

Hans-Joachim Raida, Paul Schoenzart und Ingo Jendrek

Akustische und thermodynamische Optimierung landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge

Im hochentwickelten Landmaschinen-Markt ist der Trend hin zu leistungsfähigeren Fahrzeugen und steigender Energieeffizienz ungebrochen. Von den Kunden wird von einer Modellreihe zur nächsten ein gleicher oder besserer akustischer Komfort in der Fahrzeuggabine gefordert. Zudem erfordern gesetzliche Auflagen und der zunehmende Einsatz der Nutzfahrzeuge am Rand von Wohngebieten, dass die Hersteller das Außengeräusch auf einem akzeptablen Niveau halten. Damit der Schalldruckpegel auch im Fahrzeuginnenraum wirksam reduziert wird, muss die Schallabstrahlung in die Fahrerkabine vermindert werden. Hierbei sind die abstrahlende Schallquelle bzw. Körperschallanregung, der Übertragungspfad und die schallabstrahlende Struktur sowie akustische Leckagen zu berücksichtigen. Bei der thermodynamischen Optimierung stehen die Themen Motorkühlung, Motorkapselung, Batteriemanagement, Hitzeisolationen sowie der Schutz von Bauteilen vor Hitze im Vordergrund. Bei der Auslegung von Produktlösungen sind insbesondere die Materialeigenschaften wie Brennbarkeit, Emissionen, Dauerhaltbarkeit sowie Wärmeleitfähigkeit und -abstrahlvermögen zu beachten.

Schlüsselwörter

Akustik, Thermodynamik, Geräusch, Lärm, Schalldämmung, Absorption, Hitzeschutz, Motorkapselung

Keywords

Acoustics, thermodynamics, sound, noise, noise insulation, noise absorption, heat protection, engine encapsulation

Abstract

Raida, Hans-Joachim; Schoenzart, Paul and Jendrek, Ingo

Acoustical and Thermodynamic Optimization of Agricultural Vehicles

Landtechnik 67 (2012), no. 6, pp. 449–457, 27 figures

In the highly developed markets of agricultural machinery, manufacturers are striving for highest possible vehicle power as well as energy efficiency. Customers also expect greater acoustical comfort in the vehicle cabin from one to the next model series. Legal requirements and the increasing use of vehicles nearby residential areas result in increased efforts

of the manufactures to keep the exterior noise at an acceptable level. To effectively reduce the sound pressure level in the driver's cabin the sound radiation into the cabin has to be diminished. Hereby the radiating sound source, the structure borne excitation, the transfer paths and the sound radiating structure as well as leakages have to be considered. For the thermodynamic optimization emphasis lays on the engine cooling, engine encapsulation, battery management, heat isolation and heat protection of parts. For the development of product solutions the material properties such as flammability, emissions, robustness as well as heat conductivity and emissivity have to be particularly noted.

■ Für die Produktentwicklung landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge ist aus (End-)Kundensicht die Akustik ein sehr wichtiges Attribut. Maßgeblich für die Auswirkungen auf die Umwelt ist das Außengeräusch; für den Fahrer hingegen ist es das Innengeräusch in der Fahrerkabine, das sowohl aus Gründen des Arbeitsschutzes als auch des Komforts reduziert werden muss.

Auch die thermodynamische Optimierung spielt eine immer wichtigere Rolle, denn die Fahrzeuge werden fortlaufend kompakter und leistungsfähiger. Die zunehmende Elektrifizierung sorgt für steigende thermische Anforderungen – zum Beispiel für die Batteriesysteme. Im Hinblick auf Leichtbau, Ener-

gieweffizienz und Kostenreduktion kann durch die Verwendung maßgeschneiderter Materialien oder Materialkombinationen auf die Anforderungen der Landmaschinenhersteller eingegangen werden. Über die Materialeigenschaften lassen sich viele zusätzliche Funktionen in die Bauteile integrieren.

Bei der Auslegung der Bauteile müssen zudem die besonderen Anforderungen in der Landwirtschaft beachtet werden, die sich aus dem Einsatz der Fahrzeuge auf dem Feld ergeben. Schäden, zum Beispiel durch Mäusebiss, können jedoch auch dann auftreten, wenn das Fahrzeug abgestellt ist. Der Schutz vor solchen Schäden ist bei der Auslegung der akustisch und thermodynamisch wirksamen Bauteile zu berücksichtigen. Bei der Bauteilentwicklung ist zudem zu beachten, dass sich bei Feldbetrieb keine Schnittreste hinter den Akustikbauteilen oder in Zwischenräumen ansammeln können.

Akustische Produktlösungen für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge

Höhere Leistungsdichten der Antriebsstränge, Downsizing und Abgasreduzierung liegen bei der Entwicklung von landwirtschaftlichen Fahrzeugen im Trend. Doch viele dieser Maßnahmen führen zu einer erhöhten Geräuschabstrahlung nach außen und hohen Schalldruckpegeln in den Fahrzeuggablen. Durch zusätzliche Boost-Leistungen der Antriebe können kurzfristige Leistungssteigerungen von bis zu 20 Prozent erreicht werden, die das Geräuschniveau weiter signifikant anheben. Auch die Bauweise der Fahrerinnenräume sorgt für akustische Probleme. Um eine bessere Rundumsicht zu erreichen, werden häufig große Glasflächen verbaut, aufgrund derer sich die Innenräume bei Sonneneinstrahlung stark aufheizen. Zur Kühlung benötigen Klimaanlage wiederum hohe Gebläseleistungen, die eine breitbandige Schallabstrahlung hervorrufen. Auch elektrische und hydraulische Komponenten für Hochleistungs-Sekundärtriebe produzieren laute Geräusche mit dominanten tonalen Komponenten. Angekoppelte Antriebe, zum Beispiel in Form von Häckseln, Wurfgebläsen und Lüftern, führen beim Einsatz auf dem Feld ebenfalls zu hohen Schalldruckpegeln im Fahrzeuginnenraum. Häufig werden in der Entwicklung Komponenten ausgetauscht, zum Beispiel gegen Produkte mit höherer Leistungsdichte, die eine stärkere Schallabstrahlung bedingen. Auch diverse Leichtbaumaßnahmen, z. B. die Dickenreduzierung von Blechen, können die Schwingungsanfälligkeit der Struktur und sukzessive die Schallabstrahlung flächiger Bauteile deutlich erhöhen.

Die vielfältigen akustischen Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Geringe Schalldruckpegel am Fahrerplatz (Dämpfung und Dämmung von Motor und Aggregaten)
- Reduzierung der Lautstärke von Einzelaggregaten/Vermeidung tonaler Störgeräusche
- Reduzierung der Außengeräuschabstrahlung (Motorteilkapselung, Kapselung von Aggregaten)
- Ausgewogenheit bzw. Balance der Teilgeräuschquellen
- Psychoakustische Optimierung (Motorpräsenz/Dieselnageln, Schärfe, Modulationen, usw.)

Abb. 1



Beispielhafter Messaufbau im schallreflexionsarmen Messraum (Mikrofone, Kunstkopf-Messtechnik)

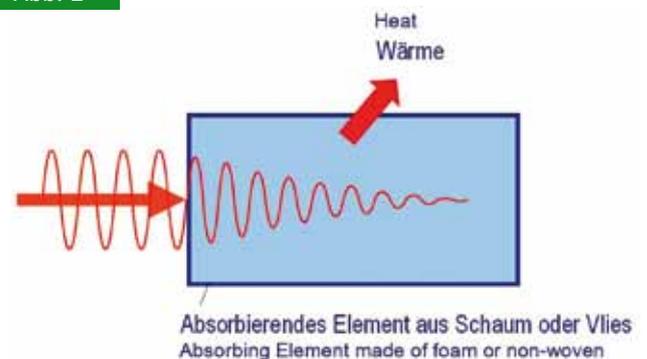
Fig. 1: Example for measurement setup in an semi-anechoic room (microphones, artificial head measurement system)

Landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge mit einem hohen akustischen Komfort hinterlassen bei den Nutzern einen positiven Qualitätseindruck. Die Erfahrungen zeigen, dass dieser stark mit dem subjektiven akustischen Gesamteindruck korreliert.

Zur akustischen Analyse sowie zur Entwicklung und Verifikation von Produktlösungen werden in reflexionsarmen Schallmessräumen, Fensterprüfständen oder akustischen Komponentenprüfständen Fahrzeuge bzw. Teilsysteme oder Komponenten akustisch analysiert und später mit den entwickelten Bauteilen erneut gemessen (**Abbildung 1**).

Die Wirksamkeit akustischer Produktlösungen hängt primär von der Schallabsorption sowie der Schalldämmung ab. Bauteile aus Schaumstoffen, Vliesen, Folien, Kombinationen von Materialien oder Formschaumteile besitzen eine material- sowie eine bauteilspezifische Absorption. Generell wird bei der Absorption einfallende Schallenergie gedämpft, d.h. in Wärme umgewandelt (**Abbildung 2**). Durch Erhöhung der Absorption in der Nähe von Schallquellen, z. B. im Motorraum oder in der

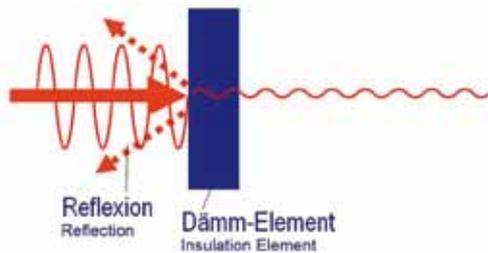
Abb. 2



Absorption bzw. Dämpfung von Luftschallwellen, absorbierte Energie wird in Wärme umgewandelt

Fig. 2: Absorption resp. damping of air borne sound, absorbed energy is transferred into heat

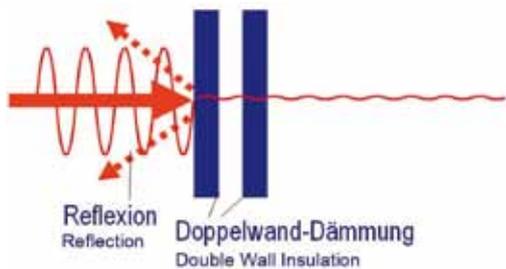
Abb. 3



Dämmung von Luftschallwellen, Reflexion an einem Dämmelement (z. B. Wand mit Massenbelegung)

Fig. 3: Insulation of air borne sound, reflection by an insulation element (e. g. wall with heavy layer)

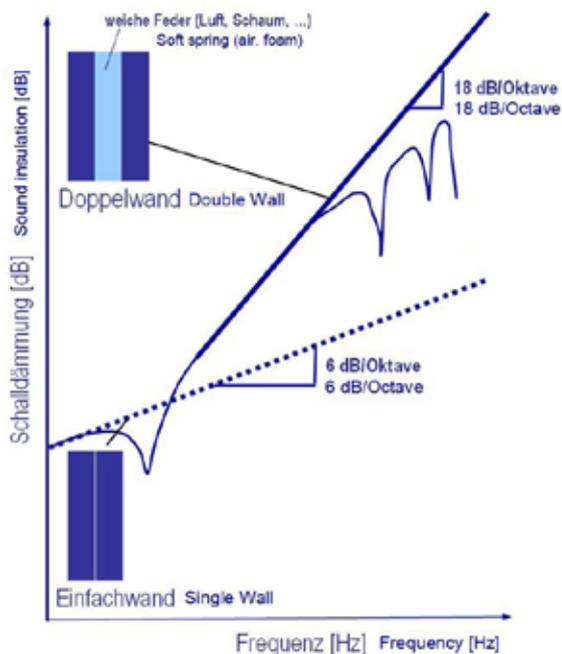
Abb. 4



Luftschalldämmung: Doppelwandsystem

Fig. 4: Sound insulation: Double wall system

Abb. 5



Einfachwand vs. Doppelwand: erhebliche Zunahme der Luftschalldämmung beim Doppelwandsystem

Fig. 5: Single Wall vs. Double Wall: significant increase of sound insulation with double wall system

Fahrerkabine, kann der Schalldruckpegel am Fahrerohr signifikant reduziert werden. Die Absorption von Plattenmaterialien oder Bauteilen in einem diffusen Schallfeld wird in der „Alpha-Kabine“ durch Bestimmung der Nachhallzeiten in Terzbändern ermittelt.

Eine alternative akustische Maßnahme ist die Dämmung (**Abbildung 3**), bei der zum Beispiel ein Bauteil oder die gesamten Kabinenwände im Fahrerhaus mit einer Schwerschicht belegt werden. Durch die zusätzliche Massebelegung erhöht sich die Impedanz, wodurch akustische Wellen verstärkt reflektiert werden und das Innenraumgeräusch wirkungsvoll vermindert wird.

Die Dämmung kann durch Doppelwandssysteme erheblich verstärkt werden (**Abbildung 4**). Hierbei wird die Schwerschicht durch eine weiche Zwischenschicht (Luftabstand, weicher Schaumstoff) von dem schwingenden Kabinenblech auf Abstand gehalten. Für mittlere und hohe Frequenzen folgt oberhalb des Resonanzeinbruchs des Doppelwandsystems eine signifikant höhere Luftschalldämmung (bis zu ca. 18 dB/Oktave) als bei einer Einfachwand (max. 6 dB/Oktave) (**Abbildung 5**). Im Automobilbau haben sich daher in der Fahrzeugkabine für die Stirnwand-Isolation zum Motorraum Doppelwandssysteme erfolgreich durchgesetzt. Die Effektivität solcher Systeme lässt sich auch an einem Fensterprüfstand nachweisen, mit dem die Dämmung von flächigen Materialien, Bauteilen, Modulen oder ganzen Systemen, z. B. vorderer Fahrerhausbereich, Fahrzeugtüren, gemessen werden. Dazu wird im Prüfenster das Plattenmaterial oder das Bauteil fixiert. Auf der Sendeseite wird in einem Hallraum ein diffuses Schallfeld erzeugt. Auf der anderen Seite des Fensters befindet sich der Empfängerraum. Dort wird durch eine robotergesteuerte Messung die Einfügdämmung über die gesamte Fensterfläche kartiert und nachfolgend ausgewertet.

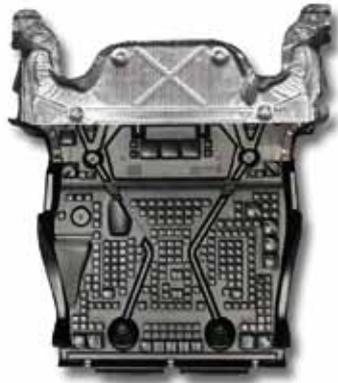
Beispielhafte Lösungen

Im Folgenden werden exemplarisch Produktlösungen hinsichtlich ihrer akustischen Funktion erläutert und dabei auch auf Aspekte der verwendeten Materialien bzw. der Fertigung eingegangen.

Für die Reduzierung der Außengeräuschabstrahlung können integrale Motorkapseln verwendet werden, die unter dem Motor angebracht werden. Sie können durch Kästchenabsorber (= Resonatoren) zusätzlich Schall absorbieren. (**Abbildung 6**). Die Luftschallabsorption kann durch eine zusätzliche Belegung mit mikroperforierten Aluminiumblechen noch weiter verstärkt werden. Die Motorkapseln zeichnen sich durch eine sehr gute Medienbeständigkeit aus und sind damit gegen Umwelteinflüsse resistent. Sie werden in einem Arbeitsschritt im Blasformverfahren hergestellt.

Durch das Einbringen großflächiger, thermogeformter Absorber im Motorraum kann entstehender Luftschall nahe an den schallabstrahlenden Motoroberflächen absorbiert werden. Die Verwendung mehrerer absorbierender Bauteile kann die akustisch wirksame „äquivalente Absorptionsfläche“

Abb. 6



Integrale Motorkapsel mit luftschallabsorbierenden Kästchenabsorbieren zur Reduzierung des Außengeräusches und Erhöhung der Luftschallabsorption im Motorraum

Fig. 6: Integrated engine undershield with airborne noise absorbing chamber absorbers for the reduction of exterior noise and increase of sound absorption in the engine bay

(Aufaddierung der Flächen multipliziert mit den jeweiligen Absorptionswerten) sogar signifikant erhöhen. Je nach Dicke, Dichte und Abdichtung können thermogeformte Bauteile auch schalldämmende Wirkung besitzen. **Abbildung 7** zeigt verschiedene thermogeformte Bauteile, die im Motorraum eingesetzt werden.

Ein weiteres Beispiel ist der akustische Stirnraddeckel (**Abbildung 8**). Das Bauteil besteht aus einem Spritzgussrahmen, auf dem ein thermogeformtes Bauteile aufgebracht wird, das für Absorption und Dämmung des Motorgeräusches im Bereich des Riementriebes sorgt.

Durch Bauteile, die unmittelbar auf der Motoroberfläche angebracht werden, lässt sich die Schallabstrahlung der entsprechenden Teilflächen wirksam reduzieren. Beispielhaft hierfür sind Polyurethan-Abdämpfungen (**Abbildung 9**), die direkt auf dem Motorblock (häufig auch unter einer Kunststoff-Motorabdeckung) angebracht werden. Die Formschaumteile passen sich der zerklüfteten Motoroberfläche perfekt an und sind daher akustisch besonders wirksam. Sie können u. a. auch

Abb. 8



Stirnraddeckel, Verringerung der Schallabstrahlung und Erhöhung der Absorption

Fig. 8: Timing belt cover, to reduce the acoustical emission and increase absorption

Abb. 9



Polyurethan-Abdämpfung auf dem Motorblock, genaue Anpassung an die Oberflächenkontur des Motors zur Verringerung der Schallabstrahlung des Zylinderkopfs bzw. Ventiltriebs

Fig. 9: Polyurethane damping on the engine: Precise fitting to the surface contour of the engine, reducing the noise emission of the cylinder head and valve covers

einen positiven Effekt auf die vom Fahrer wahrgenommene Klangqualität des Motors haben (Psychoakustik).

In der Nähe der Schneidvorrichtungen von Häckslern oder in anderen schallabstrahlenden Zonen mit hohen Schalldruckpegeln lassen sich zur Absorption hochwirksame PET-Vliesabsorber verwenden. Sie werden von Drahtgeweben oder Lochblechen eingefasst (**Abbildung 10**). Durch die Vliesdicke, den Abdeckvlies, die Verpressung und den Lochflächenanteil lässt

Abb. 7



Thermoforming-Bauteile für den Motorraum zur Erhöhung der Absorption und der Schalldämmung zum Fahrzeuginnenraum. V.l.n.r.: Absorber für Getriebetunnel, Motorhaube, Stirnwand (außen), Ölwanne, Motorraumabdeckung für Nutzfahrzeuge

Fig. 7: Thermoformed parts for the engine compartment for the increase of absorption and insulation to the passenger compartment. From left: transmission tunnel insulation, engine hoodliner, dash panel insulation (engine side), oil pan absorber, engine cover absorber for truck engines

Abb. 10



PET-Volumenvliesabsorber mit Deckvlies, Einfassung in Lochblech u.a. zum Schutz gegen Mäuseverbiss als robuster Luftschallabsorber zum Einsatz direkt an den Schallquellen

Fig. 10: Lofted PET fleece with cover fleece, installed behind mesh for protection against rodent damage, as a robust airborne absorber directly at the sound sources

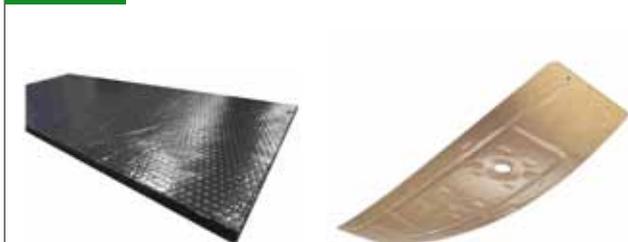
Abb. 12



Maßgeschneiderte, (multi-)funktionale Stanzteile mit akustischer Wirkung, rechts: Beispiel für geklebtes 3D-Bauteil

Fig. 12: Custom-fit, multifunctional die cut parts with acoustic performance, right: Example of a 3D part with bonded layers of material

Abb. 11



Akustisch wirksame Versteifungselemente zur Erhöhung der Beulsteifigkeit, Eigenfrequenzerhöhung, Entdröhnung

Fig. 11: Acoustically effective stiffening pads, for increased rigidity, to raise the resonant frequency, vibration damping

Abb. 13



In Folie eingeschweißte, passgenaue Schaumteile zur Bedämpfung und Dämmung von Schallpfaden

Fig. 13: Close fitting foam parts welded in foil for isolation and insulation of noise paths

sich die akustische Absorptionswirkung einstellen. PET-Vliesabsorber sind darüber hinaus unempfindlich gegen Mäuseverbiss und die Anlagerung von Schnittresten.

Die Schallabstrahlung dünner Blechflächen kann mit aufgeklebten Versteifungselementen vermindert werden, indem die Beulsteifigkeit bzw. die Eigenfrequenzen erhöht werden. Bleche, die durch tieffrequente Motorordnungen angeregt werden, strahlen so nur noch vermindert Schall ab (**Abbildung 11**).

Mit maßgeschneiderten Stanzteilen lassen sich Geräuschpfade in den Fahrzeuginnenraum wirkungsvoll akustisch dämmen (**Abbildung 12**). Sie können in beliebiger Form aus einfachen oder mehrlagigen Plattenmaterialien (Schaum oder Vlies) hergestellt werden und bei Bedarf auch mit akustisch wirksamen Deckvliesen versehen werden. Neben den Deckvliesen haben auch Klebersysteme akustische Eigenschaften. Vliese und Schaumstoffe können zusätzlich nach ihrer UV-Beständigkeit, hinsichtlich ihrer Wasser- bzw. Ölaufnahme oder spezieller Brandschutzanforderungen ausgewählt werden. Stanzteile können darüber hinaus als Reibschutz, zur Abdichtung oder für eine mechanische Schutzfunktion ausgelegt werden. Die

Ausgangsmaterialien für Stanzteile besitzen Dicken im Bereich von Folienstärke bis zu 10 cm. Aus Stanzteilen können durch Faltung, Biegung, Klebung usw. auch kostengünstige dreidimensionale Bauteile erstellt werden.

Mit folierten, passgenauen Schaumteilen werden (**Abbildung 13**) kritische Schallpfade zum Fahrzeuginnenraum bedämpft und gedämmt – zum Beispiel im Bereich der Radhäuser. Die Folie sorgt für eine hohe Öl- und Wasserbeständigkeit der Einbauteile. In manchen Fällen ist auch Luftdichtigkeit gefordert, um Druckverluste bei Gebläsen zu vermeiden. Der Einsatz von Folien kann auch Schimmelbildung in Klimaanlage verhindern. Um trotz Folie hohe Schallabsorptionswerte zu erreichen, können genoppte Schäume foliert werden (**Abbildung 14**). Durch die Noppen liegt die Folie nur an definierten Stellen auf und kann in den Zwischenräumen schwingen, so dass die Energie einfallender Schallwellen absorbiert wird.

Häufig verlangen die Hersteller nach einfachen und kostengünstigen Lösungen, die auch noch kurz vor einem Serienstart helfen, akustische Pfade zu bedämpfen oder auch bestehende Hohlräume auszufüllen. Hierzu wurde eine einfache, preis-

Abb. 14



In Folie eingeschweißter Noppenschaum mit hoher Luftschallabsorption

Fig. 14: Contour-foam, welded in foil, with high airbourne noise absorption

Abb. 15



Akustisch wirksamer Flockenbeutel

Fig. 15: Acoustically effective chip-foam bags, for cavity sealing

Abb. 16



Akustisch wirksamer Dachhimmel

Fig. 16: Acoustical headliner

Abb. 17



Akustisch wirksame Säulenabsorber

Fig. 17: Acoustical pillar absorber

Abb. 18



Passgenaue Polyurethan- bzw. PE-Formteile zur Abdichtung des Schaltgestänges

Fig. 18: Moulded Polyurethane or PE parts for sealing around the gear lever

werte und hochwirksame Lösung in Form von Flockenbeuteln entwickelt (**Abbildung 15**). Diese können in komprimiertem Zustand in schallführenden Kanälen, in den Ecksäulen von Fahrerhäusern oder in Hohlräumen eingesetzt werden. Zur einfachen Handhabung werden die Flockenbeutel vor dem Einbau komprimiert oder evakuiert angeliefert.

Schallabsorption in der Fahrerkabine

Um auch in der Fahrerkabine den Schalldruckpegel durch akustische Bauteile zu reduzieren, wurden zahlreiche Produkte entwickelt. Wegen ihrer Größe besonders wirksam sind akustische Dachhimmel (**Abbildung 16**). Ein mehrschichtiger Materialaufbau gewährleistet bei diesen thermogeformten Bauteilen eine hohe Absorption in den kritischen Frequenzbereichen des Kabinengeräusches. Ebenfalls akustisch sehr wirkungsvoll sind Säulenabsorber, die auf den Kabinensäulen montiert werden (**Abbildung 17**).

Um den Geräuschpegel im Kabineninnenraum niedrig zu halten, sind Leckagen effektiv zu minimieren, d.h. schalldicht zu gestalten. Beispielhaft sind in **Abbildung 18** Formteile zu sehen, die das Schaltgestänge zur Kabine abdichten. Weitere abzudichtende Stellen befinden sich unter anderem am Lenkrad, am Heiz-Klima-Gerät, in Pedal- und Kabel-Durchbrüchen oder auch im Bereich der Kabinensäulen, der Längs- und der Querträger.

Für die innenseitige Abschottung des Fahrerhauses zum Motorraum wurden Stirnwandisolationen (**Abbildung 19**) entwickelt, deren Aufbau im einfachsten Fall aus einer Polyurethan-Schaumschicht und einer Schwertschicht (Polyurethan oder EPDM) besteht. Im relevanten Frequenzbereich des Motorgeräusches wird so eine sehr hohe Schallisolation erreicht (Doppelwandsystem). Durch eine partielle Massenverteilung der Schwertschicht kann die akustische Wirksamkeit der Stirnwandisolation und gleichzeitig das Bauteilgewicht wesentlich optimiert werden.

Die breitbandigen Geräusche von Klimaanlage (Lüfter- und Strömungsgeräusche) werden üblicherweise durch

Abb. 19



Stirnwand-Abdämpfungen für den Innenraum als Doppelwand-system (Masse-Feder-System)

Fig. 19: Dash panel inner insulation as double wall system (mass-spring-system)

Abb. 20



Klimaanlage, Absorptionspads zur Reduzierung breitbandiger Strömungsgeräusche

Fig. 20: HVAC / Air Conditioning systems: Absorber pads to reduce the air-flow noise

spritzgegossene Rohre in den Innenraum übertragen. Durch die akustische Optimierung der Luftführungen, z. B. durch die quellnahe Einbringung von Kulissen oder Absorption-Pads (**Abbildung 20**) aus Schaumstoff oder PET-Vlies, können die Geräusche erheblich reduziert werden.

In **Abbildung 21** ist beispielhaft der Einfluss eines entwickelten Akustikpakets, das aus verschiedenen Luftschallabsorbieren und Dämmmaßnahmen besteht, auf den Schalldruckpegel im Innenraum eines Fahrzeuges zu sehen. Durch die Akustikmaßnahmen können je nach Produkt signifikante Schalldruckpegelreduzierungen erreicht werden, in manchen Frequenzbereichen bis zu 10 dB(A).

Thermodynamische Produktlösungen für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge

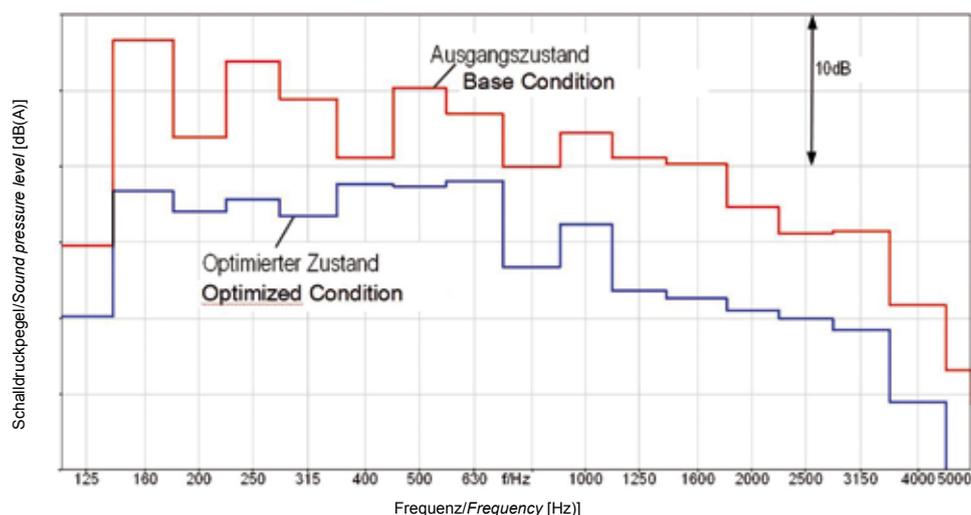
Bei Nutzfahrzeugen in der Landwirtschaft können Maßnahmen zur Steigerung der Motorleistung bzw. steigende Leistungsdichten der Antriebsaggregate zu thermodynamischen Problemen führen. Thermodynamische Optimierungen können in folgenden Bereichen notwendig sein:

- Motorkühlung (Vermeidung der Überhitzung)
- Motorkapselung (Reduzierung von Wärmeverlusten, Effizienzsteigerung des Antriebes)
- Batterie-Wärmemanagement (Schutz vor thermischer Überlastung, insb. bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen)
- Hitzeisolationen (z. B. Abgasstrang)
- Bauteil-Hitzeschutz (z. B. Kunststoff-Bauteile im Motorraum)

Thermische Probleme entstehen meist durch unerwünschte oder unkontrollierte Wärmeübertragung (**Abbildung 22**).

Bei der Wärmeübertragung gilt es drei physikalische Phänomene zu unterscheiden. Bei der „Konvektion“ erfolgt der Wärmeübergang durch eine Luftströmung, die an einem Bauteil vorbeistreicht. Durch gezielte Luftführung, zum Beispiel durch

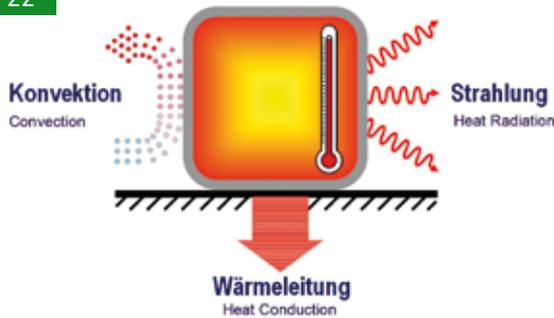
Abb. 21



Beispielhafte Fahrzeugmessung Konstantfahrt, Ausgangszustands vs. Optimierter Zustand (mit Akustikpaket)

Fig. 21: Example of an vehicle measurement at constant speed, base condition vs. optimized condition (with acoustics measures)

Abb. 22



Hitzeschutzbleche zur Reflektion bzw. Schutz vor Strahlungswärme
 Fig. 22: Heat shields for reflection of/protection from radiated heat

Abb. 23



Hitzeschutzbleche zur Reflektion bzw. Schutz von Strahlungswärme
 Fig. 23: Heat shields for reflection of/protection from radiated heat

Abb. 24



Ultradünne Wärmeisolation mit Aluminiumfolie und Glasfaservlies
 Fig. 24: Ultra thin heat insulation with aluminium foil and glass fibre

Abb. 25



Akustisches Bauteil mit aufkaschierter mikroperforierter Aluminiumfolie als Hitzeschutz
 Fig. 25: Acoustic part with micro-perforated aluminium foil for heat protection

Luftleitbleche, lässt sich eine erzwungene Konvektion zur Kühlung oder Erwärmung kritischer Bauteile nutzen. Bei der „Wärmeleitung“ erfolgt der Wärmeübergang an der Kontaktstelle zwischen zwei Bauteilen. Durch das Einbringen eines Isolationsmaterials können Bauteile thermisch entkoppelt werden. Der Wärmeübergang durch „Strahlung“ ist bei Verbrennungsmotoren vor allem im Bereich des Abgasstranges ausgeprägt. Die Strahlung kann durch Reflektoren (Hitzeschutzbleche) an der Ausbreitung nahezu vollständig gehindert werden. Thermisch empfindliche Bauteile, aber auch akustische Absorber, werden durch dünne, oft mikroperforierte Folien aus Aluminium vor Strahlungshitze geschützt.

Bei den nachfolgenden Produktlösungen stehen thermodynamische Anforderungen im Vordergrund. Viele der im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten akustischen Absorber besitzen aufgrund der verwendeten Materialien (Schäume, Vliese) ebenfalls wärmedämmende Eigenschaften.

Da Aluminium im Infrarotbereich einen hohen Reflektionsgrad bzw. eine sehr geringe Emissivität (Wärmeabstrahlung bei Erhitzung) besitzt, eignet sich das Material ideal für Produktlösungen zur Abschirmung von Hitze. **Abbildung 23** zeigt einige typische Beispiele für Aluminium-Wärmeabschirmbleche.

Eine ebenfalls effektive, ultradünne Hitzeisolation besteht aus dünnem Aluminiumblech und wenige Millimeter dickem Glasfaservlies (**Abbildung 24**); sie kann durch Selbstklebung leicht an kritischen Stellen angebracht werden.

In **Abbildung 25** ist ein thermogeformtes Bauteil für den Einsatz im Motorraum zu sehen, das mit einer mikroperforierten Aluminiumfolie als Hitzeschutz versehen ist. Gegenüber einer nicht perforierten Aluminiumfolie bewirkt die Mikroperforation eine in mittleren und hohen Frequenzbereichen viel höhere, breitbandige Schallabsorption.

Ein weiteres Beispiel für einen thermischen Bauteilschutz ist in **Abbildung 26** zu sehen. Hier wird ein Kraftstoffschlauch durch eine PE-Schaumtülle gegen Hitzeeinwirkung geschützt.

Durch die Elektrifizierung von Aggregaten und Antrieben können zahlreiche neue thermodynamische Probleme erwach-

Abb. 26



Kraftstoffschlauch mit PE-Schaumtülle zur Wärmeisolation
 Fig. 26: Fuel filler pipe with PE foam jacket for thermal isolation

Abb. 27



Vakuumgezogene Batterie-Isolation als Überhitzungsschutz
 Fig. 27: Vacuum formed PE Foam battery insulation to protect against overheating

sen. Zum Schutze von Hochleistungsbatterien gegen temporäre Überhitzung, z. B. nach längerer Fahrt unter Volllast und plötzlichem Stillstand, werden vakuumgezogene Isolationen aus PE-Schaum verwendet werden (**Abbildung 27**). Auch bei der akustischen Kapselung von Schall emittierenden Komponenten besteht leicht die Möglichkeit der Überhitzung.

Schlussfolgerungen

Die akustische und thermodynamische Optimierung landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge ist vor allem durch die extremen Einsatzbedingungen wie dem Betrieb auf dem Feld anspruchsvoll. Um den akustischen Komfort in Fahrerkabinen von Traktoren, Häckslern oder Mähdreschern zu erhöhen, lassen sich nur durch einen interdisziplinären Ansatz hochwertige Ergebnisse erzielen. Dazu müssen maßgeschneiderte funktionale Bauteile entwickelt werden. Bei thermischen Belastungen im motornahen Bereich oder bei Batteriesystemen sind Speziallösungen erforderlich, um Bauteile vor Wärmeleitung oder Strahlung zu schützen. Für jeden Anwendungsfall müssen sowohl Materialien als auch Fertigungstechnologien entsprechend der Aufgabenstellung optimal kombiniert werden, um hinsichtlich Funktion, Kosten und Gewicht ideale Produktlösungen zu erreichen.

Autoren

Dr.-Ing. Hans-Joachim Raida leitet den Bereich Akustik und Thermodynamik bei Carcoustics TechConsult GmbH, **Dr. rer. nat. Paul Schoenzart** leitet das Zentrallabor bei Carcoustics TechConsult GmbH und **Dipl.-Ing. (FH) MBM Ingo Jendrek** arbeitet als Sales Manager Industrial Solutions Bau- und Landmaschinen bei Carcoustics Shared Services GmbH, Neuenkamp 8, 51381 Leverkusen, E-Mail: ijendrek@carcoustics.com