

Abschwächungsanalyse der Amplitude von geführten Ultraschallwellen in anisotropen Verbundstrukturen mit komplexer Geometrie

Benedikt BOOS¹, Harutyun YAGDJIAN¹, Lennart MIX¹, Martin GURKA¹

¹ Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern

Kontakt E-Mail: benedikt.boos@ivw.uni-kl.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird eine neue Methodik zur Erzeugung von Abschwächungsfeldern von breitbandigen geführten Ultraschallwellen für komplex geformte Bauteile aus anisotropen Verbundwerkstoffen vorgestellt. Dies kann ein erster Schritt für die Entwicklung eines Systems zur Strukturüberwachung (SHM) von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK), zur Auslegung von Sensorpositionen sein. Eine Herausforderung für SHM-Systeme von CFK-Strukturen sind deren Materialeigenschaften, insbesondere die anisotrope Ausbreitungsgeschwindigkeit von akustischen Wellen, sowie deren Abschwächung durch Dämpfung, Streuung, Modenkonversion und Dispersion. Daher muss die geometrie- und materialbedingte Abschwächung der Signale verstanden werden, bevor eine weitere Verarbeitung der Daten möglich ist. Mit den Erkenntnissen über die Abschwächungseigenschaften kann auch das Verständnis über den Informationsgehalt der aufgezeichneten Signale verbessert werden. Dadurch können Strukturzustandsparameter, die bereits in SHM Systemen genutzt werden, reevaluiert und neue Parameter abgeleitet werden. Wenn dies abgeschlossen ist, muss ein Verständnis über den Informationsgehalt der aufgezeichneten Signale und die Identifikation der wichtigsten Parameter aufgebaut werden. Die Signale in den untersuchten Strukturen wurden mit Bleistiftminenbrüchen (PLB) angeregt und die Schallwellen mit breitbandigen Piezosensoren aufgezeichnet. Anhand von radialen Prüfkoordinaten wurde die Abschwächung entlang von fünf Winkelrichtungen bestimmt. An den Koordinaten wurden dafür die Amplitude und die Ankunftszeit gemessen. Entlang jeder Winkelrichtung wurde eine eindimensionale Funktion an die Amplitudendaten gefittet, die den konstanten Abschwächungsfaktor a enthielt. Anschließend wurde eine weitere Fit-Funktion zwischen den Abschwächungsfaktoren der verschiedenen Winkelrichtungen durchgeführt, womit das Abschwächungsfeld erzeugt werden konnte. Abschließend wurde das Dämpfungsfeld auf das CAD-Modell der Struktur aufgetragen. Mit dem Wissen über die winkelabhängige Abschwächung, wurden die Signale von zwei Richtungen auf ihren Informationsgehalt untersucht.



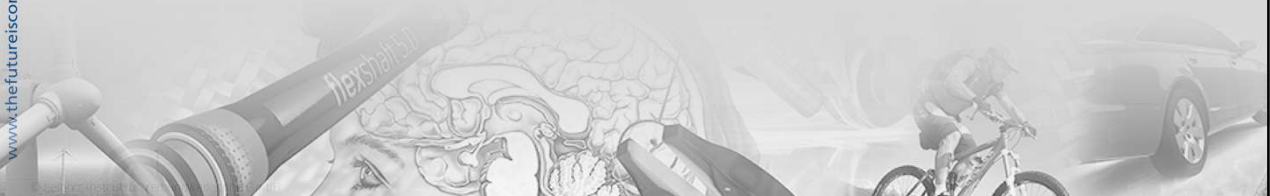
Amplitude reduction analysis of guided ultrasonic waves in anisotropic composite structures with complex geometry

SCHALL 23, Wetzlar 21.03.2023

Benedikt Boos, Harutyun Yagdjian, Lennart Mix, Martin Gurka

Leibniz-Institut für
Verbundwerkstoffe

www.thefutureiscomposite.com



Motivation

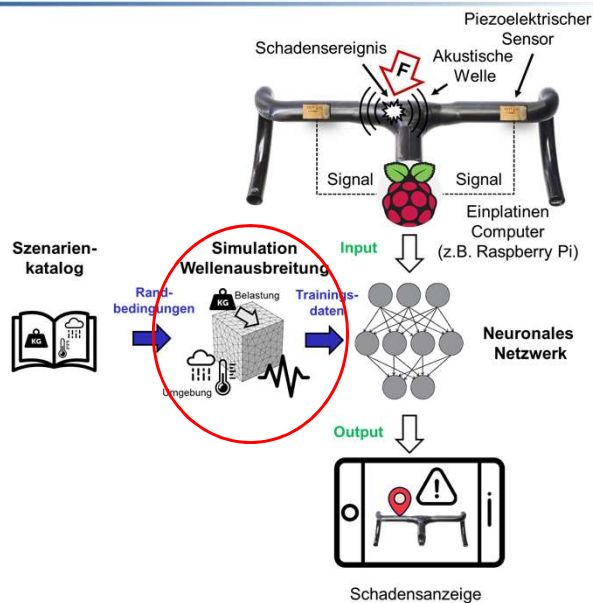
- Structural Health Monitoring (SHM) systems will be used in future in sports and leisure
- Mountain bike handlebar is a possible application
 - CFRP-Component with random load cases
- ZIM Project Train4SHM with iNDTact GmbH
- Aim: use as little sensors as possible
 - Important to understand attenuation

www.thefutureiscomposite.com

1. Monitoring system for CFRP
2. Acoustic emission and its challenges with CFRP
3. Developed methodology
4. Conclusion

- Development of online SHM-System for CFRP-high performance structures
- Monitoring method: **Acoustic Emission**
 - → rel. low cost but complex analysis
- Gathered data for **comparison** with simulations
- Simulations will be used to train AI

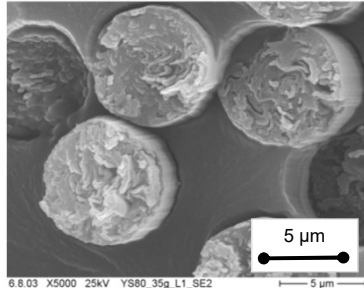
- On top: **interpolation** of structure and material specific parameters (attenuation α) + **mapping** to surface
- Localisation [Argus 2019] and failure mode characterisation [Kelkel 2021] done in previous works



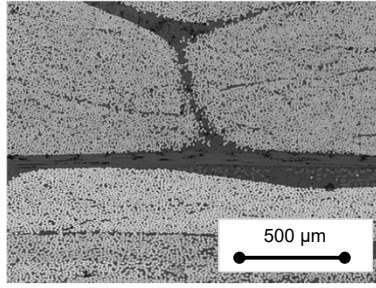
Argus, P., Entwicklung eines Demonstrators zur Lokalisierung von künstlichen Schallquellen in dünnwandigen Faserverbundstrukturen auf Basis der Schallemissionsanalyse und künstlicher neuronaler Netzwerke, 2019

Kelkel, B., On the influence of source depth and source-to-sensor distance on the acoustic emission signatures of damaging events in cross-ply carbon fibre-reinforced plastics, 2021

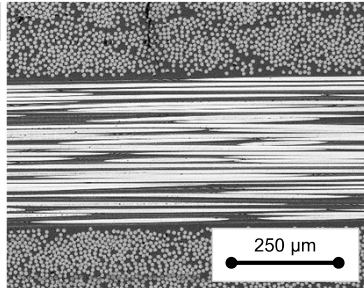
Single Fiber



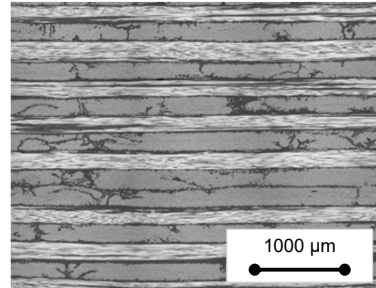
Bundle of Fibers
(Roving)



Laminate Layer



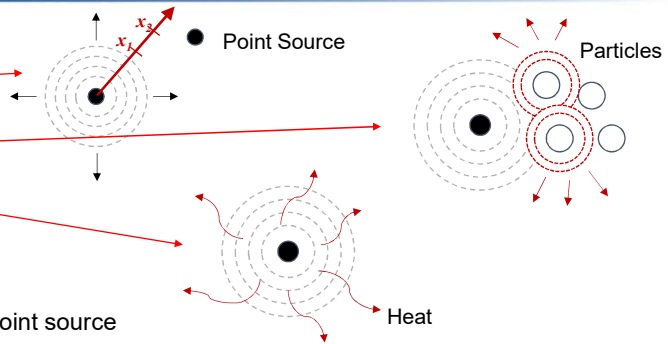
Component
Stacking Sequence
(Thickness)



www.thefutureiscomposite.com

Attenuation mechanisms:

- Geometric attenuation
- Reflection
- Scattering
- Dissipation (heat transfer)
- Mode conversion
- Dispersion



→ Geometric attenuation is dominant form for point source

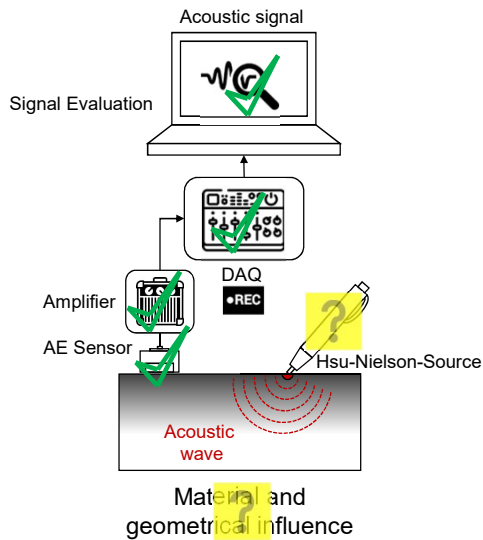
→ Total attenuation can be described with equation from Asamene et al.:

$$A_i = A_0 \left(\frac{1}{\sqrt{r_i}} \right) e^{-\alpha r_i}$$

A_i = Amplitude @ location i , A_0 = Initial amplitude, r_i = Distance Center – location i , α = Coefficient of attenuation

Source: K. Asamene, L. Hudson, und M. Sundaresan, „Influence of attenuation on acoustic emission signals in carbon fiber reinforced polymer panels“, *Ultrasonics*, Bd. 59, S. 86–93, Mai 2015, doi: 10.1016/j.ultras.2015.01.016.

www.thefutureiscomposite.com



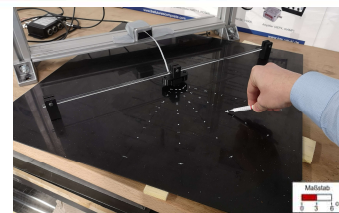
- Entire measurement chain has influence on signal
- Probe, structure, distance, AE-source
- Unknown:
 - Real signal, directional characteristic, influence of source and sensor depth [Kelkel 2021], material and geometry influence

B. Kelkel, On the influence of source depth and source-to-sensor distance on the acoustic emission signatures of damaging events in cross-ply carbon fibre-reinforced plastics, Als Manuskript gedruckt. Kaiserslautern: Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, 2021.

Signal influence:

- Investigate signal from Hsu-Nielson source statistically
- Coefficient of variation
- Hsu-Nielson [ASTM E976]
- Number of signals so that $Var < 10\%$

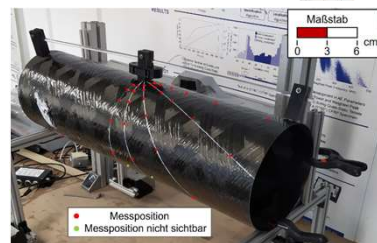
Plate



Structural influence

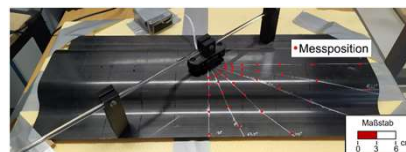
- Attenuation described by Asamene et al.
- Using symmetry
- Discrete measurement, afterwards interpolation

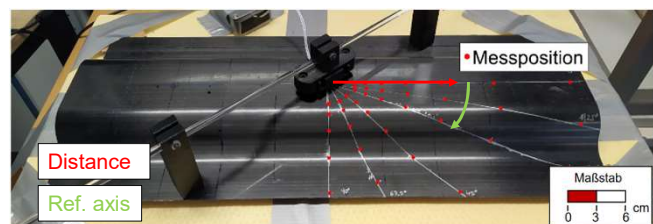
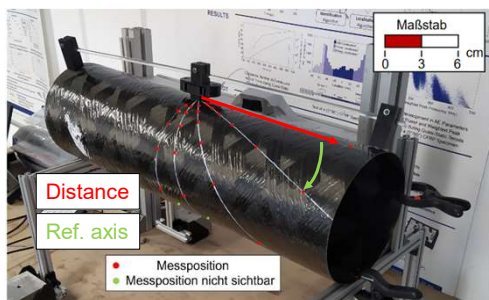
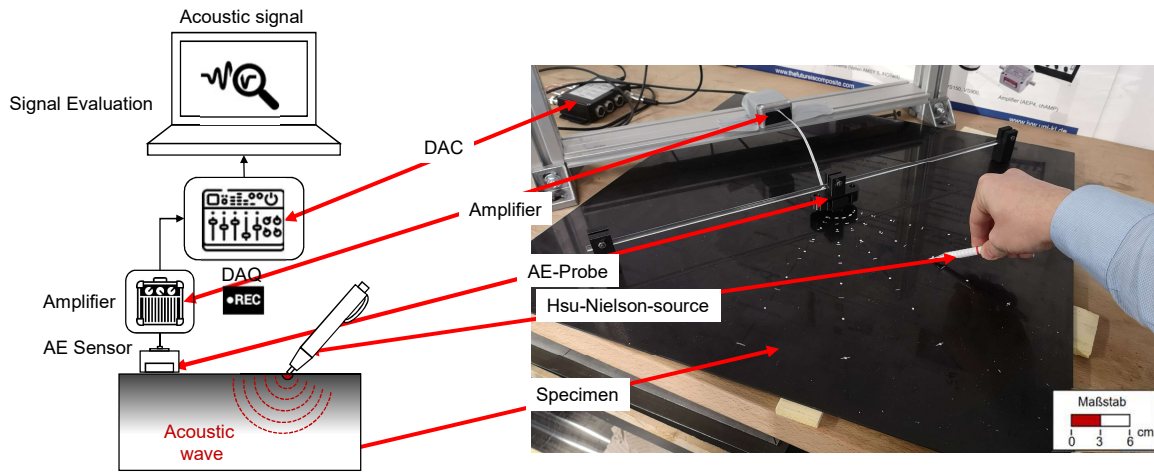
Tube



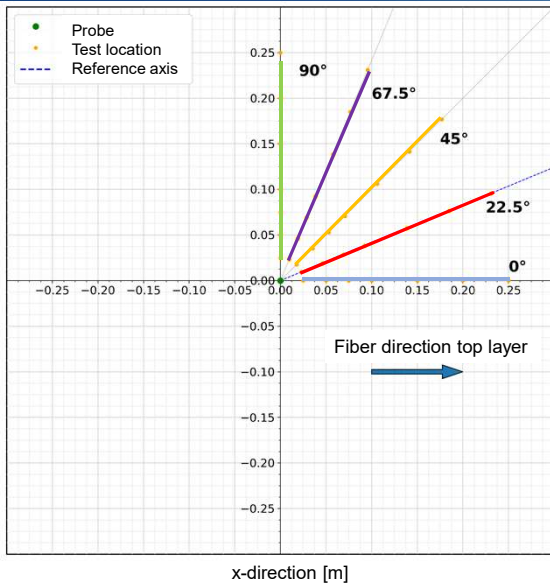
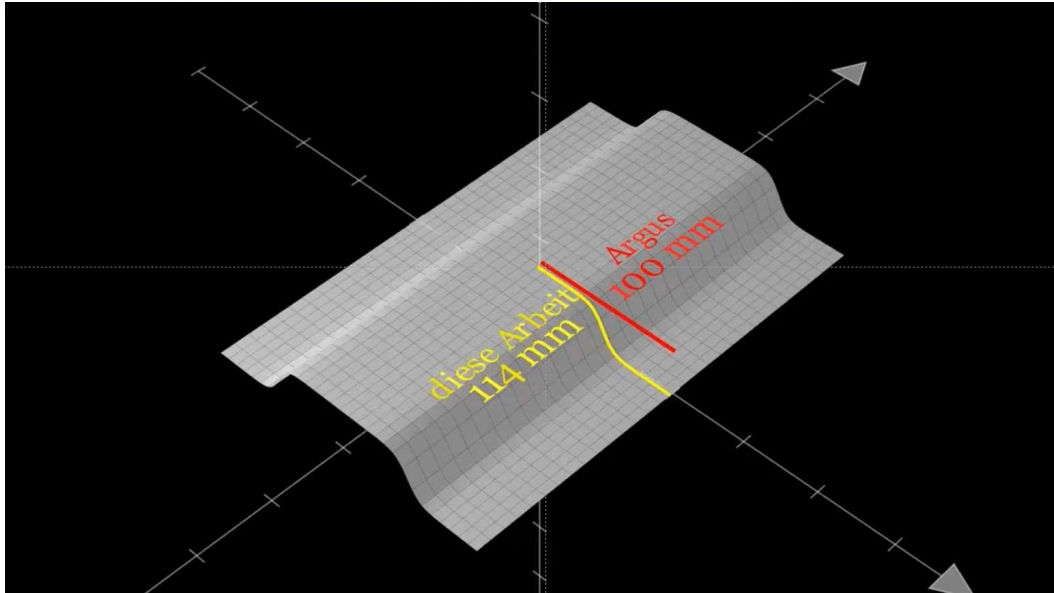
H. Yagdjian et al., „A new algorithm for uncertainty quantification for thermal conductivity measurement on polymers with the Haakvoort method using differential scanning calorimetry considering specimen height and real contact area“, SN Appl. Sci., Bd. 5, Nr. 3, S. 85, März 2023, doi: 10.1007/s42452-023-05308-9.
K. Asamene et al., „Influence of attenuation on acoustic emission signals in carbon fiber reinforced polymer panels“, Ultrasonics, Bd. 59, S. 86–93, Mai 2015, doi: 10.1016/j.ultras.2015.01.016.

Omega-Profile

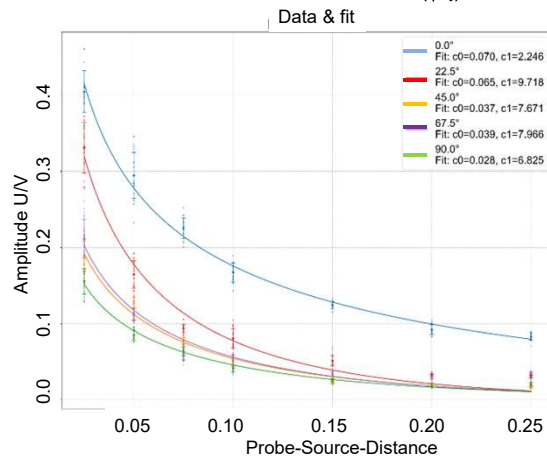


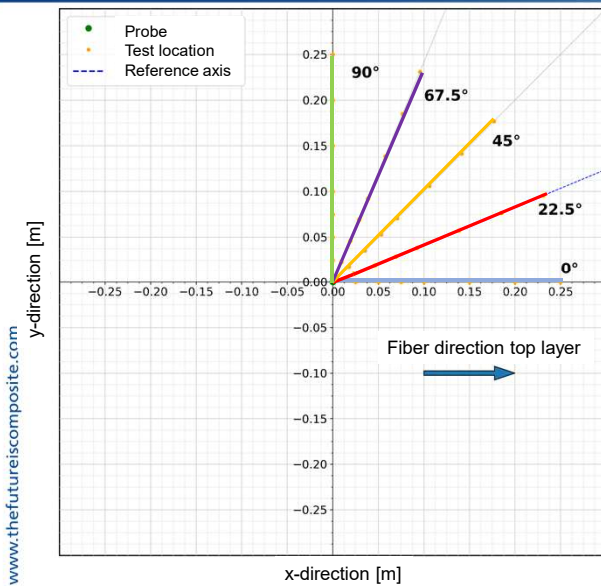


| | Reference axis [°] | Distances [mm] |
|--------------|--------------------------------|---|
| Plate | | 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250 |
| Tube | 0, (11.25,) 22.5, 45, 67.5, 90 | 25, 40, 65, 102, 163, 260 |
| Omega-Profil | | 25, 50, 75, 100, 150, 163 (0°, 22.5°, 45°); 25, 50, 75, 100, 112 (67.5°, 90°) |

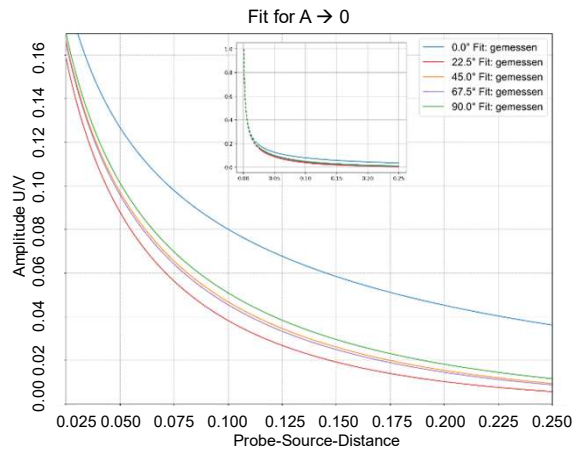


Radial interpolation $A_i = A_0 \left(\frac{1}{\sqrt{r_i}} \right) e^{-\alpha r_i}$

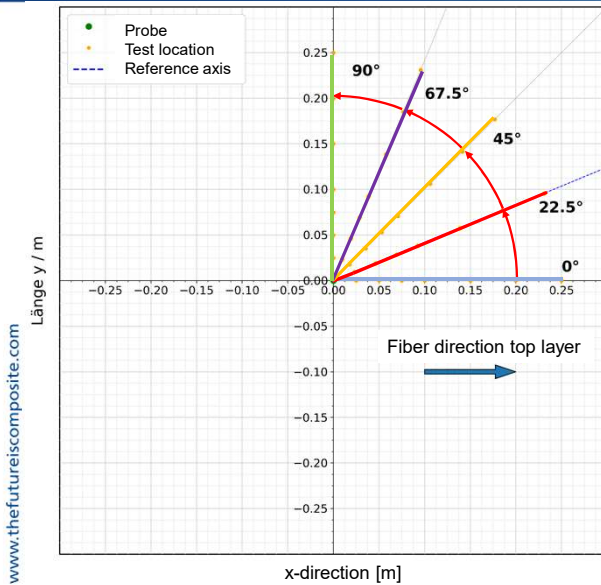




$$A(r \rightarrow 0)$$

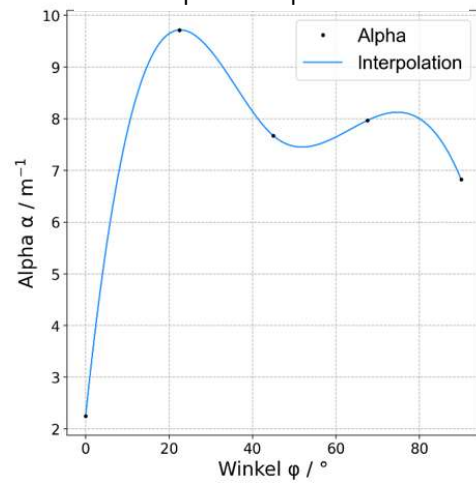


www.thefutureiscomposite.com

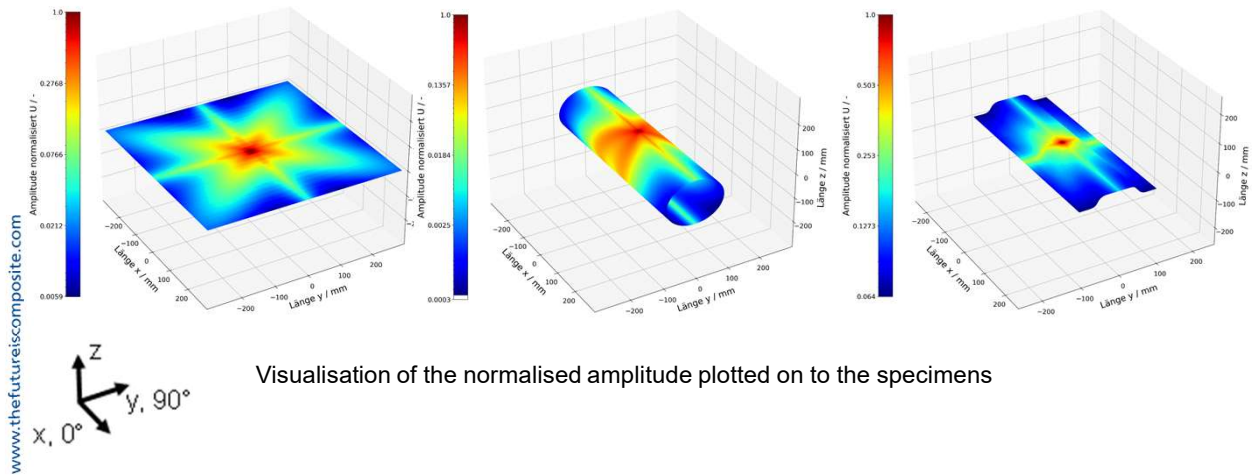


Tangential interpolation

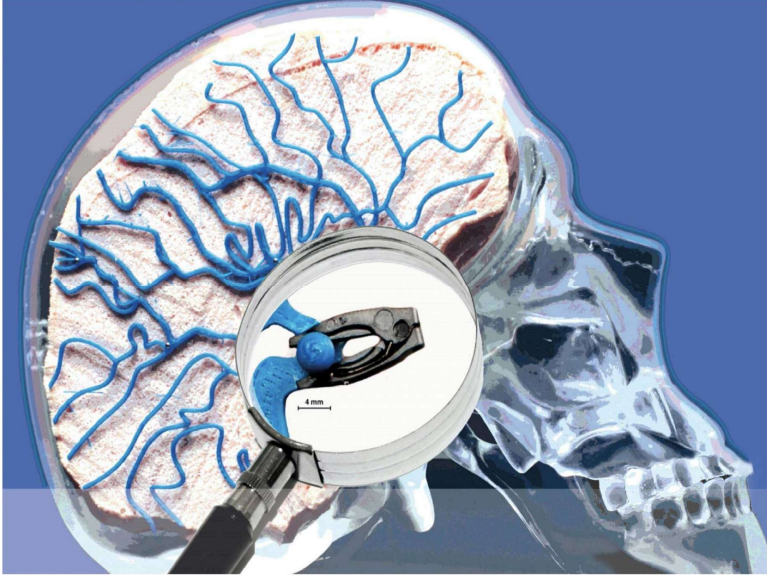
Spline-Interpolation



www.thefutureiscomposite.com



- Statistically based data from PLBs (Analysis of the coefficient of variation)
 - Data can be used for comparison with simulation
- Method applicable for different geometries and materials
 - Algorithm enables us to interpolate and plot the coefficient of attenuation on to the specimens surface
 - Implementation of additional parameters possible
- BUT: To describe better understand attenuation, α has to separated into the respective attenuation mechanisms



© IVW

This document is confidential. The information contained is the property of the institute.

This document may only be reproduced or disclosed to other parties with the consent of Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH. Transmission or disclosure does not constitute any intellectual property rights. The information contained does not constitute an offer.

Photo: Thorsten Becker & Sylvain Fédouk Fatio

Composite Aneurysm Clip