Akustische Konzepte und Sekundärmaßnahmen von Staubsaugern

Friederike Heuer[1], Ibrahim Jamaladin[2]

[1] *Carcoustics TechConsult GmbH, 51381 Leverkusen, E-Mail: fheuer@carcoustics.com*
[2] *Universität Siegen, 57076 Siegen, E-Mail: ibrahim.jamaladin@student.uni-siegen.de*

Motivation

Die Anforderungen der Endverbraucher an industrielle Produkte sind in den vergangenen Jahren stetig gestiegen. Dies trifft im Haushaltsgeräte- und Industriebereich auch für die Staubsauger zu, bei denen neben der Energieeffizienz auch die Akustik in der Produktentwicklung im Vordergrund steht. So wird dem Verbraucher über das abgestrahlte Geräusch ein Eindruck sowohl über die Leistung als auch die Qualität des Produktes vermittelt, es ist jedoch ebenfalls im Hinblick auf Komfortaspekte zu optimieren. Die akustische Optimierung erfordert häufig auch konzeptionelle Betrachtungen in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses, damit auch strömungstechnische und energetische Gesichtspunkte ausreichend berücksichtigt werden.

Im Rahmen einer umfassenden Benchmarking-Studie wurden zahlreiche kommerziell erhältliche Staubsaugermodelle untersucht. Die Geräte wurden hinsichtlich ihres strukturellen Aufbaus bzw. akustischen Grundkonzeptes sowie im Hinblick auf die verwendeten akustischen und strömungstechnischen Sekundärmaßnahmen analysiert und miteinander verglichen. Neben der Bestimmung des Schallleistungspegels wurden hierzu auch energetische und strömungstechnische Messungen durchgeführt. Psychoakustische Betrachtungen zur Geräuschqualität in verschiedenen Betriebsmodi waren ebenfalls Gegenstand der Untersuchung.

Im vorliegenden Beitrag werden einige ausgewählte Ergebnisse und abgeleitete Erkenntnisse der Studie vorgestellt.

Inhalt der Studie

Inhalt der Studie war der Vergleich von acht verschiedenen Staubsaugermodellen von vier Staubsaugerherstellern. Betrachtet wurden ausschließlich Beutelstaubsauger. Folgende zwei Modelle des jeweiligen Herstellers wurden ausgewählt:

- Premiumgerät,
- meistverkauftes Gerät.

Diese Auswahl ermöglicht Rückschlüsse auf den Einfluss der Preisklasse auf die akustischen und strömungstechnischen Eigenschaften sowie die eingesetzten Sekundärmaßnahmen.

Neben der Bestimmung des Schallleistungspegels nach dem Hüllflächenverfahren gemäß DIN EN ISO 3744 [1] in einem reflexionsarmen Raum wurden psychoakustische und strömungstechnische Messungen sowie Leistungsmessungen durchgeführt.

Die acht Staubsauger wurden unter folgenden Gesichtspunkten miteinander verglichen:

- Grundkonzept, Luftführung,
- Wirkung der Teilschallquellen auf den Gesamtschallleistungspegel,
- Geräuschentwicklung auf verschiedenen Untergründen,
- Ausführung der Motor-Gebläse-Lagerung,
- verwendete Sekundärmaßnahmen und deren Wirkung auf Geräusch und Strömung,
- Optimierungspotential im Hinblick auf die Sekundärmaßnahmen.

Teilschallquellen eines Staubsaugers

Die folgende Grafik zeigt den generellen Aufbau eines Beutelstaubsaugers.

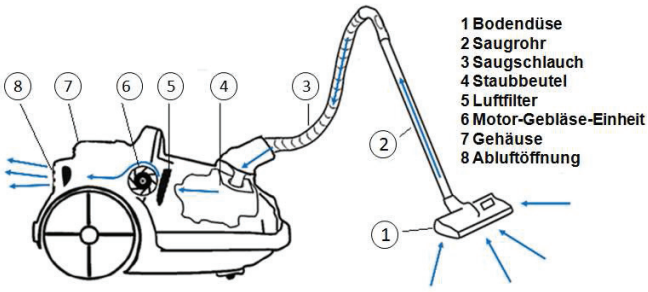

Abbildung 1: Aufbau eines Beutelstaubsaugers.

Die Geräuscherzeugung erfolgt durch die Motor-Gebläse-Einheit, die den Luftstrom zur Aufnahme des Luft-Staub-Gemisches erzeugt. Dabei entstehen Strömungsgeräusche am Gebläse selbst, an der Bodendüse, im Luftkanal und an der Abluftöffnung. Der durch die Motor-Gebläse-Einheit erzeugte Körperschall wird je nach Lagerung auf das Gehäuse übertragen und von dort abgestrahlt.

Vereinfacht lässt sich der Staubsauger in vier Teilschallquellen einteilen, die eine direkte Schallabstrahlung in die Umgebung verursachen:

- Bodendüse,
- Schlauch und Rohr,
- Gehäuse,
- Abluftöffnung.

Die Abbildung 2 zeigt die Lokalisation dieser Teilschallquellen.

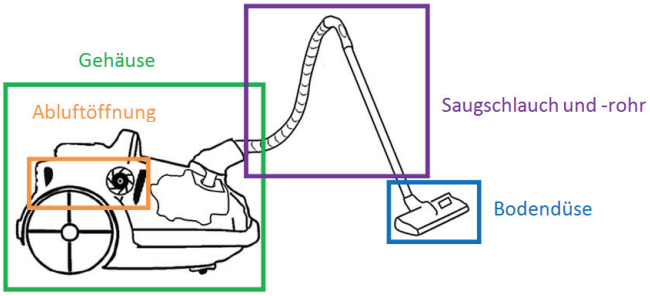

Abbildung 2: Teilschallquellen eines Staubsaugers.

Untersuchungsergebnisse

Teilschallquellen und Bodenbeschaffenheit

Durch gezielte Kapselungen der Teilschallquellen wurde deren Einfluss auf den Gesamtschallleistungspegel erfasst, der aus der folgenden Abbildung 3 hervorgeht.

Gemessen wurde hierbei nicht nur auf dem in der Norm DIN EN 60704-2-1 [2] vorgeschriebenen Teppichboden, sondern auch auf einem Hartboden, der durch eine Holzplatte simuliert wurde.

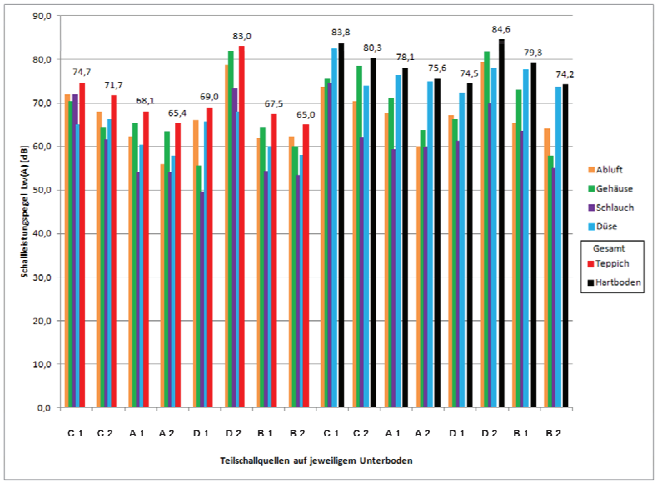

Abbildung 3: Einfluss der vier Teilschallquellen auf den Gesamtschallleistungspegel auf Teppich- und Hartboden.

Erwartungsgemäß erhöht sich bei allen Staubsaugern der Gesamtschallleistungspegel auf dem Hartboden gegenüber dem Teppichboden. Dies ist einerseits durch die Absorptionswirkung des Teppichs, andererseits durch die veränderte Strömung im Bereich der Bodendüse zu erklären.

Des Weiteren lässt sich keine allgemein gültige Verteilung der Geräuschanteile der Teilschallquellen ableiten. Die Geräte A.2 und D.2 zeichnen sich durch einen hohen Geräuschanteil des Gehäuses aus, während beispielsweise bei dem Gerät D.1 die Abluftöffnung und die Bodendüse dominant sind.

Auf Hartboden tritt bei vielen Geräten die Bodendüse in den Vordergrund.

Spektral ergeben sich die in Abbildung 4 erkennbaren Unterschiede des Geräuschverhaltens in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit.

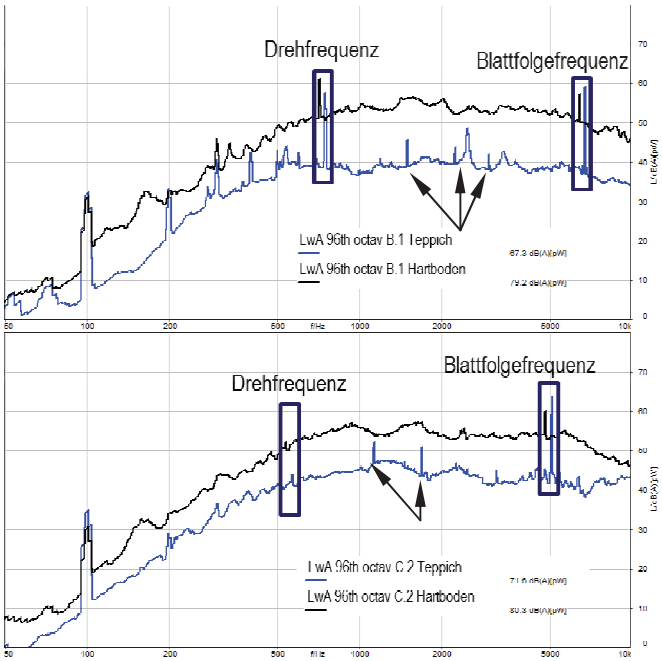

Abbildung 4: Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf den Schallleistungspegel in 96-tel-Oktav-Darstellung am Beispiel der Geräte B.1 und C.2.

Einige tonale Komponenten des Signals werden auf dem Hartboden durch ein erhöhtes Rauschen verdeckt. Die beiden dominanten Frequenzen verhalten sich unterschiedlich: die Drehfrequenz weist auf Hartboden einen höheren Pegel auf, während sich die Blattfolgefrequenz bei den beiden dargestellten Geräten reduziert.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Bodenbeschaffenheit sich deutlich auf das Geräuschverhalten der Staubsauger auswirkt.

Akustische Sekundärmaßnahmen

Die vorgefundenen akustischen Sekundärmaßnahmen lassen sich in vier bei allen Geräten vorgefundene Gruppen einteilen:

- Zweiteilige Motorlagerung,
- Motorkapsel, teilweise als Zusatzbauteil zur Erzeugung von Luftumlenkungen ausgeführt,
- Absorber im Bereich der Motor-Gebläse-Einheit,
- Materialien im Ausblasbereich.

Obwohl die Geräte Gemeinsamkeiten bezüglich der grundsätzlich verwendeten Sekundärmaßnahmen aufweisen, liegen in Bezug auf die eingesetzten Materialien und Ausführungsformen deutliche qualitative und quantitative Unterschiede vor. Geräte desselben Herstellers weisen hier Parallelen auf, wobei ein Einfluss der Preisklasse auf Material und Fertigungstechnologie in den meisten Fällen erkennbar ist.

Um den akustischen Einfluss der eingesetzten Maßnahmen festzustellen, wurden Messungen sowohl im Serienzustand

als auch im modifizierten Zustand ohne Sekundärmaßnahmen durchgeführt. Hierbei waren die für die Funktion des Staubsaugers notwendigen Bauteile wie Motorlager und -kapseln nach wie vor eingebaut. Absorber und Filtermaterialien im Ausblasbereich wurden demontiert. Die Ergebnisse sowohl für Teppich- als auch Hartboden sind der Abbildung 5 zu entnehmen.

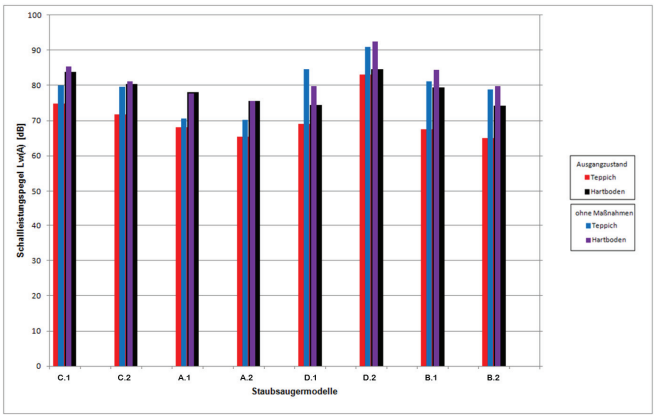

Abbildung 5: Einfluss der Sekundärmaßnahmen auf den Gesamtschallleistungspegel auf Teppich- und Hartboden.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Sekundärmaßnahmen auf dem Teppichboden einen deutlich größeren Einfluss auf den Gesamtschallleistungspegel haben als auf Hartboden. Bei den Geräten A.1 und A.2 zeigen die Maßnahmen auf dem Hartboden gar keine Wirkung.

Anhand des Beispiels A.1 wird dieses Phänomen im Folgenden näher betrachtet.

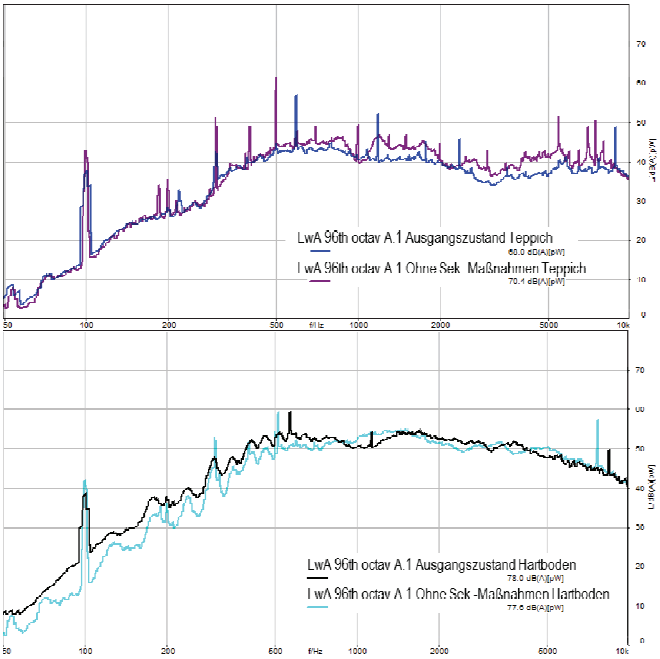

Abbildung 6: Einfluss der Sekundärmaßnahmen auf den Gesamtschallleistungspegel des Gerätes A.1 auf Teppich- (oben) und Hartboden (unten).

Zu beobachten ist, dass auf dem Teppichboden zwar eine Senkung des Schallleistungspegels um ca. 2 dB durch die Sekundärmaßnahmen erfolgt, die tonalen Anteile jedoch weniger stark beeinflusst werden als die rauschartigen Anteile. Eine tonale Komponente oberhalb von 1 kHz wird nach Entfall der Sekundärmaßnahmen sogar leicht gesenkt.

Auf Hartboden stellt sich nur eine sehr geringe Änderung des Schallleistungspegels ein, was vermutlich auf den großen Einfluss der Bodendüse zurückzuführen ist. Außerdem fällt hier eine Zunahme des tieffrequenten Rauschens durch die Sekundärmaßnahmen auf. Einen möglichen Grund hierfür stellt der erhöhte Strömungswiderstand dar.

Psychoakustische Untersuchungen

Um auch die subjektive Wahrnehmung der Geräusche in die Studie einzubeziehen, wurden Kunstkopfmessungen in Bedienerposition durchgeführt und die Ergebnisse auf die folgenden psychoakustischen Parameter hin ausgewertet:

- Lautheit nach DIN 45631 [3],
- Tonhaltigkeit nach DIN 45681 [4],
- Schärfe nach Aures,
- Schärfe nach von Bismarck.

Beispielhaft sind in Abbildung 7 die Ergebnisse für die Lautheit und die Schärfe (von Bismarck) dargestellt. Dabei werden erneut die beiden Zustände mit und ohne Sekundärmaßnahmen unterschieden. Die Messungen fanden auf Teppichboden statt.

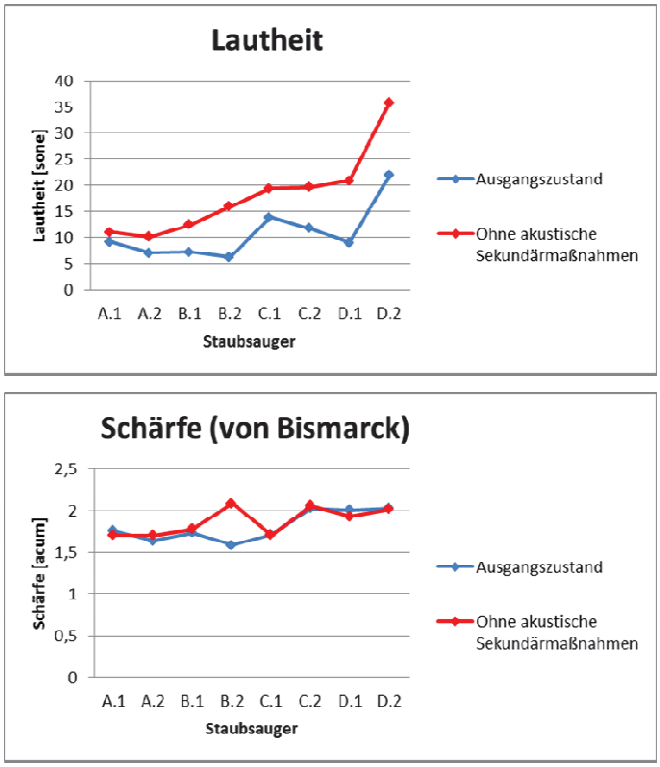

Abbildung 7: Einfluss der Sekundärmaßnahmen auf die Lautheit und die Schärfe auf Teppichboden.

Wie zu erwarten war, steigt die Lautheit durch den Entfall der Sekundärmaßnahmen bei allen Geräten an. Bei den Geräten A.1 und A.2 ist dieser Anstieg jedoch nur sehr gering, was die Effektivität der Sekundärmaßnahmen in Frage stellt.

In Bezug auf die Schärfe sind bei den meisten Modellen keine Änderungen feststellbar. Lediglich das Gerät B.2 weist eine durch die Zusatzbauteile deutlich gesenkte Schärfe auf.

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Psychoakustik in der Staubsaugerentwicklung bisher keine große Rolle spielt. Um ein kraftvolles aber angenehmes Geräusch zu erhalten, sollte die Reduzierung der Schärfe angestrebt werden.

Optimierungsansätze

Die Optimierung von Staubsaugergeräuschen sollte zum Ziel haben, die tonalen Komponenten zu senken und dabei eine möglichst geringe Erhöhung des Strömungswiderstandes zu verursachen. Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, stellt das Staubsaugergehäuse bei vielen Geräten die dominante Schallquelle dar. Ein Grund dafür kann die unzureichende Entkopplung der Motor-Gebläse-Einheit von den umliegenden Bauteilen sein.

Eine Erzeugung tonaler Komponenten kann neben dem Gebläse auch im Luftkanal geschehen, wenn es scharfkantige Wandungen oder Engstellen gibt, an denen Wirbelablösungen entstehen.

Die Hauptansatzpunkte für die Optimierungen waren deshalb

- das Motor-Gebläse-Lager und
- die Luftführung im Bereich der Motorkapsel.

Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist es außerdem vorteilhaft, möglichst wenige Zusatzbauteile, wie beispielsweise Absorber, zu verwenden. Durch eine gezielte Materialauswahl im Bereich der Motorkapsel kann unter Umständen auf andere absorbierende Bauteile verzichtet werden, die häufig zu einer Erhöhung des Strömungswiderstandes beitragen.

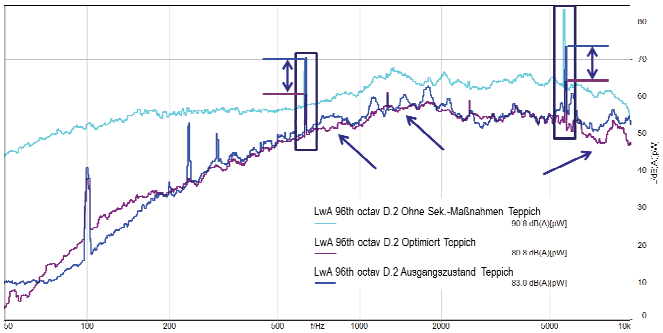

Abbildung 8: Gerät D.2 auf Teppichboden ohne und mit Sekundärmaßnahmen sowie im optimierten Zustand.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse einer auf diese Weise durchgeführten Optimierung zu sehen. Erkennbar ist eine deutliche Reduzierung der tonalen Komponenten (Drehfrequenz und Blattfolgefrequenz) und eine Glättung des Spektrums zwischen diesen beiden Frequenzen. Das Resultat war ein deutlich angenehmeres Betriebsgeräusch mit einem um über 2 dB geringeren Schallleistungspegel. Zusätzliche absorbierende Bauteile konnten entfallen.

Eine Überprüfung der Saugleistung ergab, dass die hier vorgestellten Sekundärmaßnahmen am Gerät D.2 in Abbildung 8 gleichzeitig zu einer Reduzierung des Strömungswiderstandes im Vergleich zum Serienzustand und damit zu einer Optimierung der Saugleistung geführt haben.

Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen zeigen, dass die Staubsauger-entwicklung im Bereich der Akustik vor allem auf die Senkung des Schallleistungspegels auf Teppichboden fokussiert ist. Dieser Schallleistungspegel ist Bestandteil des neuen EU-Energielabels und somit in der Lage, direkt auf die Kaufentscheidung des Kunden Einfluss zu nehmen.

Im Interesse des Kunden sollte jedoch auch der Hartboden in die Entwicklung einbezogen werden, um auch hier für angenehmere Geräusche zu sorgen.

Die eingesetzten Sekundärmaßnahmen führen häufig zu einer Senkung der rauschartigen Geräuschanteile, während die tonalen Komponenten oftmals nicht deutlich reduziert werden. Dies führt zu einem sehr tonalen, unangenehmen Geräuschcharakter. Da oftmals die tonalen Anteile pegelbestimmend sind, ist mit den eingebauten Maßnahmen außerdem keine deutliche Senkung des Schallleistungspegels zu erreichen. Zusätzlich zeigt sich eine Erhöhung des Strömungswiderstandes durch die akustischen Bauteile.

Eine gezielte Geräuschoptimierung ist möglich durch eine verbesserte Lagerung der Motor-Gebläse-Einheit in Verbindung mit einer maßgeschneiderten. Motorkapselung, die ebenfalls die Aufgabe der Luftführung übernimmt. Damit können die tonalen Anteile des Geräusches gesenkt werden, was einerseits zu einer Senkung des Schallleistungspegels und andererseits zu einer Erhöhung des Geräuschkomforts führt.

Durch eine gezielte Materialauswahl können Zusatzbauteile entfallen, sodass der Strömungswiderstand reduziert wird.

Gerade im Bereich der Staubsauger hat das „Sounddesign“ einen hohen Stellenwert. Das Ziel ist ein Geräusch, das zwar angenehm, andererseits aber auch kraftvoll klingt. Um dies zu erreichen, sollten psychoakustische Untersuchungen ein fester Bestandteil der Staubsaugerentwicklung werden.

Literatur

[1] DIN EN ISO 3744 „Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen- Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene“

[2] DIN EN 60704-2-1 „Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission Teil 2-1: Besondere Anforderungen an Staubsauger“

[3] DIN 45631 „Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum - Verfahren nach E. Zwicker“

[4] DIN 45681 „Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen“