

**«automated Composite Compression»**

**Möglichkeiten eines neuen  
Faserverbund-Verfahrens**

**Nägeli Swiss AG**  
Seestrasse 4  
CH-8594 Güttingen

**Dominik Nägeli**  
**Iwan Wüst**  
mail@naegeli.ch

# Nägeli Swiss AG



- ❖ KMU in Familienbesitz, gegründet 1941 durch Ernst Nägeli
- ❖ 20 Mitarbeiter, 1-2 Lernende
- ❖ Umsatz CHF 3-4 Mio.
- ❖ Geführt durch die zweite und dritte Generation

## ❖ Geschäftsbereiche

- ❖ Stanz- und Umformtechnik in Metall
- ❖ Advanced Composites
- ❖ Hersteller von kundenspezifischen Bauteilen & Baugruppen
- ❖ Enge Zusammenarbeit mit diversen Hochschulen



Dominik  
Nägeli

Niklaus  
Nägeli

Christoph  
Nägeli

# Bewährte Einsatzgebiete von Advanced Composites

... mit klassischen Herstellprozessen



1989

Flügelrandbogen DO328



Luftfahrt



Raumfahrt



2007

Gelenkknoten



1994

Velorahmen Villiger



Sport



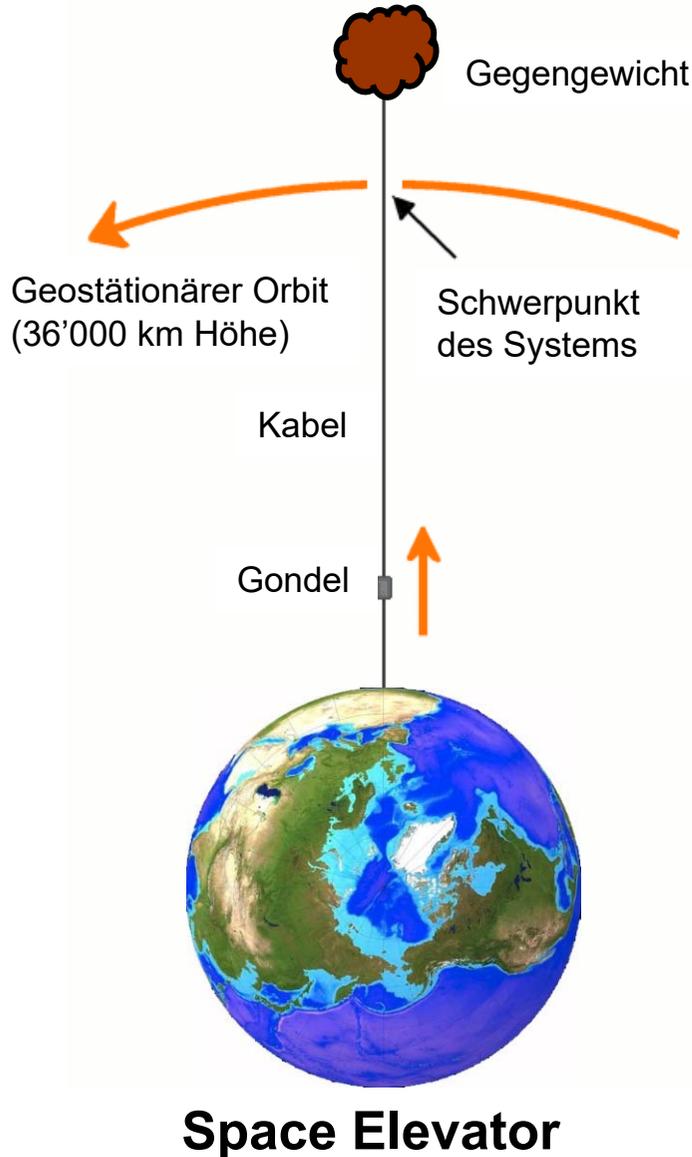
Formel 1



2000

Feuerlöschtank Sauber

# Potenzial von Advanced Composite

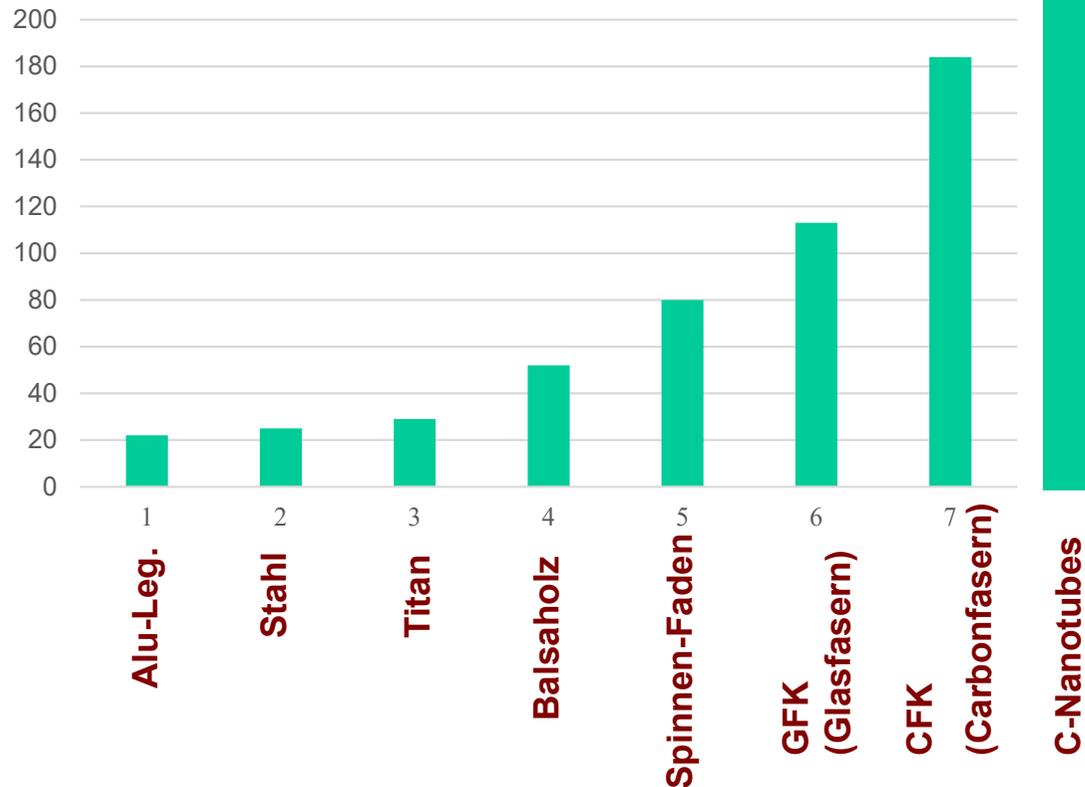


$$F_{max} = R_m * A = m * g$$

$$R_m * A = L_R * A * \rho * g$$

$$\rightarrow L_R = R_m / (\rho * g)$$

Reisslänge von Materialien [km]



# Neuere Einsatzgebiete für Composite...

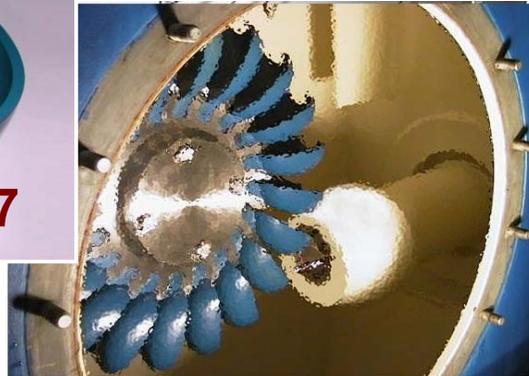
... mit klassischen Herstellprozessen



1997

Peltonschaufel

Wasserkraft



Verpackung



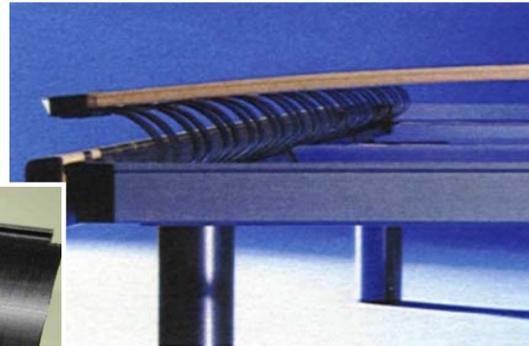
2004

Roboterarm

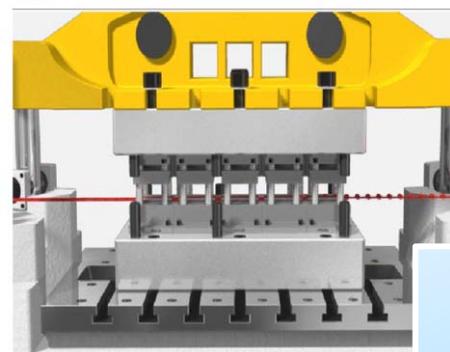


2001

Federelement



Möbel



Maschinen



2015

Pressenstößel

# Composites: Materialien

- Verbundwerkstoff aus Fasern und einer Matrix (Harzsystem)

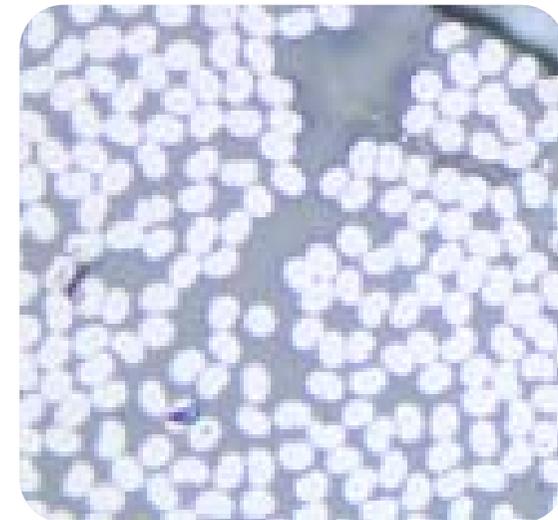
## Fasern

- Festigkeit und Steifigkeit
- Fasern aus
  - Glas
  - Kohlenstoff (Carbon)
  - Aramid (Kevlar)
  - Flachs



## Matrix

- Knick-Stabilität, Schubfestigkeit
- Chemische Resistenz / thermische Stabilität
- Typische Vertreter:
  - Duroplaste (z.B. Epoxy)
  - Thermoplaste (PP, PA, PEEK)
  - Keramik



# Composites: Prozesse

- Wie bringen wir die Fasern und die Matrix zusammen?

## z.B. Prepreg-Prozess

- Fasern sind mit Harz-/Härterpulver imprägniert
- Lageweises Aufschichten über Positiv/Negativ
- Aushärtung und Druck/Vakuum im Ofen



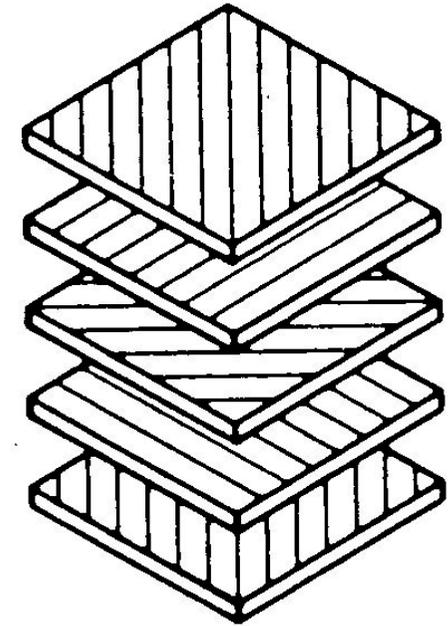
## z.B. Resin Transfer Molding - RTM

- Herstellung eines trockenen Faserkonstrukts
- Preformling wird in Negativform eingeformt
- Injektion eines Harz-/Härtergemisches
- Aushärtung in der beheizten Form



# Eigenschaften des Verbundes

- Schichtweiser Aufbau von Einzellagen
- Hervorragende Eigenschaften in Faserrichtung
- Ausrichtung der Fasern durch Lastpfad gegeben
- Vielzahl unterschiedlicher Vorteile, z.B.:  
hohe spezifische mech. Eigenschaften, Thermostabilität,  
gutes Dämpfungsverhalten, Röntgentransparenz, Ermüdungsfestigkeit



	Faser	0°-Laminat	0°/90°	0°/45°/90°
Festigkeit 0°	3800 MPa	1900 MPa	900 MPa	575 MPa
E-Modul 0°	260 GPa	150 GPa	85 GPa	70 GPa

(Werte stark vom Fasertyp abhängig)

## Vor- und Nachteile der klassischen FV-Prozesse



- **Höchste mechanische Eigenschaften erzielbar:**  
Endlosfaser, hohe Faservoluminas, Faserorientierung gem. Lastpfad
- **Hohe Reproduzierbarkeit**  
Hohe Orientierungssicherheit der Fasern



- **Automatisierung eingeschränkt**  
Drapieren von textilen Grundmaterialien
- **Stückzahlen eingeschränkt**  
Aushärtezeit als Treiber
- **Beschränkung auf dünnwandige Strukturen**
- **Recycling stellt grosses Problem dar**  
Trennung von Fasern und Duroplast-Systemen schwierig

# Der neue Lösungsansatz: die aCC-Technologie



## Die aCC-Technologie kurz erklärt

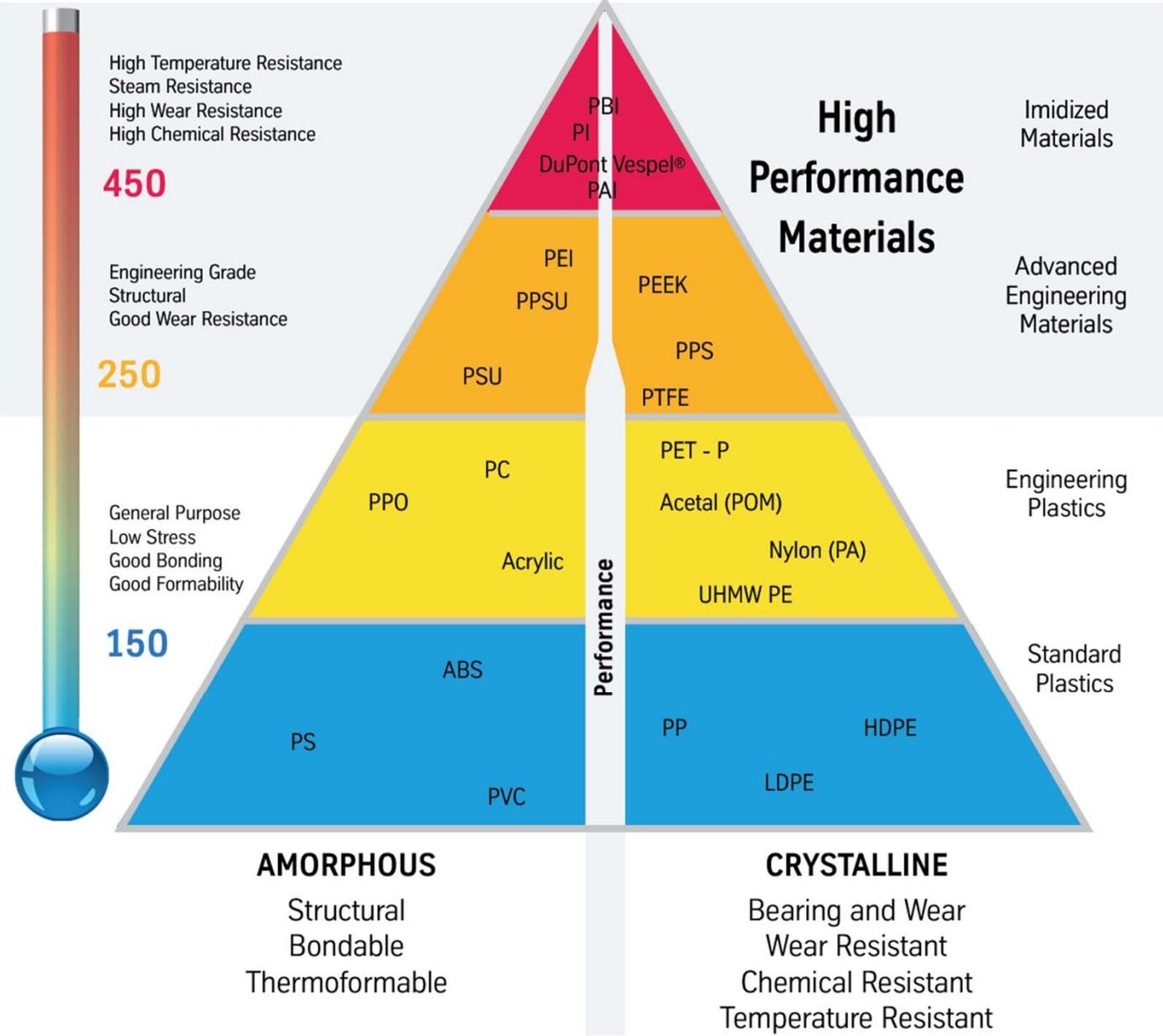
- Unidirektionale Fasern mit Thermoplast-Matrix
- Herstellung von Faserchips mittels Stanzen
- Einbringung der Chips in eine Negativ-Form
- Aufschmelzen der Thermoplast-Matrix unter Druck und Hitze
- Verpressen der Chips und Abkühlung
- Ausformung des Bauteils



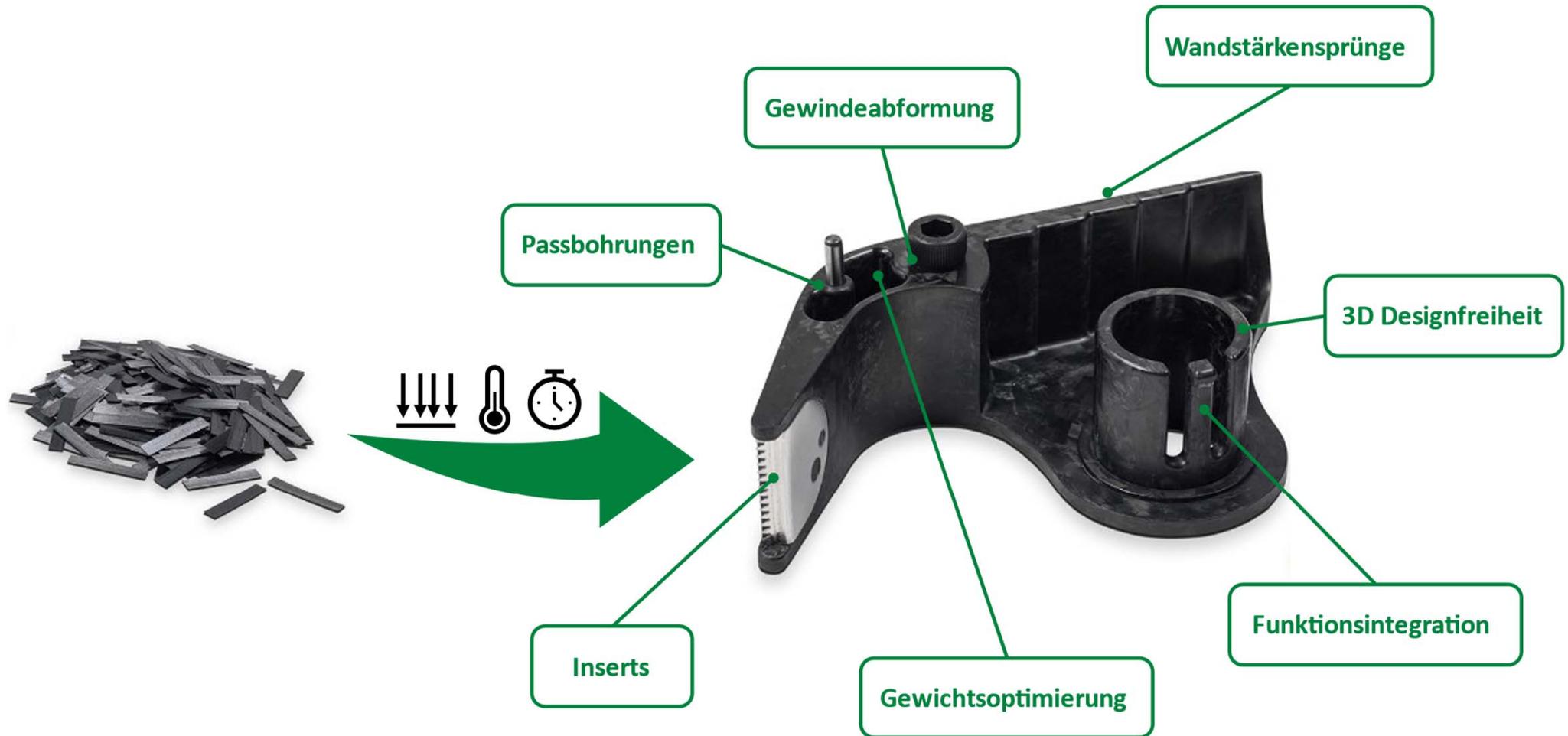
**Funktionsprinzip: Ideale Kraftumlenkung von einer Faser zur nächsten bei einer genügenden Überlappung**

- 90% der Steifigkeit eines Endlosfaser-Laminates
- 50-60% der Festigkeit eines Endlosfaser-Laminates

# Kunststoff-Pyramide



# Vielseitigkeit der aCC-Technologie



# Steuerung der mechanischen Eigenschaften



Dimension und Orientierung der Faserchips

**Ausgangslage**



Rippen, Aufdickungen, etc.

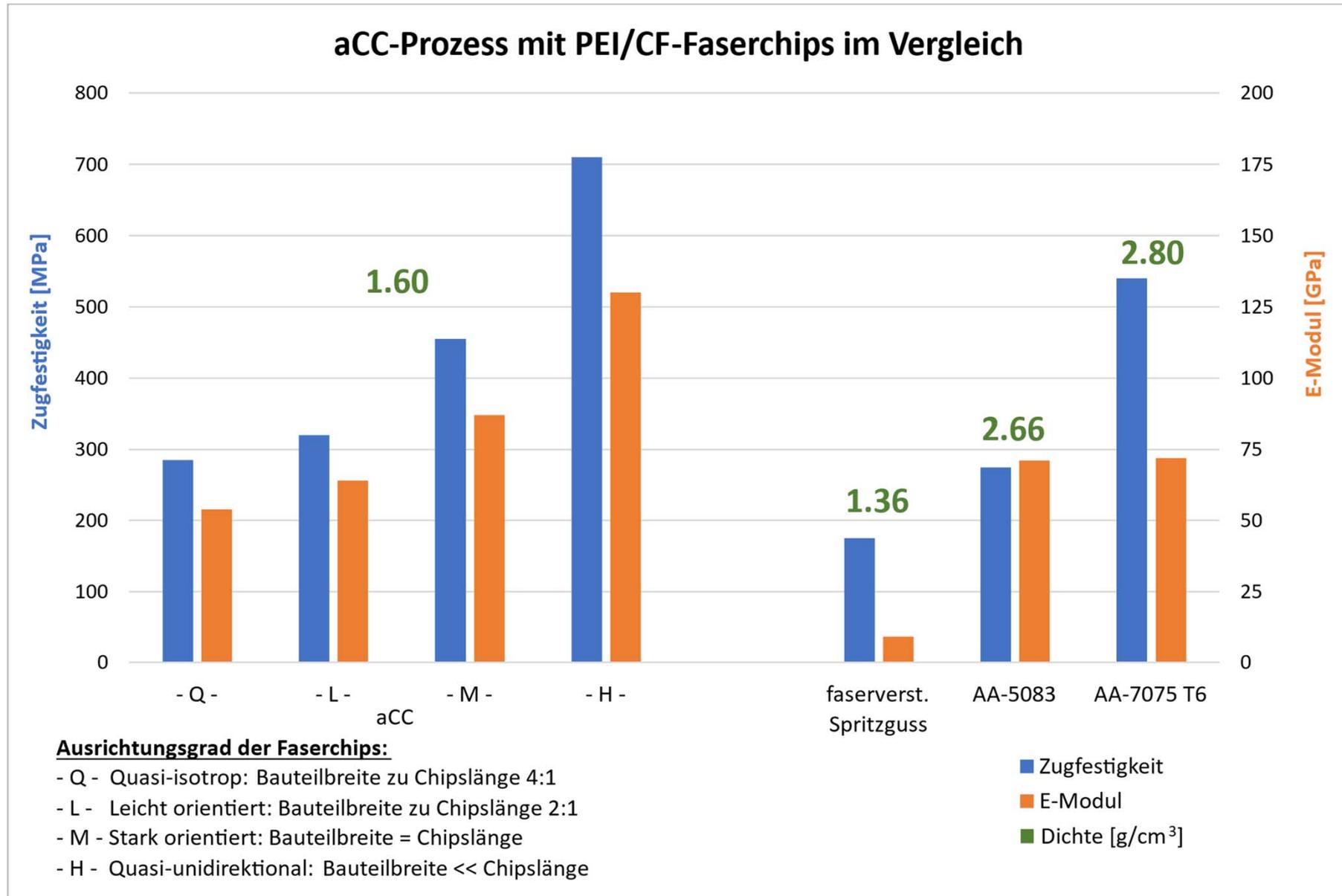
**Steifigkeit erhöhen**



Einlegen von UD-Lagen

**Festigkeit steigern**

# Typische mechanische Eigenschaften



## Vorteile der aCC-Technologie

1. Automatisierter Prozess mit **hoher Reproduzierbarkeit**
2. **Wirtschaftliche Alternative** von komplexen Aluminium-Frästeilen mit Masseproblemen
3. Enorme **Freiheitsgrade** in der Gestaltung (z.B. Wandstärkensprünge, komplexe Geometrien, Rippen)
4. Hoch **präzise Abformungen** möglich → Funktionsintegration (Gewinde, Passbohrungen)
5. Herstellung von **mehreren 10'000 Bauteilen** pro Jahr möglich
6. Hohe Designfreiheit erlaubt eine nur geringfügig angepasste Built-to-print Konstruktion mit **kurzen Entwicklungszeiten**
7. Vollständiges **Recycling** möglich (Hochvolt-Fragmentation)

## Die aCC-Fertigungsanlage

- Werkzeugdimension bis max. **750 x 500 x 250 mm (L x B x H)**
- Fertigungsanlage dimensioniert für eine **Werkzeugmasse bis 500 kg**
- Temperatur Heisspresse bis **400°C** möglich
- Bis zu **1'000 kN Presskraft** (Heiss- und Kaltpresse)
- Automatisierter, **temperaturgesteuerter** Prozess
- Paralleles Handling von **3 Werkzeugen**



## Realisierte aCC-Projekte



PA6 mit 45% Kohlestoffasern

- Ersatz eines Alu-Frästeils bei vergleichbaren Kosten und deutlich reduzierter Masse
- Schock-Absorption durch sehr gute Dämpfungseigenschaften des Faserverbunds
- Direkte Abformung der präzisen Querbohrungen
- Rippenstruktur auf der Rückseite zur Versteifung des Bauteils

Andockplatte Elektroantrieb

## Realisierte aCC-Projekte



PA6 mit 45% Kohlestoffasern

- Mit Rippen versteifte Platten-elemente
- Prozessgerechtes Design mit Entformungsschrägen
- Eingelegte Verstärkungslage zur Steigerung der Festigkeit
- Abformung der präzisen Naben für den Klappmechanismus

Bremskeil für Passagierflugzeuge

## Realisierte aCC-Projekte

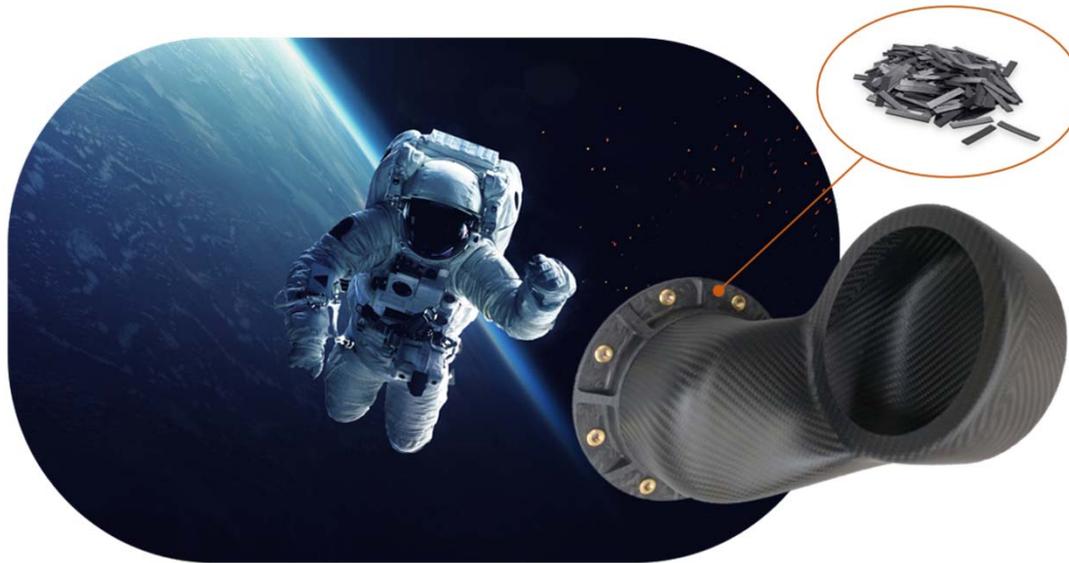


PA12 mit 40 - 45% Kohlestofffasern

- Flächiges Bauteil mit ausgeformten Einspannelementen
- Lokale Rippen zur Verstärkung der Einspannstellen
- Bauteil ausgelegt für 800 kg Belastung bei einer Masse von nur 540 g
- Röntgentransparenz war u.a. ausschlaggebend für die Material- und Prozesswahl

Hüftteil einer Patientenliege

## Realisierte aCC-Projekte



PA6 mit 45% Kohlestoffasern

- Krafteinleitungselement für eine CFK-Schalenstruktur
- Lokale Rippen zur Verstärkung und optimalen Krafteinleitung
- Metallische Inserts bei mehreren Montage/ Demontagezyklen
- Präzise Passung zwischen Insert und CFK-Gelenkknoten

Demonstrator-Flansch für Roboter-Gelenkknoten

## Grenzen der aCC-Technologie

- Bauteilgrösse eingeschränkt auf ca. 550 x 400 x 200 mm
- Mechanische Eigenschaften sind tiefer als bei Endlosfaser-Bauteile
- Stückzahlen > 20'000 Stk/Jahr nur bei Mehrfachformen
- Gewisse Geometrieformen sind aufgrund des Pressformens schwierig zu realisieren
- Temperaturbeständigkeit von Thermoplast im Vergleich zu Duroplast geringer
- Prototypen nur mit entsprechender Investition in eine aCC-Pressform möglich

# Struktur eines Entwicklungsprojektes für aCC-Bauteile

- Erarbeitung Pflichtenhefts und Diskussion der Anforderungen
- Co-Engineering eines aCC-Designs und Materialwahl
- Konstruktion und Herstellung einer aCC-Pressform
- Herstellung von Prototypen
- Verifizierung und Validierung
- Optimierungen für Serienfertigung
- Herstellung der Serienteile

## Nägeli Swiss AG – der zuverlässige Partner

Nägeli Swiss AG  
Seestrasse 4  
8594 Güttingen  
Switzerland



 +41 71 694 50 10

 mail@naegeli.ch

 www.naegeli.ch