

Vibroakustische Untersuchungen an aktiven Handprothesen

André Dittrich, M. Ercan Altinsoy, Jürgen Landgraf

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 18, 01062 Dresden
E-Mail: ercan.altinsoy@tu-dresden.de

Einleitung

Moderne Handprothesen sind in der Lage, die natürliche Funktion und Beweglichkeit teilweise naturgetreu durch entsprechende Mechanismen, elektrische Antriebe und Stellelemente nachzubilden. Diese erzeugen unnatürliche, technische Geräusche, welche das Fremdkörpergefühl für den Patienten verstärken können und ggf. zu einer Minderbenutzung der Prothese führen kann, was den ungünstigsten Fall aus physiologischer Sicht darstellt.

Die typischen Geräusche variieren mit Typ und Bauart der Prothese, sowie der Bewegungsform und Geschwindigkeit. Sie resultieren im Allgemeinen aus der Überlagerung und Weiterleitung der Geräusche der Einzelkomponenten. Insbesondere Antriebs- bzw. Servomotoren werden als wesentliche Geräuschquellen angesehen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde bei einer Prothese eine Transferpfadanalyse vorgenommen. Zuerst wurde die Schallentstehung am Motor analysiert. Anschließend wurden sowohl Luft- als auch Körperschallmessungen durchgeführt, um die Übertragungswege und das Schallabstrahlungsverhalten der Prothese zu charakterisieren.

Um eine Abschätzung der akustischen Anforderungen an eine Prothese zu erlangen, wurde eine Patientenbefragung zur vorhandenen Geräuschwahrnehmung, sowie zur persönlichen Erwartungshaltung an das Geräuschverhalten der Prothese durchgeführt. Zusätzlich wurden die synthetisch erzeugten Geräusche bezüglich der Feedbacktauglichkeit und der Angenehmheit bewertet. Die Ergebnisse stellen eine Grundlage für konstruktive Veränderungen zukünftiger Prothesen zugunsten der Angenehmheit der Geräusche dar.

Anwenderbefragung

Die Wahrnehmung technischer Geräusche einer Handprothese durch die Patienten wird im Rahmen der Arbeit erstmalig systematisch untersucht. Für eine tendenzielle Abschätzung der Akzeptanz ihrer Prothese hinsichtlich Geräusche, ist zunächst eine Befragung von Anwendern notwendig. Die Ergebnisse sollen es ermöglichen, ein Anforderungsprofil an die Geräuscheigenschaften der Prothese zu erstellen.

Die Befragung erfolgt in Form eines schriftlichen Fragebogens. Der Stichprobenumfang umfasst 18 Prothesenträger. Die Anwender sollen Aussagen über die Schallwahrnehmung ihrer eigenen Prothese treffen (z.B. Grad der Unangenehmheit, Geräuschbeschreibung „Einschätzung der Klangcharakteristik“). Es soll untersucht werden, ob und in welchem Umfang der Schall der Prothese eine Feedbackfunktion für die Anwender erfüllt und ob Geräusche generell unerwünscht oder erwünscht sind.

Die Einschätzung des Grades, wie störend der Schall der eigenen Prothese im Alltag wahrgenommen wird, zeigt Abbildung 1. Die Häufigkeit der Antworten erlaubt eine

grafische Interpretation in Form zweier Gruppen: 1) Grad der Störung 1 bis 4: Anwender fühlen sich kaum gestört, 2) Grad der Störung 4 bis 7: Anwender fühlen sich gestört. Es ist zu erkennen, dass Anwender, die den Geräuschcharakter als schleifen oder rasseln beschreiben, ausschließlich zur Gruppe der Anwender gehören, die sich gestört fühlen. Dahingegen gehören die Anwender, die den Geräuschcharakter als summen beschreiben, zur Gruppe, die sich kaum gestört fühlen.



Abbildung 1: Eingeschätzter Grad der Störung durch die Geräusche der eigenen Prothese im Alltag.

Eine Handprothese führt Bewegungen wie eine natürliche Hand aus, liefert jedoch keine taktile Rückmeldung an den Patienten. Abbildung 2a zeigt, in welchem Umfang Anwender den Schall der Prothese als Feedback benutzen, das heißt das Schallereignis der Prothese als Rückmeldung dafür nutzen, dass gerade eine Bewegung ausgeführt wird. Es ist ersichtlich, dass für mehr als die Hälfte der Befragten (56%) das Geräusch zumindest eine Feedbackfunktion erfüllt. Abbildung 2b stellt dar, in welcher Weise die Prothese vom Anwender kontrolliert wird, das heißt über welche Hilfswege die taktile Wahrnehmung ersetzt wird. Das Ergebnis der zuvor beschriebenen Befragung nach der Feedbackfunktion des Schalls ist insofern bestätigt, da 56% der Befragten das Schallereignis zur Wahrnehmung nutzen. Die primäre Wahrnehmung erfolgt mit den Augen (67%). Das Verlassen auf die Steuerung (44%) und das Vibrationsgefühl (22%) werden hingegen seltener als der Schall genutzt.

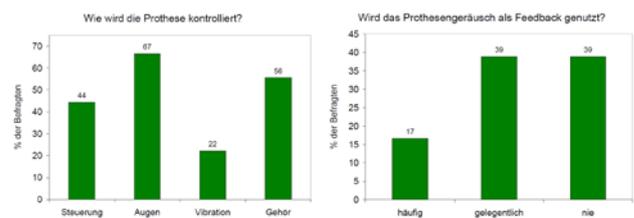


Abbildung 2: links: Einschätzung, auf welche Weise die Prothese kontrolliert wird. rechts: Eingeschätzter Grad der Störung durch die Geräusche der eigenen Prothese im Alltag.

Transferpfadanalyse

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zuerst die Schallentstehung am Motor und an den Komponenten der Handmechanik analysiert. Anschließend wurden sowohl Luft- als auch Körperschallmessungen durchgeführt, um die Übertragungswege und das Schallabstrahlungsverhalten der Prothese zu charakterisieren. Die vibroakustische Übertragungsstrecke der Prothese ist schematisch in der Abbildung 3 dargestellt. Der Motor ist als eine wesentliche Schallquelle der Handprothese anzusehen. Das Anregungsspektrum des Motors besteht aus der Grundfrequenz der Drehzahl von 250 Hz und den Oberwellen (500 Hz, 750 Hz und 1000 Hz). Die Impulsantwort des demontierten Motorgehäuses zeigt Eigenfrequenzen bei 2.3 kHz, 4.7 kHz bis 5.2 kHz, sowie 13 kHz. Bürstengeräusche, Lagergeräusche oder aerodynamische Anteile verursachen unterschiedliche tonale und breitbandige Komponenten im Frequenzbereich von 8 bis 16 kHz.

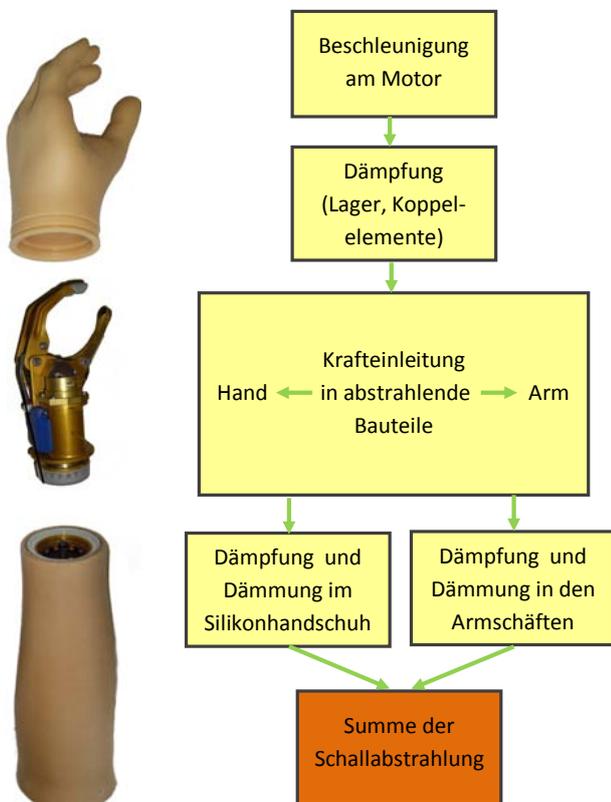


Abbildung 3: Vibroakustische Übertragungsstrecke der Prothese

Für eine qualitative Bestimmung des Übertragungsverhaltens der vollständigen Prothesenstruktur soll deshalb die Anregung mit einer standardmäßigen Antriebseinheit erfolgen. Die Handmechanik ist durch Trennen der Kegelzahnrad von Antrieb entkoppelt. Somit ist es möglich, durch einen Spannungssweep von null Volt bis 18 Volt an der Antriebseinheit einen Drehzahlssweep zu durchlaufen.

Die Untersuchungen zeigen, dass der Silikonhandschuh eine Tiefpasswirkung hat (20 Hz pro Dekade, Eckfrequenz: 1000 Hz). Es ist jedoch auch zu erkennen, dass der Handschuh nahezu keinen Einfluss auf niedrigere Fre-

quenzen besitzt, da hier eine erhebliche Abstrahlung über den Schaft erfolgt. Der Körperschall der Handmechanik, welcher weitestgehend unbeeinflusst vom Silikonhandschuh ist, wird in die Struktur des Prothesenschaftes eingeleitet und regt diesen zu Schwingungen an. Aufgrund seiner Geometrie, die einer Trichterform in den Ausmaßen eines menschlichen Unterarmes entspricht, besitzt der Schaft vergleichsweise tiefe und breit gestreute Eigenfrequenzen und verstärkt somit tieffrequenten Schall. Für hochfrequenten Schall bietet der Schaft hingegen eine große Abstrahlungsfläche. Eine Einleitung von Frequenzen über 6.000 Hertz erfolgt offensichtlich nicht.

Um den Einfluss der Komponenten der Handprothese zu untersuchen, sind speziell gefilterte Prothesengeräusche hinsichtlich ihrer Angenehmheit zu bewerten. Bei der Befragung nach der Angenehmheit wurde eine quasi-kontinuierliche Rohmann-Skala benutzt. Die eingeschätzte Angenehmheit der Schallereignisse nach Filterung einzelner Antriebskomponenten für zwei unterschiedliche Motoren (M1 und M2) stellt Abbildung 4 dar. Die Prothesenträger haben den Motor M1 laut und heulend wahrgenommen. Der Motor M2 wurde stark kratzend wahrgenommen.

Anhand des Testmotors M1 zeigt sich, dass die Filterung des Schalls drehzahlabhängiger Frequenzen sowohl des Motors als auch der Handmechanik zur Angenehmheit des Schallereignisses beitragen. Schallanteile des kleinen Zahnrades leisten keinen eindeutig nachweisbaren Beitrag. Die Anteile der Kegelzahnrad vermitteln einen besonders technischen getriebeartigen Eindruck, welcher vermutlich als unangenehm im Kontext der Prothese wahrgenommen wird.

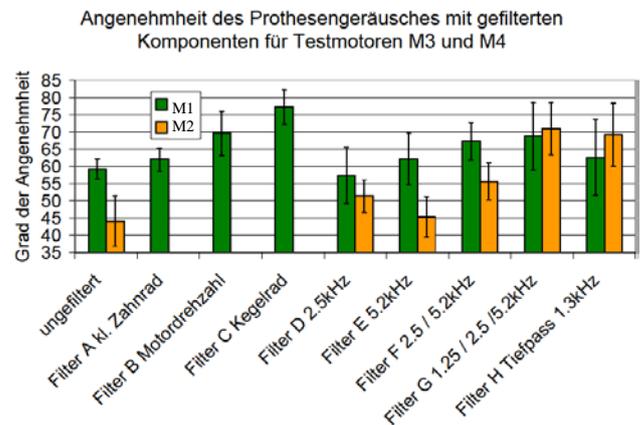


Abbildung 4: Eingeschätzte Angenehmheit des Prothesenschalls mit Motor M1 und M2.

Für Testmotor M2 erhöht sich die Angenehmheit des Schalls bei der Filterung einzelner Frequenzbänder deutlich. Die hohen Frequenzen beeinflussen die Wahrnehmung sehr stark und verursachen die Unangenehmheit.

Ergebnisse

Technische Maßnahmen zur systematischen Erhöhung der Angenehmheit des Schalls sind folglich die Schallverringern der Zahnräder, beispielsweise durch Dämmung oder geeignete Materialwahl, sowie die Dämmung oder Verschiebung der Eigenfrequenzen des Motors.