



Die Duplex-Theorie von Lord Rayleigh

Nach: <http://de.wikipedia.org/wiki/Duplex-Theorie>

UdK Berlin
Sengpiel
04.2008
NH

Die Duplex-Theorie der Richtungslokalisierung wurde 1907 von John William Strutt (1842 bis 1919) eingeführt, der auch Sir Rayleigh oder 3. Baron Rayleigh genannt wurde. ([Duplex Theory of Sound Localization](#)). Diese Theorie trägt wesentlich zum Verstehen des Vorgangs beim "natürlichen Hören" des Menschen bei. In Deutschland ist dieser Forscher auch unter dem Namen "Lord Rayleigh" bekannt. 1904 wurde ihm der Nobelpreis für Physik für seine Untersuchungen über die Dichte der wichtigsten Gase und der Entdeckung des Edelgases Argon zuerkannt.

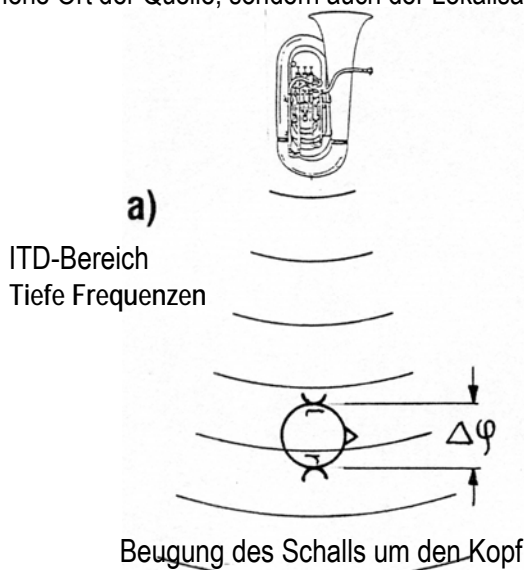
Strutt beobachtete, dass bei Schallwellen mit kleiner Wellenlänge im Vergleich zum Ohrabstand der Kopf eine Abschattung des Schalls bewirkt, so dass der Schalldruckpegel an dem der Schallquelle zugewandten (= ipsilateralen) Ohr höher ist, als am abgewandten (= kontralateralen) Ohr. Das bedeutet, dass eine interaurale Pegeldifferenz (interaural level difference *ILD*) entsteht. Außerdem bewirken der unterschiedliche Abstand zwischen Schallquelle und ipsi- bzw. kontralateralem Ohr eine interaurale Laufzeitdifferenz - (interaural time difference *ITD*). Er konnte demonstrieren, dass die *ITDs* besonders bei tiefen Frequenzen wirksam werden; wobei die *ILDs* im tiefen Frequenzbereich vernachlässigbar sind. Es ist die sehr einfache Erkenntnis, dass die inter-auralen Laufzeitdifferenzen *ITD* bei Frequenzen unterhalb 800 Hz bei der Richtungslokalisierung als Ohrsignale bedeutsam sind, während dort allein die interauralen Pegeldifferenzen *ILD* bei Frequenzen oberhalb von 1600 Hz wirksam sind.

Wir benutzen also zwei Sondierungs-Phänomene gleichzeitig in verschiedenen Frequenzbereichen. Dieses muss jedoch nicht unbedingt beim Hören der künstlichen Lautsprecherstereofonie zutreffen.

Menschen können eine Schallquelle lokalisieren, selbst wenn eine einseitige Hörbehinderung besteht. Die Duplextheorie hilft nicht bei der Unterscheidung, ob sich eine Schallquelle direkt vor oder hinter einer Person befindet, was als sogenannte "Vorne-Hinten-Vertauschung" bekannt ist, da die Werte für *ITD* und *ILD* im idealen Fall null sind. Eine Schallquelle, die sich auf der Oberfläche eines Kegels auf der interauralen Mittelachse befindet, (bekannt als der Kegel der Verwirrung) hat identische *ITD*-Werte. Erst die Erkenntnisse von den speziellen Filtereffekten, die durch die Ohrmuscheln herbeigeführt werden, brachten den Durchbruch in der Erklärung der menschlichen Gehörlokalisierung. Diese Filtereffekte haben sich in der Literatur langsam zu den kopfbezogenen Übertragungsfunktionen (HRTF oder Ohrsignale) entwickelt und beinhalten verschiedene Schalllokalisationsmerkmale einschließlich von *ITD* und *ILD*, sowie den Änderungen in der spektralen Zusammensetzung (Spektraldifferenzen) des einen Zuhörer erreichenden Klangs.

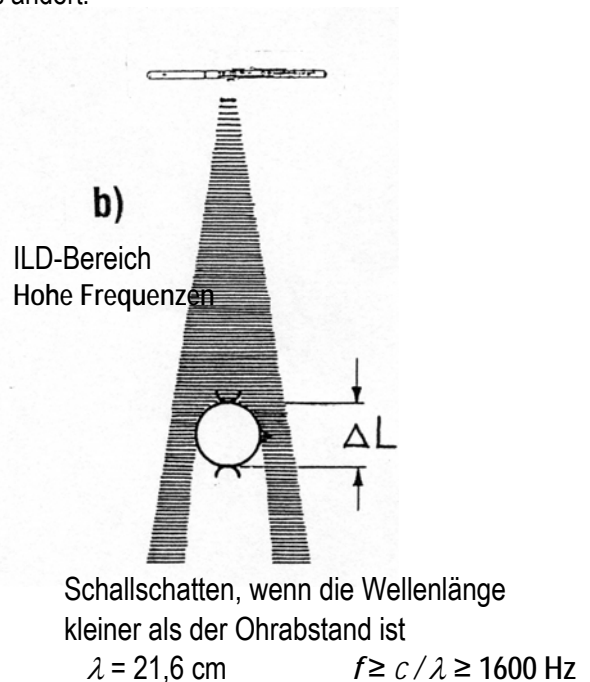
Der Bereich zwischen 800 Hz und 1600 Hz – also zwischen den beiden Duplex-Bereichen – liegt genau im Blauertschen Hintenband, was bei Anheben der Frequenzen nahe um 1 kHz einen diffusen, entfernten und räumlichen Klang ergibt. Das ist das Gegenteil von einem "Badewannenfilter".

In einer Studie konnten Wightman und Kistler 1992 nachweisen, dass die *ITD* für breitbandigen Schall die lokalisierte Richtung dominieren, wobei die Dominanz von der unteren Grenzfrequenz des Schalls abhängt. 2002 bestätigten Macpherson und Middlebrooks die Duplex-Theorie: Sie konnten zeigen, dass die *ILD* im Gegensatz zu den *ITD* auf tiefpassgefiltertes Rauschen kaum, jedoch auf hochpassgefiltertes deutlich dominant wirkten. In Lateralisationsexperimenten (das heißt mit Kopfhörern), bei denen das Hörereignis im Kopf wahrgenommen wird, rufen die *ILD* dagegen für alle Frequenzen Richtungsverschiebungen hervor. Dieses ist ein Hinweis darauf, dass sich mit dem Übergang von der Im-Kopf-Lokalisation zur Externalisation des Richtungsabbilds nicht nur der wahrgenommene Ort der Quelle, sondern auch der Lokalisationsprozess ändert.



$$\Delta \varphi = 2 \pi \cdot f \cdot \Delta t$$

$$\lambda / 2 = 21,6 \text{ cm} \quad f \leq c / \lambda \leq 800 \text{ Hz}$$



$$\lambda = 21,6 \text{ cm} \quad f \geq c / \lambda \geq 1600 \text{ Hz}$$