Entwicklungszeiten
-  Reduktion von Herstellkosten und Einsparung von Ressourcen
-  Innovation und Kreativität
-  Erzielung höherer Qualität
-  Erfüllung zunehmend strengerer Normen







## Stand-alone-Systeme



## Beispiele

Unigraphics, Catia,  
ProEngineer, Autocad, etc.

*Direkt:* Parasolid, UG, etc.

*Indirekt:* IGES, STEP, DXF, etc.

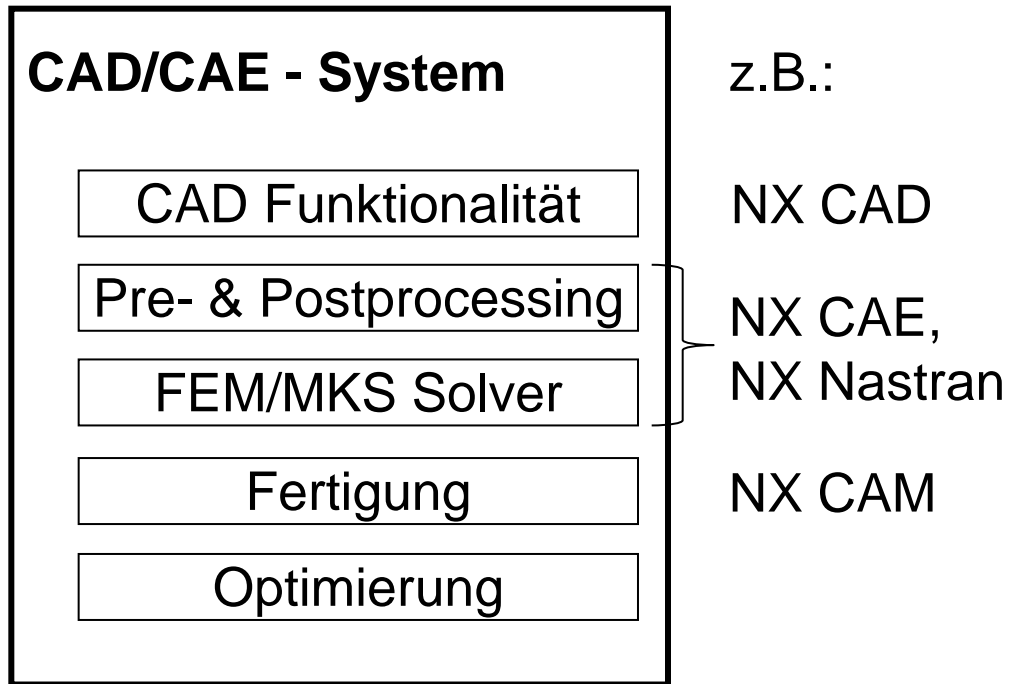
Ansys GUI, Patran, Medina,  
FEMAP, etc.

Ansys, Nastran, Marc, Abaqus,  
LS-Dyna, etc.

Ansys GUI, Patran, Medina,  
FEMAP, LS-Post, etc.

\* CAE – Computer Aided Engineering

## Integrierte Systeme, z.B. NX

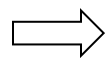


### **Vorteile:**

- Zugriff auf Parametrik
- Keine Schnittstellenverluste
- Eine Oberfläche

### **Nachteile:**


- Komplexe Rand- und Anfangsbed. häufig nicht möglich
- selten komplexe Materialmodelle
- Gefahr: Black Box-Anwendungen



Ideal für konstruktionsbegleitende  
Berechnungen unter einfachen Bedingungen  
(z.B. linear)

Benutzer	Programm	Benutzer
<p><b>Idealisierung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CAD-Modell abstrahieren (Geometrie vereinfachen)</li> <li>- Theorie auswählen (linear, zeitabhängig, Belastung, Randbedingungen)</li> </ul> <p><b>Preprocessing</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementgeometrie festlegen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Querschnittsdaten</li> <li>- Trägheitsmomente</li> <li>- Knotenpunktexzentrizitäten</li> </ul> </li> <li>• Materialeigenschaften eingeben: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dichte</li> <li>- E-Modul</li> <li>- Querkontraktionszahl</li> </ul> </li> <li>• Vernetzen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- geeignete Elemente wählen</li> <li>- Geometrie definieren</li> <li>- Netzkontrollparameter festlegen</li> <li>- Netz generieren</li> </ul> </li> <li>• Netz kontrollieren: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seitenverhältnis der Elemente</li> <li>- Flächennormale der Schalenelemente</li> <li>- Koordinatensystem der Balkenelemente</li> <li>- doppelte Knoten löschen</li> </ul> </li> <li>• Randbedingungen festlegen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Symmetriebedingungen definieren</li> <li>- äussere Lasten aufbringen</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Analyse</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementsteifigkeiten erstellen</li> <li>• Struktursteifigkeit aufbauen</li> <li>• Lastvektor(en) erstellen</li> <li>• Gleichungssystem aufstellen und Randbedingungen einbauen</li> <li>• Gleichungssystem auflösen nach den unbekannten Verschiebungen</li> <li>• Elementverschiebungen bestimmen</li> <li>• Dehnungen in Elementen</li> <li>• Spannungen in Elementen</li> </ul>	<p><b>Postprocessing</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswertung der Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none"> <li>- farbschattierte Bilder</li> <li>- Höhenlinienplots</li> <li>- Momentenverläufe</li> <li>- Diagramme</li> <li>- Tabellen .....</li> </ul> </li> <li>• Resultate verifizieren</li> <li>.....</li> <li>• Resultate validieren</li> <li>• Dokumentieren</li> <li>• Nachgelagerte Tätigkeiten z.B. Fatigue-Analysen</li> </ul>

## Unterlagen zu Ansys auf Ilias

 **Kursunterlagen**






Aktionen ▾

[◀ Zurück](#) **Inhalt** [Info](#) [Einstellungen](#) [Lernfortschritt](#) [Export](#) [Rechte](#)

[Zeigen](#) [Verwalten](#) [Sortierung](#) [Seite gestalten](#)

Neues Objekt hinzufügen ▾

INHALT

 Ansys Unterlagen	▾
 Diverses	▾
 Präsentationen	▾
 Skript	▾
 Übungen	▾

- ✚ Im Skript aus Kapitel 1 bis 3 die wesentlichen Punkte der Einführung nachlesen.
- ✚ Lesen Sie im Artikel aus dem Spektrum der Wissenschaften den Abschnitt „Finite Elemente: die Idee“.
- ✚ Verschaffen Sie sich einen Überblick zu ANSYS mit Hilfe der bereitgestellten Unterlagen.