Überblick Leichtbau

Konzepte, Werkstoffe, Technologien

M. Fritz, (4a engineering GmbH, Traboch- A)

4a Technologietag

„Wirtschaftlich leicht bauen“

Inhalt
Leichtbau

- **Einleitung**
  - Historische Entwicklung
  - Definition Leichtbau
- **Konzepte und Bauweisen**
  - Disziplinen
  - Leichtbauprinzipien
  - Konstruktionsphilosophie
- **Werkstoffe im Überblick**
- **Auslegungsmethoden**
  - Simulation
  - Optimierung
  - Bionik/Biomechanik
  - Analysemethoden
- **Anwendungsbereiche**

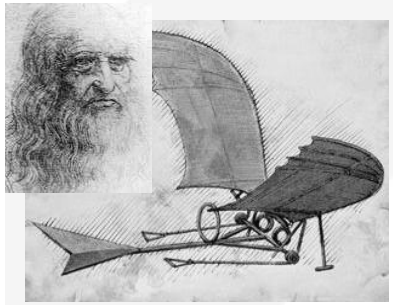
© 4a technology GmbH, all rights reserved

Inhalt
Leichtbau

- **Einleitung**
  - Historische Entwicklung
  - Definition Leichtbau
- **Konzepte und Bauweisen**
  - Disziplinen
  - Leichtbauprinzipien
  - Konstruktionsphilosophie
- **Werkstoffe im Überblick**
- **Auslegungsmethoden**
  - Simulation
  - Optimierung
  - Bionik/Biomechanik
  - Analysemethoden
- **Anwendungsbereiche**

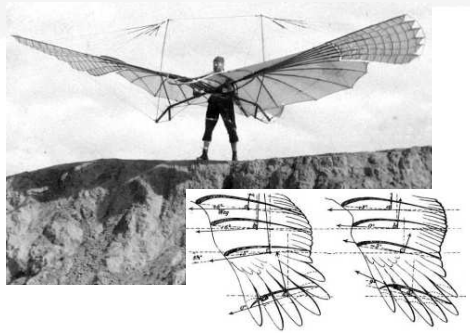
© 4a technology GmbH, all rights reserved

Einleitung
Entwicklung am Beispiel der Luftfahrt



Leonardo da Vinci
14-15 Jh.
„Flugmaschine“

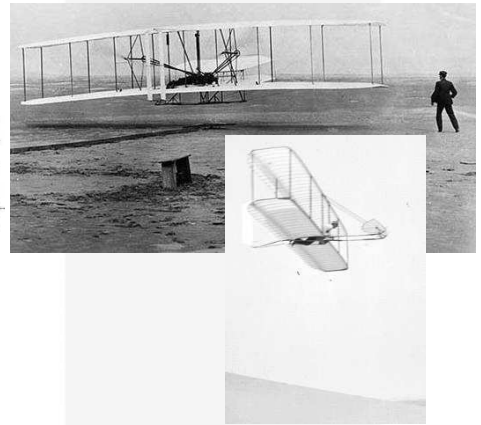
Quelle:
www.poster.net



Otto Lilienthal
1894
Schlagflügelapparat

gewachstem
Baumwollstoff
Weidenholz
Seile

Quelle: http://www.lilienthal-museum.de



Gebrüder Wright
1903
Doppeldecker

Holzrahmen
Stoffbespannung
Druckstreben
Diagonale Zugseile

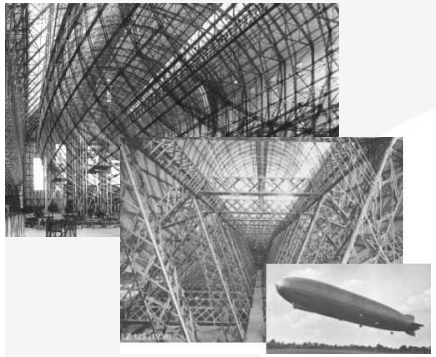
Quelle:
www.schulbilder.org

Junkers J1„Blechesel“
1915
Ganzmetallflugzeug

Eisenblechstreifen
Stahlrippen
Fachwerksflügel
Schalenbauweise
Quelle: www.junkers.de

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Einleitung
Entwicklung am Beispiel des Flugzeugbaus



Zeppelin
1900-1940

3D-Fachwerke
Aluminium
Leichtbau

Quelle: Kröpling
„Neue Wege Leichtbau“

Heinkel He 70 „Blitz“
1932

Spant Stringer
Bauweise
Duralumium

Quelle: www.luftwaffe-reich.co.uk

Ju 52 „Tante Ju“
1932

Wellblechdesign
Duraluminium

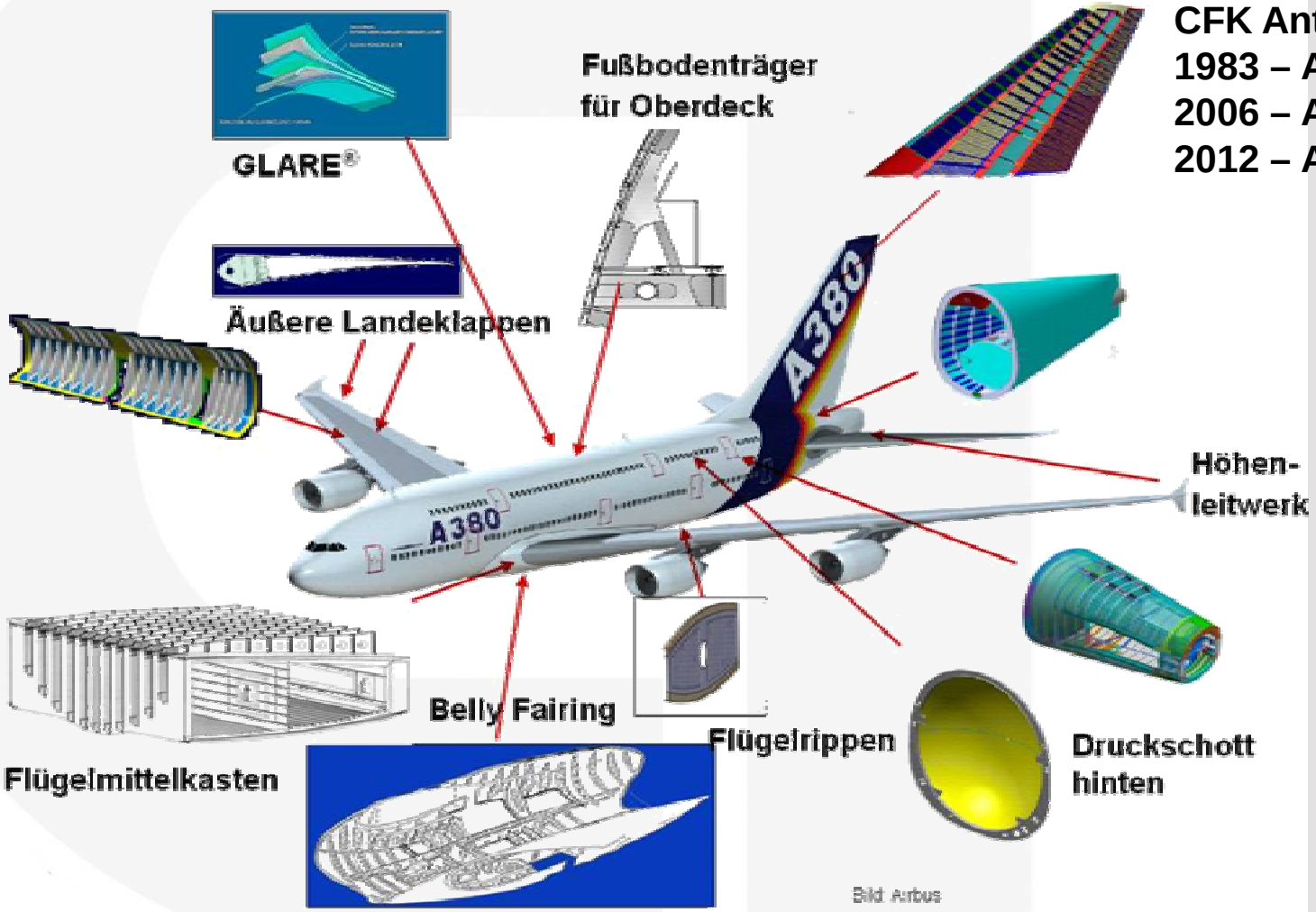
Quelle: www.junkers.de

As-24 Phönix
AKAFlieg Stuttgart
1957

GFK-Flugzeug
Sandwichbauweise
Quelle: http://www.uni-stuttgart.de

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Einleitung
aktueller Stand



CFK Anteil:
1983 – A310 → 5%
2006 – A380 → 25%
2012 – A350 → 50%???

Quelle: Airbus

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Was ist Leichtbau?

→ funktionellen oder ökonomischen Gründen Gewicht zu reduzieren oder zu minimieren

→ ohne die Tragfähigkeit, Steifigkeit oder Funktionalität zu reduzieren

Gründe für Leichtbau?

Sparleichtbau

Direkte Kosteneinsparung durch Material und Herstellung

Verpackungsindustrie, Möbelbau…

Ökoleichtbau

Indirekte Kosteneinsparung durch Energieeinsparung

z.B. um die max. Nutzlast zu erhöhen

Zweckleichtbau

Massereduktion zweckmäßig oder notwendig

Geringes Gewicht, hohe Beschleunigung, extreme Ausmaße, Präzision → Fluggeräte, Bauwerke, Roboter

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Inhalt
Leichtbau

- Einleitung
  - Historische Entwicklung
  - Definition Leichtbau
- **Konzepte und Bauweisen**
  - Disziplinen
  - Leichtbauprinzipien
  - Konstruktionsphilosophie
- Werkstoffe im Überblick
- Auslegungsmethoden
  - Simulation
  - Optimierung
  - Bionik/Biomechanik
  - Analysemethoden
- Anwendungsbereiche
- Zusammenfassung/Ausblick

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Schnittmenge verschiedener Disziplinen:

- Werkstofftechnik
- Mechanik
- Statik
- Betriebsfestigkeit
- Konstruktionslehre
- Mathematik
- Optimierung
- Verarbeitungstechnik

Trotz fließender Konturen gibt es eine charakteristische Entwurfs- und Konstruktionskonzept des Leichtbaus

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Prinzipien in der Entwurfsphase

abgeschätzte Lasten müssen mit Sicherheitsfaktoren belegt werden und führen zu **überdimensionierten** Bauteilen.

Die dimensionierenden **Lastfälle**, die ein Bauteil sieht, treten **oft nicht gleichzeitig** auf.

Dimensioniert man das Bauteil auf das gleichzeitige Auftreten aller Maximallasten, so ist es zwar robust, jedoch nicht leicht.

→ **Detaillierte Analysen der auftretenden Kräfte am Bauteil**

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Prinzipien in der Konstruktionsphase

Der ***Werkstoffleichtbau*** beruht darauf, den ursprünglichen Werkstoff eines Bauteils durch einen anderen Werkstoff mit höheren spezifischen Eigenschaften auszutauschen. Hochfeste Stähle („Leichtbaustähle“) erlauben gegenüber konventionellen Stahlgüten meist geringere Wandstärken bei gleichen Bauteileigenschaften.

Der ***Konstruktive Leichtbau*** versucht das Leichtbauziel durch konstruktive Maßnahmen zu erreichen. In erster Linie wird eine möglichst gleichmäßige Ausnutzung des Materialvolumens angestrebt.
Prinzipiell wird versucht, möglichst dünnwandig zu konstruieren. Dies erhöht jedoch die Gefahr des Stabilitätsversagens (Beulen, Knicken), was eine genaue mechanische Analyse notwendig macht.
Kräfte in Leichtbaukonstruktionen sollten direkt geleitet werden.
Kerben erfordern meistens einen Mehraufwand an Material und sollten daher vermieden werden.

Der ***Systemleichtbau*** betrachtet nicht das einzelne Bauteil sondern das ganze System. Durch Funktionsintegration kann eine einzelne Komponente durchaus schwerer (teurer!) werden. Die Einsparung durch die Funktionsintegration macht jedoch das System leichter, wodurch das Leichtbauziel im System erreicht wird.

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Prinzipien in der Fertigungsphase

Durch **enge Toleranzen**, sowohl bei der **Fertigung** als auch beim Einkauf von **Halbzeugen**, kann das Leichtbauprinzip verwirklicht werden (z.B. Dickentoleranzen bei Blechen)

Bezüglich der **Festigkeiten** muss beim Leichtbau ein Werkstoff mit **geringer Streuung** gewählt werden. Der Konstrukteur wählt nicht den Mittelwert der Festigkeiten, sondern eine Festigkeit bei der z. B. 90% aller Proben über dieser liegen. Streuen die Festigkeitswerte stark, muss das Bauteil überdimensioniert werden, um vor Versagen sicher zu sein.

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Auslegungsmethoden
Konstruktionsphilosophie

Save Life - die vorwiegend im Flugzeugbau eingesetzt wird. Ihr liegt eine Lebensdauerberechnung einzelner Bauteile zugrunde. In diesem Zeitraum ist davon auszugehen, dass kein Bauteilversagen auftritt. Nach Ablauf dieses Zeitraums wird das Bauteil ersetzt, unabhängig davon, ob es Schäden zeigt. Eine Konstruktion nach der Safe-Life-Methode ist in der Regel statisch bestimmt, was bei Ausfall eines tragenden Bauteils zu einem Ausfall des kompletten Systems führt.

Fail Save - Ausgefallen, aber keine schlimmen Folgen. Bei einer Maschine oder Anlage werden systematisch Fehler unterstellt und danach versucht, die zugehörigen Auswirkungen so ungefährlich wie möglich zu gestalten. Dieses Prinzip wird in allen technischen Bereichen angewendet.

Damage tolerance - ist die Tolerierung und Inkaufnahme von Schäden eines Systems bis zu einer definierten Schadensgröße. Die Methodik hat den Vorteil geringer Wartungskosten und einem niedrigeren Gewicht, da zusätzliche Bauteile (Fail safe) entfallen können

© 4a technology GmbH, all rights reserved

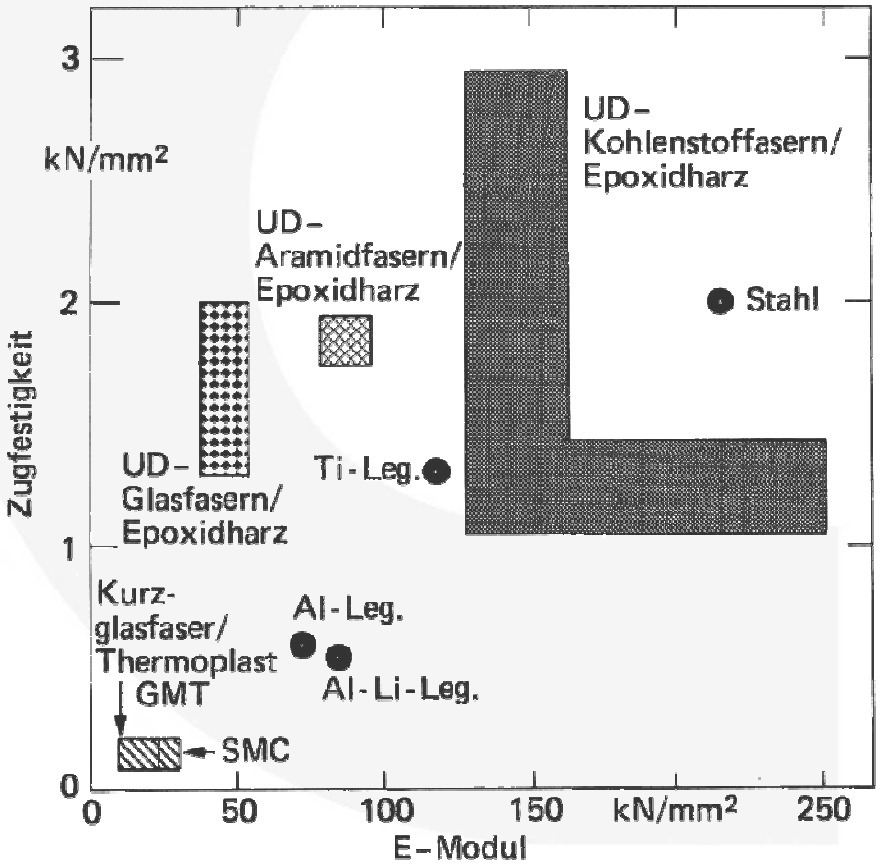
Inhalt
Leichtbau

- Einleitung
  - Historische Entwicklung
  - Definition Leichtbau
- Konzepte und Bauweisen
  - Disziplinen
  - Leichtbauprinzipien
  - Konstruktionsphilosophie
- **Werkstoffe im Überblick**
- Auslegungsmethoden
  - Simulation
  - Optimierung
  - Bionik/Biomechanik
  - Analysemethoden
- Anwendungsbereiche

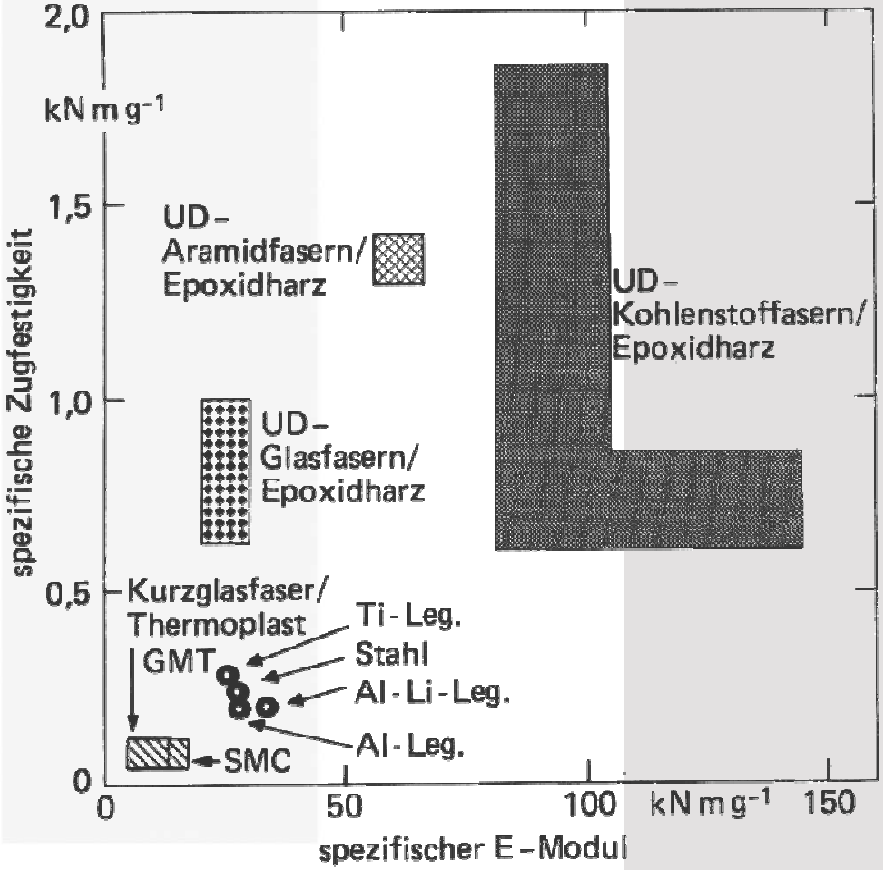
© 4a technology GmbH, all rights reserved

E-Modul und Zugfestigkeit

Absolute Eigenschaftswerte



Spezifische Eigenschaftswerte

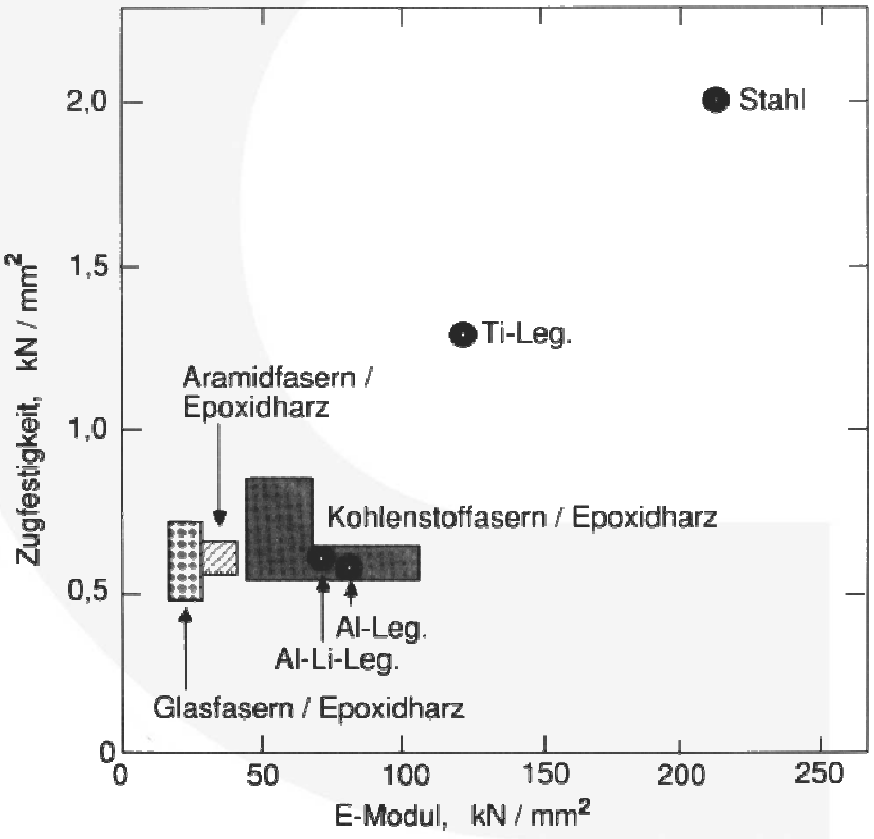


***) Unidirektionale (UD) Hochleistungsverbundwerkstoffe**

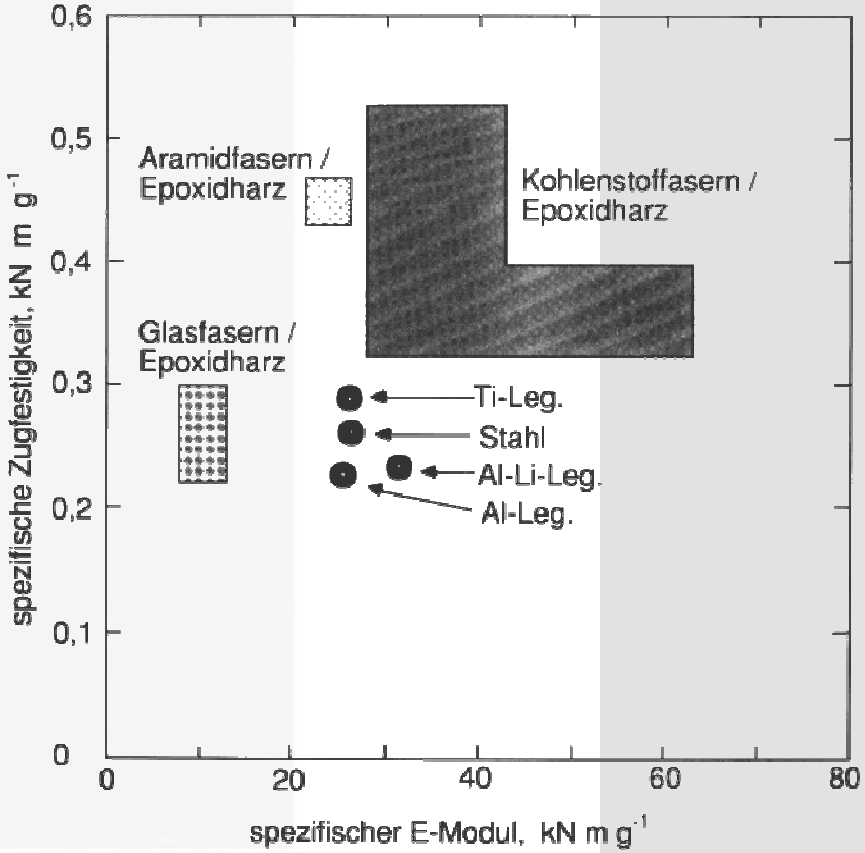
© 4a technology GmbH, all rights reserved

E-Modul und Zugfestigkeit

Absolute Eigenschaftswerte



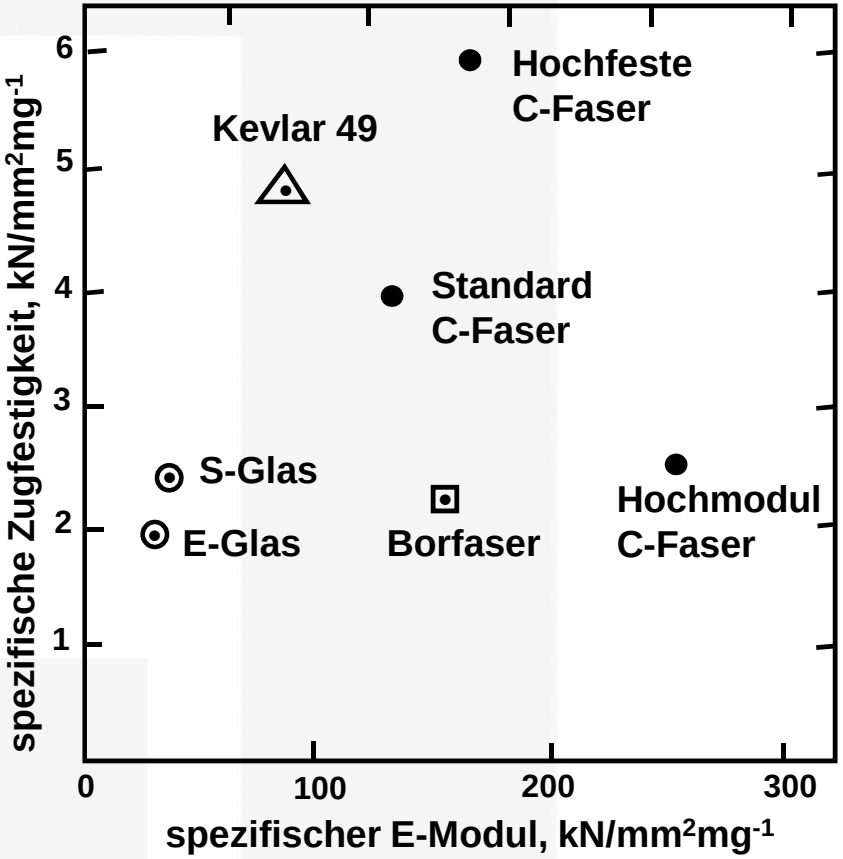
Spezifische Eigenschaftswerte



***) Multidirektionale (quasiisotrope) Hochleistungsverbundwerkstoffe**

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Werkstoffe
Faserwerkstoffe



© 4a technology GmbH, all rights reserved

Inhalt
Leichtbau

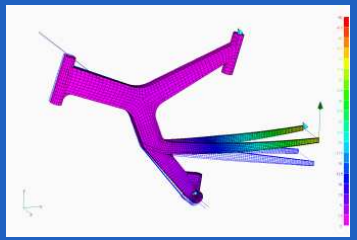
- Einleitung
  - Historische Entwicklung
  - Definition Leichtbau
- Konzepte und Bauweisen
  - Disziplinen
  - Leichtbauprinzipien
  - Konstruktionsphilosophie
- Werkstoffe im Überblick
- **Auslegungsmethoden**
  - Simulation
  - Optimierung
  - Bionik/Biomechanik
  - Analysemethoden
- Anwendungsbereiche

© 4a technology GmbH, all rights reserved

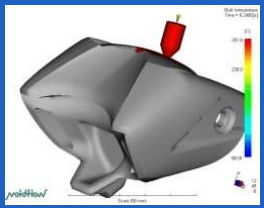
VPD - Virtual Product Development

Mögliche Disziplinen

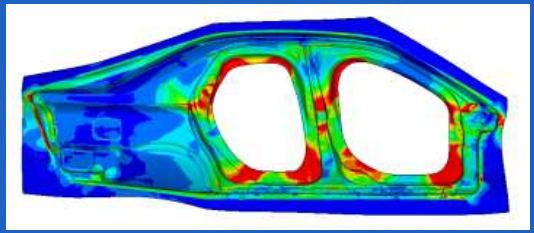
Statische Simulation



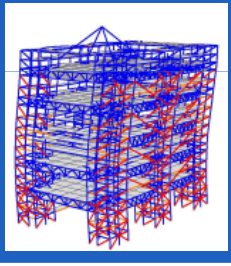
Strömungssimulation



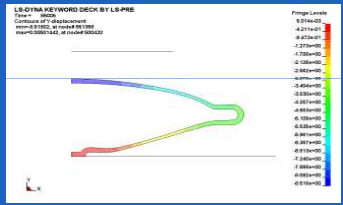
Prozess Simulation



Eigenfrequenzen



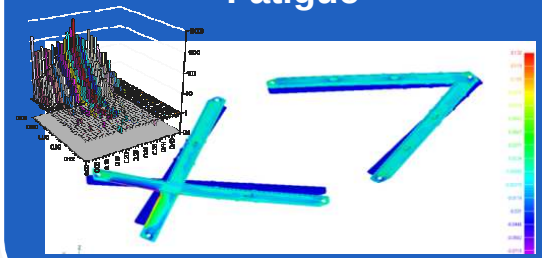
Langzeit Simulation



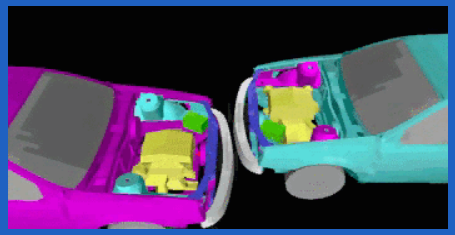
Mehrkörpersimulation

dynamische Simulation

Fatigue



Crash Simulation



© 4a technology GmbH, all rights reserved

Auslegungsmethoden
Optimierung

Topology ... Findung der optimale Werkstoffverteilung

Sizing ... Anpassung von Elementparametern (zB. Elementdicke)

Shape ... Optimierung von Geometrieparametern (Radius, Länge…)

Topography ... Optimierung der Oberflächenstruktur (Sicken)

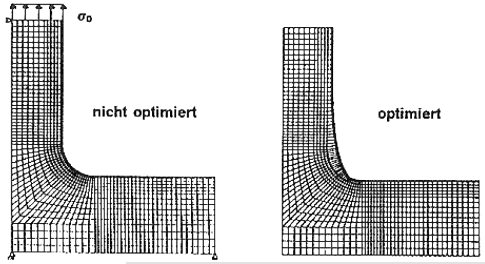
Topometry ... Sizing für jedes Element (Wandstärkenverteilungen)

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Auslegungsmethoden
Bionik/Biomechanik

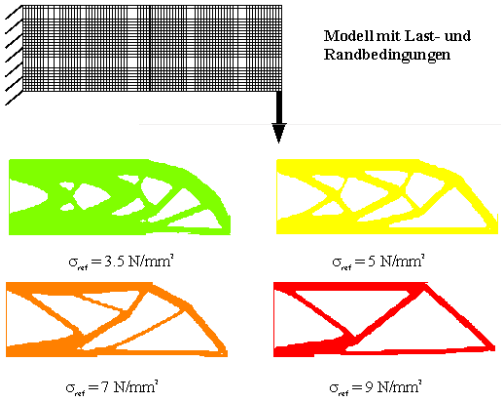
CAO - Computer Aided Optimization

adaptives Wachstum durch spannungsgesteuerte thermische Ausdehnung
Last- und Randbedingungen werden auf Designvorschlag aufgebracht.
Spannungsverteilung wird dann formal einer fiktiven Temperaturverteilung gleichgesetzt und diese in einem nachfolgenden Rechenschritt als alleinige Belastung aufgebracht.
Die zuvor höchstbelasteten Bereiche dehnen sich am stärksten aus.



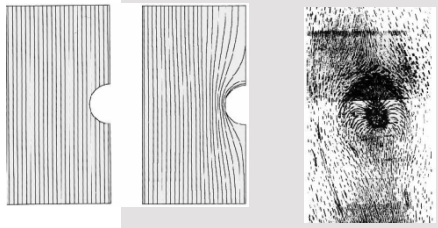
SKO - Soft Kill Option

Diese Methode simuliert die adaptiven Mineralisationsvorgänge im Knochen.
Last- und Randbedingungen werden auf Designvorschlag aufgebracht.
Entsprechend dieser berechneten Spannungsverteilung wird dann der E-Modul verändert.
Das bedeutet, er wird in höher belasteten Bereichen erhöht, in gering belasteten Bereichen dagegen verringert.
Nach einigen Iterationsschritten werden die "Faulpelze" zunehmend deutlicher von den "Arbeitswilligen" getrennt und schließlich im letzten Schritt entfernt ("gekillt"!).



CAIO - Computer Aided Internal Optimization

Diese Methode basiert auf der plausiblen Annahme, daß es vorteilhaft ist, die Fasern so anzuordnen, daß sie in Richtung des vom Bauteil zu übertragenden Kraftflusses liegen. Denn die Linien des Kraftflußverlaufes (die sogenannten Hauptnormalspannungstrajektorien) sind zugleich Linien frei von Schubspannungen. Bei dem zu berechnenden Bauteil wird der Faserverlauf in iterativer Weise gefunden.

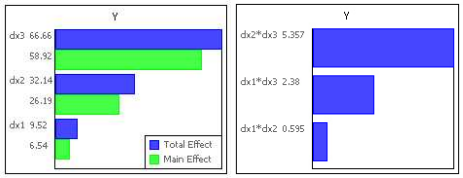


© 4a technology GmbH, all rights reserved

Auslegungsmethoden
Analysemethoden

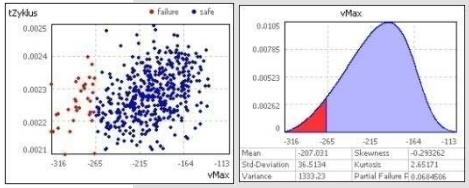
Sensitivitätsanalyse

Welcher Modellparameter hat den größten Einfluss auf das Systemverhalten?
Welche Parameter können beim Entwurf vernachlässigt werden?
Welche Interaktionen zwischen den einzelnen Parametern treten dabei auf?



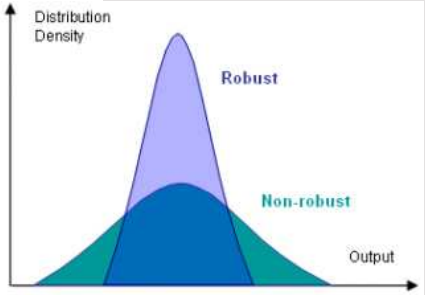
Zuverlässigkeitsanalyse

Systemausfälle verursacht durch Parameterstreuungen.
Die Zuverlässigkeitsanalyse untersucht dabei die Grenzüberschreitung der Restriktionsgrößen des Systems infolge der Streuungen.
Man berechnet also die Versagens-wahrscheinlichkeit des Systems.



Robustheitsanalyse

Wie empfindlich reagiert mein System auf kleine Änderung der Eingangsgrößen?
Als Bestandteil der probabilistischen Simulation kann man auch eine Robustheitsbewertung durchführen. Dabei werden die Verteilungen und damit auch die Streuungen der Ausgangsgrößen berechnet.
Wenn die Streuungen klein sind, ist das Systemverhalten robust und unempfindlich.



© 4a technology GmbH, all rights reserved

Inhalt
Leichtbau

- Einleitung
  - Historische Entwicklung
  - Definition Leichtbau
- Konzepte und Bauweisen
  - Disziplinen
  - Leichtbauprinzipien
  - Konstruktionsphilosophie
- Werkstoffe im Überblick
- Auslegungsmethoden
  - Simulation
  - Optimierung
  - Bionik/Biomechanik
  - Analysemethoden
- **Anwendungsbereiche**

© 4a technology GmbH, all rights reserved

Leichtbau
Anwendungsbereiche

- Luft- und Raumfahrt
- Transportwesen
- Schiffsbau
- Automotive
- Fördertechnik, Kräne
- Brückenbau, Gebäude
- Sportartikel
- Möbelbau
- Verpackungsindustrie

4a technology GmbH, all rights reserved

.. in physics we trust

© 4a technology GmbH, all rights reserved