

# Berechnung der Strukturintensität in gefüllten Kunststoffen durch Einsatz einer gekoppelten Simulationsmethode

Dennis Netzband<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fachhochschule Südwestfalen, 58644 Iserlohn, E-Mail: netzband.dennis@fh-swf.de

## Einleitung

Bei der Entwicklung neuer Produkte gilt es, eine Vielzahl von Anforderungen optimal zu erfüllen. Innerhalb dieser Thematik spielt die Akustik eine große Rolle, denn Störgeräusche eines Produktes müssen vermieden werden. Deshalb sollte innerhalb der Produktentwicklung das akustische Verhalten in den frühen Phasen der Entwicklung vorherbestimmt und positiv beeinflusst werden. Hierbei sollte nicht erst der abgestrahlte Luftschall sondern bereits der abstrahlungsrelevante Körperschall reduziert werden. Für eine derartige Optimierung fehlen momentan geeignete Werkzeuge.

Ein wichtiges Werkzeug zur akustischen Auslegung derartiger Produkte bietet die Strukturintensität (STI), da auf diese Weise die Quelle sowie die Verbreitungspfade des Körperschalls innerhalb einer Struktur berechnet und visualisiert werden können. Die STI berechnet sich für frequenzabhängige Betrachtungen aus dem Spannungstensor „ $\sigma$ “ und dem komplex konjugierten Geschwindigkeitsvektor „ $v^*$ “ nach folgender Formel [1]:

$$STI(f) = -0,5\sigma(f) \cdot v^*(f) \quad [W/m^2] \quad (1)$$

Die STI kann ferner in einen aktiven (Realteil) sowie einen reaktiven (Imaginärteil) Teil aufgesplittet werden, wobei durch den aktiven Teil der Anteil der Energiemenge beschrieben wird, die sich durch die Struktur fortpflanzt. Der reaktive Anteil beschreibt die schwingende Energiemenge innerhalb der Struktur [1]. Im weiteren Verlauf wird nur auf den aktiven Teil der Strukturintensität eingegangen.

Produkte aus dem Fahrzeuginnenraum bestehen größtenteils aus thermoplastischen Kunststoffen, die im Spritzgießverfahren hergestellt und gegebenenfalls mit Fasern oder anderen Füllstoffen verstärkt werden. Durch eine äußere oder innere Anregung werden die Komponenten zu Schwingungen angeregt und übertragen diese als Körperschall durch ihre Struktur. Schließlich wird der Schall von den vorhandenen Oberflächen als Luftschall abgestrahlt.

Für die Berechnung der STI fasergefüllter Kunststoffe wird sowohl die Anisotropie, bedingt durch die Orientierung der Fasern, als auch das viskoelastische Materialverhalten der Kunststoffmatrix durch Einsatz einer integrativen Simulationsmethode berücksichtigt [2]. Hierbei wird eine Prozesssimulation durchgeführt und die sich ergebende Faserorientierung auf eine Struktursimulation übertragen. Unter Verwendung der Materialdaten von Matrix und Füllstoff sowie der Faserorientierung wird eine neue Materialkarte für jedes Finite Element in der Struktursimulation generiert. Auf Basis der Ergebnisse der integrativen Struktursimulation wird, automatisiert durch ein Python-Skript, die STI berechnet und im Postprocessing ausgegeben. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 1 dargestellt.

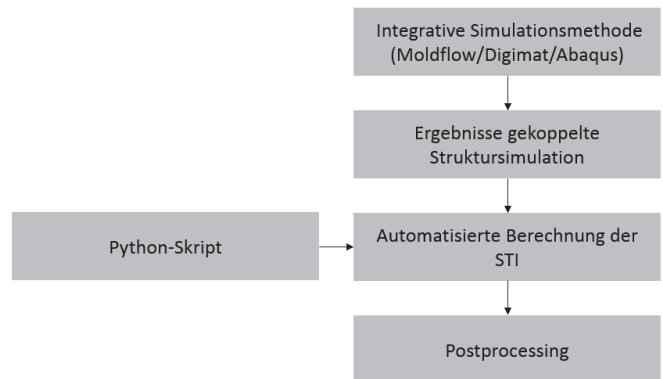


Abbildung 1: Darstellung des Modells der Platte für die Berechnung der Strukturintensität

## Verifizierung der Simulationsergebnisse anhand eines isotropen linearelastischen Materials

Für die Verifizierung der FE-Simulationsergebnisse wird das analytische Modell der Kirchhoff-Platte genutzt, bei der zusätzlich die Strukturintensität berechnet wurde [3]. Für diese Überprüfung wurde noch nicht auf den gekoppelten Simulationsansatz zurückgegriffen.

Beim FE-Modell werden für die Elementvernetzung lineare Hexaederelemente verwendet. Die Strukturintensität wird innerhalb des Modells im Schwerpunkt der Elemente, dem sogenannten Centroid, berechnet. Für die Platte werden für eine erste Überprüfung Materialkennwerte von Stahl verwendet. Die Dichte beträgt hierbei 7,850 g/cm<sup>3</sup> bei einem E-Modul von 204,05 GPa und einer Querkontraktionszahl von 0,28. Die Lagerung der Platte erfolgt allseitig gelenkig; für die Anregung wirkt eine punktuelle, harmonische Kraft von 1 N in Richtung der Plattenstärke [4]. Die Abmaße der Platte, die Position des Kraftangriffspunkts sowie Angaben zu den Hauptorientierungsrichtungen der Fasern der späteren Prozesssimulation sind in Abbildung 2 illustriert.

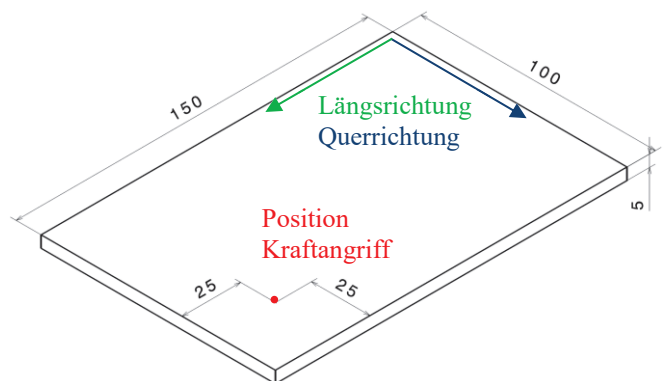


Abbildung 2: Darstellung des Modells der Platte für die Berechnung der Strukturintensität

Abbildung 3 zeigt den Vergleich zwischen dem analytischen Modell und der FE-Berechnung. Hierbei wurde die 5. Eigenfrequenz als Grundlage für die Betrachtung gewählt. Diese liegt im FE Modell bei 6.427 Hz und im analytischen Modell bei 6.957 Hz. Eine Abweichung zwischen den Frequenzen ist erkennbar, diese liegt jedoch unter 10%. In den Ergebnissen zeigt sich, dass innerhalb einer quantitativen Betrachtung der Strukturintensität Unterschiede vorhanden sind, die qualitativen Verläufe aus der FE-Simulation und dem analytischen Modell jedoch gut zusammenpassen.

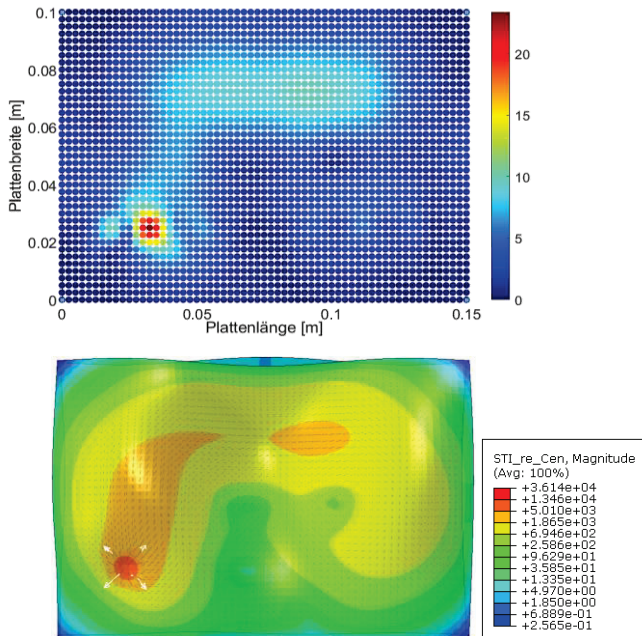


Abbildung 3: Vergleich zwischen der STI der theoretischen Plattenberechnung und der einer FE-Simulation

## Ermittlung der STI an Kunststoffen

Im nächsten Schritt erfolgt die Berechnung der STI an Kunststoffen für die allseitig gelenkig gelagerte Platte. Auf diese Weise wird überprüft, ob die erzeugten Materialkarten geeignet sind, Betrachtungen der STI an anisotropen Materialien durchzuführen. Die Randbedingungen entsprechen denen in Abbildung 2. Für die Untersuchung wird ein ungefülltes Polypropylen-Copolymer (PP-C) und ein PP-C mit 40% Gewichtsprozent Glasfasern (GF) verwendet. Die Orientierung der Fasern wird durch eine Prozesssimulation ermittelt.

Wie bei der vorhergehenden Betrachtung der Stahlplatte wird auch für die Kunststoffplatten die 5. Eigenfrequenz für eine genauere Analyse herangezogen. Diese liegt für das PP-C bei 1.547 Hz und bei der Platte aus PP-C GF40 bei 2.211 Hz bei einer Faserorientierung in Längsrichtung, bzw. bei 2.388 Hz, wenn die Fasern in Querrichtung orientiert sind. Die Verläufe der STI sowie die Ausrichtung der Fasern durch den Spritzgießvorgang bei der GF-gefüllten Platte sind in den Abbildungen 4 bis 6 dargestellt. Die qualitativen Verläufe der STI zeigen, dass sich bei der Platte aus PP-C eine Ausbreitung diagonal über der Platte einstellt. Bei der längsangespritzten Platte aus PP-C GF40 ist die Orientierung der Fasern erkennbar, der qualitative Verlauf der STI ähnelt jedoch dem der ungefüllten Platte. Die querangespritzte Platte zeigt eine deutliche Ausrichtung der Fasern.

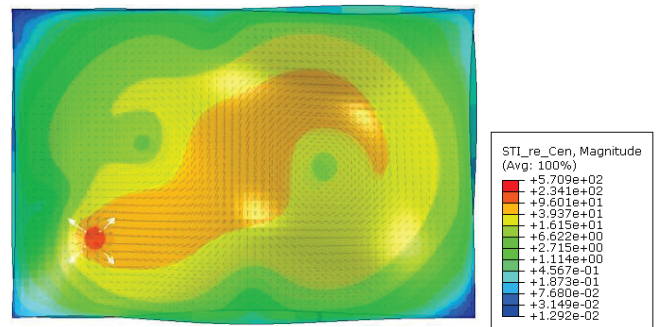


Abbildung 4: STI Platte aus PP-C

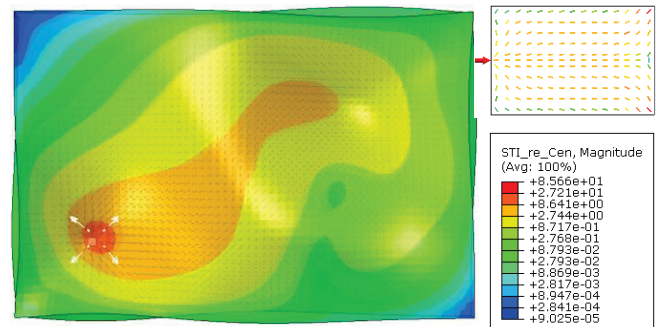


Abbildung 5: STI Platte aus PP-C GF40 Längsausrichtung (Faserausrichtung oben rechts)

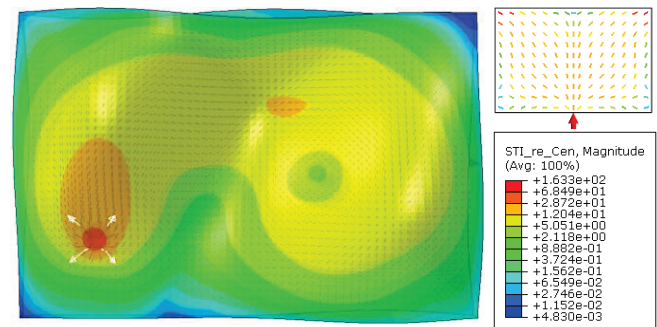


Abbildung 6: STI Platte aus PP-C GF40 Querausrichtung (Faserausrichtung oben rechts)

## Zusammenfassung und Ausblick

Die beschriebenen Untersuchungen haben gezeigt, dass es durch den Einsatz der integrativen Simulationsmethode möglich ist, Berechnungen der STI für anisotrope, faserverstärkte Materialien durchzuführen und so beispielsweise die Schallübertragungspfade spritzgegossener Kunststoffe zu berechnen. Zusätzliche Untersuchungen haben gezeigt, dass bei einer unidirektionalen Faserausrichtung die Effekte teils stärker erkennbar sind als bei der Ausrichtung, die sich durch eine Prozesssimulation ergibt. Es zeigt sich somit, dass für eine möglichst genaue Einschätzung des Körperschallverhaltens anisotroper Materialien Informationen zur Faserausrichtung vorhanden sein müssen. Diese lassen sich z.B. durch eine Prozesssimulation oder CT-Analyse an einem Bauteil ermitteln.

Durch die Verknüpfung der Struktursimulation und der Prozesssimulation über die integrierte Simulationsmethode eröffnet sich dem Konstrukteur eine Fülle an Möglichkeiten zur gezielten Beeinflussung des Körperschallverhaltens, da neben den konstruktiven Maßnahmen auch materialtechnische Modifikationen möglich sind (z.B. Fasergeometrie, Faserausrichtung) sowie eine Kombination beider.

Zukünftig sollen die Möglichkeiten zur Beeinflussung des Körperschallverhaltens für stationäre sowie instationäre Anregungssignale systematisch untersucht und bewertet werden.

### **Danksagung**

Die beschriebenen Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „Akustik-OPT - Gezielte Materialentwicklung durch Einsatz der Anisotropie und Viskoelastizität von Kunststoffen zur Optimierung des akustischen Verhaltens von Leichtbauteilen“ durchgeführt. Gefördert wird dies aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und dem Land NRW. Neben der Fachhochschule Südwestfalen in Iserlohn und dem Kunststoffinstitut in Lüdenscheid sind die Leopold Kostal GmbH Co. KG in Lüdenscheid, die MöllerTech GmbH in Bielefeld und die Ter Hell Plastic GmbH in Herten Projektpartner.

### **Literatur**

- [1] Grote, K.-H. und Felhusen, J.: *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau (O 3.6)*, 24. Auflage, Springer-Verlag, 2014
- [2] Gieß, M. und Netzband, D.: *Integrierte Simulationsmethode für die akustische Formteilauslegung*, Vortrag auf der MSC Software Conference, Berlin, 24-26.10.2017
- [3] Hering, T.: *Strukturintensitätsanalyse als Werkzeug der Maschinenakustik*, Dissertation Technische Universität Darmstadt, 2012
- [4] Pelaez, G.: *Vergleich und Bewertung verschiedener numerischer Berechnungsmöglichkeiten der Strukturintensität*, Masterthesis Technische Universität Darmstadt, 2016