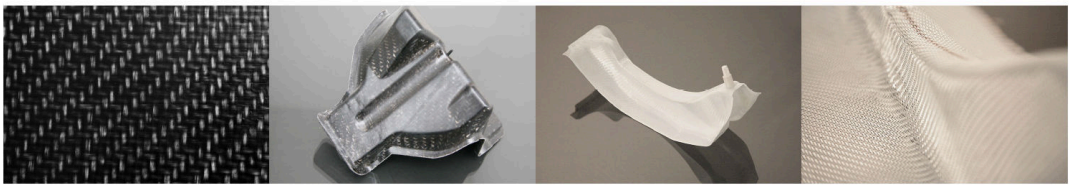
Mit Leichtigkeit | **zum Erfolg**

ENGEL

Mit Leichtigkeit **zum Erfolg**

ENGEL

Center for **Lightweight**
Composite Technologies



Composites | **Technologieüberblick**

ENGEL

Reaktive Technologien

Insitu Polymerisation

Hochdruck RTM

Spritzguss Technologien

Organoblech Verstärkung

UD-Tape Verstärkung

Mit Leichtigkeit | **zum Erfolg**

ENGEL

ENGEL Technologiezentrum für Leichtbau-Composites

DER Entwicklungspartner im
Bereich Faserverbund-Leichtbau

- Leichtbau-Netzwerk (OEM, Tier 1, Institute, Materialhersteller, Lieferanten..)
- Weiterentwicklung vorhandener und neuer Faserverbund-Technologien
- Integration Reaktionstechnik
- Erarbeitung von Systemlösungen
- Kunden-/Versuchstechnikum

Versuchstechnikum Engel St.Valentin

ENGEL | Tailored Fibre Placement

ENGEL

M. Fischlschweiger[1)], T. Rettenwander[2)], P. Egger[1)], G. Steinbichler[1,2)]

[1)] ENGEL Technologiezentrum für Leichtbau-Composites
[2)] Institut für Spritzgießen und Prozessautomatisierung, Johannes Kepler Universität

iPiM Institute of Polymer Injection Moulding and Process Automation

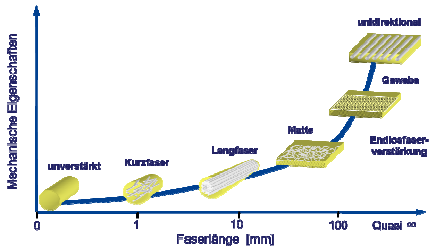
ENGEL

Leichtbaupotentiale mit **Endlosfasern**

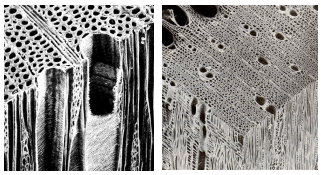
ENGEL | Übersicht

ENGEL

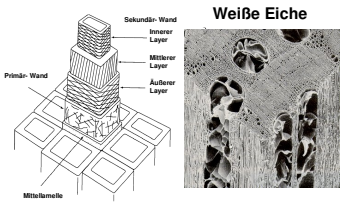
- **Anisotrope Eigenschaften** von Composites
- Optimierungsstrategien für **TFP, TPP**
- **HNS-Optimierung** – State of the Art - Herausforderungen
- Einschränkungen der Optimierung (**Nichtlinearitäten und Kopplungsprobleme**)



Weiße Esche



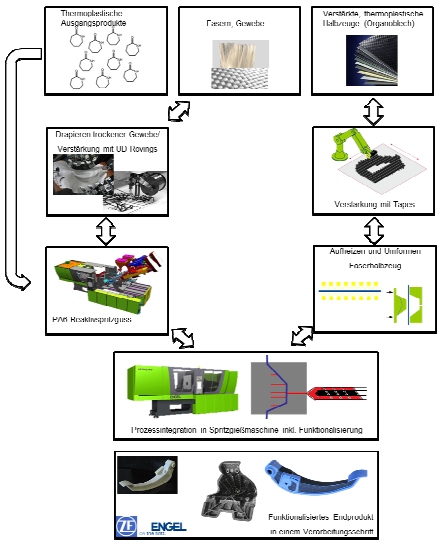
Weiße Eiche



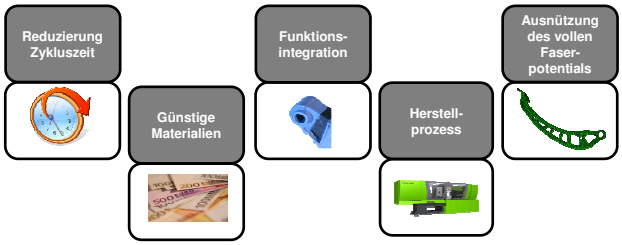
Quelle: J.M. Dinwoodie, ***Nature's Cellular Polymer Fibre Composites***, The Institute of Metals, Wood, 1989
P. Koch, ***Utilization of the southern pines. I. The raw material***. USDA Forest Service Agricultural Handbook, 1972

ENGEL | Technologien → TFP (TPP)

ENGEL



Tailored Fiber Placement
Schlüsselthemen



Quelle: T. Rettenwander, G. Steinbichler, M. Fischlschweiger, ***Leichtbaupotentiale mit Endlosfaserverstärkung im Spritzgießprozess.*** VDI- Wissensforum, Conference Proceedings, 2013

ENGEL | Elastische anisotrope Eigenschaften

ENGEL

- Elastisches **Materialgesetz**

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\varepsilon_{kl}$$

- **Symmetriebeziehungen** (Statisches Gleichgewicht)

$$C_{ijkl} = C_{ijlk} = C_{jikl} = C_{jilk}$$

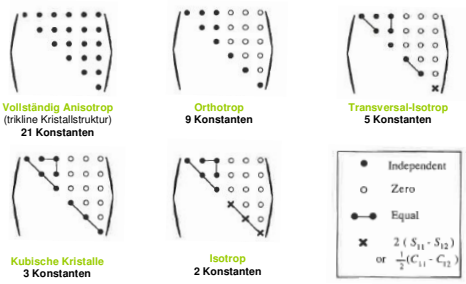
- Matrixnotation

$$\sigma_p = C_{pq}\varepsilon_q$$

- **Schreibweise**

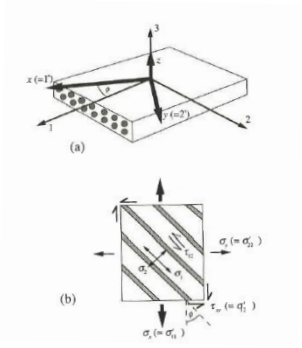
$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix}$$

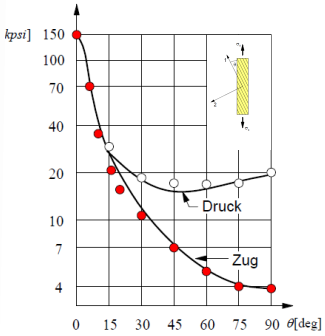
Beispiele von C_{ij} (S_{ij}) (Nye 1985)

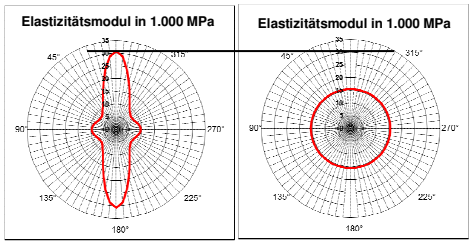


Quellen: D. Hull and T.W. Clyne, ***An Introduction to Composite Materials***, 2nd Edition,Cambridge Solid State Science Series, 1996.
J.F. Nye, ***Physical Properties of Crystals-Their Representation by Tensors and Matrices***. Clarendon: Oxford, 1985

ENGEL | Transversale Isotropie - Performance







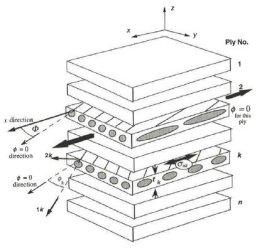
Vergleich der Modulwerte eines UD-Laminates und eines quasiisotropen Laminates.

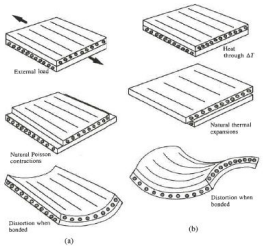
Quellen:

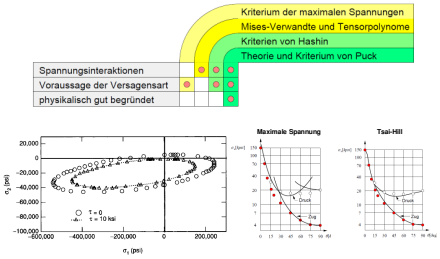
Lecture Notes, ETH Zürich, Festigkeit und Schadensanalyse.
C. Cherif, ***Textile Werkstoffe für den Leichtbau.*** Heidelberg: Springer, 2011.
D. Hull and T.W. Clyne, ***An Introduction to Composite Materials***, 2nd Edition,Cambridge Solid State Science Series, 1996.

ENGEL | Transversale Isotropie - Performance

Aufbau Laminat **Makroskopisch Uniaxiale Last ➔ Lokal Multiaxiale Last** **Versagen**







Quellen:

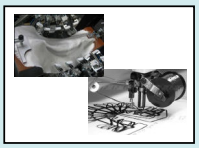
Lecture Notes, ETH Zürich, Festigkeit und Schadensanalyse.
C. Cherif, ***Textile Werkstoffe für den Leichtbau.*** Heidelberg: Springer, 2011.
D. Hull and T.W. Clyne, ***An Introduction to Composite Materials***, 2nd Edition,Cambridge Solid State Science Series, 1996.

ENGEL | Optimierungsmethoden

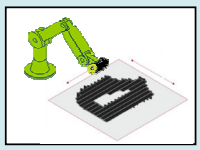
ENGEL

- Parameteroptimierung
- Topologieoptimierung
- Free Size Optimierung
- HNS-Optimierung

Faserverbundwerkstoffe zeigen ihr volles Potential bei Ausrichtung der Fasern in Lastrichtung

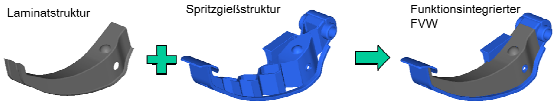


Faserausrichtung mittels Stickrobotern



Faserausrichtung mittels Tapelegen

Funktionsintegriertes Bauteil (Demonstrator) für Optimierung



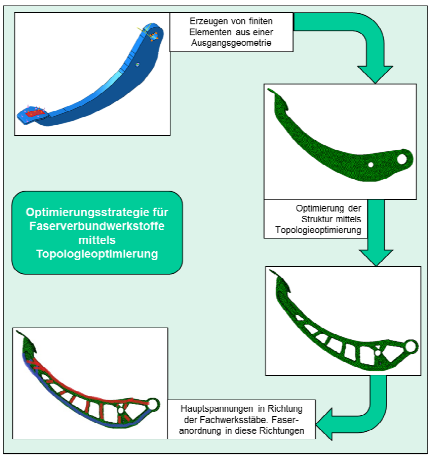
Laminatstruktur	Spritzgießstruktur	Funktionsintegrierter FVW
0/90 Organoblech (Thermoplast mit Endlosfasern)	Kurzglasfaserverstärkter Thermoplast	Bauteil stabilisiert gg. Beulen u. Torsion mit Verbindungslementen

ENGEL | Optimierungsmethoden

ENGEL

Schema Topologieoptimieurng am Demonstrator Bremspedal

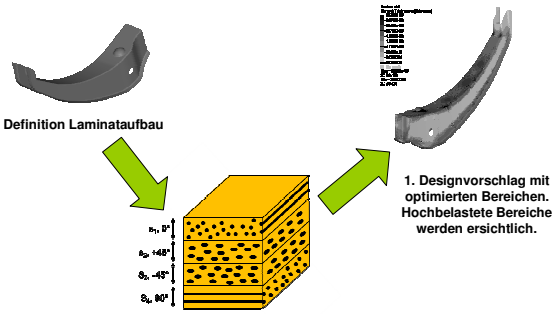
- Annahme: Vollkommene Designfreiheit + Berücksichtigung von gewissen Belastungs- und Geometrierandbedingungen ➔ Topologieoptimierung
- Anwendung auf dickwandige Strukturen ➔ Fachwerkstrukturen
- Überführung des Pedals mittel Topologieoptimierung in eine fachwerkartige Struktur.
- Zug oder Druck in den Stäben ➔ TFP

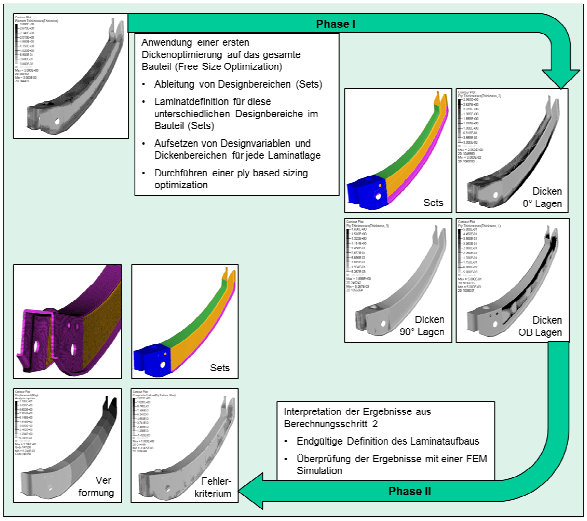


ENGEL | Optimierungsmethoden

ENGEL

Schema Free Size Optimierung am Demonstrator Bremspedal



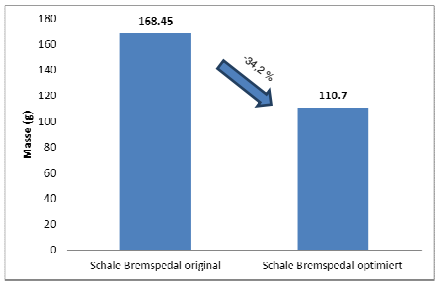


Variation der Laminatdicken in mehreren Iterationen, bis Optimierungsziel (maximale Steifigkeit) unter vorgegebenen Randbedingungen (Gewichtsreduktion) erreicht ist.

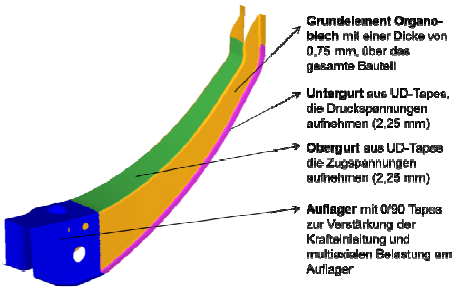
ENGEL | Optimierungsmethoden

ENGEL

Massevergleich der Ausgangsstruktur und der optimierten Struktur.



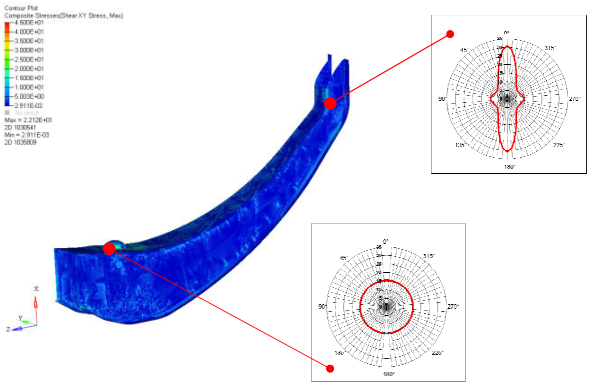
Aufbau des optimierten Bremspedals:
Tape Verstärkung eines Organoblech Grundträgers



ENGEL | Optimierungsmethoden

ENGEL

Lokale Spannungszustände innerhalb der Struktur – Vorzugsrichtungen



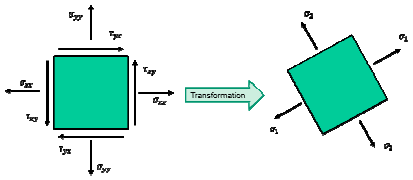
ENGEL Austria GmbH | 28.02. 2013, 4a Technologietag 2013, Schladming | Seite 15

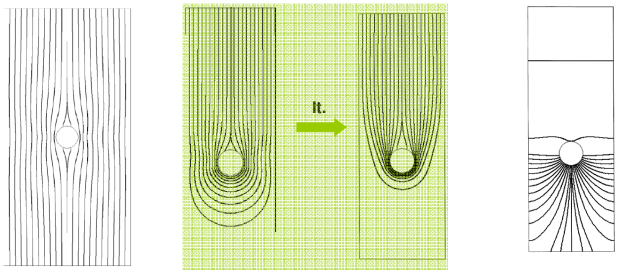
ENGEL | Optimierungsmethoden

ENGEL

HNS-Optimierung
Fasern werden entlang der Haupttrajektorien gelegt

Hauptachsentransformation



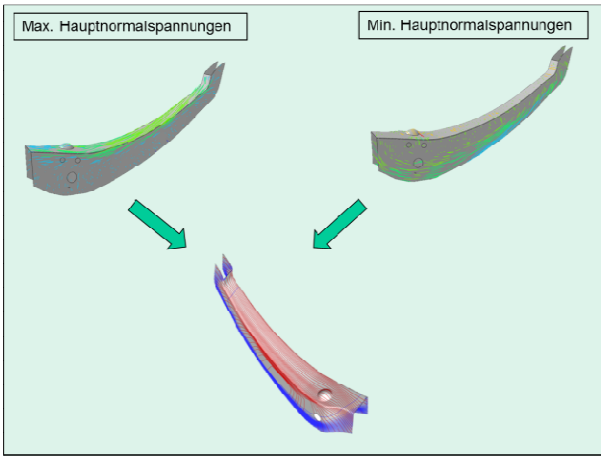


Zugbelastung	Zugbelastung + Pin Load (Bohrloch)	Zugbelastung + Pin Load (Bohrloch)	Zugbelastung + Pin Load (Bohrloch)
Platte+ o.Bohrloch Isotrop	Isotrop Zug-Trajektorie	Anisotrop Zug-Trajektorie	Isotrop Druck-Trajektorie

Quelle: M. W. Tosh, D. W. Kelly, ***Fibre steering for a composite C-beam***, Composite Structures 53, 133-141, 2001.

ENGEL | Optimierungsmethoden

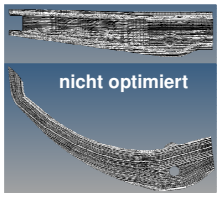
ENGEL

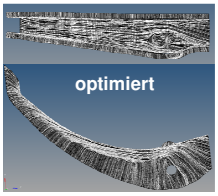


Informationen über Spannungszustand

Transformation

Geometrie- und Designinformationen

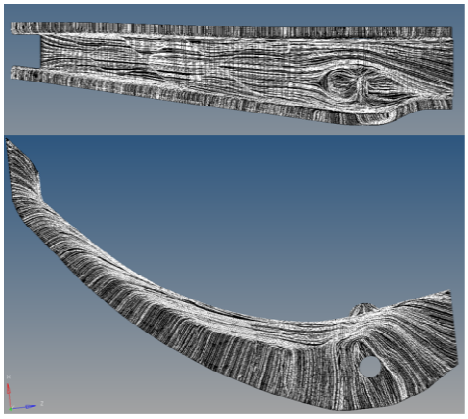


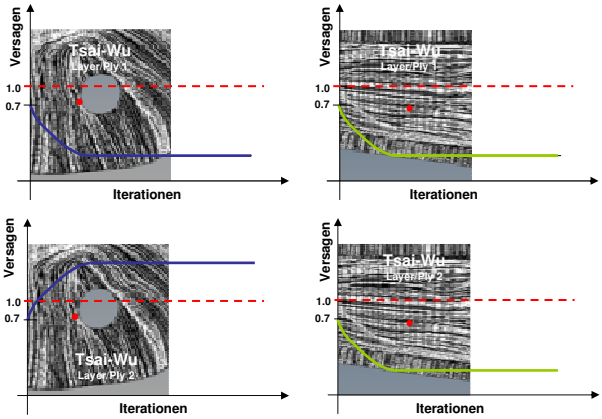


ENGEL | Herausforderungen HNS-Optimierung

ENGEL

Optimierungsverhalten an kritischen und unkritischen Elementen





ENGEL | **Zusammenfassung und Ausblick**

- Optimierungsmethoden Leichtbaupotential-TFP
- **Rückkopplung- Prozess**
- Maschinen- und Prozesselemente und –parameter
- **Maßgeschneiderte Anlagen und Prozesse**