

# Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2018

Virtuelle Entwicklung von Flugzeugkomponenten

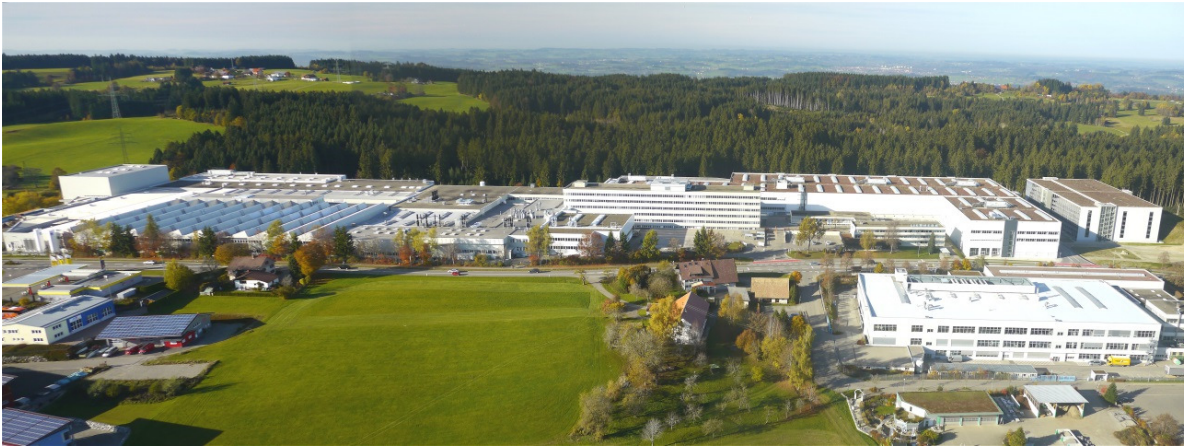
---

# LIEBHERR

1. 'Virtualisierung' der Entwicklung
2. Simulation heute – 4 Beispiele
3. Digitaler Zwilling
4. Zusammenfassung

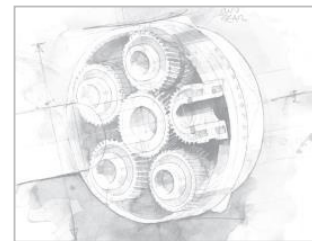
Dr. H. Kurzawa LLI TRS

# Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH



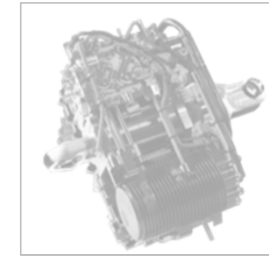
Lindenberg

- Mitarbeiter  
**2700**
- ca. 600 Ingenieure



Getriebe

Friedrichshafen



Flugsteuerung /  
Aktuatoren



Fahrwerke



# 1. 'Virtualisierung' der Entwicklung

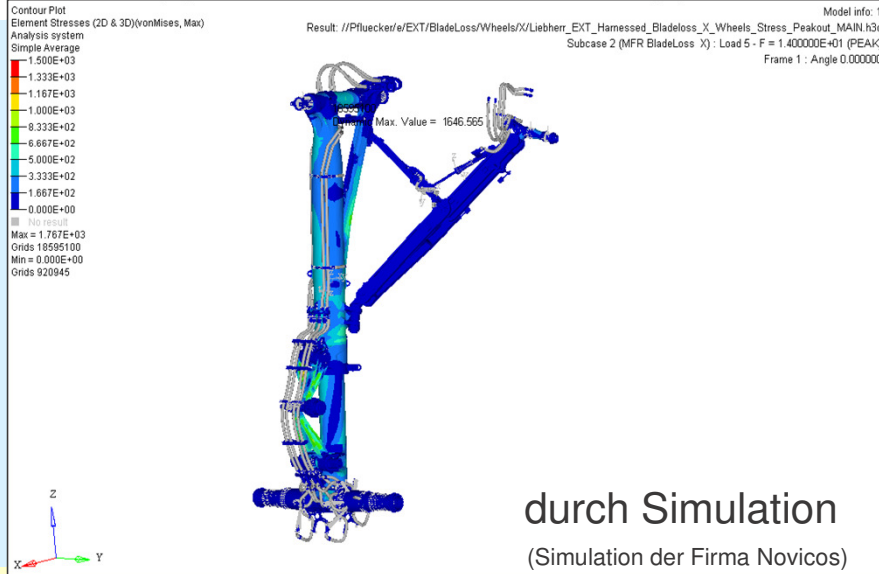
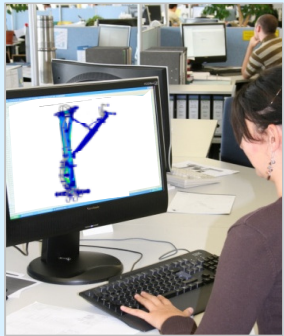
Virtual Certification

One HW release – one test

Virtual prototyping – virtual test

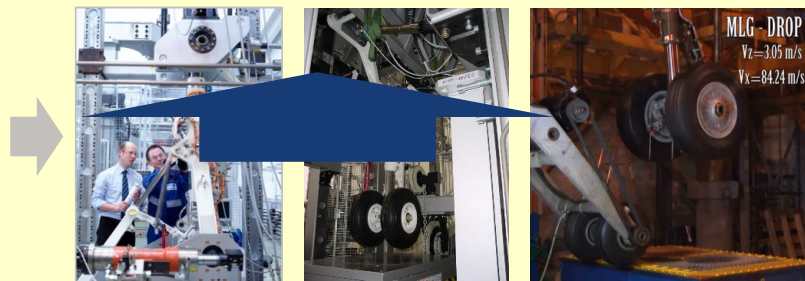
Design validated by Simulation

# 1. 'Virtualisierung' der Entwicklung



Virtuelle Umgebung

durch Simulation  
(Simulation der Firma Novicos)



Verifikation des Designs

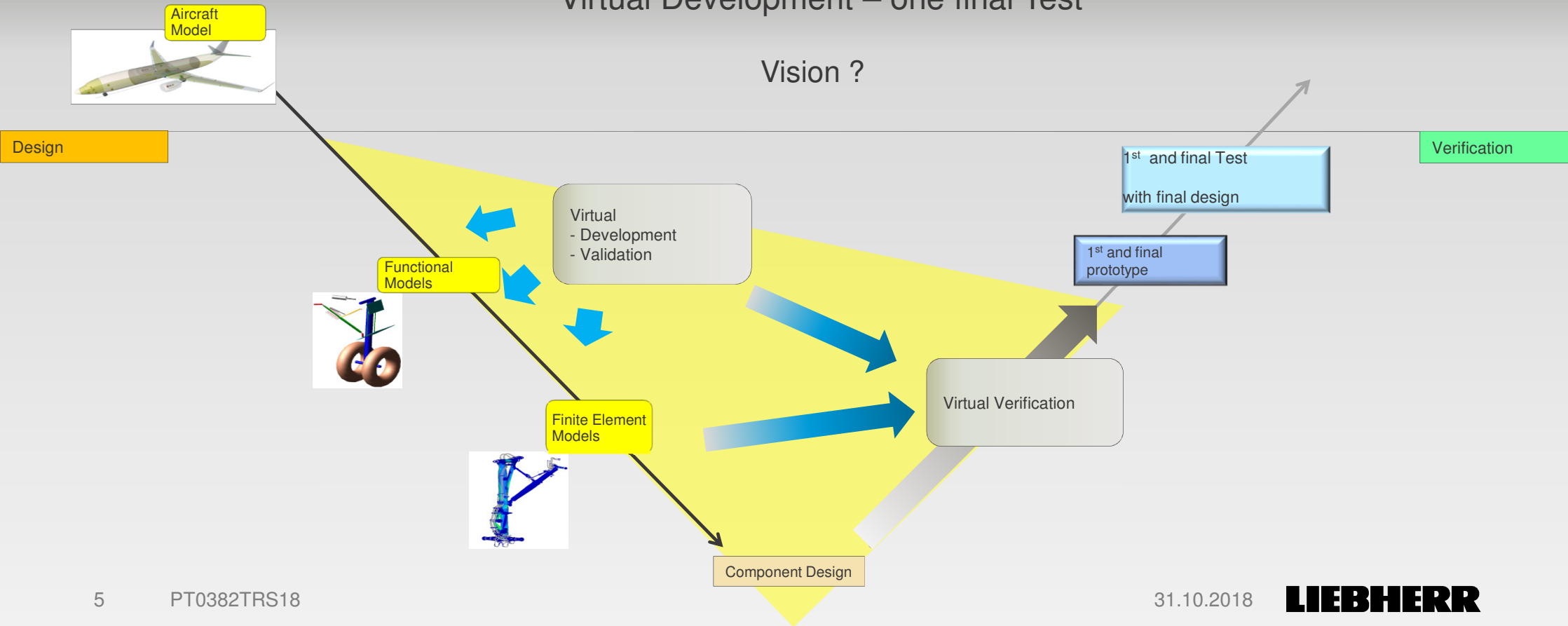


Reale Umgebung

# 1. 'Virtualisierung' der Entwicklung

Virtual Development – one final Test

Vision ?



# 1. 'Virtualisierung' der Entwicklung - Anforderungen an Verifikation

- Bei sicherheits-kritischen Funktionen

Failure Condition Severity	Maximum Tolerable Propability of occurrence for Failure Condition (Qualitative)	Quantitative	DAL Level
Catastrophic	<b>Extremely Improbable</b> Unlikely to occur throughout the total lifetime of the system	$1 \times 10^{-9}$	A
Hazardous	<b>Extremlely Remote</b> Unlikely to occur throughout the total lifetime of the system , but may occur exceptionally	$1 \times 10^{-7}$	B
Major	<b>Remote</b> Likely to occur some tiime throughout the total lifetime of the system	$1 \times 10^{-5}$	C
Minor	<b>Reasonably Probable</b> Likely to occur several times throughout the total lifetime of the system	$1 \times 10^{-3}$	D

(nach ED80 / DO-254)

## Herausforderung

→ Nachweis einer Ausfallrate von  $< 10^{-9}$

durch Simulation !

## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

### Beispiel 1 'Test Landung (Drop)'

- Dynamische Funktionen

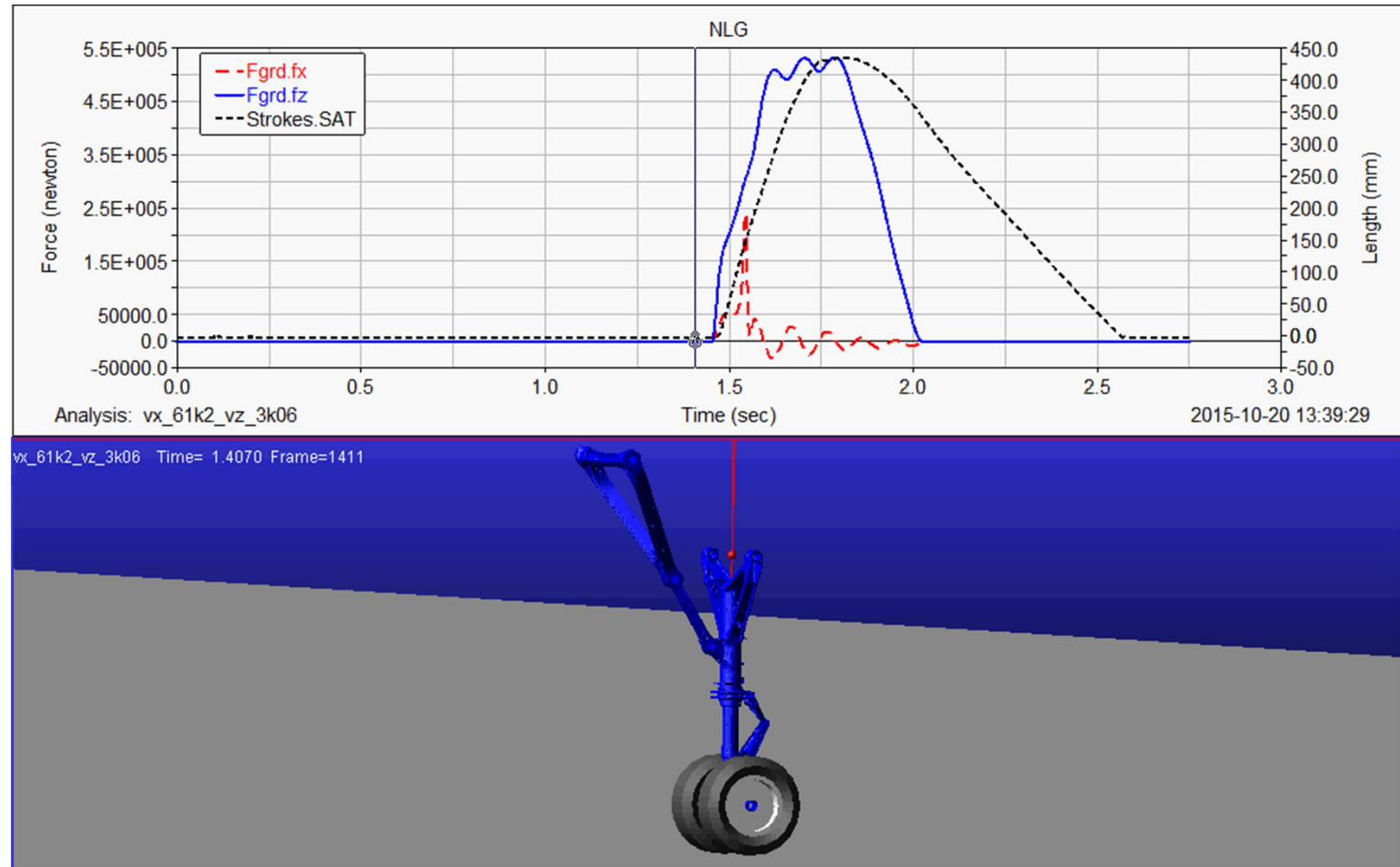


Liebherr-Aerospace Lindenberg – Drop Test

## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

### Beispiel 1 'Simulation Landung'

- Funktion / Performance
- Kinematik
- Stress

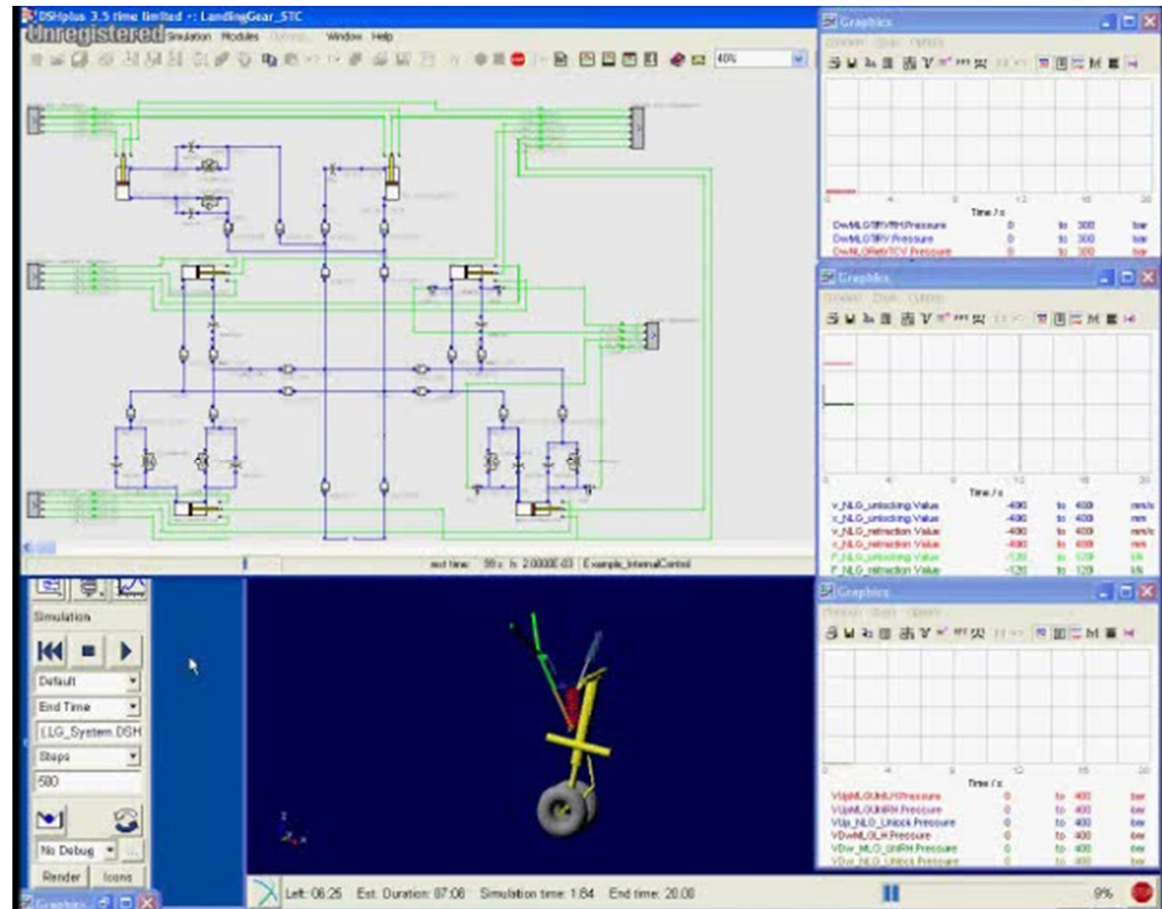




## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

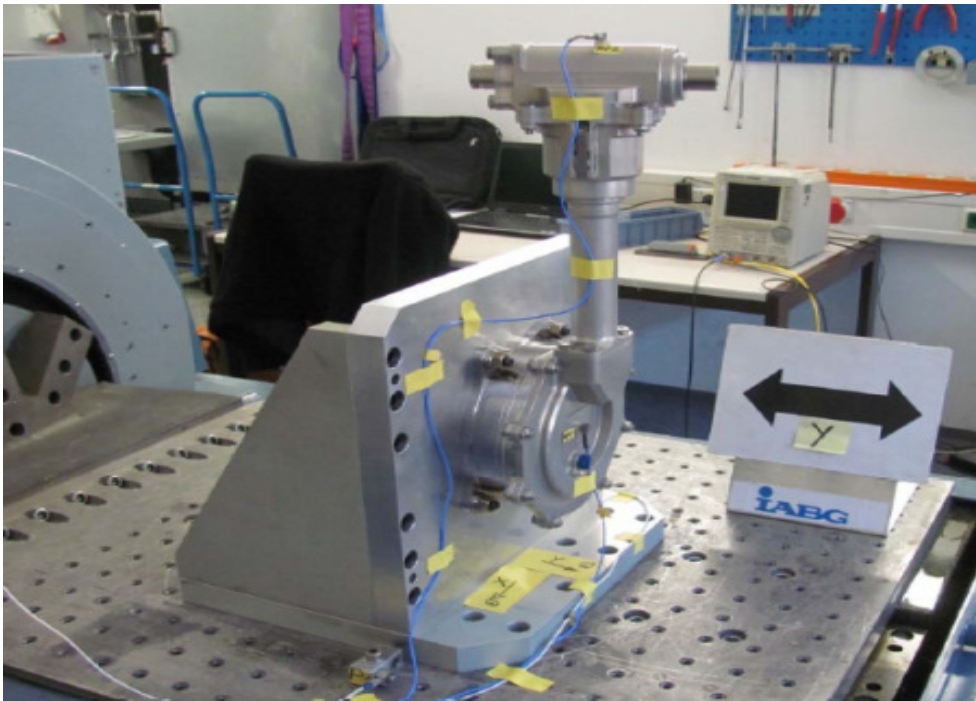
### Beispiel 1 'Simulation Landung'

- Funktion / Performance
- Kinematik
- Stress



## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

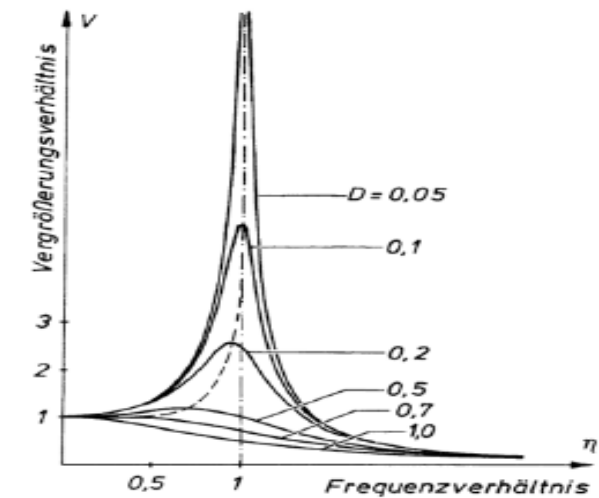
- Beispiel 2: Vibrations-Simulation



Vibrations-Test in IABG Labor

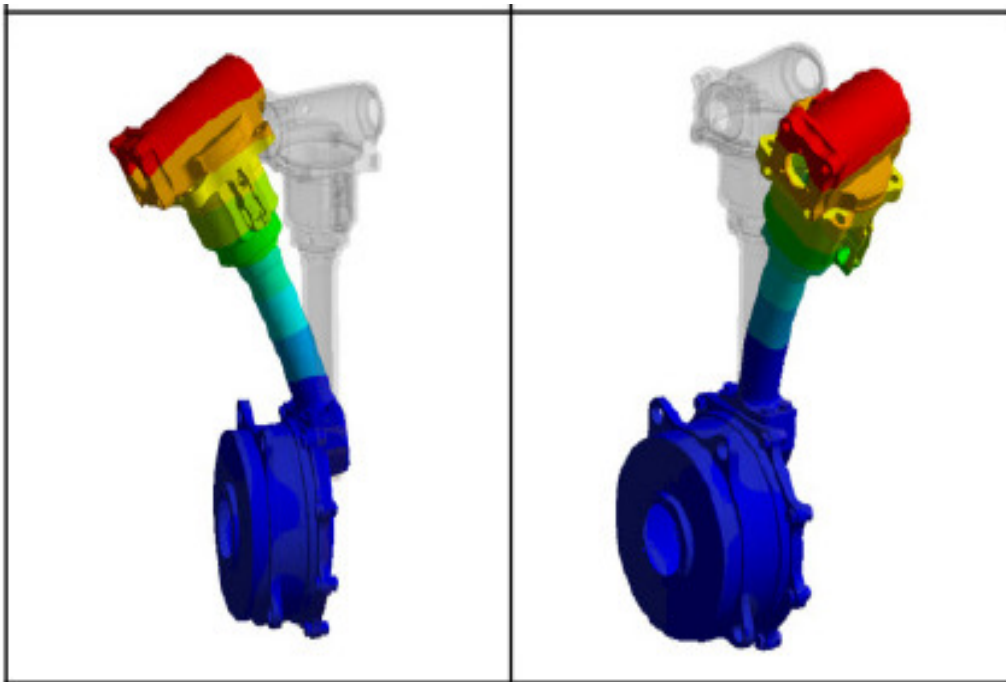
- Schwingungsgleichung:

$$M \ddot{\vec{x}} + D \dot{\vec{x}} + K \vec{x} = \vec{F}(\omega t)$$



## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

- Beispiel 2: Vibrations-Simulation (Simulation der Firma Novicos)



Schwingungs-Modes in X und Y Richtung

### Dämpfungsbeiträge

- |                 |  |
|-----------------|--|
| 1. Struktur     | - Material-Dämpfung                    |
| 2. Flansche     | - Fügedämpfung                         |
| 3. Schmierstoff | - Viskose Dämpfung<br>- Schwappen      |
| 4. Lager        | - Reibdämpfung<br>(z.B. bewegl. Teile) |

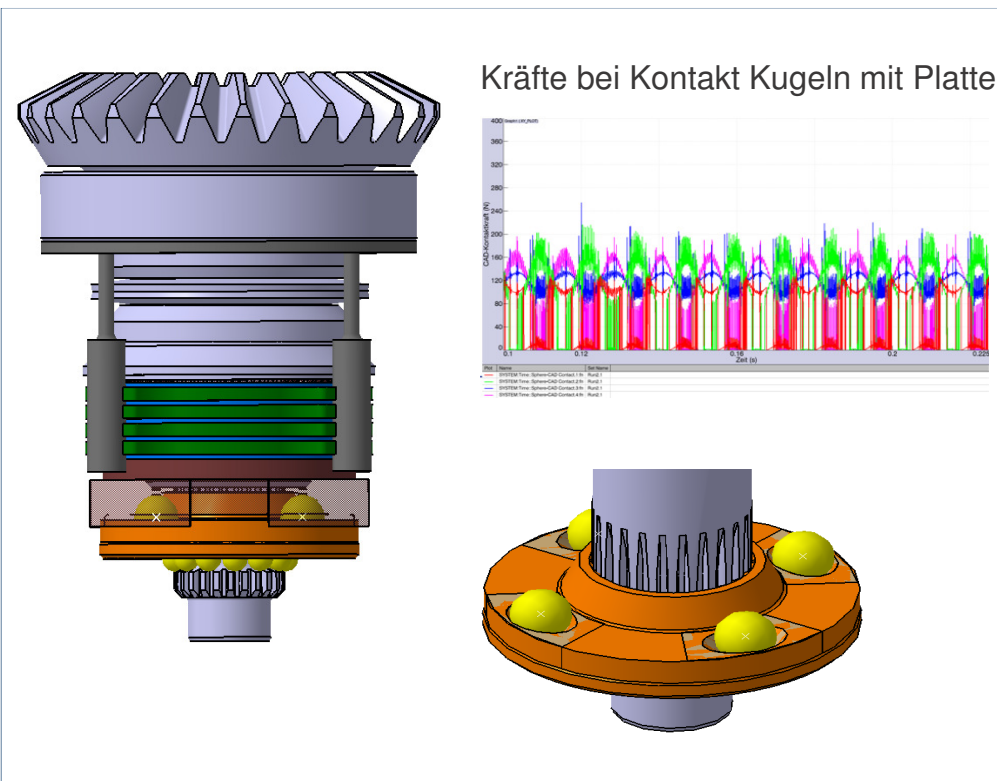
### Ansatz:

- Lineare Überlagerung einzelner Phänomene
- Berechnung der Energie Dissipation

## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

### ■ Beispiel 2: Vibrations-Simulation

1. MKS Simulation → Bewegung von Subkomponenten
2. Numerische Integration → Energie Dissipation



Simulation der Firma Novicos

Energie Dissipation:

$$E_D = \int_0^T F(t) \cdot V(t) dt$$

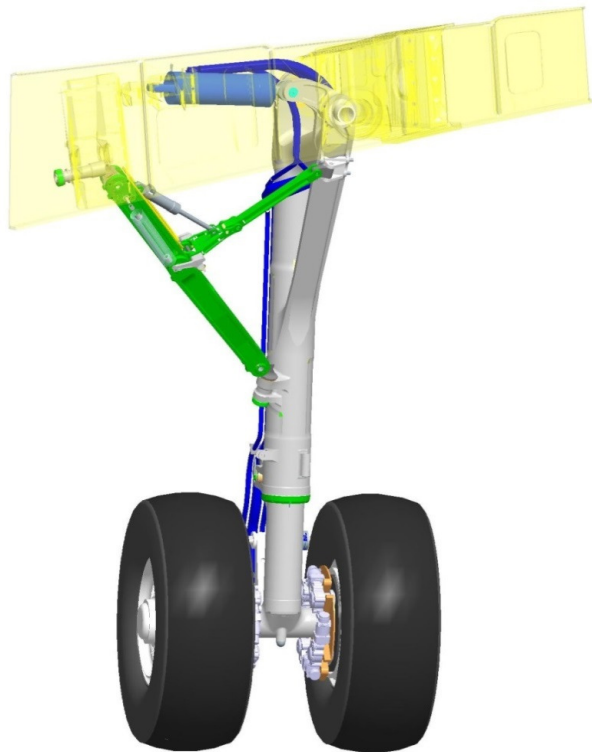
Energie Verlust-Faktor:

$$\eta = \frac{E_D}{2\pi E_{\text{Oscill}}}$$

→ Berechnung der Dämpfungs-Konstante aus dem Verlustfaktor

## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

- Beispiel 3: Lebensdauer-Simulation - Fahrwerk



### Herausforderungen:

Einflußfaktoren:

- Stat. / dynamische Lastzustände
- Kinematik
- Äußere Bedingungen
  - Beschaffenheit Landebahn
  - Witterungseinflüsse (Temperatur)

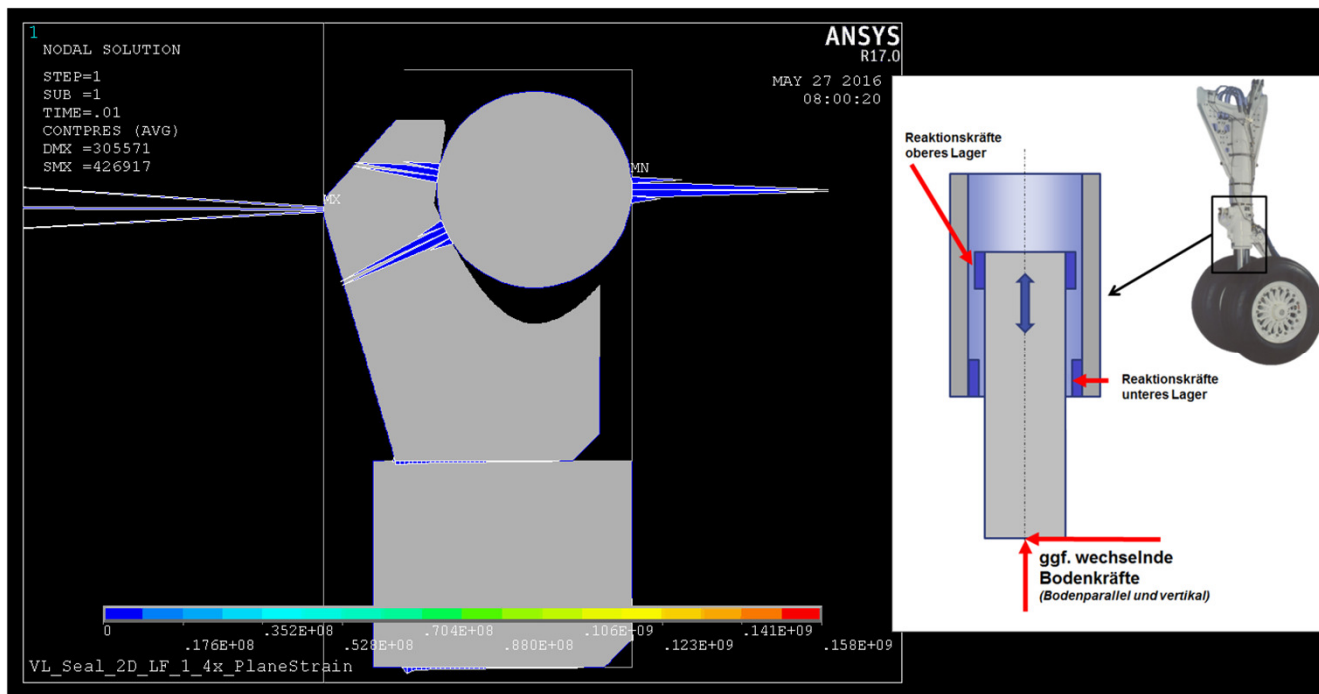
Einfluß auf:

- Strukturen
- Lager
- Dämpfungs-Elemente
- Dichtungen

Modellierung zeitlicher Veränderungen !  
Frage: wann verlasse ich Toleranzen?

## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

### ■ Beispiel 4: Dichtung (Fahrwerk)



Simulation der Firma TWT

Beispiel Dichtung:

- Kinematik
- Schmierstoffe / Oberflächen
- Elastizität

Fragen:

- Welche Last-Szenarien treten auf?
- Welche Alterungseffekte dominieren?
- Wie verhält sich die Dichtung über die Lebensdauer?

## 2. Simulation heute – 4 Beispiele

Ansatz: Dekomposition von einzelnen Effekten

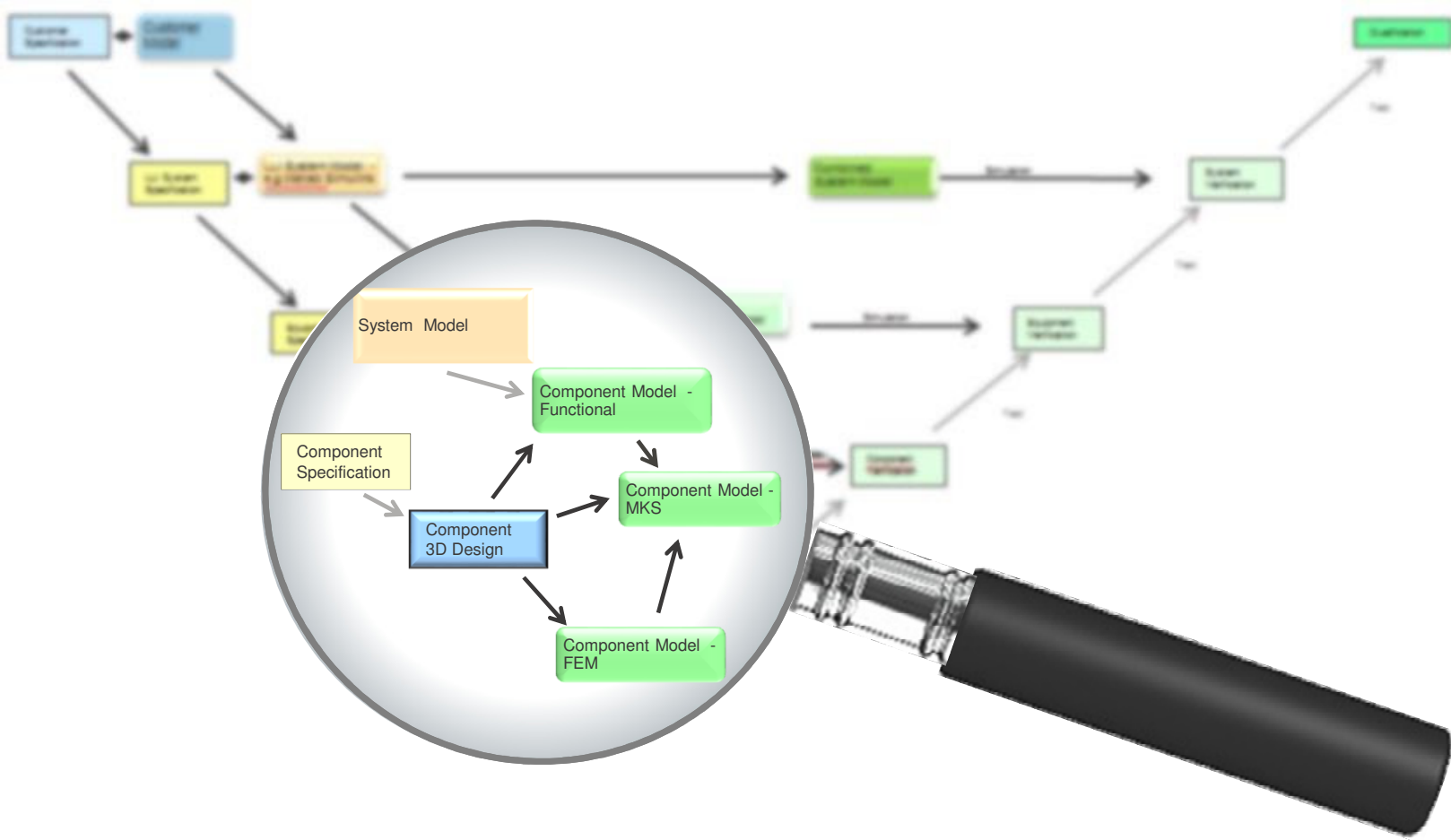
### 1. Analyse und Modellierung von:

- Effekten wie Reibung mit zeitlichen Änderungen z.B. Schmierung / Oberflächen (Abrieb)
- Änderung von mechanischen Spielen
- Akkumuliertem Stress

### 2. Validierung von Modellen durch Tests

### 3. Modell-Datenbank ?

### 3. Digitaler Zwilling



Zielrichtung:  
Ein zentraler Datensatz, aus dem sich alle anderen Modelle ableiten lassen

Herausforderung:  
Ableitung Funktionales Modell aus 3D Design



## 4. Zusammenfassung

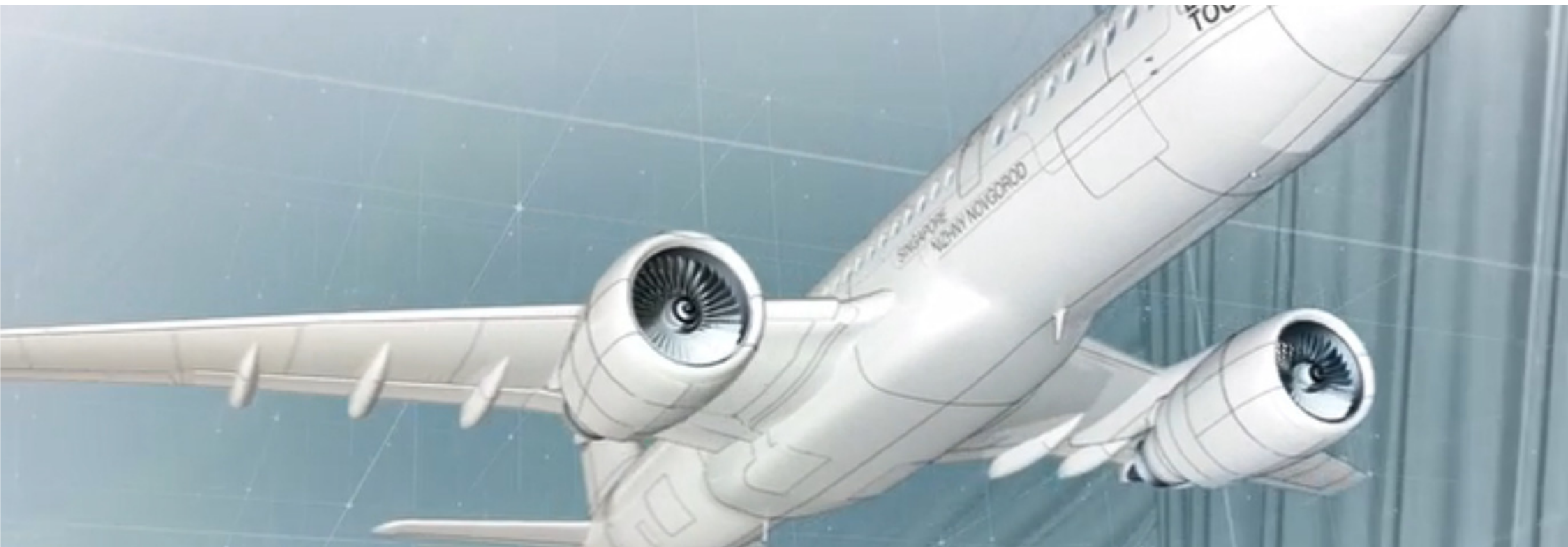
- Funktionale- / Performance Modelle decken heute einen Teil der Entwicklungstests ab.
- Bei Stress / Vibrations unterstützt die Simulation beim frühen Auffinden von Schwachstellen im Design.
- Für Lebensdauer-Simulationen müssen alle Modellierungs-Parameter bekannt und verifiziert sein (statistische Material-Inhomogenitäten ? ).

## 4. Zusammenfassung

- Funktionale- / Performance Modelle decken heute einen Teil der Entwicklungstests ab.
- Bei Stress / Vibrations unterstützt die Simulation beim frühen Auffinden von Schwachstellen im Design.
- Für Lebensdauer-Simulationen müssen alle Modellierungs-Parameter bekannt und verifiziert sein (statistische Material-Inhomogenitäten ? ).


### Fazit:

- I. Die virtuelle Entwicklung (Simulation) kann heute einen wichtigen Beitrag zur Verifikation leisten.
- II. Bei sicherheits-relevanten Neu-Entwicklungen bleibt als Herausforderung die Modell-Validierung, d.h. heute können Tests nicht vollständig durch Simulation ersetzt werden.
- III. Leistungsfähige Computer und optimierte Simulation-Tools helfen uns, weitere Schritte zu gehen.
- IV. Weitere Hilfe: Verständnis der Physik



Thank you for listening.

**LIEBHERR**

- 
- © Liebherr-Aerospace & Transportation SAS 2018. Alle Rechte vorbehalten. Ausdrücklich eingeschlossen sind, ohne Begrenzung, die Rechte der Übersetzung, der Bearbeitung für andere Sprachen, der auszugsweisen Wiedergabe, der Herstellung von Photokopien oder Mikrofilmen, der Reproduktion durch Xerox oder ähnliche Methoden, der elektronischen Bearbeitung (Speicherung, Reproduktion usw.), der weiteren Verarbeitung und der Zusammenstellung des Inhaltes oder von Teilen derselben in anderer Anordnung.
  - © Liebherr-Aerospace & Transportation SAS 2018. Tous droits réservés, y compris expressément, mais sans limitation, les droits de traduction, d'adaptation en d'autres langues, de la reproduction d'extraits, de la production de copies par photocopies, microfilms, copy Xerox et autres méthodes similaires, de traitement électronique (mémorisation, reproduction etc.), ou par regroupement dans un autre ordre des termes ou d'une partie des termes sous quelque forme que ce soit.
  - © Liebherr-Aerospace & Transportation SAS 2018. All rights reserved, expressly including, without limitation, the rights of translation, of adaptation to other languages, of reproduction by way of abstracts, photocopies, microfilms, Xerox and similar methods, electronic processing (storage, reproduction and the like), and of rearranging the contents.