

# ”Virtuelles Nebeln” von Karosserien zur Identifikation von akustischen Undichtigkeiten

Knut Raffel<sup>1</sup>, Leslie Bortels<sup>2</sup>, Robrecht Belis<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Volkswagen AG, 38436 Wolfsburg, E-Mail: [knut.raffel@volkswagen.de](mailto:knut.raffel@volkswagen.de)

<sup>2</sup> ELSYCA NV, B-3018 Wijgmaal (Belgien), E-Mail: [leslie.bortels@elsyca.com](mailto:leslie.bortels@elsyca.com)

<sup>3</sup> ELSYCA NV, B-3018 Wijgmaal (Belgien), E-Mail: [robrecht.belis@elsyca.com](mailto:robrecht.belis@elsyca.com)

## Einleitung und Motivation

Die Dichtigkeit der Karosserie ist ein wichtiger Baustein für eine gute Schallisolation der Fahrgastzelle eines Fahrzeuges. Die gängige Praxis akustische Undichtigkeit an Prototypen und Vorserienfahrzeugen mittels Ultraschall oder Nebel zu prüfen, liefert wichtige Erkenntnisse erst zu einem späten Projektzeitpunkt und hat zudem den Nachteil, dass die gefundenen Schallpfade in vielen Fällen nicht ausreichend genau zuzuordnen sind. Deshalb hat Volkswagen in Zusammenarbeit mit ELSYCA NV eine Lösung gesucht, um frühzeitig im Entwicklungsprojekt konzeptionelle Fehler auf Basis von CAD-Daten zu finden und Gegenmaßnahmen bewerten zu können. Ergebnis ist die Methode des „virtuellen Nebelns“

## Akustische Auswirkungen von Undichtigkeiten in Fahrzeugen

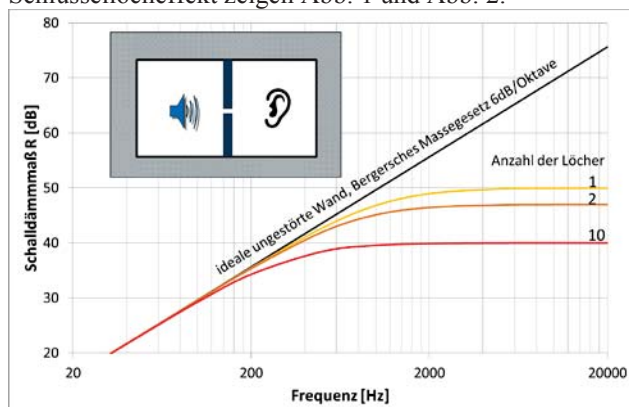
Schon sehr einfache Überlegungen [1] [2] zeigen (Gl. (1) und (2)), dass selbst kleinste Löcher in Trennwänden deren Schalldämmung deutlich reduzieren können.

$$R_{res} = R_{Wand} - 10 \lg \left( 1 + \frac{S_{Loch}}{S_{Gesamt}} \left( 10^{\frac{R_{Wand} - R_{Loch}}{10}} - 1 \right) \right) \quad (1)$$

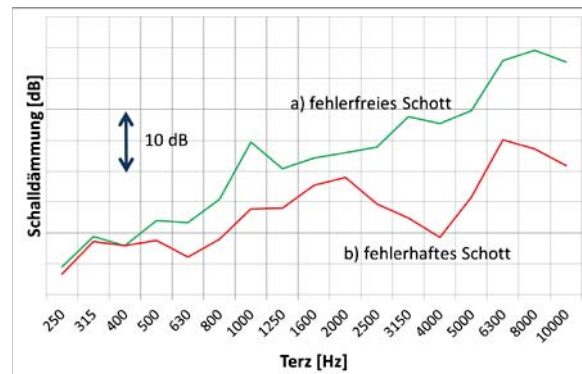
$$R_{Loch} = 0 \quad (2)$$

mit dem Schalldämmmaß R und der Fläche S

Die theoretische und auch gemessene Reduzierung in der Schalldämmung durch diesen so genannten Schlüssellocheffekt zeigen Abb. 1 und Abb. 2.



**Abbildung 1:** Theoretische Auswirkung des Schlüssellocheffekts auf die Schalldämmung einer lochbehafteten Wand (Flächenverhältnis Loch zu Wand 1/100.000)



**Abbildung 2:** Messung der Schalldämmung eines Schotts mit unzureichend abdichtenden Ecken in der B-Säule einer PKW-Karosseriestruktur (Nahfeld Schott)

Undichtigkeiten lassen sich nur sehr schwer durch andere Akustikmaßnahmen wie z.B. Absorption kompensieren.

## Prüfung von Dichtigkeiten im Entwicklungsprozess

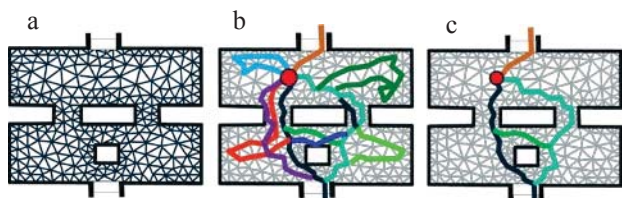
Ungewollte Undichtigkeiten lassen sich in die Kategorien konzeptionelle Fehler und Fertigungsfehler unterteilen. Während Fertigungsfehler fast ausschließlich durch hardware-orientierte Prüfverfahren wie physikalisches Nebeln (Abb. 3) und Ultra-Schall identifiziert werden, müssen konzeptionelle Fehler im Konstruktionsprozess vor den Prototypen abgefangen werden, um hohe Kosten für Nachbesserung zu vermeiden. Damit ist die Identifikation von Undichtigkeitspfaden eine klassische Aufgabe für eine virtuelle Technik. Bisher erfolgte die Dichtigkeitsanalyse durch manuelles Sichten der CAD-Daten durch den Konstrukteur. Durch die sehr verschachtelte Struktur der Karosserie ist dies eine fehleranfällige Arbeitsweise. Die Situation wird durch sich ändernde Konstruktionsstände verschärft. Bypässe an Abdichtmaßnahmen können z.B. durch Verschieben von Löchern entstehen.



**Abbildung 3:** Dichtigkeitsprüfung der Fahrgastzelle mittels Nebel und Unter- oder Überdruck

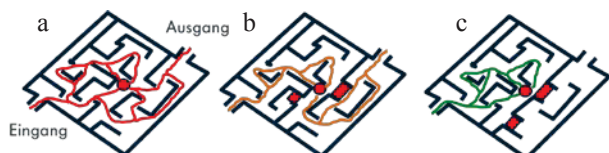
## Grundprinzip „virtuelles Nebeln“

„Virtuelles Nebeln“ ist ein rein geometrisches Verfahren, welches konzeptionelle Auffälligkeiten im virtuellen Prozess aufdeckt, wobei nur geringe Rechenzeiten benötigt werden. Die Basis ist ein Tetraedernetz, das die Hohlräume einer Struktur füllt. Die Kanten dieses Netzes sind die Kartierung des Suchalgorithmus. Von einem Startpunkt innerhalb des Hohlraumlabirynths werden alle Pfade zu den Ausgängen errechnet. Damit werden auch allen Ausgänge untereinander verbunden (Abb. 4).



**Abbildung 4:** grundlegende Schritte des „virtuellen Nebelns“ a) füllen der Struktur-Hohlräume mit Tetraedernetz b) Zwischenergebnis mit redundanten Pfaden und Pfade in Sackgasse c) bereinigtes Endergebnis, Reduzierung auf die wesentlichen Pfade

Das „virtuelle Nebeln“ mit der Software LeakageMaster lassen nicht nur Undichtigkeiten identifizieren, sondern auch Gegenmaßnahmen ohne eine Neuerstellung des Simulationsmodells bewerten (Abb. 5).

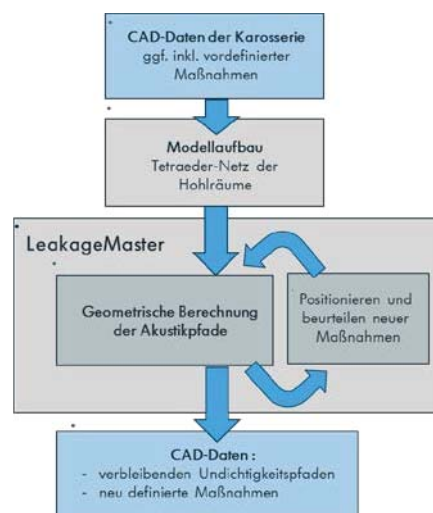


**Abbildung 5:** Simulationsergebnis mit der Software LeakageMaster an einem einfachen Labyrinth a) ohne Maßnahme b) unzureichende Maßnahme c) erfolgreiche Maßnahme

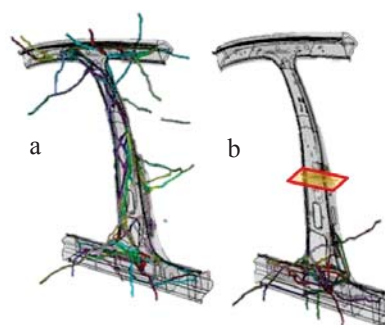
## Virtuelle Analyse von Karosserie-Strukturen

Durch das Tetraederverfahren ist der Aufbau eines Simulationsmodells auch für eine komplexe Karosseriestruktur einfach und schnell. Für den Modellaufbau werden neben den CAD-Daten der Blechstruktur auch Daten bereits vordefinierten Dichtigkeitsmaßnahmen genutzt.

Die Simulationsergebnisse werden in Form von verbleibenden Undichtigkeitspfaden und neu definierter Maßnahmen (Abb.6, Abb. 7) als CAD-kompatible Daten in den Konstruktionsprozess zurückgespielt. Eine Visualisierung der Pfade auf einem CAD-System ist damit unabhängig vom LeakageMaster möglich.



**Abbildung 6:** Workflow einer Dichtigkeitsanalyse mit der Software LeakageMaster



**Abbildung 7:** Virtuelle Dichtigkeitsanalyse einer B-Säule a) ohne Maßnahme b) mit neu definiertem Schott

## Zusammenfassung

Um bei der Identifikation konzeptioneller Fehlern in der Auslegung von Karosserie-Dichtmaßnahmen unabhängig von prototypen-orientierten Prüfmethode zu sein, haben Volkswagen und ELSYCA das „virtuellen Nebeln“ entwickelt, das auf Basis von CAD-Daten eine Analyse ermöglicht. Die Rechenzeiten dieser Methode sind gering, da sie auf einem rein geometrischen Ansatz basiert. Mit der Software LeakageMaster können Undichtigkeitspfade in komplexen Strukturen identifiziert werden und die Wirkung von Kompensationsmaßnahmen simuliert werden.

## Literatur

- [1] Jones, R. E.: How to accurately predict the sound insulation of partitions, Sound and Vibration, June 1976
- [2] Zeller, P. (Hrsg.): Handbuch Fahrzeugakustik. Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009