

Das Hörmodell nach Alfred Tomatis und die Untersuchung sprachspezifischer Spektraleigenschaften von Deutsch, Englisch und Französisch

Diplomarbeit

von

Andrea Sereinig



Institut für Breitbandkommunikation (IBK)

Vorstand: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Kubin

Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation (SPSC)

Vorstand: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Kubin

In Zusammenarbeit mit



Institut für Anglistik (Angl.)

Begutachter: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Graber (IBK)

Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Feldbauer (SPSC)

Betreuerin: Mag. Dr.phil. Ingrid Pfandl-Buchegger (Angl.)

Graz, Juni 2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am
.....
(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date
.....
(signature)

Danksagung

Zuallererst möchte ich Herrn Prof. Gerhard Graber danken. Er hat mich auf dieses herausfordernde Thema gebracht, mich angespornt über meine Grenzen hinaus zu denken und mir mit Rat und Tat stets geholfen. Mein ganz besonderer Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. Christian Feldbauer. Wann immer ich in der Arbeit nicht weiterkam oder eine frische Idee brauchte nahm er sich Zeit für mich, um mir zu helfen, auch wenn er eigentlich gar keine Zeit dafür hatte. Ich möchte mich ebenfalls bei Frau Dr. Ingrid Pfandl-Buchegger bedanken, weil sie immer bemüht war mich mit Informationen und Anregungen zu versorgen. Weiters möchte ich noch Herrn Dr. Stefan Petrik für seine Bemühungen um die Segmentierung meiner Datenbank danken.

Mein herzlicher Dank geht auch an meine beiden Brüder: Roman, weil er mich immer unterstützt hat, wenn ich Hilfe brauchte, und Martin, weil wir uns, durch Dick und Dünn gegangen, immer noch gut verstehen. Auch meinem Opa, Herrn Josef Sereinig, danke ich einfach deshalb, weil er so ist, wie er ist. Ich möchte an dieser Stelle von Herzen auch meinem Markus danken. Der Platz auf dieser Seite reicht bei weitem nicht aus, um mit Worten auszudrücken, wie sehr mir Deine Liebe und Unterstützung geholfen haben. Zusätzlich möchte ich noch folgenden Personen meinen Dank aussprechen: Margherita Jammer, Sabrina Seidler, Jovita Tatschl und Claudia Uschounig. Ihr selber wisst am besten, was ihr alles für mich getan habt.

Zuletzt, aber umso herzlicher und inniger, bedanke ich mich bei meinen Eltern Danica und Wolfgang. Ohne Euch wäre mein Studium moralisch und auch finanziell um so Vieles schwieriger gewesen! Ihr habt an mich geglaubt, mir stets geholfen wo ihr nur konntet, mit mir mitgelitten und euch mit mir gefreut.

DANKE!

Kurzfassung

Alfred Tomatis, ein französischer HNO Arzt in der Nachkriegszeit, begann bereits früh in seiner Karriere sich mit dem Hören und dessen Zusammenhang mit der Psyche zu beschäftigen. Im Zuge seiner weitläufigen Arbeit entdeckte er unter anderem, dass jede Sprache eine korrespondierende „ethnische“ Hörweise besitzt. Er formulierte die Hypothese der sogenannten „Sprachethnogramme“, welche die jeweiligen, für die Sprachen, charakteristischen Frequenzbereiche angeben und die beim Erlernen einer Fremdsprache eine wichtige Rolle spielen. Auf dieser Grundlage entwickelte er auch eine Trainingsmethode. Es gibt empirische Daten von Versuchsreihen, wonach mit der Tomatis-Methode das Erlernen von Fremdsprachen um bis zu 50% schneller möglich ist.

In der vorliegenden Diplomarbeit geht es im ersten Teil darum, die Ansichten und Erkenntnisse von Tomatis zusammenzufassen, seine Theorien vorzustellen sowie dessen Arbeitsmethoden zu beschreiben. Weiters werden die Erkenntnisse von Tomatis den Lehren der klassischen Medizin gegenübergestellt und anschließend miteinander verglichen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die unterschiedlichen Ansichten zur Theorie der Schallweiterleitung im menschlichen Ohr gelegt.

Im zweiten Teil der Arbeit wird weiters versucht, eine Evaluierung der von Tomatis publizierten „Sprachethnogramme“ vorzunehmen. Da die Erstellung von Tomatis' „Ethnogrammen“ nicht nachvollziehbar ist, wird ein eigenständiger Vergleich von Spektralkurven von Deutsch, Englisch und Französisch erarbeitet, um so deren Unterschiede zu ermitteln und darzustellen.

Die Auswertung der Kurven zeigt, dass Unterschiede in den verglichenen Spektren sehr wohl zu finden sind. Ein Vergleich mit den „Ethnogrammen“ von Tomatis kann schlussendlich aufgrund methodischer Unterschiede nicht gemacht werden.

Abstract

Alfred Tomatis, a French ENT doctor in the post-war period, started to occupy himself already early in his career with hearing and its connection to the human mind. In the course of his extensive work he discovered, among other things, that each language can be described by a corresponding so-called “speech ethnogram”, which indicates the language’s characteristic frequency range and plays an important role when learning a foreign language. Based on these findings, he also developed a special method of training. Empiric data gained from experimental series show that by utilising the Tomatis-Method, foreign languages can be learned up to 50% faster.

The first part of the diploma thesis at hand comprises a summary of Tomatis’ agenda and findings, a presentation of his theories as well as a description of his working methods. Furthermore the teachings of the classical medicine are opposed to those of Tomatis and the two subsequently compared to each other. In this matter, special attention is given to the differing views on the theory of sonic forwarding in the human ear.

The second part of this work takes up the evaluation of the above described “speech ethnograms”. Since Tomatis’ “ethnograms” are in no way reproducible, an independent comparison of the spectral curves of German, English and French is being developed in order to determine and depict their differences.

Evaluating the graphs definitely shows differences in the compared spectra. Eventually, a comparison could not be made between the calculated graphs and Tomatis’ ”ethnograms” for methodical discrepancies.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Zielsetzung	1
1.2	Inhalt	2
2	Die Tomatis–Methode im Vergleich zur klassischen Medizin	4
2.1	Biographisches	4
2.2	Das auditorische und vestibuläre System.....	6
2.2.1	Ontogenese	6
2.2.2	Anatomie	11
2.2.3	Physiologie	15
2.2.4	Abweichungen durch den Ansatz von Tomatis.....	20
2.3	Der Tomatis-Effekt	22
2.3.1	Das Elektronische Ohr.....	23
2.3.1.1	Entwicklung des Elektronischen Ohrs	23
2.3.1.2	Der Tomatis AudioPro	25
2.3.2	Der Sound Perception Trainer	30
2.3.2.1	Das SPT-Labo	31
2.4	Lateralität und Hemisphärendominanz	32
2.4.1	Lateralität in der klassischen Medizin.....	32
2.4.2	Lateralität bei Tomatis.....	35
2.5	Die Hörtests im Vergleich.....	37
2.5.1	Der klassische Hörtest	37
2.5.2	Der Tomatis-Hörtest („Le test d’écoute“).....	39
2.6	„Die vier Schlüssel zu den Sprachen“.....	43
2.6.1	Die Passbänder („Les bandes passantes“)	43
2.6.2	Die ethnischen Hüllkurven („Les courbes d’enveloppe“).....	44
2.6.3	Die Latenzzeit („Le temps de latence“)	45
2.6.4	Die Präzessionszeit („Le temps de précession“)	46
2.7	Sprachtraining mit der Tomatis-Methode	47
2.7.1	Das Tomatis-Trainingsprogramm und -material	47
2.7.2	Das Audio-Lingua-Trainingsprogramm und –material.....	49

3	Untersuchung der Sprachethnogramme	53
3.1	Methoden.....	53
3.1.1	Die Sprachdatenbank: EUROM_1	54
3.1.2	SAMPA Transkriptionsschrift.....	54
3.1.3	Aufbereitung der Sprachdaten.....	55
3.1.4	Berechnung der Sprachkurven	56
3.1.4.1	Typ 1 – Kumulierte Phonemhäufigkeitskurven	56
3.1.4.2	Typ 2 – Prozentuale Aufschlüsselung der Phonemhäufigkeiten.....	57
3.2	Auswertung der Ergebnisse.....	59
3.3	Vergleich mit den Hüllkurven von Tomatis.....	66
4	Zusammenfassung	69
4.1	Ausblick	71
5	Quellenverzeichnis	72
6	Anhang	74
6.1	Zum Elektronischen Ohr	74
6.2	Zur Untersuchung der Sprachethnogramme	77
6.2.1	Häufigkeitsverteilung der Phoneme nach Delattre.....	77
6.2.2	SAMPA Transkriptionstabelle	78
6.2.2.1	Konsonanten.....	78
6.2.2.2	Vokale	79
6.2.3	Datensätze	80
6.2.3.1	Deutsch.....	80
6.2.3.2	Englisch.....	81
6.2.3.3	Französisch.....	82
6.2.3.4	Phonemstatistik	83

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Die Faszination des Hörens beschäftigt die Menschen seit jeher. Auch der französische Arzt Alfred Tomatis konnte sich ihr nicht entziehen. Seit Ende des Krieges beschäftigte er sich mit dem, was Menschen hören und vor allem dem, was Menschen hören wollen. Eher durch Zufall entdeckte er einige interessante Verbindungen zwischen der Psyche und dem Gehör. Er entwickelte Theorien, stellte gewagte Thesen auf und forschte unablässig auf verschiedenen Gebieten, um das menschliche Ohr besser zu verstehen. Tomatis war ein sehr praktisch orientierter Mensch. Das Gros seiner Beobachtungen, und der daraus entstandenen Thesen, machte er während empirischen Studien an seinen Patienten. Besonders interessant ist, dass die von ihm entwickelten Methoden, Geräte und Tests tatsächlich zu wirken scheinen, auch wenn sein Vorgehen heute teilweise nicht mehr nachvollziehbar ist. So konnte er z.B. Sänger wieder singen lassen, Stotterer wieder sprechen lassen oder autistische Kinder wieder etwas aufleben lassen.

Die vorliegende Arbeit hat sich zum bescheidenen Ziel gesetzt, einen Einblick in einen Teil der Welt der sogenannten Tomatis-Methode zu geben, mit besonderer Berücksichtigung des Themas Sprache und wie man Fremdsprachen leichter und schneller erlernen kann. Tomatis hat ja auch Theorien zu Fremdsprachen aufgestellt, wonach jede Sprache eigene auditive Parameter besitzt, durch die man sie eindeutig bestimmen kann. Er ging sogar soweit zu behaupten, dass Sprache von der Umwelt und Geographie beeinflusst wird und man z.B. in England leichter Englisch spricht, als etwa in Frankreich. Wenn man die veröffentlichten Bücher von Tomatis liest, findet man viele solcher äußerst lyrischen Umschreibungen für die unterschiedlichsten von ihm untersuchten oder beobachteten Phänomene. Also konzentriert sich diese Arbeit zu aller erst einmal darauf, Tomatis' Ansichten und Beobachtungen darzustellen, den Lehren der Schulmedizin gegenüberzustellen und diese miteinander zu vergleichen. Der Fokus wird hierbei auf das menschliche Ohr, den Hörvorgang und den für Sprache im Allgemeinen wichtigen Methoden und Tests gelegt.

Der zweite Teil setzte sich das Ziel, die von Tomatis veröffentlichten, sprachspezifischen „ethnischen“ Hüllkurven nachzuvollziehen, siehe Kapitel 2.6.2. Es sollte ein Weg gefunden werden ähnliche Ergebnisse wie Tomatis zu erzielen. Dass aber keinerlei wie auch immer geartete Aufzeichnungen von Tomatis vorhanden waren und auch das Tomatis-Institut in Luxemburg keine Ahnung über die Vorgehensweise von Tomatis hatte, war ein Rückschlag. Für die tatsächlich durchgeführten Untersuchungen wurde trotzdem Tomatis' Grundidee dieser Hüllkurven übernommen, nämlich spektrale Unterschiede von verschiedenen Sprachen physikalisch messbar zu machen und visuell darzustellen. Dies sollte natürlich auf eine Art und Weise erfolgen, die nachvollziehbar und reproduzierbar war, was auch weithin erreicht werden konnte. Es war, wie zu erwarten, tatsächlich möglich Unterschiede

festzustellen. Allerdings werden sich einige Folgearbeiten noch mit den während der Untersuchungen aufgetretenen Problemen und Unsicherheiten beschäftigen müssen, um mit dem verwendeten Ansatz endgültige Aussagen über die tatsächlichen spektralen Unterschiede der untersuchten Sprachen treffen zu können.

1.2 Inhalt

Zu Beginn sollen an hier die inhaltliche Struktur dargelegt und die einzelnen Kapitel kurz erläutert werden. Das große Kapitel 2, in dem es um den Vergleich der von Tomatis entwickelten Methode mit den Lehren der klassischen Schulmedizin geht, beginnt zunächst mit einer kurzen Biographie von Tomatis (Kapitel 2.1). Das folgende Kapitel 2.2 beschäftigt sich mit dem menschlichen Ohr. Es wird zunächst in Kapitel 2.2.1 die Ontogenese, also die embryonale Entwicklung des menschlichen Ohres, erklärt, Kapitel 2.2.2 legt die Anatomie des Ohres dar und Kapitel 2.2.3 definiert die nach den Lehren der klassischen Medizin gängige Physiologie des Hörapparats, samt ihrer Theorie der Schallweiterleitung, sowie die Funktion des Gleichgewichtsorgans. Dem werden dann in Kapitel 2.2.4 die Theorien von Tomatis, die sich besonders bei der Schallweiterleitung im Mittelohr sehr von der klassischen Medizin unterscheiden, gegenübergestellt. Nach der grundlegenden medizinischen Analyse der beiden Lehren folgt ein ausführlicher Exkurs in die Methoden, Lehren und Ansichten von Tomatis.

Die wichtigsten Beobachtungen von Tomatis, die seiner gesamten Arbeit zugrunde liegen und unter der Bezeichnung „Tomatis-Effekt“ bekannt sind, werden in Kapitel 2.3 angeführt. Um das Ohr entsprechend dieser Beobachtungen zu konditionieren, entwickelte Tomatis sein sogenanntes „Elektronisches Ohr“. In Kapitel 2.3.1 werden die Entwicklung des ersten Prototypen dieses Geräts (Kapitel 2.3.1.1), sowie dessen neueste Generation, der Tomatis AudioPro (kurz TAP), in Kapitel 2.3.1.2 detailliert beschrieben. Das von der Universität Bologna auf den Grundlagen von Tomatis' Arbeit entwickelte Trainingsgerät, der „Sound Perception Trainer“ wird kurz in Kapitel 2.3.2 erläutert. Die für Tomatis so wichtige Thematik der Lateralität wird in Kapitel 2.4 aufgerollt sowie dessen Ansichten hierzu mit den Erkenntnissen der klassischen Medizin verglichen. Bei der Tomatis Methode ist weiters der von ihm persönlich entwickelte Hörtest von äußerster Wichtigkeit. Da dieser über die Erfassung des Hörvermögens hinaus auch eine psychologische Bewertung des Patienten vornimmt, stellt Kapitel 2.5 den Tomatis-Hörtest (Kapitel 2.5.1) und den von der klassischen Medizin verwendeten Hörtest (Kapitel 2.5.2) lediglich gegenüber. Die von Tomatis definierten, für Sprache essentiellen spezifischen Parameter der auditiven Wahrnehmung, werden in Kapitel 2.6 dargelegt. Diese sind nach Tomatis die sogenannten Passbänder (Kapitel 2.6.1), die ethnischen Hüllkurven (Kapitel 2.6.2), die Latenzzeit (Kapitel 2.6.3) sowie die Präzessionszeit (Kapitel 2.6.4). Zum Abschluss des großen Kapitels 2 wird in Kapitel 2.7 noch das Sprachtraining nach Tomatis (Kapitel 2.7.1) und das auf dem Tomatis-Training basierende, neu entwickelte Sprachtraining der Universität Bologna (Kapitel 2.7.2) besprochen.

Angeregt von Tomatis' Idee, wonach Sprachen unterschiedliche Spektraleigenschaften besitzen sollen, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Untersuchung selbiger durchgeführt und in Kapitel 3 ausführlich beschrieben. Kapitel 3.1 erläutert zuerst die Methoden der Untersuchung. Kapitel 3.1.1 beschreibt welche Sprachdatenbank zur Berechnung herangezogen wird, Kapitel 3.1.2 erläutert kurz die in der Datenbank verwendete

Transkriptionsschrift SAMPA, Kapitel 3.1.3 führt die notwendigen Aufbereitungsarbeiten an, um die Sprachdatenbank für die Untersuchung entsprechend zu optimieren und schließlich wird in Kapitel 3.1.4 noch die Berechnung der Sprachkurven erörtert. Die detaillierte Auswertung und Interpretation der Ergebnisse erfolgt dann in Kapitel 3.2. Ein Vergleich mit den von Tomatis' publizierten „Sprachethnogrammen“ wird in Kapitel 3.3 angestellt.

Kapitel 4 enthält abschließend eine Zusammenfassung der durchgeführten Recherchen und Untersuchungen. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick in Kapitel 4.1.

2 Die Tomatis–Methode im Vergleich zur klassischen Medizin

2.1 Biographisches

Alfred Tomatis wurde 1920 in Nizza geboren. Durch seinen Vater, einen berühmten Opernsänger, wurde er schon als Kind in die Welt des Hörens und der Musik eingeführt. Der Wunsch Arzt zu werden manifestierte sich bereits früh beim jungen Tomatis¹. Nach dem Schulabschluss begann Tomatis an der Universität Sorbonne in Paris Medizin zu studieren. Das Studium wurde während des zweiten Weltkriegs durch seine Einberufung zum Militärdienst unterbrochen, wo er als Mitglied des medizinischen Korps eine Hals-Nasen-Ohren Ausbildung begann.²

Nach Kriegsende arbeitete Tomatis in einer Pariser Klinik, wo er unter anderem sein erstes Forschungsprojekt unterhielt. Er untersuchte Soldaten und Angestellte der Luftwaffe, die durch extremen Schall ihr Hörvermögen eingebüßt hatten. Bald darauf, im Jahre 1946, eröffnete Tomatis seine eigene Praxis. Im dazugehörigen Laboratorium untersuchte er berufsbedingte Taubheit an Arbeitern, die starkem Lärm ausgesetzt waren. Anfangs hatte er Schwierigkeiten gehabt Versuchspersonen zu finden, da die Arbeiter fürchteten, durch ein unzureichendes Hörvermögen ihre Arbeit zu verlieren. Außerdem waren die Ergebnisse der Hörtests immer relativ gut gewesen. Als sich hingegen herausstellte, dass die Untersuchungen den Arbeitern sogar zu einer Rente oder Frühpensionierung verhelfen konnten, änderten sich die Ergebnisse fast schlagartig. Plötzlich waren die Ergebnisse viel schlechter. Tomatis hatte für sich den Zusammenhang zwischen Hörvermögen und dem Willen bzw. der Psyche gefunden. Dieser Aspekt zieht sich auch durch seine gesamte Arbeit.³

Da Tomatis sich auf dem Gebiet der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde etabliert hatte, dauerte es auch nicht lange, bis er erste Sängerpatienten von seinem berühmten Vater vermittelt bekam. So untersuchte er viele Sänger, die ihn wegen Stimmproblemen konsultiert hatten. Einer von ihnen sollte ihm ein Schlüsselerlebnis zu seiner späteren Arbeit bescheren. Besagter Patient war ein bekannter Tenor, der Tomatis wegen „Kehlkopf-Dystonie“ aufgesucht hatte. Nach der damals anerkannten Methode behandelte ihn Tomatis mit Strychninpräparaten, was jedoch keine wesentliche Besserung brachte. Tomatis' bisherige Arbeit ließ ihn schließlich in eine

¹ [Tomatis2003], S. 24f

² [Kaunzner2001], S. 10

³ [Kaunzner2001], S. 11

völlig andere Richtung denken. Er führte bei seinem Patienten ein Audiogramm durch und stellte Unregelmäßigkeiten in etwa derselben Lage fest, ab der der Sänger Probleme hatte zu singen. Nach der Untersuchung vieler Sänger und deren Kehlköpfen kam Tomatis zu dem Schluss, dass nicht ein defekter oder „falsch eingestellter“ Kehlkopf der Grund für die Stimmprobleme sein konnte, sondern ein defektes oder schlechtes Gehör. 1947 formulierte er schließlich den Grundgedanken seiner folgenden Arbeiten: „*Ein Mensch gibt stimmlich nur das wieder, was er zu hören imstande ist*“.^{4, 5}

Um seine Theorie weiter zu untersuchen entwickelte Tomatis ein Schallanalysegerät, mit dem er Schallspektren von Stimmaufnahmen erstellen konnte, um sie mit den entsprechenden Audiogrammen vergleichen zu können. Mit einer Kathodenstrahlröhre hielt er die Frequenzverteilungen der Stimme fest. Zusätzlich wurde das Frequenzbild durch Filterungen gestreut, um es genauer zu analysieren. Die dadurch erlangten Erkenntnisse bestätigten seine Annahmen. Die Audiogramme und Spektren hatten tatsächlich große Ähnlichkeit miteinander. Für Tomatis war seine Theorie bestätigt. Man konnte tatsächlich nur das wiedergeben, was man hört. Jedoch relativiert Tomatis seine Erkenntnis, indem er sagt, dass dies umgekehrt nicht zwangsläufig funktioniert, also dass man nicht alles, was man wahrnimmt auch wiedergeben kann.⁶

Ein weiteres Forschungsfeld war die Selbstkontrolle der Stimme geworden. Bekanntlich ist der Aufbau des menschlichen Körpers symmetrisch, wir haben zwei Augen, zwei Ohren, zwei Beine, etc. Allerdings werden beide Hälften nicht gleich genützt, so auch unsere Ohren nicht. Laut Tomatis gibt es ein Ohr, das eine „Leitfunktion“ hat, nämlich das rechte, welches die Kontrolle über unsere Stimme übernimmt. Tomatis erklärt dies mit der unterschiedlichen Länge der Nervenleitung von der Hirnrinde zur linken bzw. rechten Kehlkopfwand⁷, die immerhin ca. 50 cm beträgt⁸, was zu einer Verzögerung des Nervimpulssignals führt. Diese sogenannte Lateralität, also die Dominanz eines Ohres über das andere, begründet er weiters mit der für die Verarbeitung der Sprache zuständigen linken Gehirnhemisphäre (siehe Kapitel 2.4).⁹

Anfang der 1950’er Jahre entwickelte Tomatis ein Gerät zur Konditionierung der akustischen Wahrnehmung und in weiterer Folge der stimmlichen Emission. Er nannte es „elektronisches Ohr“ (siehe Kapitel 2.3.1). Dies ist bis heute die wichtigste Grundlage der von ihm begründeten Audio-Psycho-Phonologie (APP) und ihrer Therapiemethoden. Etwa zur gleichen Zeit weckte ein Zufall auch Tomatis’ Interesse an Fremdsprachen. Mehrere Sänger aus dem venezianischen Raum hatten sich bei ihm eingefunden. Sie alle hatten dasselbe Problem, sie konnten kein „r“ mit der Zungenspitze produzieren und sagten stattdessen „l“. Auch sie behandelte Tomatis mit dem Elektronischen Ohr, da er, wie er selbst sagte, zwar

⁴ [Tomatis2003], S. 79

⁵ [Kaunzner2001], S. 12

⁶ [Kaunzner2001], S. 13

⁷ [Tomatis2003], S. 90

⁸ [Sollier2005], S. 113

⁹ [Kaunzner2001], S. 13

nicht weiter wusste, aber „kaum etwas riskieren würde“¹⁰. Er stellte den Apparat ein, und gab den Patienten das rollende „r“ vor, das diese sogleich richtig wiederholten. Sie konnten es endlich richtig hören. Diese Erfahrung ließ Tomatis weiterforschen, ob man diese Erkenntnisse nicht auf andere Sprachen übertragen konnte.¹¹ Tomatis postulierte, dass jede Sprache ein ganz bestimmtes „Ohr“, oder eine „ethnische Hörweise“, besitzt. Er berechnete mittels Kathodenstrahlröhre sogenannte „Ethnogramme“ verschiedener Sprachen (siehe Kapitel 2.6.2).

In den Fünfziger- und Sechziger-Jahren des 20. Jahrhunderts befasste sich Tomatis zunehmend mit der Frage des intrauterinen Hörens, d.h. mit dem, was der Embryo im Mutterleib hört. Für Tomatis war dieses Gebiet nicht bloß ein Forschungsthema, sondern schlicht jenes, das sich mit der Frage des Seins beschäftigte. Dieses Thema griff er immer wieder im Laufe seiner Forschungsarbeit auf¹². Ca. 1960 gründete Tomatis in Paris das erste „Tomatis Zentrum“, in dem er mit dem von ihm entwickelten Hörtest („*test d’écoute*“) Menschen mit verschiedensten Problemen behandelte. Seither haben sich bis heute über 250¹³ Tomatis Institute weltweit etabliert, die alle mit dem Institut in Paris in Kontakt stehen. Bis wenige Jahre vor seinem Tod arbeitete Tomatis selbst in seinem Pariser Zentrum. Alfred Tomatis starb 2001 in Carcassonne.

2.2 Das auditorische und vestibuläre System

Um das Ohr besser zu verstehen, soll in Kapitel 2.2.1 zunächst die Ontogenese, also die embryonale Entwicklung des Ohres erläutert werden. In Kapitel 2.2.2 wird die Anatomie unseres Hör- und Gleichgewichtsapparates dargestellt. Deren Physiologie, also Funktionsweise, wird in Kapitel 2.2.3 erklärt. Nach der Darlegung der oben genannten Gebiete werden abschließend in Kapitel 2.2.4 die wichtigsten Abweichungen zur gängigen klassischen Theorie der Schallweiterleitung im Ohr beim Ansatz von Tomatis aufgezeigt.

2.2.1 Ontogenese

Innenohr

In der Entwicklung des menschlichen Embryos beginnt sich als erstes das Innenohr, bereits früh in der vierten Woche, auszubilden. Es erscheinen erste Verdickungen im Oberflächenektoderm¹⁴, die sogenannten Ohrplakoden (Abb. 2.1 A & B). Diese senken sich

¹⁰ [Tomatis2003], S.123

¹¹ [Kaunzner2001], S. 113f

¹² [Tomatis2003], S.166

¹³ <http://www.tomatis-center.at/einleitung.htm>

¹⁴ Ektoderm: „äußeres der 3 embryonalen Keimblätter, aus dem sich Oberflächenstrukturen und Sinnesorgane (Oberflächenektoderm) sowie Zentralnervensystem (Neuroektoderm) u. Kopfstrukturen (Kopfmesektoderm) entwickeln“ [Psyhyrembel2007]

bald darauf in das darunterliegende Mesenchym¹⁵ ein, es entstehen die Ohrgrübchen (Abb. 2.1 C & D).

Die sogenannten Ohrbläschen werden gebildet, wenn die Ohrgrübchen aufeinander zuwachsen und verschmelzen (Abb. 2.1 F & G). Diese Ohrbläschen bilden die Vorläufer des häutigen Labyrinths. Abb. 2.2 A1 - D1 zeigen eine laterale Ansicht der Entwicklung vom Ohrbläschen zum häutigen Labyrinth. Dort, wo die Verbindung mit dem Oberflächenektoderm verloren geht, entsteht ein Anhang, aus dem später Ductus und Sacculus endolymphaticus entstehen.¹⁶

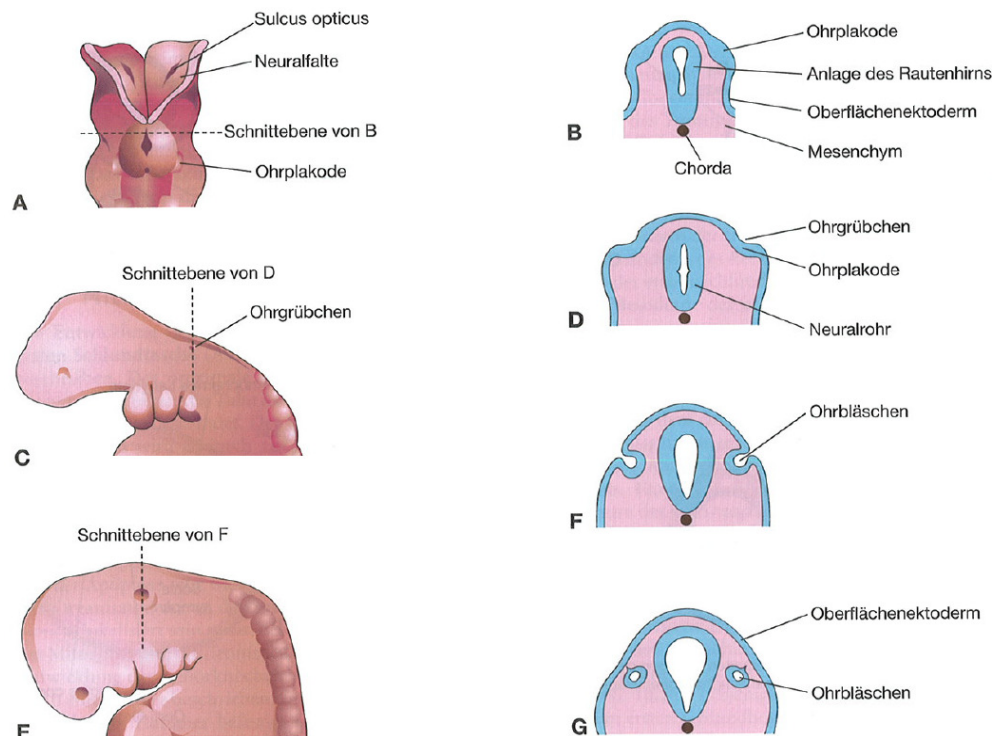


Abb. 2.1: Darstellung der frühen Entwicklung des Innenohrs; [Moore2007], S. 523

Das Ohrbläschen kann nun in zwei Abschnitte unterteilt werden, den utrikulären und den sakkulären. Aus dem utrikulären Abschnitt entstehen später die Bogengänge (Abb. 2.2 B - E). Aus dem sakkulären Abschnitt wächst der sogenannte röhrenförmige Ductus cochlearis, welcher sich zum häutigen Teil der Cochlea windet (Abb. 2.2 C - E). Aus den Zellen des Ductus cochlearis differenziert sich auch das Corti-Organ (Abb. 2.2 F - I). Durch induktive Signale des Ohrbläschens wird eine Verdichtung des Mesenchyms bewirkt. Es bilden sich knorpelige Vakuolen¹⁷ im Zuge der Ausweitung des häutigen Labyrinths, die sich wenig später zum perilymphatischen Raum zusammenschließen. Dadurch ist das häutige Labyrinth

¹⁵ Mesenchym: „embryonales Bindegewebe, dessen verzweigte Zellen ein lockeres, von Interzellularflüssigkeit ausgefülltes Schwammbecken bilden“ [Psyhyrembel2007]

¹⁶ [Moore2007], S. 523

¹⁷ Vakuole: „von Zellmembran umschlossener Hohlraum in Zellen mit flüssigem Inhalt“ [Psyhyrembel2007]

mit Perilymphe¹⁸ gefüllt. Weiters bilden sich im angrenzenden Teil des perilymphatischen Raums die Scala tympani und die Scala vestibuli aus (Abb. 2.2 H & I). Schließlich verknöchert noch die knorpelige Ohrkapsel, es entsteht das knöcherne Labyrinth des Innenohres im Felsenbein. Das Innenohr ist spätestens in der 22. Woche voll ausgewachsen und geformt.¹⁹

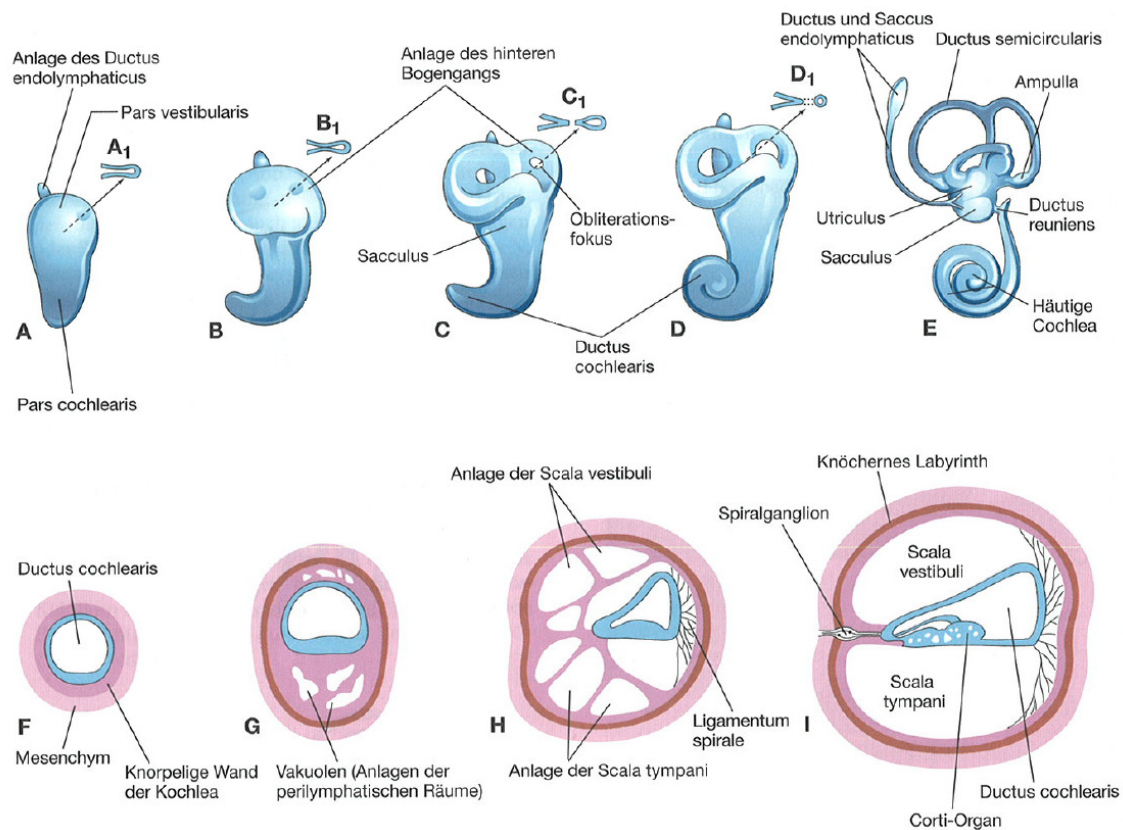


Abb. 2.2: Darstellung des Ohrbläschens und der Entwicklung des häutigen und knöchernen Labyrinths; [Moore2007], S. 524

Mittelohr

Der Recessus tubotympanicus entwickelt sich aus der ersten Schlundtasche (Abb. 2.3 B). Die Schlundtaschen sind aus Abb. 2.4 A & B nochmals besser ersichtlich. Der vom Recessus tubotympanicus nähere Abschnitt bildet die Ohrtrumpete (tuba auditiva), welche das Mittelohr mit dem Rachenraum verbindet (Abb. 2.3 C). Der von ihm weiter entfernte Bereich erweitert sich zur Paukenhöhle, die sich um die Gehörknöchelchen mitsamt deren Bändern und Sehnen legt (Abb. 2.3 C & D).²⁰

¹⁸ Perilymphe: „zwischen dem häutigen u. knöchernen Labyrinth befindliche klare, eiweißarme Flüssigkeit“ [Pschyrembel2007]

¹⁹ [Moore2007], S. 523f

²⁰ [Moore2007], S. 526f

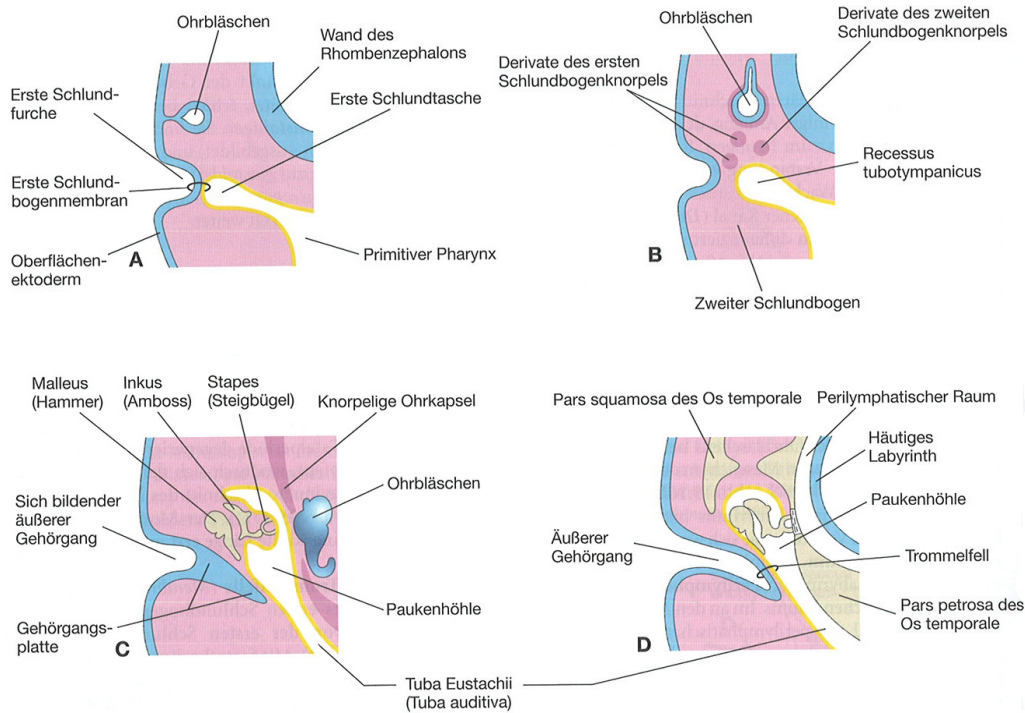


Abb. 2.3: Darstellung der Entwicklung des Außen- und Mittelohrs; [Moore2007], S. 526

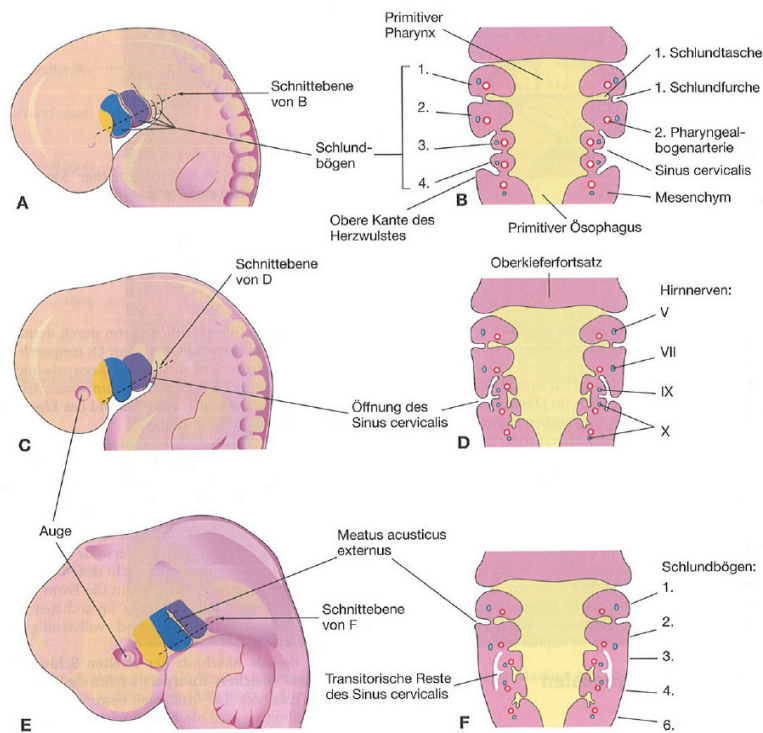


Abb. 2.4: Laterale Ansicht des menschlichen Embryos mit Darstellung der Schlundbögen. A) ca. 32 Tage, C) ca. 33 Tage, E) ca. 41 Tage alt, verändert nach [Moore2007], S. 228

Die Gehörknöchelchen bilden sich aus den sogenannten Schlundbögen aus (Abb. 2.4 A & B). Hammer und Amboss entwickeln sich aus dem ersten Schlundbogenknorpel (Abb. 2.5), aus dem auch der Musculus tensor tympani, der am Hammer befestigt ist, sowie der V. Gehirnnerv (Nervus trigeminus), dessen motorischer Ast später den Hammer bewegt (Abb. 2.6), entstehen. Der Steigbügel und dessen entsprechender Muskel (Musculus stapedius)

entwickeln sich aus dem zweiten Schlundbogenknorpel (Abb. 2.5), ebenso wie der VII. Gehirnnerv (Nervus facialis), der für die Bewegung des Steigbügels zuständig ist (Abb. 2.6). Bis hin zur Pubertät wächst das Mittelohr weiter.²¹

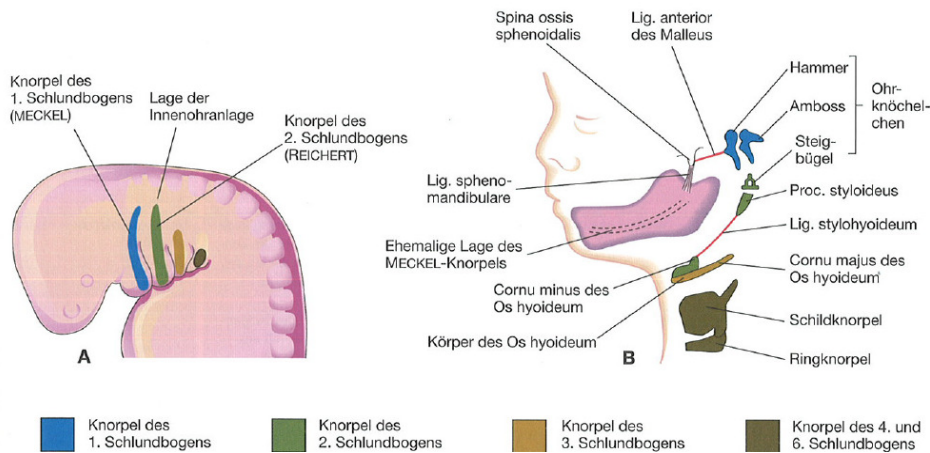


Abb. 2.5: Laterale Ansicht des menschlichen Embryos mit Darstellung der Knorpel in den Schlundbögen. A) ca. 32 Tage, B) ca. 24 Wochen alt; [Moore2007], S. 231

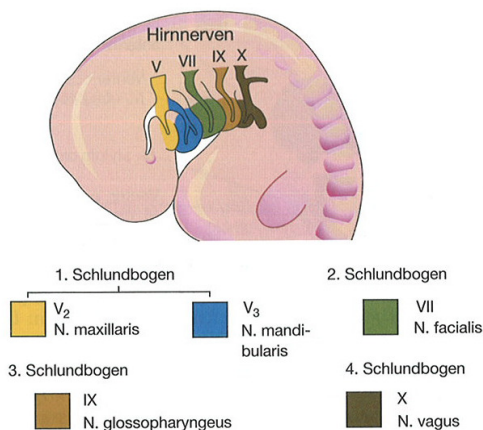


Abb. 2.6: Hirnnervenversorgung der Schlundbögen bei einem 4 Wochen alten menschlichen Embryo; [Moore2007], S. 232

Außenohr

Aus der ersten Schlundfurche entwickelt sich auch der äußere Gehörgang (meatus acusticus externus, Abb. 2.3 A & C). Der Gehörgang erreicht seine endgültige Länge erst im neunten Lebensjahr. Dem Trommelfell geht die Membran des ersten Schlundbogens voraus, welche die Schlundfurche von der Schlundtasche trennt. Die äußere Schicht des Trommelfells bildet sich aus dem Oberflächenektoderm aus, wohingegen sich die innere Schicht vom Endoderm des Recessus tubotympanicus ableitet (Abb. 2.3). Die Ohrmuschel entwickelt sich aus den sogenannten Aurikularhöckern, die auf dem ersten und zweiten Schlundbogen entstehen. Wenn die Ohrmuschel wächst, nimmt der relative Anteil des ersten Schlundbogens ab (Abb. 2.1 A - D). Zum Schluss bildet sich das Ohrläppchen aus. Das Ohr bildet sich zunächst am oberen Halsabschnitt und wandert später zu seiner endgültigen Position. Weil sich das Ohr

²¹ [Moore2007], S. 228f

aus verschiedenen Schlundbögen entwickelt, wird es auch von verschiedenen Nervensträngen innerviert.²²

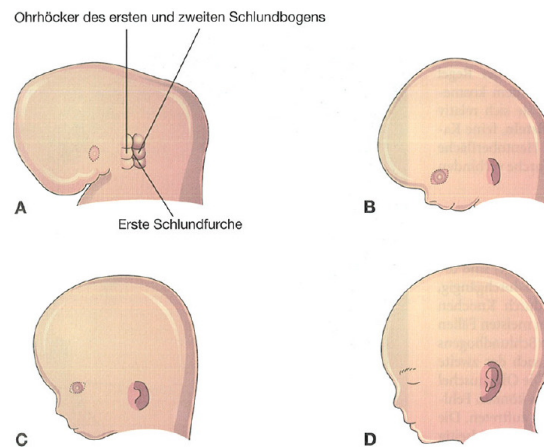


Abb. 2.7: Entwicklung der Ohrmuschel beim menschlichen Embryo. A) 6. Woche; B) 8. Woche; C) 10. Woche; D) 32. Woche; [Moore2007], S. 527

2.2.2 Anatomie

Auditorisches System

Das Ohr lässt sich prinzipiell anatomisch in drei Abschnitte unterteilen. Das äußeres Ohr, das Mittelohr und das Innenohr. In mancher Literatur wird als vierter Teil des Ohrs auch der Hörnerv (Nervus vestibulocochlearis – VIII. Hirnnerv) aufgeführt²³. (Abb. 2.8) zeigt die Unterteilung des menschlichen Ohrs inklusive Hörnerv.

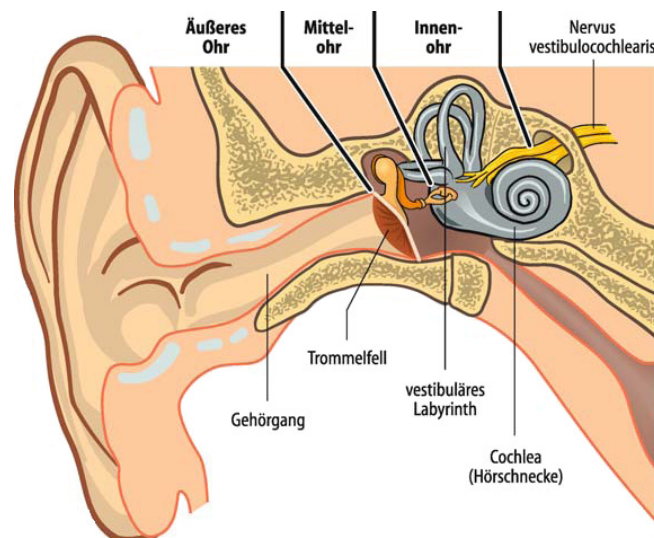


Abb. 2.8: Schematische Darstellung des Ohrs; [Lang2007], S. 348

²² [Moore2007], S. 525f

²³ [Speckmann2008], S. 124

Zum **äußeren Ohr** gehören die Ohrmuschel, sowie der Gehörgang, der durch das Trommelfell zum Mittelohr hin abgeschlossen ist.

Zum **Mittelohr**, einem luftgefüllten Hohlraum, gehören die innere Schicht des Trommelfells und die sogenannten Gehörknöchelchen (Abb. 2.9). Diese sind gegeneinander beweglich zwischen Trommelfell und Innenohr aufgehängt. Am Anfang der Kette steht der Hammer (maleus), der mit dem Trommelfell verwachsen ist. Ihm folgt der Amboss (incus) nach, das letzte Glied ist der Steigbügel (stapes), dessen Fußplatte auf dem ovalen Fenster sitzt. Das ovale Fenster, eine elastische Membran, bildet den Abschluss zwischen Mittel- und Innenohr.²⁴

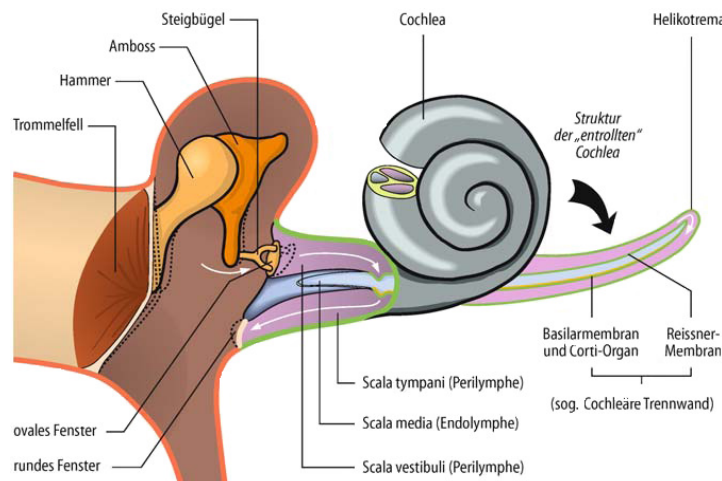


Abb. 2.9: Schema von Mittelohr und (teilweise „entrollter“) Cochlea; [Lang2007], S. 349f

Tief im Felsenbein eingebettet befindet sich das **Innenohr**. Man unterteilt es in einen auditorischen Teil, die Cochlea oder Gehörschnecke, und in einen vestibulären Teil, das Labyrinth. Die Cochlea ist für das Hören, das Labyrinth für Gleichgewicht und Lageempfinden zuständig. Abb. 2.10 zeigt wie das Innenohr im Schädel platziert ist. Auch der zum Innenohr gehörige VIII. Hirnnerv teilt sich in mehrere Äste. Den Nervus cochlearis, oder Hörnerv, und den Nervus vestibularis, oder Gleichgewichtsnerv. Ersterer innerviert die Cochlea, letzterer den Vestibularapparat.²⁵

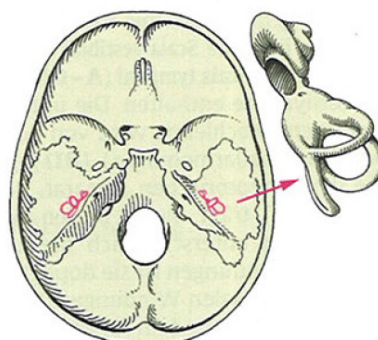


Abb. 2.10: Lage des Innenohrs im Schädel; [Kahle2005], S. 373

²⁴ [Speckmann2008], S. 125

²⁵ [Speckmann2008], S. 125f

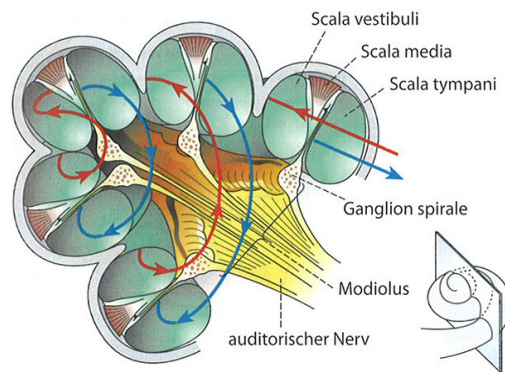


Abb. 2.11: Längsschnitt durch die Cochlea; [Speckmann2008], S. 127

Der sogenannte Modiolus, ein knöcherner Kanal, bildet die zentrale Achse der wie ein Schneckenhaus gewundenen Cochlea (Abb. 2.11). Er versorgt sie mit Nerven und Blutgefäßen. Um diese Achse ist ein mit Flüssigkeit gefüllter Schlauch spiralförmig aufgerollt. Beim Menschen ist dieser Gang etwa 35 mm lang. Der Schlauch ist in drei parallel zueinander laufende, durch Trennwände abgegrenzte Gängen, die sogenannten Skalen, unterteilt. Der Vereinfachung halber wird die Cochlea auch „entrollt“ dargestellt (Abb. 2.9). Am oberen Rand verläuft die Scala vestibuli, am unteren die Scala tympani, die am oberen Ende der Cochlea über das sogenannte Helikotrema verbunden sind. Die beiden Skalen sind mit Perilymphe gefüllt. Zwischen ihnen befindet sich die Scala media, welche mit Endolymphe, einer K^+ -reichen Flüssigkeit, gefüllt ist. Diese steht mit dem vestibulären Endolymphraum über den Ductus reuniens in Verbindung, wohingegen die Skalen tympani und vestibuli in den Perilymphraum des vestibulären Systems übergehen. Am unteren Ende der Cochlea befinden sich das ovale (Scala vestibuli) und das runde Fenster (Scala tympani). Diese dienen als elastischer Abschluss zum Mittelohr.²⁶

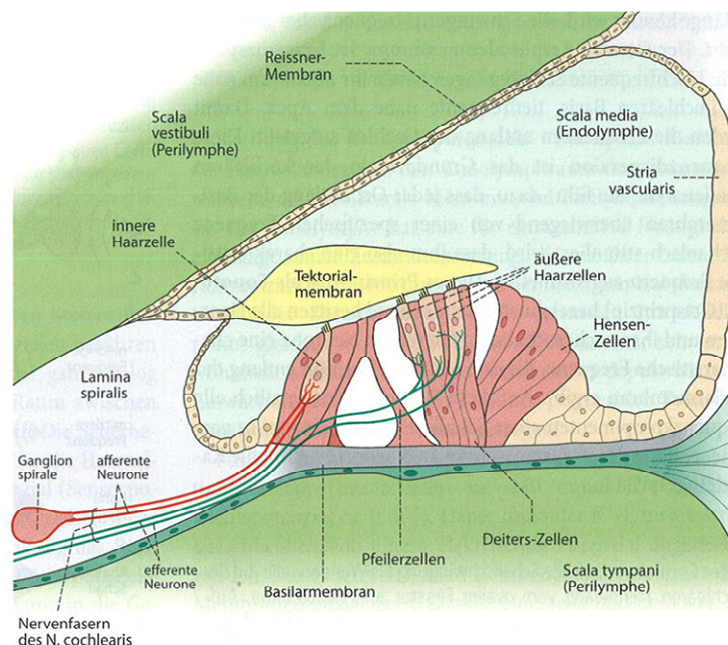


Abb. 2.12: Histologischer Querschnitt durch Cochlea und Corti-Organ; [Speckmann2008], S. 127

²⁶ [Speckmann2008], S. 126

Scala media und Scala tympani werden durch die Basilarmembran mechanisch getrennt. Diese ist zwischen der äußeren Wand der Cochlea und der knöchernen Lamina Spiralis aufgespannt. Das eigentliche Sinnesorgan sitzt auf der Basilarmembran auf. Es besteht aus zwei Arten von Rezeptorzellen, den äußeren und den inneren Haarzellen. Zusammen bilden sie mit verschiedenen anderen Stützzellen das Corti-Organ. In jedem menschlichen Ohr befinden sich etwa 3500 innere und ca. 12000 äußere Haarzellen. Die inneren Haarzellen sind entlang des cochleären „Schlauchs“ in einer einzigen Reihe angeordnet, wohingegen die äußeren Haarzellen drei parallele Reihen bilden. Die Haarzellen verdanken ihren Namen den auf ihnen befindlichen haarähnlichen, submikroskopischen Fortsätzen, den sogenannten Stereozilien, von denen es bis zu 100 auf einer einzigen Haarzelle gibt. Über dem Corti-Organ befindet sich eine Gel-artige Masse, die Tektorialmembran, welche die Stereozilien ebenso berührt. Die inneren Haarzellen werden fast ausschließlich von afferenten²⁷, die äußeren Haarzellen hingegen hauptsächlich von den efferenten²⁸ Neuronen des Nervus cochlearis innerviert.²⁹

Vestibuläres System

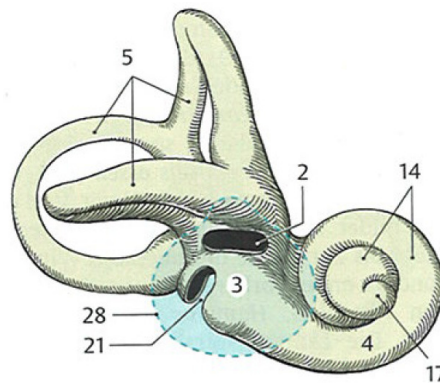


Abb. 2.13: Das knöcherne Labyrinth; [Kahle2005], S. 373

Das Gleichgewichtsorgan, auch Vestibularorgan genannt, bildet, wie schon erwähnt zusammen mit der Cochlea das Innenohr. Seines komplizierten und verschlungenen Aufbaus wegen nennt man es auch Labyrinth. Die das Organ und die Cochlea umgebende Knochenschicht nennt man knöchernes Labyrinth³⁰. Abb. 2.13 zeigt die knöchernen Bogengänge (5), den Cochleagang (14) mit seiner Spitze, dem Apex (17), sowie das vom Steigbügel verschlossene ovale Fenster (2) zum Vestibulum (blau markiert) und das runde Fenster (21). Das knöcherne Labyrinth umgibt ein mit Endolymphe gefülltes Schlauchsystem, das häutige Labyrinth. Auch dieses besteht aus einem vestibulären und einem cochleären Teil, welche

²⁷ Afferent: „hinführend; z.B. afferente Nerven, die Erregungen von peripheren Sensoren u. Rezeptoren zum ZNS leiten“ [Pschyrembel2007]

²⁸ Efferent: „herausführend; z.B. efferente Nerven, die Erregungen vom ZNS zur Peripherie leiten“ [Pschyrembel2007]

²⁹ [Speckmann2008], S. 126; [Lang2007], S. 414f

³⁰ [Speckmann2008], S. 141

über den Ductus reuniens direkt miteinander verbunden sind, sowie dem Saccus endolympathicus.

Der Vestibularapparat besteht aus zwei Maculaorganen und drei Bogengangsorganen. Jeder der Bogengänge (Abb. 2.14 oberer (23), Abb. 2.14 hinterer (24), Abb. 2.14 horizontaler (25) Bogengang) ist zu einem ringförmigen Schlauch geformt, der sich an einer Stelle zur sogenannten Ampulle (26, Abb. 2.14) verbreitert. Darin befindet sich das Sinnesepithel (Crista ampullaris), welches die sensorischen Haarzellen trägt. Wo die Bogengänge zusammenkommen befinden sich Utriculus und Sacculus (7 bzw. 6, Abb. 2.14), die jeweils ein Maculaorgan (8 und 9, Abb. 2.14) enthalten. Die vestibulären Haarzellen entsprechen im Wesentlichen dem Aufbau der cochleären Haarzellen, jedoch sind diese vestibulären Haarbündel kompakter und enthalten zusätzlich ein Kinozilium^{31, 32}.

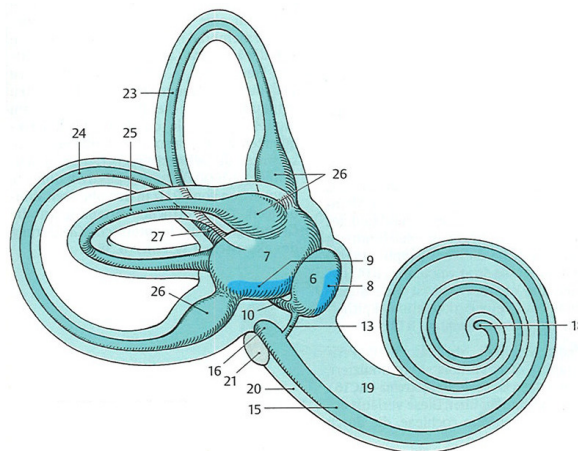


Abb. 2.14: Aufbau des häutigen Labyrinths; [Kahle2005], S. 373

2.2.3 Physiologie

Bei der Physiologie gehen die Ansichten und Theorien von Tomatis und der klassischen Medizin in einigen wichtigen Punkten auseinander. Zunächst werden hier das auditorische und vestibuläre System des Menschen aus Sicht der klassischen Medizin erläutert. Anschließend werden in Kapitel 2.2.4 die wichtigsten Abweichungen in Tomatis' Ansatz erläutert, um die Unterschiede der Ansichten hervorzuheben. Dieser sehr unterschiedliche Ansatz von Tomatis bildet auch einen wichtigen Teil seiner in den späteren Kapiteln (vor allem in Kapitel 2.3.1 und 2.5.2) vorgestellten Methode.

Auditorisches System

Der Schall gelangt über die Luft zum Ohr. Dort wird er von der Ohrmuschel eingefangen, wobei die Form der Ohrmuschel wie ein Trichter wirkt, der die Fähigkeit zur Lokalisation besitzt. Durch den Gehörgang gelangt der Schall zum Trommelfell. Wenn dieses zu

³¹ Kinozilien: „Flimmerhaare; dicht beieinander stehende bewegliche Zellfortsätze, die aus einem System von Mikrotubuli u. umgebender Plasmamembran bestehen“ [Pschyrembel2007]

³² [Speckmann2008], S. 142f

schwingen beginnt, schwingen auch die Gehörknöchelchen mit und übertragen so den Schall über das ovale Fenster ins Innenohr (Abb. 2.15). Die Aufgabe, die das Mittelohr hierbei erfüllt, ist jedoch etwas komplexer. Es gilt hier den Schall vom gasförmigen Außenmedium (niedrige Schallimpedanz) zum flüssigkeitsgefüllten Innenohr (hohe Schallimpedanz) zu übertragen, ohne, dass der Großteil des Schalls wieder reflektiert wird. Die Gehörknöchelchenkette dient also als Impedanzanpassung für den Schall. Diese wird erreicht, indem der Druck zum Innenohr hin stark erhöht wird. Die Transformation beruht vor allem auf dem Flächenverhältnis zwischen Trommelfell (90 mm²) und ovalem Fenster (3 mm²), durch welches der Druck am ovalen Fenster um das 30-fache gegenüber dem am Trommelfell erhöht wird (Druck=Kraft/Fläche). Eine zusätzliche Krafterhöhung wird durch die Hebelwirkung der Gehörknöchelchenkette erreicht. Die Impedanzanpassung ist so effektiv, dass 65% des Schalls in die Cochlea eingespeist werden können. Das Mittelohr ist außerdem fähig, die Effektivität der Schallübertragung zu regulieren. Dies geschieht durch Kontraktion der beiden Mittelohrmuskeln, die an Hammer und Steigbügel angreifen. Dieser reflexartige Mechanismus, der Stapediusreflex, dient hauptsächlich dem Schutz des Innenohrs vor Überreizung.³³

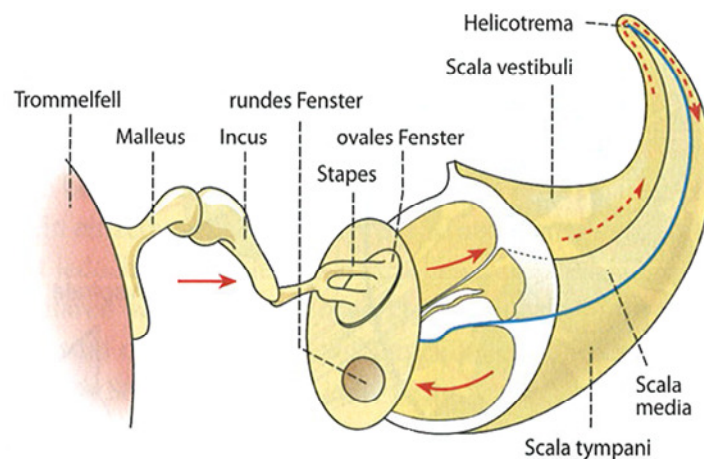


Abb. 2.15: An der Schalleitung beteiligte Teile des Ohrs; [Speckmann2008], S. 128

Die klassische Medizin kennt auch noch eine andere Art der Schalleinkoppelung, nämlich die über den Schädelknochen. Dabei wird die Gehörknöchelchenkette übergangen und der Schall direkt über die Knochen in das Innenohr geleitet. Dies funktioniert aufgrund der ähnlichen Schallimpedanzen von Knochen und Innenohrflüssigkeit. Die Literatur ist sich allerdings einig, dass diese sogenannte Knochenleitung für den normalen Hörvorgang nur eine untergeordnete Rolle spielt und daher vernachlässigt werden kann³⁴. Sie dient aber zur Diagnose von Schwerhörigkeiten in der Audiometrie (siehe Kapitel 2.5.1, S. 37f).

Wie oben beschrieben wird der Schall über den Steigbügel in die Cochlea eingekoppelt. Das ovale Fenster bewegt sich durch die Vibration abwechselnd nach innen und nach außen. Diese Bewegung bewirkt, dass sich die Perilymphe der Scala vestibuli zum runden Fenster hin

³³ [Speckmann2008], S. 126f

³⁴ [Lang2007], [Speckmann2008] u. A.

verschiebt, da die cochleäre Flüssigkeit inkompressibel ist. Wenn also das ovale Fenster nach innen gedrückt wird, wölbt sich das runde Fenster nach außen und umgekehrt (Abb. 2.15).³⁵

Es wird also ein Wechseldruck zwischen Scala vestibuli und Scala tympani erzeugt, der zwischen den beiden kleinste Volumenverschiebungen erzeugt, und somit die sie trennende Wand zum Schwingen bringt. Die Reissner-Membran, die zwischen Scala vestibuli und Scala media liegt, spielt bei diesem Prozess mechanisch keine Rolle, sodass man sich die Cochlea als zwei Räume vorstellen kann, die durch eine elastische Membran getrennt sind (Abb. 2.16). Diese cochleäre Trennwand ist jedoch keineswegs homogen aufgebaut. Wäre dies der Fall, würde sie auf ihrer gesamten Länge mit allen Frequenzkomponenten synchron schwingen. Die mechanischen Eigenschaften ändern sich systematisch von der Basis bis zum Apex (Spitze). Die Basilarmembran wird zum Apex hin um das fünffache breiter, während sie in gleicher Richtung dünner wird und ihre Steifigkeit somit abnimmt. Weiters nimmt die Masse der schwingenden Struktur Richtung Apex zu. Bedingt durch diesen mechanischen Gradienten schwingt nun die cochleäre Trennwand nicht synchron, sondern in Form einer Wanderwelle von Basis zu Apex. Durch den Steifigkeitsgradient der Trennwand steigt die Amplitude der Wanderwelle in Richtung Apex an, erreicht ein Maximum und sinkt dahinter sehr schnell wieder ab (Abb. 2.16 unten).³⁶

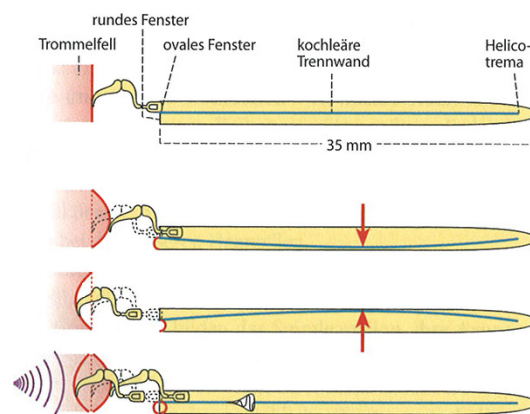


Abb. 2.16: Mechanisch wichtige Komponenten der Schallverarbeitung; [Speckmann2008], S. 128

Der Ort des Amplitudenmaximums ist abhängig von der Frequenz. Hohe Frequenzen haben ihr Maximum nahe der Basis (Abb. 2.16 und Abb. 2.17 links), tiefe Frequenzen nahe dem Apex (Abb. 2.16 und Abb. 2.17 rechts). Die Frequenzen werden also entlang der Cochlea aufgeteilt. Durch diese sogenannte Frequenzdispersion wird jeder Ort entlang der Basilarmembran überwiegend von einer bestimmten Frequenz stimuliert. Man nennt dieses Prinzip Tonotopie (Ortsprinzip). Alle Haarzellen und deren nachgeschaltete afferente Neuronen besitzen eine charakteristische Frequenz abhängig von ihrer Position entlang der Basilarmembran. Somit werden die einzelnen Frequenzkomponenten eines Schallereignisses in parallel angeordnete neuronale Kanäle entlang der Basilarmembran eingespeist und über den Hörnerv zum Gehirn geleitet.³⁷

³⁵ [Speckmann2008], S. 128

³⁶ [Speckmann2008], S. 127

³⁷ [Speckmann2008], S. 128

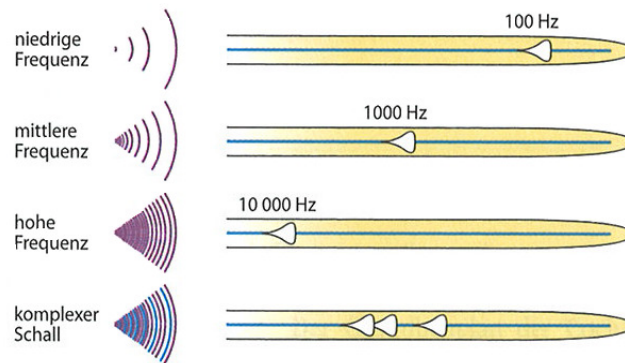


Abb. 2.17: Unterschiedliche Frequenzkomponenten kommen an verschiedenen Orten in der (entrollten) Cochlea an; [Speckmann2008], S. 128

Die detaillierte Erläuterung der mechanoelektrischen Transduktion der Information von den Haarzellen bis zum Gehirn würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen und ist für das Verständnis des Hörvorganges in diesem Rahmen nicht wesentlich. Dem interessierten Leser sei aber an dieser Stelle die in dieser Arbeit verwendete Fachliteratur, z.B. [Speckmann2008], S. 128ff, empfohlen.

Vestibuläres System

Um jedwede Art von Beschleunigungen zu messen, zu analysieren und somit unser Gleichgewicht zu erhalten, besitzt das häutige Labyrinth zweierlei spezialisierte Organe. Zum einen das Maculaorgan, von dem sich jeweils eines in Utriculus bzw. Sacculus befindetet, zum anderen das Bogengangsorgan, von dem wir drei Stück besitzen. Die Sinneszellen in diesen Organen funktionieren gleich wie jene in der Cochlea, mit dem Unterschied, dass die Kräfte, die die Stereozilien auslenken, nicht durch Schall, sondern durch Gravitation und Beschleunigung bewirkt werden. Auch die mechanoelektrische Transduktion funktioniert prinzipiell gleich.³⁸

Die beiden **Maculae** in Utriculus und Sacculus besitzen etwa 30000 bzw. 16000 Haarzellen, auf denen eine gelartige Lamelle, die Otolithenmembran, liegt. Auf ihrer Oberfläche und darin eingebettet befinden sich Calciumcarbonat-Kristalle, die sogenannten Otolithen. Da die Otolithen eine höhere Dichte als die Endolymphe haben, können sie sich bei einer Beschleunigung des Kopfes gegenüber den festen Strukturen des Labyrinths bewegen, und verschieben so die Otolithenmembran gegen die darin befindlichen Epithelien (z.B. durch die Erdbeschleunigung). Dadurch werden die Stereozilien ausgelenkt und Rezeptorpotentiale ausgelöst. Wird hingegen der Kopf samt Labyrinth linear beschleunigt, bleibt die Otolithenmembran wegen ihrer Masseträgheit zurück, und lenkt so die Stereozilien gegen die Beschleunigungsrichtung aus (Abb. 2.18 a & b).³⁹

Die Maculaorgane sind so positioniert, dass bei jeder möglichen Neigungs- oder Beschleunigungsrichtung des Kopfes ein Teil der Haarzellen erregt wird. Deshalb sind sie auch etwa senkrecht zueinander angeordnet. Darüber hinaus weisen die mechanosensitiven

³⁸ [Speckmann2008], S. 141f

³⁹ [Speckmann2008], S. 142f

Achsen der Sinnesepithelien in alle Richtungen (Abb. 2.18 c). Bei aufrechter Kopfhaltung liegt die Macula utriculi etwa waagrecht. Daher ist sie besonders für das Erfassen von Linearbeschleunigungen nach vorne, hinten und zu Seite geeignet. Die Macula sacculi registriert aufgrund ihrer fast senkrechten Position besonders vertikale Beschleunigungen.⁴⁰

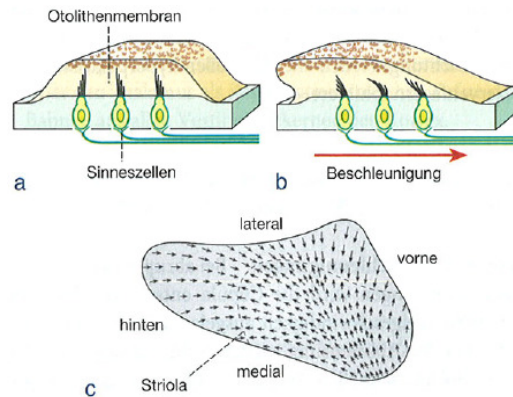


Abb. 2.18: Macula mit aufliegender Otolithenmembran (a), Verhalten bei Linearbeschleunigung (b), Orientierung der polaren Haarbündel im Maculaorgan (c); [Speckmann2008]. S. 143

Die drei **Bogengänge** sind so positioniert, dass sie fast senkrecht aufeinander stehen. So wird sichergestellt, dass Winkelbeschleunigungen um jede beliebige Raumachse registriert werden können. Jedoch stimmen sie nicht ganz genau mit den Symmetrieebenen des Kopfes überein. Der horizontale Bogengang registriert vor allem Rotationen um die Körperlängsachse (z.B. beim Kopfschütteln). Der vordere Bogengang misst Beschleunigungen des Kopfes in Richtung linke oder rechte Schulter und der hintere Bogengang nimmt Bewegungen von oben nach unten wahr (z.B. beim Nicken).⁴¹

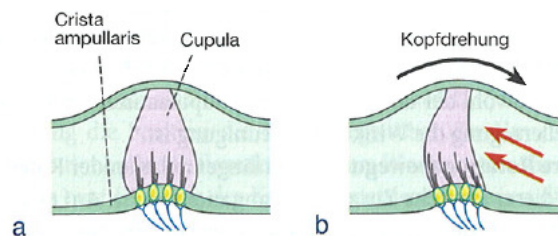


Abb. 2.19: Ampulle eines Bogenganges (a) und Verhalten bei einer Drehbeschleunigung (b); [Speckmann2008]. S. 143

In jeder Ampulle der drei Bogengänge erstreckt sich zwischen Crista ampullaris und der Bogengangswand eine gallertartige Struktur, die Cupula, in welche etwa 7000 Haarzellen hineinragen. Bei einer Drehbeschleunigung des Kopfes um eine senkrecht zur Bogengangsebene stehende Achse wird die Cupula ausgelenkt. Dies wird durch die Masseträgheit des Bogengangsinhalts (Endolymphe) bewirkt. Bei einer Winkelbeschleunigung bleibt die Endolymphe im Bogengang stehen, sodass sich die Wand kurz schneller bewegt, als die Flüssigkeit. Die elastische Cupula wird gegen die träge Endolymphe bewegt (Abb. 2.19 a & b),

⁴⁰ [Speckmann2008], S. 143

⁴¹ [Silverthorn2009], S. 511f

biegt sich also entgegen der Beschleunigungsrichtung durch. Gleichzeitig werden auch die Stereozilienbündel ausgelenkt und es wird Rezeptorpotential freigesetzt.⁴²

2.2.4 Abweichungen durch den Ansatz von Tomatis

Was die Ontogenese und Anatomie angeht, stimmt Tomatis weitgehend mit der klassischen Medizin überein. Neben den in Kapitel 2.2.3 beschriebenen bekannten Funktionen des Ohres, jenen des Hörens und der Erhaltung des Gleichgewichts, gibt es nach Tomatis aber noch eine dritte Aufgabe, die für ihn als die Primäre zu betrachten ist. Die Haarzellen von Utriculus, Sacculus, Ampulle und Cochlea seien demnach ausschlaggebend für die Zufuhr neuronaler Energie, die als Grundlage zur Fortleitung der Nervenimpulse diene. Tomatis beobachtete bei seinen Versuchen, dass Musik, die reich an Obertönen ist, eine belebende, aktivierende Wirkung auf das menschliche Gemüt hat. Auf der anderen Seite zeigten Tomatis' Versuche bei Hörern, denen die hohen Frequenzen entzogen wurden, eher flache EEG-Kurven. Dies ließ ihn darauf schließen, dass man das Gehirn über das Ohr mit Energie versorgen könne. Tomatis stellte eine weitere sehr kühne These auf. So hat nach seinen Vorstellungen das Ohr im embryonalen Stadium schon die Aufgabe eines organisierenden Induktors, der, wie oben beschrieben, für die Zufuhr neuronaler Energie sorgt.⁴³

Alles organisiert sich nach einem minutiösen Programm. Immer tiefere Erkenntnisse über die einzelnen Entwicklungsabschnitte des Fetus lassen mit Sicherheit auf das Vorhandensein von Induktoren schließen. Diese scheinen die Entwicklung eines Organs mit einer verblüffenden Präzision regelrecht zu dirigieren ... Mir scheint nämlich, dass sich ... das Ohr des Nervensystems bemächtigt, um seine besondere Funktion wahrzunehmen, das heißt, um zum Horchen und durch seine Vermittlung zur Sprache zu gelangen.⁴⁴

Das Ohr versorgt den wachsenden Menschen laut Tomatis also wie ein Generator mit neuronaler Energie, indem Sinnesreize in Nervenimpulse umgewandelt werden, um so das Wachsen des Fetus und die Funktion des Gehirns zu sichern. Auch hier wirken hauptsächlich die hohen Frequenzen. Während Untersuchungen am Mutterleib stellte Tomatis fest, dass das Fruchtwasser wie ein Hochpassfilter wirkt. Der Embryo hört also über die Wirbelsäule der Mutter und das Fruchtwasser hauptsächlich hohe Frequenzen.⁴⁵

Was die Lautübertragung im Ohr betrifft, ist Tomatis anderer Meinung als die klassische Medizin, zumindest bei der Schallweiterleitung zum Innenohr. Dass Schall auch über feste Körper geleitet werden kann ist eine bekannte Tatsache. Die klassische Medizin kennt die Knochenleitung zwar, jedoch kommt diese nur in der Audiometrie zum Einsatz (siehe Kapitel 2.5.1). Eben aus dieser bekannten Tatsache heraus sieht Tomatis sich bestätigt. Er

⁴² [Speckmann2008], 143f

⁴³ [Kaunzner2001], S. 28ff

⁴⁴ [Tomatis1994], S. 119

⁴⁵ [Kaunzner2001], S. 31

nimmt an, dass dieser Art der Schallweiterleitung eine wichtigere Stellung beizumessen ist als von der klassischen Medizin bisher angenommen.⁴⁶

Im Widerspruch zur klassischen Theorie der Schallweiterleitung (in Kapitel 2.2.3, S. 15) beschreibt Tomatis eine neue Theorie. Demnach wird der Schall nur zu einem geringen Teil über Hammer, Amboss und Steigbügel weitergeleitet. Die Gehörknöchelchen spielen nur eine untergeordnete Rolle. Sie sind im Wesentlichen ein Anpassungssystem, mit dem die Spannung des Trommelfells je nach Lautstärke und Tonhöhe reguliert werden kann. Vielmehr leitet das Trommelfell, das ja mit dem es umgebenden Knochen (Felsenbein) verwachsen ist, die Vibrationen über eben diesen in das Innenohr. Nach Tomatis sei der Zwischenraum zwischen Amboss und Steigbügel mit knapp 1 mm zu groß, als dass tiefe Frequenzen darüber geleitet werden könnten. Dieses Hören über die Knochenleitung habe einen entscheidenden Vorteil. Durch die dichtere Materie im Knochen wird der Schall schneller weitergeleitet und das Ohr empfängt ihn daher schneller als über die Luftleitung.⁴⁷

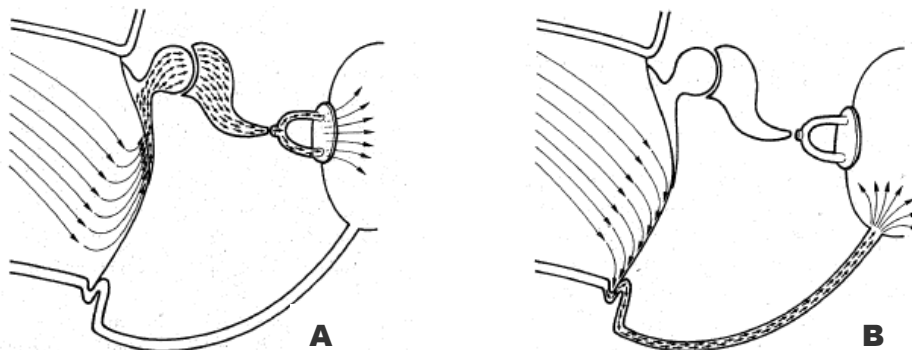


Abb. 2.20: Theorie der klassischen Schallübertragung (A) und jener nach Tomatis (B); [Tomatis1994], S. 138

Nach Tomatis bedeutet die Kontraktion der Mittelohrmuskeln, also die Anspannung der Gehörknöchelchen, die Bereitschaft zum Hören. Dadurch kann ein Druckausgleich in der Cochlea erfolgen, um so eine Schallanalyse zu erleichtern. Ist dies nicht der Fall, so wird der Schall weit weniger gut aufgenommen. Das Verhalten der Gehörknöchelchen laut Tomatis durch „Weghören“, bzw. „Nicht-Zuhören“ beeinflusst. Somit erhält das Hören in Tomatis' Theorie eine Willenskomponente, und ist nicht länger nur ein Reflex. Man kann also selektieren, was man hören möchte und was nicht.⁴⁸

Tomatis unterscheidet dezidiert zwischen dem Hören („*entendre*“), das seiner Meinung nach passiv geschieht, und dem Horchen („*écouter*“), das die eben beschriebene Willenskomponente beinhaltet.

„Entendre suppose une attitude passive vis-à-vis du monde sonore qui nous environne. Nous recevons les sons et nous les enregistrons à la manière des appareils de mesure classiques. Il n'y a pas d'interprétation par notre psychisme du message émis.“

⁴⁶ [Kaunzner2001], S. 42

⁴⁷ [Kaunzner2001], S. 42f

⁴⁸ [Kaunzner2001], S. 46

Écouter est une opération de tout autre nature. Elle exige la participation du sujet, son adhésion ou son refus à l'égard des message qui parviennent à l'oreille, puis au système nerveux. ⁴⁹

In diesem Kapitel wurde nun das Ohr samt Gleichgewichtsorgan ausführlich beschrieben und erläutert. Zunächst wurde die Ontogenese, also die embryonale Entwicklung des Ohrs dargestellt. Dann wurden die beiden zur Diskussion stehenden Theorien der Schallweiterleitung vorgestellt. Es wurde gezeigt, dass sich Tomatis' Theorie in einigen grundlegenden Punkten von jener der klassischen Medizin unterscheidet. Nach diesen äußerst wichtigen Grundlagen, wird in Kapitel 2.3 nun Tomatis' eigene Theorie, der sogenannte Tomatis-Effekt, erläutert. Weiters wird aufbauend darauf im selben Kapitel das wichtigste Instrument der Tomatis-Methode, das „Elektronische Ohr“ ausführlich erklärt.

2.3 Der Tomatis-Effekt

Nachdem in Kapitel 2.2 die unterschiedlichen Theorien zur Anatomie und Physiologie des menschlichen Gehörs erläutert wurden, wird in diesem Kapitel nun der von Tomatis beschriebene sogenannte „Tomatis-Effekt“ besprochen. Dieser bildet den Grundstock der von Tomatis begründeten Lehre. In Kapitel 2.3.1 wird anschließend das wichtigste Instrument der Tomatis-Methode, das sogenannte „Elektronische Ohr“, im Detail erklärt. Weiters wird eine Weiterentwicklung des alten Elektronischen Ohrs, das an der Universität Bologna entstand, in Kapitel 2.3.2 kurz vorgestellt.

Die Bezeichnung „Tomatis-Effekt“ („*L'Effet Tomatis*“) umfasst die drei wichtigsten Beobachtungen von Tomatis, die seiner gesamten Methode zugrunde liegen. In einer Mitteilung an die französische Nationale Akademie der Wissenschaften benannte Raoul Husson schon 1957 Tomatis' Beobachtungen als „Tomatis-Effekt“. Husson hatte zuvor diese Beobachtungen an der Universität Sorbonne in Paris experimentell bestätigt. Sie wurden von der Akademie der Wissenschaften auch als wissenschaftlich korrekt anerkannt ⁵⁰.

Die drei „Gesetze“ von Tomatis ⁵¹

Im Zuge seiner Arbeit mit Arbeitern, die im Beruf starkem Lärm ausgesetzt waren, machte Tomatis eine interessante Beobachtung. Er stellte fest, dass der Verlust des Hörvermögens immer mit dem Abbau des stimmlichen Vermögens einher ging. Er fragte sich, ob diese beiden Symptome in direktem Zusammenhang stehen könnten, also ob das fehlende Gehör für die Veränderung der Stimme verantwortlich sei. Eine genauere Analyse dieser

⁴⁹ Das Hören setzt eine passive Haltung gegenüber der klanglichen Welt, die uns umgibt, voraus. Wir erhalten die Klänge und wir nehmen sie mithilfe der klassischen Messgeräte auf. Es gibt keine Interpretation der gesandten Botschaften durch unsere Psyche.

Das Horchen ist ein Vorgang von ganz anderer Natur. Es erfordert die Mitarbeit des Subjektes, seinen Beitritt oder seine Ablehnung gegenüber den Botschaften die das Ohr, und dann das Nervensystem, erreichen. [Tomatis1991], S. 144f

⁵⁰ http://www.mozart-brain-lab.com/deu/Sachliche_Hinweise.pdf

⁵¹ [Tomatis1991], S.210f

Mechanismen ergab, dass die Frequenzen, die vom Ohr nicht integriert waren auch im Spektrum der Stimme nicht vorkamen. Dies formulierte er in seinem ersten „Gesetz“ („loi“, wie er es selbst nennt).

1. *La voix ne contient que ce que l'oreille entend.* (Die Stimme enthält nur das, was das Ohr hört.)

Das zweite Gesetz ist laut Tomatis die logische Folge des ersten.

2. *Si l'on rend à l'oreille lésée la possibilité d'entendre correctement les fréquences perdue ou comprises, celles-ci sont instantanément et inconsciemment restituées dans l'émission vocale.* (Gibt man dem Ohr die Möglichkeit, die nicht mehr, oder nicht gut wahrgenommenen Frequenzen wieder korrekt zu hören, so werden diese sofort und unbewusst wieder in das Stimmspektrum integriert.⁵²)

Durch Versuche mit dem Elektronischen Ohr (siehe Kapitel 2.3.1.1, Seite 23f) stellte Tomatis fest, dass man das Ohr permanent verändern könne, wenn die Stimulation über einen bestimmten Zeitraum hinweg trainiert wird. Daraus leitete er sein drittes Gesetz ab. Dieses findet besonders beim Erlernen von Fremdsprachen seinen Einsatz, wo mithilfe des Elektronischen Ohrs eine solche Konditionierung erreicht werden soll.

3. *La stimulation auditive entretenue pendant un temps déterminé modifie, par un phénomène de rémanence, la posture d'auto-écoute du sujet, et par voie de conséquence, sa phonation.* (Die über eine bestimmte Zeitdauer wiederholte akustische Stimulation führt, durch ein Remanenzphänomen, zur endgültigen Veränderung des Gehörs und folglich der Phonation.⁵³)

2.3.1 Das Elektronische Ohr

Um den Lesefluss zu erleichtern, soll im Folgenden EO als Abkürzung für alle Elektronischen Ohren vor dem Tomatis AudioPro (TAP) dienen.

2.3.1.1 Entwicklung des Elektronischen Ohrs

Ab 1946 forschte Tomatis in seiner eigenen Praxis. Dabei fokussierte er seine Arbeit besonders auf die Kriegsrehabilitation und die Behandlung von Sängern mit Stimmproblemen. Im Zuge dessen stellte er zum einen fest, dass die Hörschwelle eines Menschen von der Psyche mit beeinflusst wird und zum anderen, dass es einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen dem Hörvermögen und der Stimmemission gibt. Dies veranlasste ihn das erste seiner drei „Gesetze“ zu formulieren (siehe Kapitel 2.3, Seite 23).⁵⁴

⁵² Übersetzung aus [Kaunzner2001], S. 51

⁵³ Übersetzung aus [Tomatis1994], S. 14

⁵⁴ [Kaunzner2001], S. 47

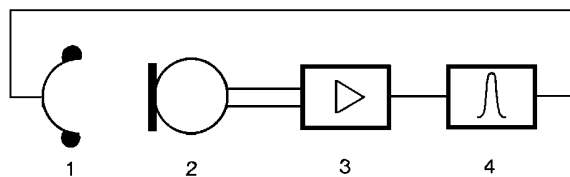


Abb. 2.21: Blockschaltbild eines Vorläufers des elektronischen Ohrs; [Tomatis1994], S. 12

Um vor allem seinen Sängerpatienten, die Unregelmäßigkeiten in ihren Hörkurven hatten, zu helfen entwickelte Tomatis ein Trainingsgerät. Das Blockschaltbild dieses ersten Vorläufers des EO ist in Abb. 2.21 abgebildet. Er besteht aus einem Mikrofon (2), in das die Patienten sprechen oder singen, einem Verstärker (3) und einem Filter (4), mit dem das Signal modifiziert wurde und welches anschließend über den Kopfhörer (1) dem Patienten wieder zugeführt wird.

Tomatis bezweckte damit, die Stimmfrequenzen, die zu dominant waren, abzuschwächen, und jene, die zu wenig vorkamen, anzuheben. Er stellte fest, dass sich die Frequenzen, die durch den Apparat angehoben wurden unmittelbar im Stimmspektrum wiederfanden. Sobald er Einfluss auf die auditive Selbstkontrolle nahm, veränderte sich die Stimme des Patienten. Entsprechend dieser Beobachtung stellte er das zweite seiner „Gesetze“ auf (siehe Seite 23).⁵⁵

Tomatis hatte nun mit einem anderen Problem zu kämpfen. Die Wirkung der Modifikation dauerte nur solange an, wie die Filter arbeiteten und die Person die Kopfhörer aufgesetzt hatte. Also suchte Tomatis nach einem Weg, diesen Effekt auch nach der „Behandlung“ aufrecht zu erhalten, das Gehör also dauerhaft zu konditionieren. Er entwickelte sein Gerät weiter und fügte ein Zwei-Kanal-System hinzu (Abb. 2.22). Die Korrektur der Stimme sollte nun erst einsetzen, wenn eine gewisse Intensität der Stimme erreicht wird, also beim ersten Laut einer Phrase oder eines Wortes. Diese Schwellintensität muss für jede Person individuell eingestellt werden.⁵⁶

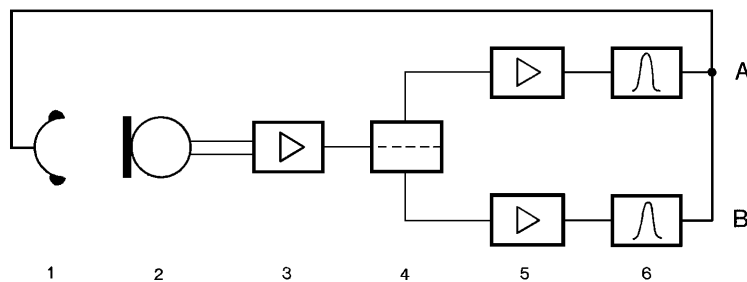


Abb. 2.22: Darstellung des Gerätes mit hinzugefügtem Zwei-Kanal-System; [Tomatis1994], S. 13

Kanal A ist bei Umgebungsgeräuschen und bei leiser Stimme offen. Dieser verstärkt die „Fehler“ in der Hörkurve des Patienten. Kanal B arbeitet genau gegenteilig. Ein bilateraler Schalter (4) öffnet diesen, wenn die oben beschriebene Schwellintensität überschritten wird. Kanal B korrigiert die „Hörfehler“ des Patienten. Durch das schnelle Umschalten zwischen den Kanälen mit ihren unterschiedlichen Verstärkungen (5) und Filterungseffekten (6) erlebt das Ohr sozusagen eine Art Mikrogymnastik der Mittelohrmuskel. Es wird praktisch dazu

⁵⁵ [Kaunzner2001], S. 48ff

⁵⁶ [Kaunzner2001], S. 51

gezwungen, zwischen An- und Entspannungsphase zu wechseln. Tomatis stellte fest, dass die Veränderungen erhalten blieben, wenn man das Ohr lange genug „trainiert“. Dies hielt er in seinem dritten „Gesetz“ (siehe Seite 23) fest.⁵⁷

2.3.1.2 Der Tomatis AudioPro

Seit der Entwicklung des ersten EO vor rund 60 Jahren hat sich in der Technik viel getan. Der Kritik, dass das EO mit veralteter Technik arbeite⁵⁸ und der allgemeinen Unhandlichkeit und Ungenauigkeit bei der Bedienung, steuerte man entgegen. 2005 wurde die neueste Generation des EO, der Tomatis AudioPro, kurz TAP, auf den Markt gebracht. Abb. 2.23 zeigt eine ältere Version des EO von 1991. Im Vergleich dazu zeigt Abb. 2.24 das neue Gerät TAP von 2005.



Abb. 2.23: Das klassische Elektronische Ohr (oben) mit externer Tonquelle (unten); Frontansicht der Bedienelemente, Baujahr 1991; [Tomatis2009b]

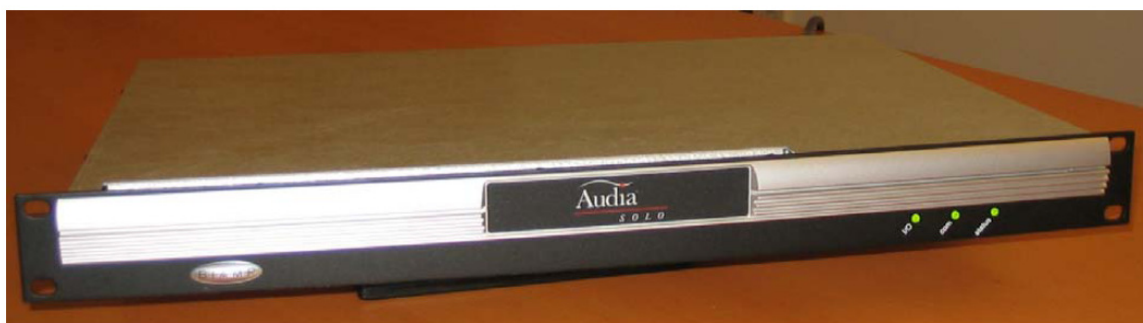


Abb. 2.24: Der digitale Audio Prozessor Tomatis AudioPro (TAP); [Tomatis2006], S. 10

Durch den Einsatz neuer und leistungsfähiger Hardware kann dieses Gerät nunmehr die Funktionalität von bis zu drei „alten“ EO, bei halber Größe selbiger, übernehmen. Die Klangqualität übertreffe laut Tomatis Développement S.A. alle bisher gewohnten Standards,

⁵⁷ [Kaunzner2001], S. 51ff

⁵⁸ [Kaunzner2001], S. 66

ebenso wie die Präzision der Parametereinstellung. Auch die Umschaltung zwischen den Kanälen erfolge nun störungsfrei und reproduzierbar. Hierfür wurde eine eigene Software entwickelt, welche die Funktion des alten EO übernimmt. Aufgrund der modularen Gestaltung des TAP können Neuerungen vom Tomatis Institut den Anwendern leicht zur Verfügung gestellt werden, die neue Software wird einfach per Internet geladen. Somit wird eine Modifikation oder ein Tausch eines alten Gerätes obsolet. Folgende Punkte nimmt Tomatis Développement S.A. für den neuen TAP in Anspruch⁵⁹:

- Beste Klangqualität durch linearen Frequenzgang von 20 bis 20 kHz und sanfte Kanalumschaltung
- Ein Gerät statt zwei oder drei konventioneller Geräte
- Verzögerungsfreie Verarbeitung des Audiosignals für aktive Sitzungen: Durchlaufzeit ca. 5 ms
- Einfach bedienbare graphische Benutzerschnittstelle vom PC aus
- Unmittelbare Änderung der Einstellungen in Echtzeit möglich
- Einfachste Einstellungen der Fremdspracheneinstellungen
- Einfache Installation durch Laien möglich
- etc...

Im Wesentlichen arbeitet der TAP nach dem ursprünglichen Prinzip des EO. Wie in Abb. 2.25 ersichtlich, besteht der TAP aus einer Eingangsschaltung, einem Hochpassfilter, der Wippe mit zwei Tonkanälen, einem Verzögerungsglied und einem Umschalter, sowie aus zwei Ausgängen für Knochen- bzw. Luftleitung. Die Neuerungen zum ersten Vorläufer des EO in Abb. 2.22 sind im Wesentlichen dahingehend, dass später noch eine externe Tonquelle, ein Hochpassfilter und eine Verzögerungsstufe hinzugefügt wurden.

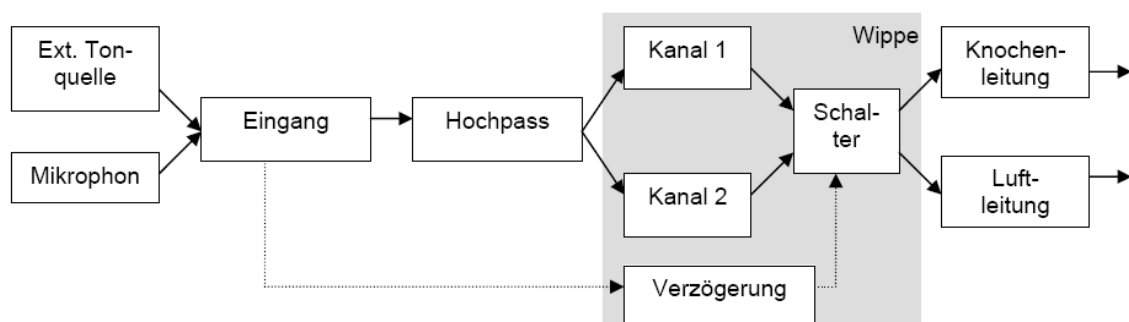


Abb. 2.25: Blockschaltbild der neuesten EO Generation, des Tomatis AudioPro, sowie der vergangenen EO; [Tomatis2006], S. 1

⁵⁹ zitierter Auszug aus [Tomatis2006], S. 11

Die Wippe

Das wichtigste Element jedes EO ist die sogenannte Wippe. Dabei handelt es sich um die programmierbare Umschaltung zwischen den beiden Kanälen des Geräts. Diese werden mit unterschiedlichen Filterungen aus zwei verschiedenen Filtern angesteuert (in Abb. 2.26 durch ein Kästchen dargestellt). Dadurch werden, wie in Kapitel 2.3.1.1 beschrieben, die Muskeln des Mittelohres einer Art „Mikrogymnastik“ ausgesetzt und „trainiert“.

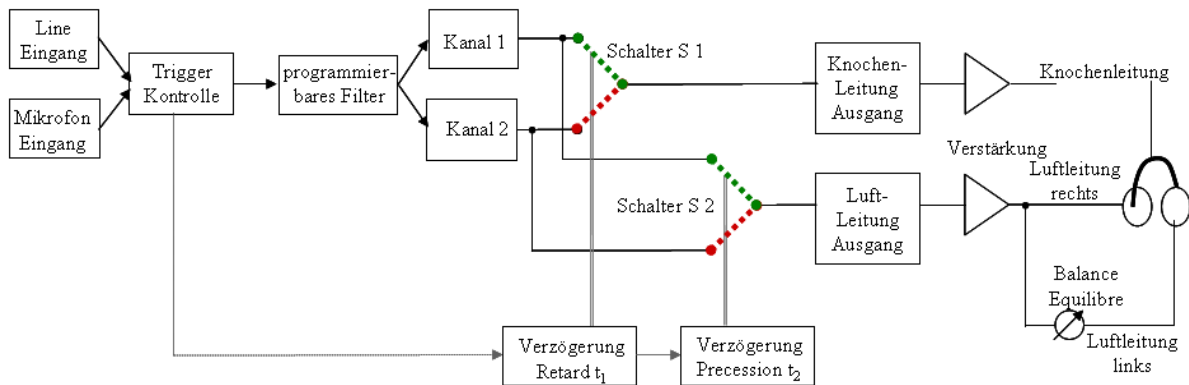


Abb. 2.26: Mögliche Schalterstellungen der Wippe im EO bzw. TAP; modifiziert nach [Tomatis2006], S. 3

Die Funktion der Wippe kann in drei Phasen unterteilt werden⁶⁰:

Phase 1 (Knochen- und Luftleitung auf Kanal 1): Hier wird der Grundzustand dargestellt. Beide Schalter, für Knochen- und Luftleitung, sind auf Kanal 1 geschaltet (beide Schalter grün).

Phase 2 (Knochenleitung auf Kanal 2, Luftleitung auf Kanal 1): Erreicht das Eingangssignal einen bestimmten Pegel, wird von der Triggerkontrolle die Verzögerung t_1 („Retard“) gestartet. Bleibt das Signal während t_1 konstant über dem Schwellwertpegel, so schaltet nach Ablauf der Verzögerungszeit der Schalter S1 auf Kanal 2 um (Schalter S1 rot). Fällt jedoch der Signalpegel vor Ablauf von t_1 wieder unter den Schwellwert, so erfolgt keine Umschaltung, der Grundzustand bleibt erhalten.

Phase 3 (Knochenleitung und Luftleitung auf Kanal 2): Wenn der Schalter S1 auf Kanal 2 geschaltet hat, wird von der Triggerkontrolle die Verzögerung t_2 gestartet. Bleibt das Signal während t_2 über dem Schwellwertpegel, dann schaltet nach Ablauf dieser zweiten Verzögerungszeit der Schalter S2 auf Kanal 2 um (Schalter S2 rot). Nun sind sowohl Luft- als auch Knochenleitung auf Kanal 2 geschaltet.

Wenn beide Schalter auf Kanal 2 (beide Schalter rot) geschaltet haben, verbleiben sie solange dabei, bis der Pegel wieder unter den vorgegebenen Schwellwert fällt. Dann kippen die Schalter wieder auf Kanal 1, um den Grundzustand herzustellen. Die genauen Zeitabläufe der verschiedenen Zustände, die die Wippe annehmen kann, sind im Anhang (Kapitel 6.1, S. 74f)

⁶⁰ [Tomatis2006], S. 3ff

zur Verdeutlichung festgehalten. Tab. 2.1 zeigt nochmals die Schalterstellungen der einzelnen Phasen der Wippe.

Phase 1	Schalter S1	Schalter S2
Phase 2	Schalter S1	Schalter S2
Phase 3	Schalter S1	Schalter S2

Tab. 2.1: Tabelle der verschiedenen Schalterstellungen in der Wippe; Kanal 1 – grün, Kanal 2 – rot

Das Hochpassfilter

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des TAP ist das Hochpassfilter (siehe Abb. 2.25), welcher den beiden Kanälen vorgeschaltet ist. Damit können bei Bedarf folgende Cut-Off Frequenzen eingestellt werden:

500 Hz	3000 Hz	
750 Hz	4000 Hz	
1000 Hz	6000 Hz	
1500 Hz	8000 Hz	(nicht bei älteren EO)
2000 Hz	9000 Hz	

Ist keine Filterfrequenz eingeschaltet, dann passiert das Signal das Filter unverändert.

Die Bedienung des TAP

Die Steuerung des TAP erfolgt über ein ebenfalls von Tomatis Développement S.A. entwickeltes Kontrollprogramm. Bedient werden können alle drei im TAP integrierten Geräte somit gleichzeitig über einen PC, der mittels Netzwerkkabel angeschlossen ist. Der TAP wurde so konfiguriert, dass trotz Programmabbrüchen oder einem Neustart des PC sein Programm störungsfrei weiterläuft, jedoch ein Eingreifen in die Programmierung jederzeit möglich ist.

Beim Start des Programms erscheint eine Oberfläche am Bildschirm, wie die in Abb. 2.27 dargestellt ist. Hiermit können sämtliche Funktionen des TAP eingestellt und konfiguriert werden. Sie sollen im Folgenden kurz erläutert werden⁶¹:

1. **Eingangslautstärke (Input Control):** Zwei Fader erlauben die Einstellungen für die externe CD-Quelle und das Mikrofon. Per „Mute“ Knopf können diese eingeschaltet (rot) oder ausgeschaltet (grau) werden.
2. **Wippe (Trigger Control):** Dieser Fader ermöglicht die exakte Einstellung des Schwellwertpegels für die Wippe. Je weiter nach oben der Regler geschoben wird, desto niedriger wird der Schwellwert. Die Anzeigen stellen die Knochen- (rot) und die Luftleitung (blau) für Kanal 1 (links) und Kanal 2 (rechts) dar.

⁶¹ [Tomatis2006], S. 12ff

3. **Ausgangslautstärke (Output Control):** mit diesem Regler kann die Basislautstärke sowohl für Knochen- (rot) als auch Luftleitung (blau) eingestellt werden. Die Anzeigen geben den jeweiligen Momentanpegel an.

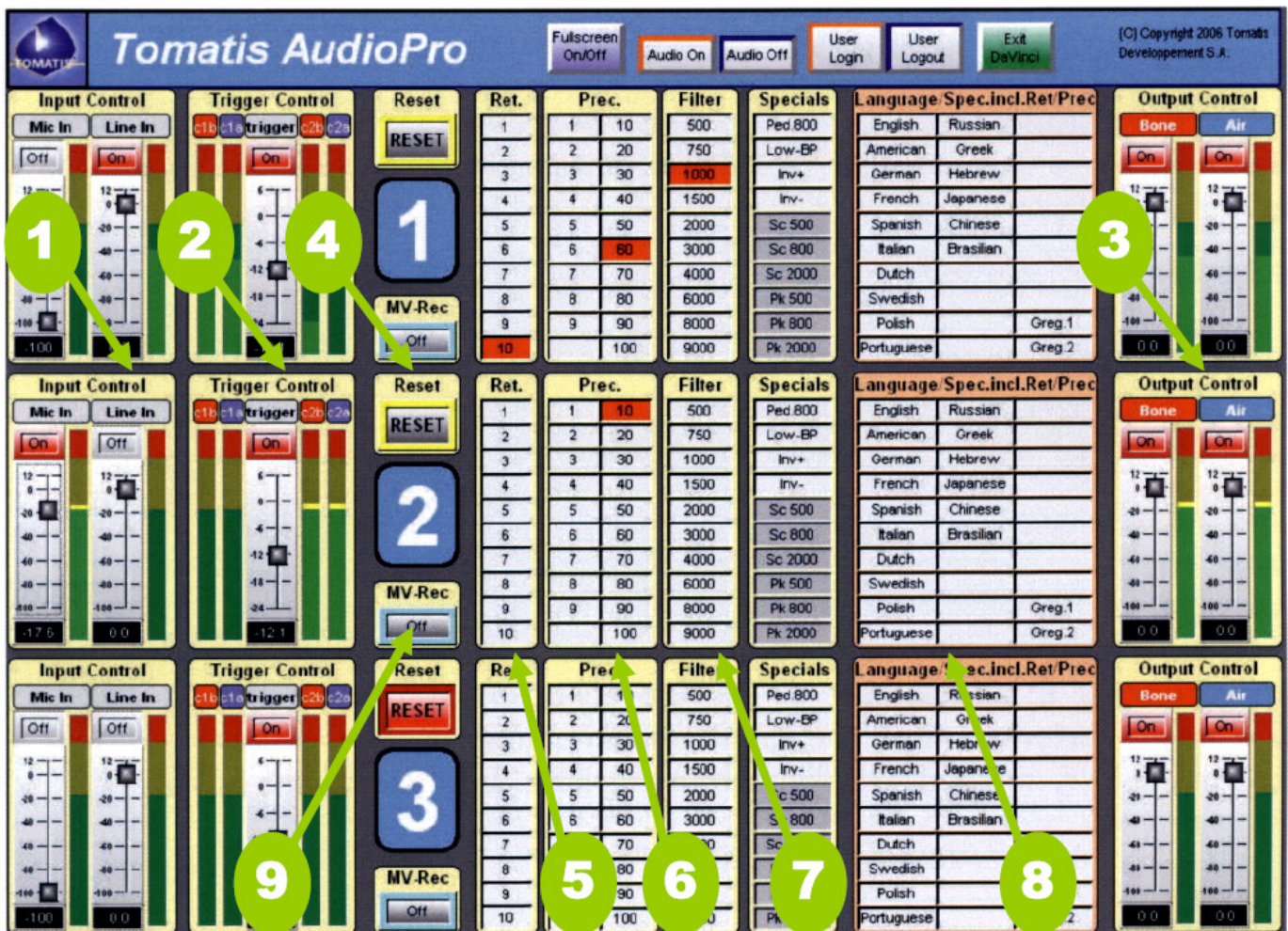


Abb. 2.27: Graphische Benutzeroberfläche des Tomatis AudioPro Programms; [Tomatis2006], S. 12

4. **Reset-Knopf:** Mit diesem Knopf wird die sogenannte pädagogische Einstellung für die Wippe (Kanal 1 Tiefpass +5/-5, Kanal 2 Hochpass -5/+5) gesetzt. Die Einstellungen für Retard, Precession und Hochpassfilter werden auf Null zurückgesetzt.
5. **Retard (Ret.):** Einstellung der Verzögerungszeit des Ansprechens der Knochenleitungswippe. Folgende Verzögerungszeiten können mit den entsprechenden Werten eingestellt werden:

0 =	0 ms	6 =	150 ms
1 =	25 ms	7 =	175 ms
2 =	50 ms	8 =	200 ms
3 =	75 ms	9 =	225 ms
4 =	100 ms	10 =	250 ms
5 =	125 ms		

6. **Précession (Prec.):** Einstellung der Werte für die Verzögerungszeit beim Ansprechen der Luftleitungswippe. Folgende Verzögerungszeiten können durch Eingabe der entsprechenden Werte eingestellt werden:

0 =	0 ms	10 =	250 ms
1 =	25 ms	20 =	500 ms
2 =	50 ms	30 =	750 ms
3 =	75 ms	40 =	1000 ms
4 =	100 ms	50 =	1250 ms
5 =	125 ms	60 =	1500 ms
6 =	150 ms	70 =	1750 ms
7 =	175 ms	80 =	2000 ms
8 =	200 ms	90 =	2250 ms
9 =	225 ms	100 =	2500 ms

7. **Filter:** Aktiviert das Hochpassfilter.
8. **Sprachen (Language/Spec.incl.Ret/Prec):** Diese Spalten enthalten Voreinstellungen für die Arbeit mit Fremdsprachen. Durch klicken auf die gewünschte Sprache werden sowohl die Filtereinstellungen den beiden Kanäle, als auch die Verzögerungszeiten Retard und Précession verändert. Eine Tabelle mit den entsprechenden Einstellungen ist im Anhang (Kapitel 6.1) zu finden.
9. **Mutterstimmenaufnahme:** Bei dieser Funktion werden alle Klang verändernden Funktionen ausgeschaltet, auch die Wippe. Das Eingangssignal wird verstärkt an den Ausgang übertragen, wo mittels eines CD-Rekorders die Mutterstimme aufgenommen werden kann.

Spezielle Einstellungen: Von den vielen weiteren Einstellungen, die am TAP vorgenommen werden können, soll hier nur noch die Gregorianische Einstellung (Greg.1/Greg.2) erwähnt werden. Mit Bestätigung einer der beiden Tasten wird eine CD mit Gregorianischen Chorälen abgespielt. Die entsprechenden Einstellungen am TAP sind im Anhang (Kapitel 6.1, S. 53) zu finden.

Die Kontrollfunktionen am oberen blauen Rand der graphischen Oberfläche des TAP sind selbsterklärend.

2.3.2 Der Sound Perception Trainer

Als das EO noch mit veralteter Technik arbeitete begann man an der Universität in Bologna ein neueres, besseres Gerät zu entwickeln. Dies soll im folgenden Kapitel kurz beschrieben werden. Um Verwirrungen möglichst auszuschließen, und den Lesefluss zu gewährleisten, soll das Trainingsgerät des Audio-Lingua Projektes im Folgenden als SPT (Sound Perception Trainer) und das entsprechende Trainingsprogramm als ALA (Audio-Lingua Aussprachetraining) bezeichnet werden.

Der Sound Perception Trainer (SPT) wurde ursprünglich entwickelt, um das in seiner älteren Ausführung sehr umständlich zu bedienende EO zu ersetzen. 1993 war das EO eine große,

unhandliche „Kiste“ mit Ausmaßen von 48,3 cm x 9 cm x 30,5 cm und einem Gewicht von 5,7 kg. Folgende Gründe führten schließlich zur Entwicklung eines neuen Trainingsgerätes⁶²:

- Veraltete Technik des EO
- Örtliche Gebundenheit an einen mit den entsprechenden Geräten ausgestatteten Raum
- Ständige Anwesenheit von geschultem Hilfspersonal nötig
- Sehr hohe Kosten (wegen hohem Personalaufwand)
- Technische und organisatorische Schwierigkeiten beim Einsatz im Gruppenunterricht
- Unbrauchbarkeit für autonomes Lernen (EO kann nicht ausgeliehen werden; Ausmaße sind zu groß, Bedienung zu kompliziert)

Bei der Entwicklung des SPT wurde größter Wert auf die Absprache mit A. Tomatis persönlich gelegt. Der SPT wurde von der Informatikgesellschaft Alien sowie von Diapason⁶³ in Mailand nach den Original-Plänen des EO gebaut. Somit wurde gewährleistet, dass der SPT die gleichen Schallmodifikationen vornimmt wie das EO. Die Ausmaße des ersten SPT waren bereits sehr viel kleiner als die des EO, das Gewicht hatte sich um fast die Hälfte reduziert. Durch den Einsatz einer Memory Card wurden auch die Anzahl der Regler und Schalter minimiert. Auf der Memory Card sind sämtliche Programmierungen gespeichert, die das Gerät aktivieren. Der Lerner kann autonom, ohne Fachpersonal, üben, es sind lediglich die relevanten Tonträger (MC oder CD) einzulegen. Die Anweisung hierfür erscheint auf dem LCD Display.⁶⁴

Tomatis Développement S.A. hat mittlerweile die meisten gegenüber dem EO angeführten und kritisierten Mängel behoben und den TAP gebaut (siehe Kapitel 2.3.1.2, S. 25). Eines braucht jedoch auch der TAP immer noch, nämlich die Bedienung durch geschultes Personal⁶⁵.

2.3.2.1 Das SPT-Labo

Das neueste Mitglied der SPT Familie heißt SPT-Labo. Es wurde zwischen 2002 und 2003 gebaut. Hierbei handelt es sich eigentlich um eine Software von Diapason, die eine Soundkarte eines PCs ansteuert. Dies ermöglicht einen niedrigen Preis des Produkts und eine effizientere Kontrolle des Vorgangs. Wie seine Vorgänger erzeugt auch das SPT-Labo den

⁶² [Kaunzner2001], S. 78

⁶³ <http://www.diapason.biz/>

⁶⁴ [Kaunzner2001], S. 77ff

⁶⁵ [Tinkl2009]

Tomatis-Effekt (Kapitel 2.3, S. 22). Der Informationsaustausch mit dem Kunden wird heute via Internet abgewickelt⁶⁶. Abb. 2.28 zeigt den Aufbau eines PCs mit der SPT-Labo Karte.

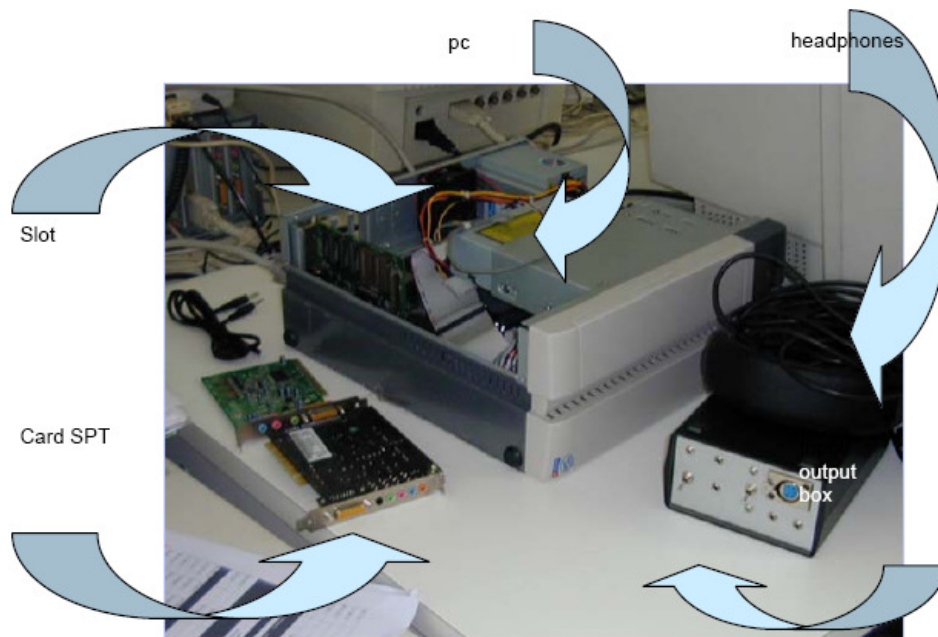


Abb. 2.28: Offener PC mit SPT-Labo Soundkarte und Kopfhörern; [Diapason2004], S. 3

2.4 Lateralität und Hemisphärendominanz

In der Lehre von Tomatis spielt die Lateralität eine ganz entscheidende Rolle. Sie ist ein „essentielles Kriterium für alles, was mit Lernprozessen zu tun hat“⁶⁷. Nach den grundlegenden Erkenntnissen von Tomatis, dem sogenannten „Tomatis-Effekt“ und der Vorstellung des von ihm Entwickelten „Elektronischen Ohrs“, sollen in diesem Kapitel wiederum beide Sichtweisen bezüglich der Lateralität dargestellt werden. Zunächst werden, in Kapitel 2.4.1, die Lehren der klassischen Medizin, danach die Ansichten von Tomatis, in Kapitel 2.4.2, beleuchtet und erörtert. Abschließend werden die beiden einander kurz gegenübergestellt.

2.4.1 Lateralität in der klassischen Medizin

Als gesichert gilt heute, dass die Aufgaben des Gehirns auf die beiden Gehirnhälften, oder Hemisphären, aufgeteilt, wenn auch nicht starr definiert sind. Die beiden Hemisphären erhalten Informationen von den ihnen jeweils gegenüberliegenden Seiten des Körpers. Bei dieser sogenannten zerebralen Asymmetrie ist die linke Gehirnhälfte mit der rechten Körperseite verbunden und die rechte Gehirnhälfte mit der linken Körperseite. Die

⁶⁶ [Diapason2004]

⁶⁷ [Tomatis2009c], S. 3

Nervenfasern der Hirnhälften sind in der Mitte durch das Corpus Callosum miteinander gekoppelt.

Bei der Hemisphärendominanz handelt es sich „um eine spezifische menschliche Fähigkeit zur asymmetrischen Spezialisierung der beiden Hirnhälften für verbale und nicht-verbale Funktionen“. Diese manifestiert sich erst im Laufe der ersten Lebensjahre, da die Hemisphären bei der Geburt noch gleichwertig sind. Sprachfunktionen sind allerdings schon davor hauptsächlich der linken Hälfte zuzuordnen. Im Alter von etwa fünf Jahren hat sich eine Hirnhälfte zur dominanten entwickelt. Diese Dominanz einer Hemisphäre ist entweder angeboren oder erworben.⁶⁸

Unter Lateralität versteht die klassische Medizin „Seitigkeiten vorwiegend im motorischen, visuellen und auditiven Bereich“. Auch die Begriffe Asymmetrie und Hemisphärität werden dafür verwendet⁶⁹. Händigkeit, zum Beispiel, ist nur ein Teil dieser Lateralität. In der Literatur kommen auch Ohrigkeit, Züngigkeit, Äugigkeit, Beinigkeit etc. vor. Bei Rechtshändern liegt in über 95 % der Fälle das Sprachzentrum in der linken Hemisphäre, bei Linkshändern ca. bei 60-70 % der Menschen. Es besteht also kein kausaler Zusammenhang zwischen Händigkeit und Sprachdominanz. Bei der akustischen Wahrnehmung überwiegt der gekreuzte Anteil der Hörbahn im Gehirn. Obwohl hier grundsätzlich keine primäre Lateralisierung vorliegt, kommt es durch die anatomische Anordnung der Hörnerven zu einem Lateralisationseffekt.⁷⁰

Die Entdeckung der Sprachverarbeitung im Gehirn verdanken wir heute besonders zwei Medizinern; dem französischen Neurologen Paul Broca und dem deutschen Neurologen Karl Wernicke. Broca war im Jahre 1861 einer der ersten, der durch Untersuchung seiner sprachgestörten oder sprachunfähigen Patienten feststellte, dass immer ein bestimmter Bereich des Frontallappens der linken Gehirnhälfte betroffen war. Dieser Lappen im Gehirn wird auch heute noch Broca-Areal genannt (Abb. 2.29). 1874 machte Karl Wernicke eine ähnliche Beobachtung, die jedoch einen anderen Teil, im linken hinteren oberen Teil des Temporallappens, betraf. Auch hier waren die Patienten nach Verletzungen eben dieses Bereiches in ihrer Sprachfunktion beeinträchtigt. Bis heute wird dieser Bereich nach seinem Entdecker als Wernicke-Areal bezeichnet (Abb. 2.29). Das Broca-Areal beherbergt das motorische Sprachzentrum, wohingegen im Wernicke-Areal das sensorische Sprachzentrum zu finden ist.⁷¹

Die Sprache an sich gehört zu den sekundären Hirnfunktionen. Sie entwickelte sich erst nach und nach und fand sozusagen ein funktionierendes System vor, in das sie sich einfügen musste. In Tab. 2.2 sind die Funktionen der beiden Hemisphären im Bezug auf akustische Reize bei Rechtshändern aufgelistet.⁷²

⁶⁸ [Wirth1994], S. 76f

⁶⁹ „Asymmetrie“ etwa in [Kolb1996] oder „Hemisphärität“ z.B. in [Springer1995]

⁷⁰ [Wirth1994], S. 77f

⁷¹ [Bear2009], S. 699

⁷² [Wirth1994], S. 66

Linke Hemisphäre	Rechte Hemisphäre
<ul style="list-style-type: none"> ● Linguistisch, d.h. phonetische oder semantische, über das Klangbild oder die Wort- bzw. Buchstabenbedeutung führende Informationsverarbeitung ● Verstehen komplexer syntaktischer Strukturen ● Erkennen von abstrakten Substantiven ● Analytisches, logisches Denken; linear, d.h. einander folgend ● Intellekt ● Bearbeitung von Klängen isolierter Laute, Tierstimmen, Lachen, Niesen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Erfassen nichtsprachlicher akustischer Strukturen ● Identifizieren verschiedener Melodietypen, Melodiegedächtnis ● Zugriff auf die Wortbedeutung erfolgt über die ganzheitliche Auffassung des Lautbildes, der visuellen Wortgestalt oder des visuellen Wortbildes ● Zugriff auf einen bestimmten Teil des Wortschatzes (z.B. leicht visualisierbare Substantive und Adjektive) über visuelle Vorstellungsbilder ● Erfassen figuraler Sachverhalte auf nichtsprachliche, intuitive, ganzheitliche Weise ● Sprachfreies Ausdrucksverständnis ● Synthetisches, ganzheitliches Denken ● Räumliches und perspektivisches Vorstellungsvermögen, bildhafte Vorstellung ● Wortzerlegung in einzelne Laute beim Diktat und ihr Zusammensetzen zu Einheiten zu Beginn des Leseprozesses

Tab. 2.2: Funktionen der beiden Hemisphären bei der Verarbeitung akustischer Reize bei Rechtshändern; [Wirth1994], S. 83

In den letzten Jahren hat sich viel in der Lateralitätsforschung getan. Nicht zuletzt durch neueste Tomographie-Methoden und die Split-Brain⁷³-Forschung und die Methode des dichotischen Hörens konnten neue Erkenntnisse zur menschlichen Lateralität gewonnen werden. An dieser Stelle soll nur kurz die Methode des dichotischen Hörens erläutert werden. Für Informationen zu Split-Brain und anderen verwandten Themen sei hier auf Literatur wie etwa [Kolb1996], [Springer1995], [Bear2009], etc verwiesen.

Das dichotische Hören ist ein Verfahren zur Lokalisation des Hörzentrums im Gehirn. Dabei hört eine Versuchsperson gleichzeitig zwei verschiedene Signale, jedes an einem Ohr. Dann soll die Person die beiden gehörten Worte oder Geräusche benennen. Auf die bei der Signalverarbeitung dominante Hemisphäre kann dann über die Schnelligkeit und Präzision der Antworten geschlossen werden. Dabei wurde festgestellt, dass Sprachreize, z.B. Wörter, hauptsächlich über das rechte Ohr (linke Hemisphäre) besser und nichtsprachliche Reize, wie

⁷³ Split-Brain-Operation: „(engl. split Spaltung; brain Gehirn) neurochir. Durchtrennung des Corpus callosum u.a. Kommissurenbahnen zur Unterbrechung der Erregungsausbreitung von einer auf die andere Großhirnhemisphäre“ [Psyhyrembel2007]

etwa Musik oder Geräusche, vor allem vom linken Ohr (rechte Hemisphäre) besser gehört und wiedergegeben werden.⁷⁴

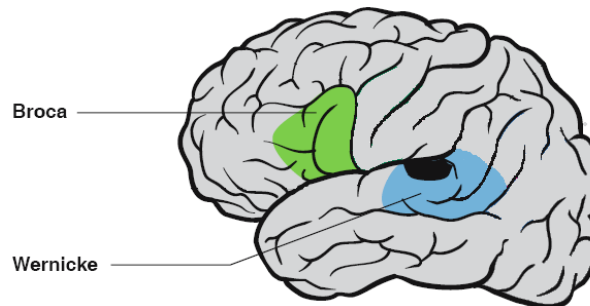


Abb. 2.29: Broca- und Wernicke-Areal im menschlichen Gehirn; verändert nach [Schmidt2006], S. 457

2.4.2 Lateralität bei Tomatis

Bei Tomatis ist die Frage nach der Lateralität eine äußerst wichtige. Dabei haben die beiden Ohren unterschiedliche Hörfunktionen. Nach Tomatis übernimmt hier ein Ohr die Führung, nämlich das rechte. Dieses ist für die Kontrollfunktion der Stimme zuständig und steuert so unter anderem die Intensität, die Klangfarbe und die Intonation.

In seiner Praxis beobachtete Tomatis Sänger, die erst nach dem Entfernen von Ablagerungen im rechten Ohr wieder gut singen konnten. Ähnlich erging es Violinspielern, denen er künstlich das rechte Ohr verstopfte und die plötzlich keine Kontrolle mehr über Klangqualität, Intonation, Rhythmus oder Lautstärke hatten, kurzum, nicht mehr gut spielen konnten. Daraus schloss Tomatis, dass das rechte Ohr dominant beim Musizieren, etwa beim Merken einer Tonfolge, und bei der Sprachkontrolle war⁷⁵. Es musste also offenbar eine Art analytische Funktion besitzen. Das linke Ohr hingegen verfüge eher über ein ganzheitliches Hören, wodurch z.B. Laien eine Melodie schneller lernen können. Nach diesen Erkenntnissen setzt nun die Tomatis-Methode die sogenannte Horcherziehung ein, wobei die Patienten lernen das rechte Ohr als ihr Führendes zu benutzen.⁷⁶ Hierbei hat Tomatis festgestellt, dass dies unerlässlich für die Tomatis-Therapie ist, ob nun mit Schlaganfallpatienten, Stotterern und autistischen Menschen gearbeitet wird, oder man eine Sprache erlernen möchte.

Tomatis erklärt das Phänomen des führenden rechten Ohres folgendermaßen. Die Asymmetrie des menschlichen Nervensystems ist eine allgemeine und anerkannte Tatsache in der Medizin. Gleichsam sind auch die den Kehlkopf innervierenden Seitenstränge des Nervus vagus (X. Hirnnerv), der linke bzw. rechte Rekurrensnerv (Nervus laryngeus recurrens), unterschiedlich lang (Abb. 2.30). Die Nervenbahn des Rekurrensnervs auf der linken Seite führt tief in den menschlichen Torso hinein bis unter die Aorta und dreht dann zurück hinauf zum Kehlkopf. Der rechte Rekurrensnerv reicht hingegen lediglich bis unter die Arterie des rechten

⁷⁴ [Kaunzner2001], S. 58

⁷⁵ [Kaunzner2001], S. 61f

⁷⁶ [Manassi1987], S. 11

Schlüsselbeins und führt dann direkt zum Kehlkopf.⁷⁷ Der Längenunterschied der sich dadurch ergibt beträgt immerhin fast 50 cm. Zeitlich betrachtet bedeutet dies eine Verzögerung, die sich in der Größenordnung einer Silbe bewegt; nach Tomatis⁷⁸ sind das im Mittel z.B. für Französisch etwa 15 ms oder ca. 20 ms für Englisch. Dies bedeutet auf der rechten Seite nun auch eine kürzere Verbindungsstrecke zwischen Cochlea, dem Hirn und schließlich dem Kehlkopf. Somit ist der Weg dieses rückgekoppelten Sprachkontrollsystems rechts viel kürzer als auf der linken. Diese Differenz ist laut Tomatis derartig bedeutend, dass sie sich eben entsprechend negativ oder auch positiv auf das Hören auswirkt.

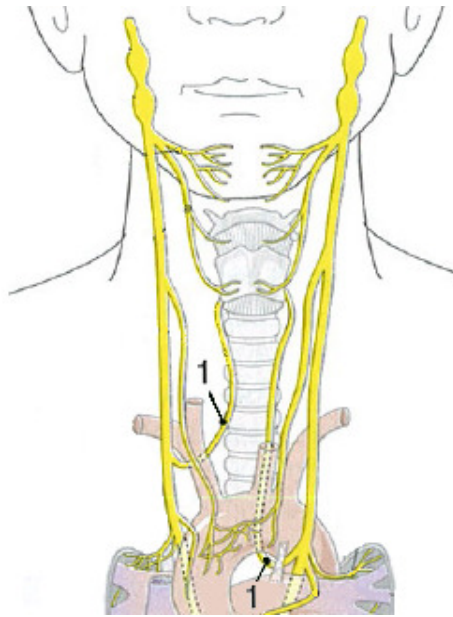


Abb. 2.30: Verlauf des Nervus vagus im Menschen; 1 Nervus laryngeus recurrens; verändert nach [Trepel2008], S. 82

Die Lateralität beruht laut Tomatis aber nicht nur auf dieser Asymmetrie des N. vagus sondern auch auf der Tatsache, dass das Sprachzentrum hauptsächlich in der linken Hemisphäre zu finden ist. Diese erhält sozusagen auf direktem Weg vom rechten Ohr die Informationen. Somit ist für Tomatis völlig klar, dass es nur Vorteile bringen kann, wenn das rechte Ohr als das dominante im Bezug auf Sprachkontrolle fungiert. Bei einer sehr links lateralisierte Person, die mit dem „linken Ohr hört“, gelangt die Information zuerst in die rechte Hemisphäre von wo aus sie über das Corpus Callosum erst verspätet die linke Hälfte erreicht. Somit macht die Information, wie oben beschreiben, laut Tomatis einen beträchtlichen Umweg.⁷⁹

Der Begriff Lateralität ist sowohl Tomatis als auch der klassischen Medizin wohl bekannt. Beide kennen mehrere Arten dieser Asymmetrie, Tomatis konzentriert sich jedoch hauptsächlich auf die Lateralität des Ohres, von der er andere Lateralitäten, etwa jene des Sprechens, ableitet, wohingegen die klassische Medizin sämtliche menschliche Lateralitäten

⁷⁷ [Manassi1987], S. 11

⁷⁸ [Tomatis1991], S. 156

⁷⁹ [Kaunzner2001], S. 62f

(z.B. Äugigkeit, Beinigkeit, etc.) eher unabhängig untersucht. Über den Sitz des Sprachzentrums sind sie sich aber einig. Die klassische Medizin stellte, wie schon Tomatis, einen gewissen Lateralisationseffekt beim Hören durch die Anordnung des Hörnervs fest. Hier geht Tomatis noch weiter und behauptet diese Lateralisation werde auch durch den Längenunterschied des linken bzw. rechten Rekurrensnervs verursacht. Auch was die Art der von den beiden Ohren bzw. dazugehörigen Gehirnhälften verarbeiteten Reize betrifft ist man sich erstaunlich einig. Hiernach soll das rechte Ohr, und die linke Hemisphäre, eher Wörter und Sprache verarbeiten, oder wie Tomatis es eher bezeichnen würde, analytisch verarbeiten, und das linke Ohr, bzw. die rechte Hemisphäre, eher Musik und Geräusche erfassen, oder mit Tomatis' Worten gesagt, ganzheitlich hören.

Wie viel ein Mensch tatsächlich lateralisiert ist, bzw. welches Ohr das führende ist, konnte Tomatis mit dem von ihm erstellten Hörtest („*test d'écoute*“) feststellen. Im anschließenden Kapitel 2.5 werden die Hörtests der klassischen Medizin, sowie jener von Tomatis vorgestellt und verglichen.

2.5 Die Hörtests im Vergleich

Um die verschiedenen Vorgehensweisen bei der Durchführung eines Hörtests zu zeigen, sollen die Methoden in den folgenden Kapiteln näher erläutert werden. Es wird gezeigt, dass bei Tomatis durchaus große Unterschiede im Vergleich zur klassischen Medizin bestehen. Kapitel 2.5.1 zeigt die wichtigsten Methoden zum Ermessen des Hörvermögens in der klassischen Medizin. Kapitel 2.5.2 beschreibt den Hörtest nach Tomatis. Abschließend folgt eine kurze Gegenüberstellung der beiden Methoden.

2.5.1 Der klassische Hörtest

In der klassischen Medizin wird prinzipiell zwischen subjektiver und objektiver Audiometrie unterschieden. Bei den subjektiven Verfahren ist der Arzt auf die Angaben seines Patienten angewiesen, bei den objektiven Verfahren kann ohne die Mitarbeit des Patienten eine Aussage über das Hörvermögen gemacht werden⁸⁰. Im Folgenden soll jedoch nur auf die für den Vergleich mit der Tomatis-Methode wesentlichen subjektiven audiometrischen Verfahren eingegangen werden. Die zunächst angeführten Arten der Stimmgabelüberprüfung (Versuch nach Weber bzw. Rinne) sollen die Unterschiede zwischen dem klassischen Hörtest und dem Test nach Tomatis noch verdeutlichen.

Versuch nach Weber

Diese Art der sogenannten Stimmgabelüberprüfung dient, zusammen mit dem Versuch nach Rinne (siehe unten) als orientierende Hörprüfung zur qualitativen Unterscheidung von Schalleitungs- (Schädigung des Außen- bzw. Mittelohrs) und Schallempfindungsstörungen (Schädigung der Sinneszellen oder des Hörnervs). Hierbei wird eine angeschlagene Stimmgabel auf die Mitte des Schädels, der Stirn oder des Nasenrückens aufgesetzt. Der

⁸⁰ [Reiß2009], S. 161

Untersuchte soll angeben, auf welcher Seite er den Ton lauter bzw. leiser hört, oder ob der Ton auf beiden Seiten gleich laut gehört wird.⁸¹

Versuch nach Rinne

Beim Versuch nach Rinne wird die Luft- mit der Knochenleitung einer Seite verglichen. Dies passiert für beide Ohren getrennt. Die Stimmgabel wird angeregt auf das Mastoid⁸² aufgesetzt. Nach Abklingen des über den Knochen übertragenen Tons wird die Stimmgabel vor das gleichseitige Ohr gehalten. Der Patient soll nun beurteilen, ob er den Ton vor dem Ohr noch hört.⁸³

Reintonaudiometrie

Die Reintonaudiometrie ist unerlässlich für die audiologische Untersuchung der Hörschwelle. Sie wird von HNO Ärzten am häufigsten eingesetzt und ist wichtiges Instrument zur Beurteilung des Hörvermögens. Bei der Reintonaudiometrie wird die Hörschwelle im Bereich von etwa 100 Hz bis 8 kHz bestimmt. Wie der Name schon verrät, verwendet man bei dieser Methode reine Sinustöne sowohl für die Anregung mittels Luftschall als auch für die Knochenschallanregung.⁸⁴

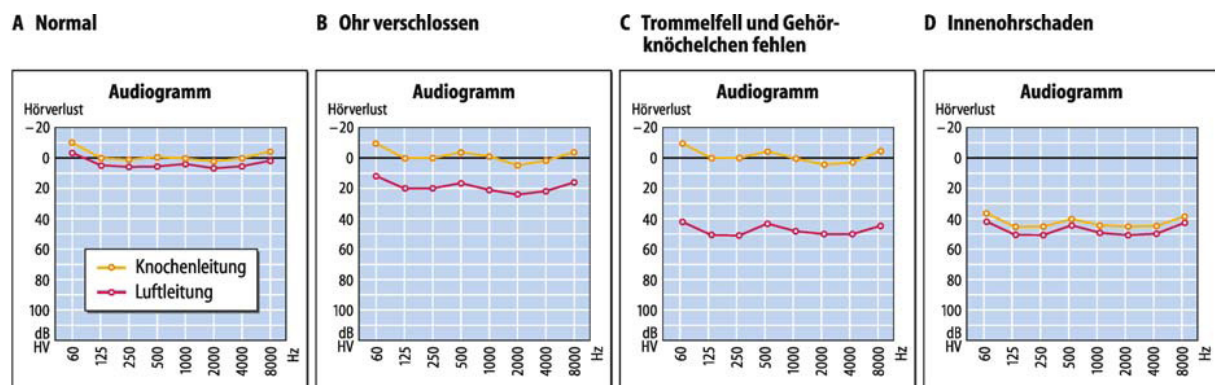


Abb. 2.31: Tonschwellenaudiogramme für verschiedene Fälle aus der klassischen HNO Medizin; [Lang2007], S. 347

Die Hörschwelle stellt eigentlich eine Isophone dar, welche im Normalfall gekrümmt ist. Für den klinischen Alltag ist dies jedoch unpraktisch, weshalb die Hörschwellenkurve als Gerade dargestellt wird. Dies schafft ein übersichtlicheres Bild für den untersuchenden Arzt. Als Referenz dient die durchschnittlich messbare Hörschwelle gesunder Jugendlicher, welche willkürlich mit 0 dB HV (HV für Hörverlust oder auch HL für „hearing loss“ im Englischen) bezeichnet wird. Diese Darstellung (Abb. 2.31) nennt man Tonschwellenaudiogramm. Die Bezugsgerade ist hier als schwarze Linie gekennzeichnet. Ein eventueller Hörverlust oder

⁸¹ [Reiß2009], S. 163

⁸² Processus mastoideus: „Kurzbez. Mastoid; Warzenfortsatz des Schläfenbeins, hinter dem äußeren Gehörgang“ [Pschyrembel2007]

⁸³ [Reiß2009], S. 163f

⁸⁴ [Reiß2009], S. 164f

eine Hörstörung wird als Abweichung von der Ideallinie nach unten dargestellt, jedoch mit positiven dB Werten beschrieben. Die Durchführung eines solchen Tests sowie Ausstattung und Art von Audiometrieräumen werden von der DIN EN ISO 8253 genauestens vorgegeben und geregelt.⁸⁵

Zuerst wird die Luftleitung überprüft. Dem Patienten wird zu diesem Zweck ein Kopfhörer aufgesetzt. Bei -10 dB HV beginnend wird der Testton (meist gepulst oder kontinuierlich) erhöht, bis der Patient eine Hörempfindung anzeigt, z.B. durch Betätigung eines Signalknopfes. Da der angegebene Reizpegel meist schon einige dB über der eigentlichen Hörschwelle liegt, wird die Schwelle wieder unterschritten und das Verfahren mehrmals wiederholt, um einen genaueren Schwellwert zu erhalten. Das fertige Audiogramm beinhaltet die jeweiligen Tonschwellen bei ca. 100 Hz bis 8 kHz in Oktav- oder Halboktavabständen. Um Untersuchungen im Hochtonbereich durchzuführen, wird die Frequenz in kleineren Abständen bis 16 kHz erhöht.

Zum ganzheitlichen Tonschwellenaudiogramm gehört auch die Hörschwelle bei Reizung mittels Knochenschall. Hierzu wird auf dem Mastoid ein Vibrationshörer angebracht und die oben beschriebene Prozedur wiederholt. Beim Messen der Knochenleitungsschwelle ist zu beachten, dass diese nur in einem Bereich von 250 Hz bis 6 kHz zuverlässig gemessen werden kann. Unter 250 Hz kann der Reiz auch gefühlt, nicht nur gehört werden, über 6 kHz strahlt der Vibrationshörer zunehmend Luftschall ab, der das Ohr über die Schalleitungskette, also Trommelfell und Mittelohr, anregt.⁸⁶

2.5.2 Der Tomatis-Hörtest („Le test d’écoute“)

Der von Alfred Tomatis entwickelte Hörtest ist der wichtigste Bestandteil des gesamten Tomatis-Trainings. Hier dient er zum einen als Hilfsmittel für die Anamnese und Problemdiagnose im Vorfeld einer APP (Audio-Psycho-Phonologie) Therapie, und zum anderen als Kontrollinstrument zur Überwachung des Behandlungsverlaufs beim jeweiligen Patienten. In Teilen deckt er sich mit den aus der klassischen HNO-Medizin bekannten Hörtests.⁸⁷

Er besteht aus folgenden Teilen⁸⁸:

- Bestimmung der audiometrischen Hörschwellenkurve für Luft- und Knochenschall bei Frequenzen zwischen 125 Hz und 8000 Hz
- Bestimmung derjenigen Frequenzbereiche, bei denen das Ohr Töne unterscheiden kann (Selektivität)

⁸⁵ [Lang2007], S. 346f

⁸⁶ [Kramme2007], S. 207f

⁸⁷ [Kaunzner2001], S. 67

⁸⁸ [Kaunzner2001], S. 68

- Bestimmung des räumlichen Perzeptionsvermögens (Richtungssinn)
- Bestimmung der Seitigkeit, also mit welchem Ohr die stimmliche Kontrolle erfolgt (Lateralität)

Es ist besonders wichtig sich bewusst zu sein, dass Tomatis diesen Hörtest (oder besser Horchtest) nicht wie in der klassischen HNO-Medizin versteht. Er betont oft⁸⁹, dass mit diesem Test nicht das Gehör an sich überprüft wird, sondern die psychologischen Aspekte, die ihm zugrunde liegen. Die Überprüfung des Gehörs erfolgt zwar in ähnlicher Weise wie in der klassischen Medizin, jedoch nimmt Tomatis' darüber hinaus eine psychologische Bewertung des Patienten vor. Dieser zweite, psychologische Aspekt, ist nach Tomatis' Auffassung in erster Linie wichtig für seine Methode.

Audiometrische Hörschwellenkurve (blau bzw. rot)

Die Bestimmung der audiometrischen Hörschwellenkurve wird in einem Bereich von 125 Hz bis 8 kHz durchgeführt. Dabei werden wie beim klassischen Hörtest die Hörschwellen in dB ermittelt. Pro Ohr gibt es zwei Kurven, eine für den Luftschall (durchgezogene blaue Linie in Abb. 2.32) und eine für den Knochenschall (gestrichelte rote Linie in Abb. 2.32). Die Nulllinie, also jene bei 0 dB, repräsentiert ein normales Hörvermögen.

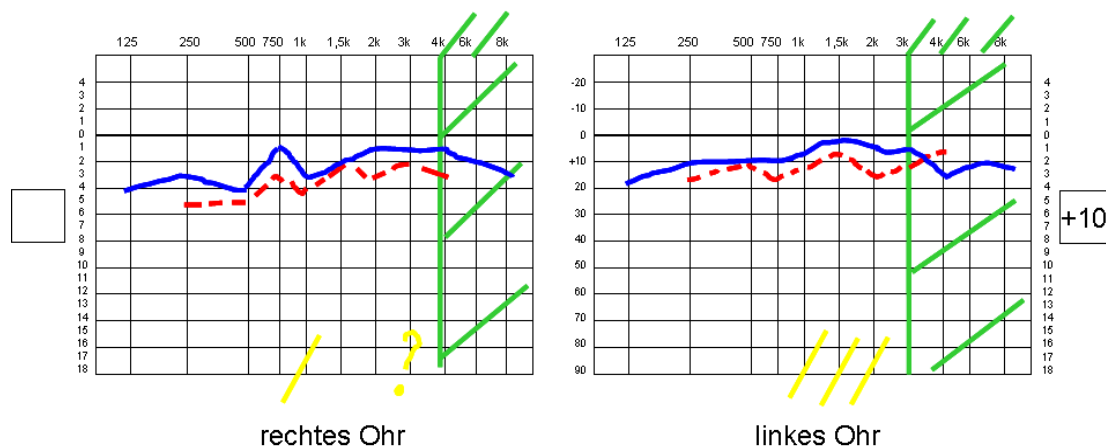


Abb. 2.32: Audiogramm eines mit der Tomatis-Methode durchgeführten Hörtests; [nach Tomatis2009a]⁹⁰

Es ist zu beachten, dass beim Audiogramm das rechte Ohr links und das linke Ohr rechts abgebildet sind. Bei der Auswertung der Kurvenverläufe fließt eine Vielzahl von Aspekten mit ein. So zum Beispiel die sogenannte Inversion (wenn die Knochenleitungsschwelle über der des Luftschalls liegt), der Neigungsverlauf der Kurven, Unterbrechungen der Kurve, der Grad der Ähnlichkeit von Knochen- und Luftschallkurve (Parallelität), etc.⁹¹ In seinem Buch „*Listening for Wellness*“ beschreibt Pierre Sollier die Auswertung und Interpretation eines

⁸⁹ [Sollier2005], S. 186

⁹⁰ Das Diagramm wurde von der Autorin nachgezeichnet und zum Zwecke der Übersicht eingefärbt

⁹¹ [Kaunzner2001], S. 68f

Tomatis-Hörtests genauer⁹². Hier sollen nur kurz die von Tomatis definierten Hörzonen beschrieben werden.

Tomatis teilt das Audiogramm zur psychologischen Bewertung in drei sogenannte Hörzonen.⁹³

- Die Körperzone („*The body zone*“)
- Die Sprach- und Kommunikationszone („*The language/communication zone*“)
- Die Kreativitätszone („*The creativity zone*“)

Abb. 2.33 zeigt diese drei Bereiche zusammen mit der nach Tomatis idealen Hörkurve eines Menschen. Die ideale Hörkurve nach Tomatis steigt bis 2 kHz mit 6 bis 18 dB pro Oktave an, hat zwischen 2 kHz und 4 kHz eine Kuppel und sinkt anschließend bei Frequenzen über 4 kHz wieder ab.⁹⁴

Die Körperzone (zwischen 125 Hz und 1 kHz) bezieht sich auf die vestibulären Reaktionen des Ohrs auf Töne. Nach Tomatis kontrolliert das Vestibulum die Bewegungen des Körpers. Es ist besonders auf tiefe Frequenzen empfindlich und verursacht hauptsächlich unbewusste, viszerale, also die Eingeweide betreffende, und instinktbehaftete Reaktionen. Tomatis nennt sie auch die Zone des Unbewussten.

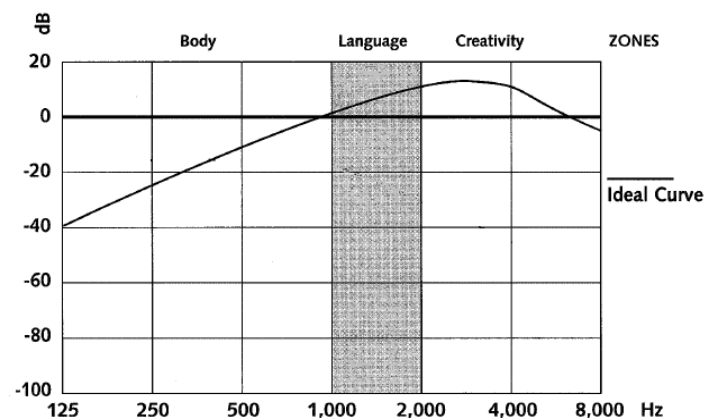


Abb. 2.33: Die ideale Hörkurve und die drei auditiven Hörzonen nach Tomatis; verändert nach [Sollier2005], S. 190&197

Die Sprach- und Kommunikationszone (zwischen 1 kHz und 2 kHz) entspricht dem Bereich, wo viele höhere Harmonische der gesprochenen Sprache zu finden sind. In diesem Bereich ist das Ohr am empfindlichsten und nimmt selbst leiseste Töne wahr. Diese Zone wird von Tomatis auch als Zone der Logik bezeichnet, da man zum Kommunizieren den logischen Regeln der Syntax folgen muss. Zuletzt manifestiert sich auch das Ego durch die

⁹² [Sollier2005] S. 183ff

⁹³ [Sollier2005], S. 197ff

⁹⁴ [Sollier2005], S. 190f

Fähigkeit zur Kommunikation. Folglich lassen sich aus der Kurve in diesem Bereich Rückschlüsse auf das Ego ziehen.

Die Kreativitätszone (ab 2 kHz) entspricht dem Bereich der höchsten Harmonischen. Diese sollen uns stimulieren, das Gehirn zu „energetisieren“ und somit unsere Lern- und Aufnahmefähigkeit zu steigern. Dies geschieht nach Tomatis jedoch nicht ohne den Geist zu „öffnen“, also Dinge intuitiv wahrzunehmen. Deshalb wird dieser Bereich auch Zone der Intuition bzw. der Spiritualität genannt, weil für Tomatis die intuitive Erfahrung oft gleichsam der Eintritt in das spirituelle Leben ist.

Selektivität (grün)

Die Selektivität wird getrennt an beiden Ohren bei einer Lautstärke von etwa 40 bis 60 dB mittels Luftleitung ermittelt. Dieser Test soll zeigen, in welchem Frequenzband die Versuchsperson am sensibelsten hört. Bei den jeweiligen Frequenzen, wobei bei 8 kHz absteigend begonnen wird, muss die Person die Höhe von Tonpaaren erkennen, also feststellen, welcher Ton höher oder tiefer ist. Auftretende Fehler werden im Audiogramm (Abb. 2.32) durch grüne Striche vermerkt und anschließend der Bereich über der tiefsten Frequenz, bei der ein Fehler gemacht wurde, schraffiert.⁹⁵

Räumliches Perzeptionsvermögen (gelb)

Um das räumliche Perzeptionsvermögen einer Person zu ermitteln wird die Hörschwellenkurve der Knochenleitung gemessen. Dabei werden bei dem Test diejenigen Frequenzen durch einen Strich markiert, bei denen die Richtung falsch gedeutet wurde, wenn ein von links kommender Ton als von rechts kommend erkannt wurde oder umgekehrt. Bei Unentschlossenheit wird ein Fragezeichen im unteren Bereich des Audiogramms eingetragen.⁹⁶ In Abb. 2.32 wird das räumliche Perzeptionsvermögen durch gelbe Striche bzw. Fragezeichen dargestellt.

Lateralität

Mit Hilfe des von Tomatis eigens für diesen Test entwickelten sogenannten Audiolaterometers wird bestimmt, ob die Testperson „linksohrig“ oder „rechtsohrig“ ist. Dies kann erkannt werden, während die Testperson spricht. Gleichzeitig wird der Person über Kopfhörer Schall zugeführt. Der Schall am rechten Ohr dient als Referenz und bleibt unverändert. Das Audiolaterometer verstellt die Lautstärke des Schalls am linken Ohr solange, bis keine Seitenlastigkeit des Minenspiels mehr erkennbar ist. Die Differenz zwischen der Lautstärke am linken bzw. am rechten Ohr wird dann im Audiogramm eingetragen (in dB). Ist die Zahl größer Null (z.B. +10 wie in Abb. 2.32) bedeutet dies eine Dominanz des rechten Ohres, ist die Zahl kleiner Null ist die Person „linksohrig“. Wenn die Zahl gleich Null ist liegt keine Seitendominanz vor.⁹⁷

⁹⁵ [Kaunzner2001], S. 69

⁹⁶ [Kaunzner2001], S. 69

⁹⁷ [Kaunzner2001], S. 67

Dieses Kapitel hat ganz deutlich die Unterschiede zwischen der Tomatis-Methode und den Ansätzen der klassischen Medizin gezeigt. Tomatis arbeitet viel im Bereich der Psychologie; dementsprechend ist auch sein Hörtest konzipiert. Die klassische Medizin (wohlgemerkt nicht die Psychologie) hingegen ist bemüht die Funktion des Gehörs zu prüfen ohne eine Aussage über den psychologischen Zustand des Patienten zu machen. Man kann die beiden Methoden im eigentlichen Sinn also nur insofern in Beziehung setzen, als dass Tomatis anfänglich ebenso wie die klassische Medizin eine Hörschwellenkurve erstellt. Die auf diese Weise erstellten Audiogramme werden jedoch weiterführend auf verschiedene Art und Weise gedeutet und weiterverwendet (siehe Seite 40).

Auch vor jedem Sprachkurs nach Tomatis empfiehlt er, wenigstens einmal seinen Hörtest durchzuführen. Welche anderen Parameter nach Tomatis für das Erlernen und verstehen eine Fremdsprache ist, soll in Kapitel 2.6 erläutert werden

2.6 „Die vier Schlüssel zu den Sprachen“

Tomatis definiert vier Parameter der sprachspezifischen auditiven Wahrnehmung, durch die er die Wahrnehmungsmuster der verschiedenen Sprachen bestimmt⁹⁸, sozusagen deren Charakter beschreibt⁹⁹. Diese Parameter sind für Tomatis äußerst wichtig, wenn es gerade um Sprachen geht. Diese sind: die Passbänder (Kapitel 2.6.1), die ethnischen Hüllkurven (Kapitel 2.6.2), die Latenzzeit (Kapitel 2.6.3) und die Präzessionszeit (Kapitel 2.6.4).

2.6.1 Die Passbänder („Les bandes passantes“)

Das Hörvermögen des Menschen bewegt sich bekanntlich zwischen 16 Hz und 20 kHz. Obwohl wir in diesem Bereich hören, werden nicht alle Frequenzen in derselben Weise wahrgenommen. Diese von jeder ethnischen Gruppe unterschiedlich wahrgenommen Bereiche nennt Tomatis „Passbänder“.¹⁰⁰ Abb. 2.34 stellt jene von Tomatis angegebenen Frequenzbereiche, die die Sprachen Deutsch, britisches Englisch, Spanisch, Französisch, Italienisch, amerikanisches Englisch und Russisch „bevorzugen“, schematisch dar.

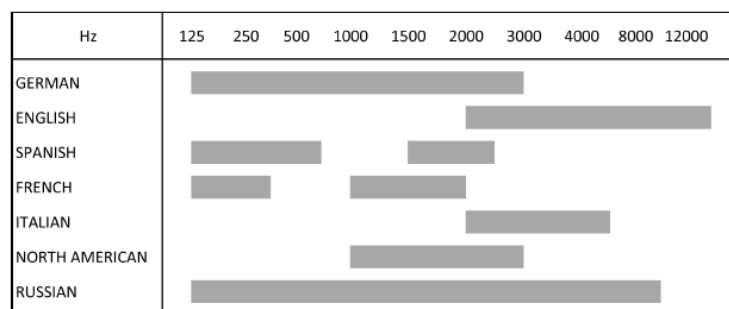


Abb. 2.34 Diagramm der Frequenzbereiche verschiedener Sprachen; [Tomatis2009b]

⁹⁸ [Kaunzner2001], S. 110

⁹⁹ [Tomatis1991], S. 120

¹⁰⁰ [Kaunzner2001], S. 108f

Laut Tomatis gibt es Frequenzbereiche, die man zwar hört, aber nicht wiedergeben kann, weil man gegenüber diesen „selektiv taub“ ist. Dies hat ursächlich nichts mit einer Beeinträchtigung des Gehörs zu tun, vielmehr reagieren die Mittelohrmuskel nicht auf diese Frequenzen. Das Ohr ist überall auf der Welt gleich, das Gehörte nicht.

Weiters führt Tomatis diese spezifischen Bereiche auf andere Einflüsse, wie etwa jenen der Umwelt, die die gesprochenen Sprachen umgibt, zurück. Er nennt dieses Phänomen „akustische Impedanz“¹⁰¹ oder „Impedanz des Ortes“.

Le premier facteur est lié aux «impédances acoustiques» des lieux et des ambiances. L'impédance acoustique répond aux résistances minimales sonores du milieu dans lequel on se situe. On parle avec un tout autre timbre selon que l'on se trouve dans une pièce réverbérante ou dans une chambre sourde. Et, ces conditions acoustiques induisent un choix de mots, une posture du corps, en fait une bande passante...¹⁰²

Tomatis behauptet, die Sprache würde durch die Filterung der Luft, bedingt durch klimatische Veränderungen, an unseren Ohren so modifiziert, dass sie anders wahrgenommen wird. Demnach lässt sich „in England leichter als in Frankreich Englisch sprechen“¹⁰³.

2.6.2 Die ethnischen Hüllkurven („Les courbes d'enveloppe“)

Die Hüllkurven, mit denen sich Tomatis seit 1955 beschäftigte, errechnete er mithilfe seiner Kathodenstrahlröhre. Von jeder Versuchsperson schoss er 10 Fotos mit jeweils 2,4 s Aufzeichnungsdauer, welche die Frequenzverteilung, also die stärksten Teiltöne in der Stimme, zeigten. Durch Superposition der einzelnen Bilder erhielt er die mittlere Hüllkurve einer Person. Um männliche und weibliche Stimmen gleichermaßen zu behandeln, filterte Tomatis die tiefen Frequenzen mit den Hauptformanten heraus. Der Vergleich zahlreicher¹⁰⁴ solcher Frequenzkurven einer bestimmten Sprache ergab schließlich eine sprachspezifische ethnische Hüllkurve. Es liegen jedoch keinerlei Dokumentationen über die Vorgehensweise beim Versuch, die Anzahl der untersuchten Personen, etc. vor. In diesen Erkenntnissen sah Tomatis großes Potential im Bezug auf das Erlernen von Fremdsprachen. Man müsse dem Lernenden nur das „Ohr“ einer Person der Zielsprache verleihen.¹⁰⁵ Auch dies versuchte Tomatis mit seinem Elektronischen Ohr zu realisieren.

¹⁰¹ Nicht zu verwechseln mit der akustischen Feldimpedanz $Z=p/v$; Tomatis neigt dazu teilweise irreführende Begriffe aus anderen Disziplinen für die oft impressionistischen Beschreibung seiner Beobachtungen zu verwenden.

¹⁰² Der erste Faktor hängt mit den „akustischen Impedanzen“ der Orte und der Stimmungen zusammen. Die akustische Impedanz spricht auf geringste akustische Widerstände des Umfeldes an, in dem man sich befindet. Man spricht mit einer ganz anderen Klangfarbe, je nachdem, ob man sich in einem Hallraum oder einem schalltoten Raum befindet. Und, diese akustischen Bedingungen induzieren eine Wortwahl, eine Körperhaltung, im Grund genommen ein Passband...[Tomatis1991], S.121

¹⁰³ [Tomatis2003], S.134

¹⁰⁴ [Kaunzner2001], S. 111

¹⁰⁵ [Kaunzner2001], S. 110ff

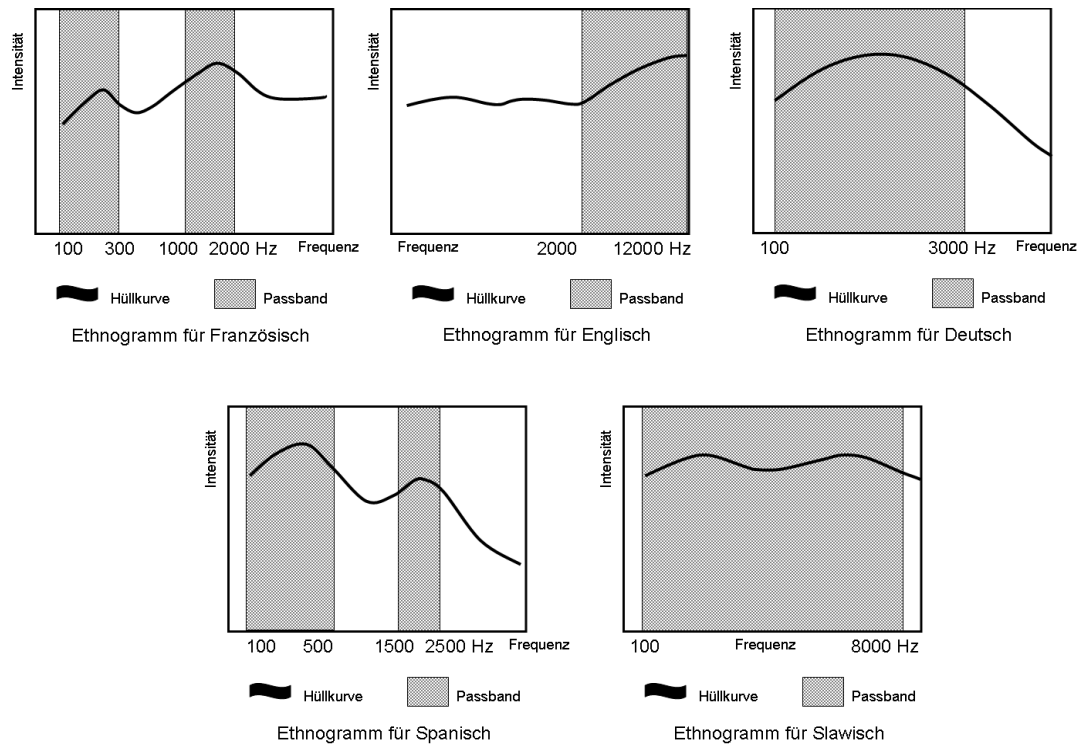


Abb. 2.35: Hüllkurven und Passbänder der französischen, englischen, deutschen, spanischen und slawischen Sprache; nach [Tomatis1991], S. 130ff

Die folgende Abbildung (Abb. 2.35) zeigt die Hüllkurven laut Tomatis von Französisch, Englisch, Deutsch, Spanisch und Slawisch, wobei er oft äquivalent zu Slawisch auch von Russisch spricht. Die grau schraffierten Bereiche stellen die in Kapitel 2.6.1 beschriebenen Passbänder dar. Auf der x-Achse ist die Frequenz aufgetragen, auf der y-Achse die Intensität, wahrscheinlich nicht die Schallintensität, sondern der Schalldruck. Die Existenz einer akustischen Konditionierung in der Kindheit durch die Muttersprache, und somit auf ein sprachspezifisches Wahrnehmungsmuster, gilt heute als gesichert.¹⁰⁶ So hat zum Beispiel Kuhl festgestellt, dass sich die Spracheigenschaften der Mutter und die späteren Sprachfähigkeiten des Kindes sehr gleichen¹⁰⁷.

2.6.3 Die Latenzzeit („Le temps de latence“)

Tomatis bezeichnet mit Latenzzeit jene Zeit, die das Ohr braucht, um sich aufs Hören, bzw. Horchen, einzustellen. Präziser ausgedrückt ist diese Latenzzeit jene Zeitspanne zwischen dem Auftreffen des Schalls am Ohr, seiner Umwandlung in elektrische Impulse, welche über den Hörnerv zum Gehirn geleitet werden, und deren Interpretation im Hirn. Auch die Latenzzeit ist laut Tomatis stark durch geographisch-klimatische Einflüsse geprägt. Wie in Kapitel 2.6.1 erwähnt, nennt er dies „Impedanz des Ortes“. Weiters beeinflusst auch das Alter

¹⁰⁶ [Kaunzner2001], S. 110

¹⁰⁷ [Kuhl2004], S. 1037f

einer Person die Latenzzeit.¹⁰⁸ Leider gibt Tomatis auch zur Berechnung der Latenzzeiten keine näheren Angaben.¹⁰⁹

Grâce aux appareils sophistiqués dont nous disposons à l'heure actuelle, j'ai pu faire des mesures exactes, au dixième de milliseconde près.¹¹⁰

Er erwähnt zwar die Verwendung seiner Kathodenstrahlröhre bei Messungen an Aufnahmen Carusos, bleibt jedoch ansonsten eine Beschreibung oder Dokumentation des Versuchsaufbaus oder der Anzahl und Art der verwendeten Daten schuldig. Auch sonst sind seine Beschreibungen von Beispielen eher wage.¹¹¹

Sprache	Latenzzeit
Französisch	50 ms
Englisch (UK)	5 ms
Englisch (US)	75 ms
Deutsch	125 ms
Spanisch	5ms
Russisch	175 ms

Tab. 2.3: Tabelle mit den Latenzzeiten nach Tomatis; [Tomatis1991], S. 139f

2.6.4 Die Präzessionszeit („Le temps de précession“)

Der vierte Parameter, den Tomatis erläutert, ist die sogenannte Präzessionszeit. Diese beschreibt den zeitlichen Vorlauf, den die Knochenleitung gegenüber der Luftleitung besitzt. Da sich der Schall im Knochen schneller fortbewegt als in der Luft und somit früher am Innenohr eintrifft, kann sich das Ohr darauf einstellen, von dem vielen Wahrgenommen die zu verstehende Information zu Hören (bzw. Horchen).¹¹²

Il faut cependant savoir que ce dernier paramètre est déterminant en ce qui concerne l'intégration, l'«incorporisation» du langage, qu'il s'agisse de l'apprentissage d'une langue maternelle ou de celui d'une langue étrangère.¹¹³

¹⁰⁸ [Tomatis1991], S. 137ff

¹⁰⁹ [Kaunzner2001], S. 116ff

¹¹⁰ Dank der ausgereiften Geräte, über die wir heute verfügen, konnte ich Messungen durchführen, die bis auf das Zehntel einer Millisekunde genau sind. [Tomatis1991], S. 141

¹¹¹ [Kaunzner2001], S. 117

¹¹² [Kaunzner2001], S. 119

¹¹³ Man muss allerdings wissen, dass dieser letzte Parameter bestimmend ist, was die Integration, die Einverleibung der Sprache betrifft, ob es um das Lernen einer Muttersprache oder einer Fremdsprache geht. [Tomatis1991], S. 142

Mit diesen oben genannten sprachspezifischen Parametern kann man laut Tomatis jede Sprache charakterisieren. Die Passbänder beschreiben einen bestimmten Frequenzbereich in jeder Sprache, die diese „bevorzugt“. Die Hüllkurven zeigen die allgemeine Charakteristik einer Sprache. Die Latenzzeit ist nach Tomatis jene Zeit die das Ohr braucht, um sich aufs Hören einzustellen. Zuletzt bezeichnet die Präzessionszeit den zeitlichen Vorlauf, den der Knochenschall gegenüber dem Luftschall besitzt. Diese Werte dienen ebenfalls dazu die Einstellungen am EO festzulegen, um Sprachen nach der Tomatis-Methode zu lernen.

2.7 Sprachtraining mit der Tomatis-Methode

Zum Abschluss dieses großen Kapitels über die klassische Medizin, Tomatis und die unterschiedliche Auffassungen zum Thema Hören, Hörtest, Lateralität etc. der beiden, soll in diesem Kapitel noch kurz eine Beschreibung des Sprachtrainings mit der Tomatis-Methode erfolgen. Kapitel 2.7.1 beschreibt zunächst das Sprachtraining, wie es bis heute an den vielen Tomatis Instituten durchgeführt wird. Das etwas veraltete und eher langweilige Programm wurde von Ulrike Kaunzner von der Universität in Bologna bis 1996 im Rahmen ihrer Dissertation überarbeitet. Dieses Trainingsprogramm wird in Kapitel 2.7.2 erläutert.

2.7.1 Das Tomatis-Trainingsprogramm und -material

Bevor mit dem Tomatis-Training überhaupt begonnen werden kann, erfolgen immer ein Eingangsgespräch sowie eine Bewertung des Patienten mittels Tomatis-Hörtest (siehe Kapitel 2.5.2). Dadurch können Problemfälle bei der Programmierung des EO berücksichtigt werden. Jedoch existieren Standardprogrammierungen für die meistverbreiteten Sprachen wie etwa Französisch, britisches Englisch, Deutsch, Italienisch, Spanisch, etc.¹¹⁴

Das Trainingsprogramm teilt sich prinzipiell in zwei Phasen, eine rezeptive und eine (re)produktive. In der ersten Phase hören die Personen Texte in der Zielsprache sowie Musik. Dies soll den Hörer für die Lauteigenschaften der jeweiligen Sprache sensibilisieren. Der Input erfolgt über die Kopfhörer mit Knochenvibrator, welche die Filterung der jeweiligen Zielsprache übertragen. Im Schnitt dauert diese erste Phase 60 Sitzungen zu je 30 Minuten, die idealerweise in einem Zeitraum von 3 Wochen absolviert werden. Bevor der Lernende eine drei- bis vierwöchige Pause macht, wird zur Kontrolle ein weiterer Hörtest durchgeführt. Nach dieser Erholungspause für das Ohr beginnt die insgesamt 30 Sitzungen dauernde (re)produktive Phase. Hier arbeitet der Lerner an seiner Aussprache, indem er je nach Sitzung entweder etwas nachspricht, oder laut vorliest. Zur Entspannung wird hin und wieder auch Musik gespielt. Die Reproduktion der Sätze, Satzteile oder Ausspracheübungen erfolgt ohne Zuhilfenahme von geschriebenen Texten. In dieser Phase wird nicht zwischen Sprachniveaus unterschieden, jeder bekommt die gleichen Übungen.¹¹⁵

¹¹⁴ [Kaunzner2001], S. 241

¹¹⁵ [Kaunzner2001], S. 241f

Das verwendete Tonbandmaterial dient jeweils einem eng definierten Zweck innerhalb der Trainingsphasen. Diese werden mit unterschiedlichen Kürzeln bezeichnet, MD, MF, BP, TC, MR und TR. Die entsprechenden Erläuterungen sind in Tab. 2.4 festgehalten.

Die Musik-Tonträger MD und MF umfassen Violinmusik von Mozart und Gregorianische Gesänge. Bei den TC-Tonträgern handelt es sich um Aufnahmen des immer selben Textes, „*Der kleine Prinz*“ von Antoine de Saint-Exupéry. Diese werden von Mal zu Mal höher gefiltert, so dass zum Schluss hauptsächlich Frequenzen über 8 kHz übertragen werden. Während des Trainings hört der Lerner so insgesamt 40-mal denselben Text, der von immer derselben Person gesprochen wird.¹¹⁶

Bezeichnung	Inhalt	Einsatz	Beschreibung
MD	Verdichtete Musik „ <i>musique densifiée</i> “	„Passive“ Phase, teils auch "Aktive" Phase	Musik-Tonbänder, in denen mit einer Reihe aufeinanderfolgender Regulatoren die Lautstärke der Frequenzen über 1500 Hz gesteigert wird.
MF	Gefilterte Musik „ <i>musique filtrée</i> “	„Aktive“ Phase (Als Hintergrundmusik, wenn Lerner selbst laut liest)	Musik-Tonbänder, bei denen mit Hilfe eines Hochpassfilters Frequenzen unter 1500 Hz abgeschwächt werden.
TC	Fortlaufender Text „ <i>texte continu</i> “	„Passive“ Phase	„ <i>Der kleine Prinz</i> “, von einer Muttersprachlerin gelesen.
MR	Nachsprechen von Wörtern/Sätzen „ <i>mots répétés</i> “	„Aktive“ Phase	Von Muttersprachlern gelesene Wortreihen und Satzfragmente, die der Lerner nachsprechen soll.
TR	Texte mit Nachsprechpausen „ <i>textes répétés</i> “	„Aktive“ Phase	Texte zum Anhören und Nachsprechen. Das Verstehen ist nicht gewährleistet. Dem Lerner liegen keine Texte schriftlich vor.

Tab. 2.4: Beschreibung des verwendeten Tonmaterials im Tomatis-Hörtraining; [Kaunzner2001], S. 243

Für die (re)produktive Phase wird zweierlei Tonmaterial verwendet. Bei den TR-Tonträgern soll der Lerner vorgespochene Textsegmente nachsprechen. Das Textverständnis sei hier laut Tomatis völlig nebensächlich. Die MR-Aufnahmen beinhalten Wortreihen, Satzfragmente und Kurzsätze, die jeweils nachgesprochen werden. Jedoch ist eine Systematik bezüglich der phonologischen Eigenschaften der Zielsprache nicht zu erkennen.¹¹⁷

¹¹⁶ [Kaunzner2001], S. 242f

¹¹⁷ [Kaunzner2001], S. 244

Generell werden folgende Kritikpunkte am Tomatis-Training im Bezug auf das Fremdsprachenlernen von den Entwicklern des Audio-Lingua-Aussprachetrainings angeführt¹¹⁸:

1. Keine Abwechslung der Texte in der rezeptiven Phase
2. Mangelnde Systematik und Einteilung nach Ausspracheproblemen in der Zielsprache
3. Monotonie der Übungen (Nachsprechen von Einzelwörtern ohne Zusammenhang)
4. Verwirrung durch ständigen Wechsel zwischen Ankündigungen/Erklärungen und den eigentlich Nachsprechübungen auf demselben Tonband
5. Fehlerhafte Intonation und Monotonie der Sprecherstimmen
6. Zeitlich zu knapp bemessene Nachsprechpausen
7. Überforderung des phonetischen Gedächtnisses (z.B. Einheiten von mehr als 15 Silben)

Inzwischen wurde jedoch neben den Texten aus dem „kleinen Prinzen“ auch anderes Tonmaterial für das Tomatis-Training erstellt¹¹⁹.

2.7.2 Das Audio-Lingua-Trainingsprogramm und –material

Das im Rahmen des EU-Projektes Audio-Lingua erstellte Übungsprogramm bezieht sich in diesem speziellen Fall auf Deutsch als Fremdsprache (DaF). Es wurde für eine Lerngruppe mit guten bis sehr guten Deutschvorkenntnissen und einem Mindestalter von 21 Jahren (in erster Linie Studenten) konzipiert. Aus diesem Grund ist das Niveau der Texte und Ausspracheübungen entsprechend fordernd.¹²⁰

Das ALA hat den organisatorischen Aspekt des Tomatis-Programms in seinen Grundzügen übernommen. Es ist als Erweiterung und Verbesserung der Tomatis-Trainings zu sehen. Die Inhalte des Programms, besonders jene der Module TC, MR und TR (siehe Tab. 2.4), wurden jedoch auf Grund mehrerer Schwachstellen (siehe Kapitel 2.7.1) verworfen.

„Das alte didaktische Material in Form von Tonbändern und Kassetten bedarf jedoch einer völligen Erneuerung. Hier wird nach methodisch-didaktischen Überlegungen ein fundierter Übungskatalog entwickelt, der sich von den zum Teil sehr willkürlich zusammengestellten Texten und Nachsprechübungen des Centre Tomatis völlig unterscheiden“¹²¹.

¹¹⁸ [Kaunzner2001], S. 244f

¹¹⁹ [Tinkl2009]

¹²⁰ [Kaunzner2001], S. 253

¹²¹ [Kaunzner2001], S. 242

	Tomatis-Training	ALA
Rezeptive Phase	60 Sitzungen = 30 Stunden	42 Sitzungen = 21 Stunden
(Re)produktive Phase	30 Sitzungen = 15 Stunden	40 Sitzungen = 20 Stunden
Summe	45 Stunden	41 Stunden

Tab. 2.5: Zeitaufwand für das Tomatis-Training bzw. das Audio-Lingua Aussprachetraining; [Kaunzner2001], S. 253

Auch das ALA teilt sich in eine rezeptive Phase und eine (re)produktive Phase. Die Aufteilung der Sitzungen wurde jedoch gegenüber dem ursprünglichen Tomatis-Training geändert (siehe Tab. 2.5). Die neuen Module HT, NSÜ und NLT sollen hier kurz erläutert werden¹²². Eine Zusammenfassung bietet Tab. 2.6 auf der nächsten Seite, in der die Neuerungen des ALA hellgrün unterlegt sind.

HT (Hörtexte) – rezeptive Phase: Statt der TC-Texte des Tomatis-Trainings werden beim ALA neue Hörtexte verwendet. Diese unterscheiden sich vom Tomatis Material, weil sie sowohl eine Variation der Textart als auch eine Variation von Sprechern vorsehen. Die Texte bestehen zu einem Drittel aus Sachtexten und zu zwei Drittel aus literarischen Texten. Wie bereits erwähnt wird hier viel Wert auf Abwechslung gelegt. So werden die Hörtexte von Männern und Frauen gelesen, die jeweils aus verschiedenen Sprachregionen kommen. Beachtet werden muss, dass trotz regionaler Akzente „gut“ gelesen wird, also eine zu starke Abweichung von der Hochsprache vermieden wird. Bei diesem Material handelt es sich um durchlaufende Texte, die zum reinen Anhören gedacht sind.

NSÜ (Nachsprechübungen) – (re)produktive Phase: Die alten MR-Texte werden im ALA durch linguistisch fundierte Ausspracheübungen ersetzt. Diese sind systematisch und progressiv aufgebaut, jede Sitzung verfolgt ein bestimmtes Lernziel. Der Lerner soll hier isolierte Sätze oder Satzteile anhören und unmittelbar nachsprechen.

NLT (Nachsprech- und Lesetexte) – (re)produktive Phase: Dieses Modul unterscheidet sich grundlegend von den alten TR-Texte. Sie basieren auf einer Stufung nach Schwierigkeitsgrad, sowie einer Variation von Textart und Sprechern, wie bei HT. Bei den NLT handelt es sich um kurze zusammenhängende Texte, die zunächst vom Lerner „im Ganzen angehört (Dauer: ca. 5 Min) und dann in Einheiten (in Einzelsätzen oder Satzteilen) nochmals angehört und nachgesprochen (Dauer: ca. 10 Min.)“¹²³ werden. Schließlich hat der Lerner noch etwa 10 Minuten Zeit, um den Text selbst laut zu lesen und ihn sich danach nochmals anzuhören, wobei er wahlweise (laut) mitlesen kann. Wichtig ist vor Beginn der Übung, dass der Lerner Zeit hat sich den Text durchzulesen und gegebenenfalls Verständnisfragen zu klären. Während der (re)produktiven Phase wechseln sich NSÜ und NLT Module ab.

¹²² [Kaunzner2001], S. 250ff

¹²³ [Kaunzner2001], S. 255

Bezeichnung	Inhalt	Einsatz	Beschreibung
MD	Verdichtete Musik <i>"musique densifiée"</i>	Rezeptive Phase, (re)produktive Phase	Musik-Tonbänder, in denen mit einer Reihe aufeinanderfolgender Regulatoren die Lautstärke der Frequenzen über 1500 Hz gesteigert wird.
MF	Gefilterte Musik <i>"musique filtrée"</i>	(Re)produktive Phase (Als Hintergrundmusik während des Lautlesens)	Musik-Tonbänder, bei denen mit Hilfe eines Hochpassfilters Frequenzen unter 1500 Hz abgeschwächt werden.
HT	Fortlaufender Text <i>"Hörttext"</i>	Rezeptive Phase	Prosatexte ohne Nachsprehpausen in der Zielsprache, von Muttersprachlern gelesen, wobei auf Variation der Textarten (literarische und Sachtexte) und Abwechslung von Sprechern (Geschlecht und regionale Färbung) geachtet wird
NSÜ	Ausspracheübungen <i>"Nachsprechübungen"</i>	(Re)produktive Phase	Linguistisch fundierte Ausspracheübungen für segmentale und suprasegmentale Aspekte der Sprache mit Pausen, die der Wiederholung mit Selbstkontrolle über Kopfhörer dienen (von Muttersprachlern gelesen). Jede Sitzung ist einem linguistischen Ziel gewidmet; die Übungen bauen progressiv aufeinander auf.
NLT	Texte und Sätze mit Nachsprehpausen <i>"Nachsprech- und Lesetexte"</i>	(Re)produktive Phase	Kurztexte (ca. 5 Min) zum Anhören, Nachsprechen und lautem Lesen, wobei wie bei "HT" auf Variation der Textart und Abwechslung der Sprecher geachtet wird. Der Text liegt dem Lerner vor; um zu garantieren, dass sie die Texte auch verstehen, gibt es eine Stufung nach Schwierigkeitsgrad

Tab. 2.6: Beschreibung des verwendeten Tonmaterials beim Audio-Lingua Aussprachetrainings; neu erstelltes Material ist mit hellgrün hervorgehoben; [Kaunzner2001], S. 252

Als Abschluss zu diesem großen Kapitel wurden hier noch die Sprachtrainingsmethoden, die mit dem Tomatis-Effekt arbeiten, vorgestellt. Die ursprünglich von Tomatis eingeführte Methode ist monoton aufgebaut, da weder bei den Sprechern noch bei den gesprochenen Texten wirklich Abwechslung besteht (ein Sprecher spricht immer den gleichen Text). Diese wurden von Ulrike Kaunzner herangezogen und verbessert. Sie nahm das anfängliche

Programm und ergänzte bzw. ersetzte einzelne Module durch methodisch-didaktisch überlegte, fundierte Übungen. Somit wurde neben dem eigentlichen Tomatis-Effekt ein linguistisch aufbereiteter Übungskatalog in das Training integriert, um es noch effektiver zu betreiben.

Nach den Grundlagen über die Tomatis-Methode aus dem Kapitel 2 werden in der vorliegenden Arbeit noch die von Tomatis erstellten „Sprachethnogramme“ überprüft. Es soll grundsätzlich erörtert werden, ob man mit heutigen Methoden der Sprachsignalverarbeitung spektrale Unterschiede zwischen verschiedenen Sprachen festzustellen sind. Die Erstellung dieses Vergleichs ist ausführlich in Kapitel 3 beschrieben.

3 Untersuchung der Sprachethnogramme

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Untersuchung der von Tomatis angegebenen „Ethnogramme“. Kapitel 3.1 erläutert zunächst die Motivation und Intention der durchgeführten Untersuchungen. Gleich zu Beginn von Kapitel 3.1 wird ein wesentlicher Begriff dieser Arbeit definiert: das Phonem. In Kapitel 3.1.1 wird die herangezogene Sprachdatenbank mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt. Die in der Sprachdatenbank verwendete Transkriptionsschrift SAMPA ist in Kapitel 3.1.2 beschrieben. Da die Datenbank nicht ganz den Anforderungen der Untersuchung genügte, mussten die Daten entsprechend aufbereitet werden. Die Dokumentation hierfür beinhaltet Kapitel 3.1.3. Die eigentlichen Berechnungen der Spektralkurven der einzelnen Sprachen werden im Detail anschließend in Kapitel 3.1.4 behandelt. Schlussendlich werden die erhaltenen Ergebniskurven in Kapitel 3.2 ausführlich dokumentiert und ausgewertet. Ein rückführender Vergleich mit den Kurven von Tomatis wird in Kapitel 3.3 angestellt.

3.1 Methoden

Den Stein des Anstoßes für diese Untersuchung bildeten in erster Linie die von Tomatis ermittelten „Sprachethnogramme“, wie sie in Kapitel 2.6.2, auf S. 44, beschrieben wurden. Tomatis hinterließ keinerlei bekannte Aufzeichnungen über die Beschaffenheit der gesprochenen Sprache (wurden Sätze, Wörter oder Ähnliches gesprochen), die Statistik der vermessenen Personen (Anzahl, Alter, Geschlecht etc.) oder die Art und Vorgehensweise der Berechnungen mit deren Hilfe er diese Kurven ermittelt hatte. Zu Lebzeiten gab er zwar mündlich einige Auskünfte über diese Versuche, in seinen Publikationen jedoch gibt er lediglich wage Hinweise darauf. So ist es heute praktisch unmöglich den genauen Weg, den er beschritten haben mag, nachzuvollziehen.

Aufgrund der vielen offenen Fragen, die Tomatis hinterlassen hat, wurde diese Arbeit mit dem Ziel begonnen, Spektralkurven von verschiedenen Sprachen zu finden, welche jenen von Tomatis möglichst nahe kommen sollten. Es sollte eine reproduzierbare Berechnung erstellt werden, mit der man die „Ethnogramme“ beschreiben und selber erstellen könnte. Nach derselben Idee wie jener von Tomatis sollte ein fairer Vergleich zwischen Spektralkurven mehrerer Sprachen erarbeitet werden, um so relevante Unterschiede zu finden.

Da die vorliegende Arbeit hauptsächlich auf Untersuchungen der Phoneme und ihrer Spektren beruht, soll an dieser Stelle noch kurz definiert werden, worum es sich bei einem Phonem handelt:

Das Phonem

„Die zwei Wörter Tante und Kante unterscheiden sich phonetisch in genau einem Laut. Das erste Wort enthält dort ein [t], wo das zweite ein [k] aufweist. Die beiden Laute [k] und [t] kontrastieren, d.h. sie können Wörter bzw. Bedeutungen unterscheiden. [...] Man nennt Laute, die eine kontrastierende Funktion haben, **Phoneme**. Phoneme werden meist als ‚kleinste bedeutungsunterscheidende Elemente‘ definiert. Im Deutschen sind also [t] und [k] Phoneme, weil sie in denselben Kontexten auftreten und dabei Bedeutungen unterscheiden.“¹²⁴

3.1.1 Die Sprachdatenbank: EUROM_1

Die Auswahl der Sprachdatenbank für die vorliegenden Untersuchungen erfolgte nach einigen für den Erfolg der Arbeit wesentlichen Kriterien. Die Daten sollten zum Zwecke der Vergleichbarkeit unter gleichen Bedingungen aufgenommen und kodiert worden sein. Dies ist meist bei Datenbanken, die gleich mehrere Sprachsätze beinhalten, der Fall.

Die Wahl fiel auf den sogenannten EUROM_1 Korpus, der vom University College London in Zusammenarbeit mit Universitäten in ganz Europa erstellt wurde und vertrieben wird¹²⁵. Der Korpus beinhaltet insgesamt sieben Sprachen, Dänisch, Holländisch, Englisch, Deutsch, Französisch, Norwegisch und Schwedisch. Die Verfasser beanspruchen für ihre Daten besondere Vergleichbarkeit und Konsistenz, da bei den Aufnahmen aller Sprachen auf dieselben Aufnahmeprotokolle, Datenformate und Kalibrationssignale sowie auf das Vorhandensein derselben Aufnahmeausrüstung Wert gelegt wurde. Darüber hinaus wurden alle Daten in Freifeldräumen aufgenommen¹²⁶. Ein Kompromiss musste bei der ansonsten passablen Datenbank jedoch eingegangen werden; die Segmentierung der Daten ist nur auf orthographischer Ebene, also auf Wortebene, vorhanden, was später noch behoben werden musste, da für die Untersuchungen eine Transkription auf Phonemebene unerlässlich war. Über die phonetische Verteilung finden sich im begleitenden Bericht der Datenbank keine Hinweise. Man muss davon ausgehen, dass das Sprachmaterial phonetisch nicht balanciert ist. Für diese Arbeit wurden aus den verfügbaren Sprachätzen (Britisches) Englisch, Deutsch und Französisch gewählt.

3.1.2 SAMPA Transkriptionsschrift

Die EUROM_1 Datenbank ist mithilfe von SAMPA vollständig transkribiert. Das sogenannte SAMPA (Speech Assessment Methods Phonetic Alphabet) bezeichnet ein ASCII-basiertes phonetisches Alphabet zur elektronischen Übermittlung und Verarbeitung von Sprachen. Es wurde vom britischen Phonetiker John C. Wells in den späten 1980ern entwickelt.

¹²⁴ [Hall2000], S. 36f

¹²⁵ Die EUROM_1 Datenbank ist erhältlich unter: <http://www.phon.ucl.ac.uk/shop/eurom1.php>

¹²⁶ [Chan et. al. 1995], S. 868ff

„SAMPA ist kein eigenständiges phonetisches Alphabet, sondern codiert nur eine Teilmenge des IPA¹²⁷ maschinenlesbar und tastaturfreundlich in ASCII. Diese Teilmenge umfasst die Phonemsymbole der oben genannten Sprachen, soweit sie in Lexika benötigt werden, nicht jedoch, wie IPA, Symbole für weitere Aussprachedetails. Dazu ordnet SAMPA den einschlägigen Symbolen des IPA passende 7-Bit-ASCII-Codes zu. Man achtete auf Ähnlichkeiten zu IPA-Symbolen, damit außer Maschinen auch Menschen Texte in SAMPA leicht würden lesen können. Die SAMPA-Transkribierungscodes sind international [...] standardisiert.“¹²⁸

Eine Tabelle aller in der Arbeit verwendeter Phoneme mit ihren entsprechenden IPA und SAMPA Symbolen findet sich im Anhang, Kapitel 6.2.2, S. 78f. Bei dieser Tabelle ist zu beachten, dass die vorkommenden Laute aus dem Phoneminventar von Delattre¹²⁹ stammen, mit dem später gearbeitet wird. Weiters entspricht die IPA Notation jener der offiziellen Richtlinien der Internationalen Phonetischen Gesellschaft¹³⁰ (ebenfalls als IPA bezeichnet). Weiters sei hier vermerkt, dass die in der EUROM_1 Datenbank verwendete SAMPA Notation nicht immer mit der offiziellen für die jeweilige Sprache übereinstimmt. Es wurde aber, um Verwirrungen und Fehler auszuschließen, die Notation der Datenbank beibehalten.

3.1.3 Aufbereitung der Sprachdaten

Da nun die Daten aus dem EUROM_1 Korpus, wie in Kapitel 3.1.1, S. 54 beschrieben, nicht ganz den gewünschten Anforderungen entsprachen, mussten diese vor ihrem Einsatz entsprechend aufbereitet werden. Aus der Gesamtheit aller Daten wurde jener Teil mit sogenannten CVC (engl. Consonant-Vowel-Consonant) -Wörtern gewählt, da diese augenscheinlich alle Phoneme aus den Delattre Tabellen enthielten. Wie sich später herausstellte, fehlten beim englischen bzw. deutschen Datensatz je zwei Phoneme, die aus anderen Textpassagen in der Datenbank, jedoch von den gleichen Sprechern gesprochen, entnommen werden mussten. Eine Auflistung der gesprochenen CVC-Wörter aus der Datenbank findet sich im Anhang, Kapitel 6.2.3, S. 80ff.

Für die Datensätze wird pro Sprache jeweils ein weiblicher und ein männlicher Sprecher, ein sogenanntes „very-few-talker-set“, ausgewählt. Diese reduzierte Sprecherzahl ist für die vorliegende Grundsatzuntersuchung völlig ausreichend. Dabei wird darauf geachtet, dass die Sprecher jeweils in etwa gleich alt sind, ihr Sprachhintergrund der gleiche ist (bei allen drei Sprachen wird die jeweilige Standard- bzw. Hochsprache gewählt) und, dass keiner von ihnen raucht. Die so erhaltenen Sprecherdaten sollten dann zur weiteren Verwendung phonetisch segmentiert werden. Die Versuche, die Daten mittels eines Segmentieralgorithmus automatisch zu segmentieren, scheiterten; zum einen an den geringen Datenmengen der Gesamtdatenbank, um den Algorithmus zu trainieren, zum anderen am teilweise schlechten Datenmaterial, welches zwischen den einzelnen gesprochenen Wörtern viele „Klicks“

¹²⁷ Internationale Phonetisches Alphabet

¹²⁸ Zitat aus: <http://de.wikipedia.org/wiki/SAMPA>

¹²⁹ [Delattre1965], S. 59ff und S. 84ff

¹³⁰ <http://www.langsci.ucl.ac.uk/ipa/index.html> und http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_IPA_Zeichen

ausweist. So müssen die Daten schließlich per Hand unter Zuhilfenahme des Programms „Wavesurfer“ transkribiert werden. Da die Datenmenge ohnehin schon stark reduziert ist, hält sich der Arbeitsaufwand hierbei in Grenzen, beläuft sich aber immerhin noch auf ca. 70 Arbeitsstunden. Zumindest kann nun sichergestellt werden, dass die zeitlichen Grenzen in der Beschriftungsdatei (in der reduzierten Datenbank als „lab“-Datei gekennzeichnet) wirklich dem angegebenen Phonem entsprechen. Eine Auflistung über die Anzahl der gesprochenen Segmente pro Phonem und Sprache in der neu erstellten Datenbank findet sich im Anhang, Kapitel 6.2.3.4, S. 83.

3.1.4 Berechnung der Sprachkurven

Die eigentliche Berechnung der Sprachkurven erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst werden aus den aufbereiteten Daten die gemittelten Spektren für jedes einzelne Phonem berechnet und zwischengespeichert. Hierbei werden für die jeweilige Sprache, aus allen Sound-Dateien alle Abschnitte, die ein bestimmtes Phonem enthalten, ermittelt, mittels Short-Time-Fourier-Transformation (Fensterlänge 1024, Hop-Size 512) transformiert und die daraus resultierenden Betragsspektren schließlich über die Zeit arithmetisch gemittelt.

Man könnte auch das gesamte Sprachmaterial, das in der EUROM_1 vorhanden ist, mitteln. Das würde viel Arbeit, vor allem mit dem Segmentieren der Daten, sparen. Da die EUROM_1 Datenbank aber nicht phonetisch balanciert ist, würden die Ergebnisse keine Aussagekraft über die einzelnen Sprachen haben.

3.1.4.1 Typ 1 – Kumulierte Phonemhäufigkeitskurven

Die erste Art der Sprachkurven wird nach folgendem Ansatz erstellt. Jedes, in einer bestimmten Sprache vorkommende, Phonem besitzt eine gewisse Auftrittshäufigkeit. Nach dieser Häufigkeitsverteilung müssten also die Spektralkurven der einzelnen Phoneme verschieden gewichtet werden, bevor sie addiert werden. Die dazu herangezogene Häufigkeitsverteilung wird von Delattre¹³¹ übernommen. Dieselbe Tabelle findet sich auch im Anhang, Kapitel 6.2.1, S. 77 wieder. Ein vereinfachtes Skriptbeispiel aus dem hierfür erstellten MATLAB Skript soll als Veranschaulichung dienen:

```
N_most_frequ=5;
N_most_frequ_files = PROB(1:N_most_frequ);
N_weights = N_most_frequ_files/sum(N_most_frequ_files);
    for f = 1:N_most_frequ
        phon_spec = load (file(f));
        phon_avg_spec = phon_avg_spec+(N_weights(f).*phon_spec);
    end
```

Zuerst wird eine bestimmte Anzahl der gewünschten häufigsten Phoneme festgelegt, in diesem Fall z.B. 5. Der Vektor „N_most_frequ_files“ beinhaltet die den häufigsten Phonemen entsprechenden Anteile in Prozent. Die Gewichte „N_weights“ errechnen sich, indem die

¹³¹ [Delattre1965], S. 97

ursprünglichen prozentualen Anteile, die zunächst noch tatsächlich auf 100 % bezogen sind, durch eine neues Ganzes, hier die Summe aller Anteile, dividiert wird. Dies ergibt einen Vektor mit neuen relativen Häufigkeiten. In der „for“-Schleife werden nacheinander die entsprechenden Spektralkurven geladen, mit den neuen Gewichtungen multipliziert und im Vektor „phon_avg_spec“ aufaddiert. Auf diese Weise entstehen, mithilfe einer weiteren „for“-Schleife, Kurven die vom häufigsten bis zum am wenigsten häufigen Phonem jeweils einen spektralen Phonemanteil mehr enthalten.

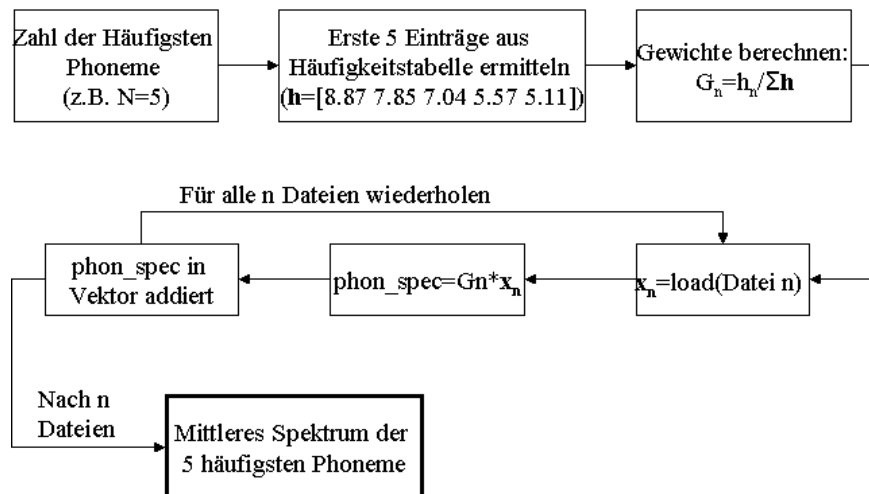


Abb. 3.1: Blockschaftbild der kumulierten Phonemhäufigkeitskurven

3.1.4.2 Typ 2 – Prozentuale Aufschlüsselung der Phonemhäufigkeiten

Ein weiterer Ansatz war, nicht nur die Kurven der einzelnen Phoneme zu addieren, sondern einen bestimmten prozentualen Anteil zu bestimmen, z.B. 25% der häufigsten Phoneme, und diesen dann darzustellen. Diese prozentuale Darstellung der Sprachkurven stellt einen fairen Vergleich zwischen den einzelnen Sprachen sicher, da nicht alle eine gleiche Anzahl an Phonemen aufweisen. So haben nach Delattre Deutsch und Englisch 39 und Französisch lediglich 36 Phoneme. Bei diesem Ansatz werden nicht nur gesamte Phonemkurven gewichtet und addiert, sondern unter Umständen auch ein gewisser Bruchteil einer neuen Kurve. Die geschieht nach folgendem Schema:

```

PROB= [8.8700 7.8500 7.0400 5.5700]
N_percent=25;
s = cumsum(PROB); % z.B. s = [8.8700 16.7200 23.7600 29.3300]
ind=find(s<=N_percent);
ind_s=s(1:size(ind,2)+1);
for i = 1:size(ind_s,2)
    N_weights=PROB(i)/N_percent;
    if N_percent<s(i)
        N_weights=(N_percent-s(i-1))/N_percent;
    end
    phon_spec = load(file(f));
    phon_avg_spec = phon_avg_spec + (N_weights.*phon_spec);
end
  
```


Als gewünschte Prozentzahl des gesamten Spektrums wird hier zunächst 25 (%) festgelegt. Der Vektor s enthält die kumulative Summe der Phonemhäufigkeiten. In den nächsten beiden Zeilen werden die ersten n Einträge von s gesucht, die kleiner sind als $N_percent$ und anschließend noch eine Stelle zum Vektor hinzugefügt. In der „for“-Schleife werden dann nacheinander wieder die Gewichte für das entsprechende Phonemspektrum berechnet; als Gesamtes wird hierbei nun die gewünschte Prozentzahl herangezogen. Dann werden die entsprechenden Phonemkurven geladen, und mit den Gewichtungen multipliziert in den Vektor „phon_avg_spec“ Vektor gespeichert und nacheinander addiert. Die „if“-Bedingung kommt dann zum Einsatz, wenn „N_percent“ größer als die i -te Stelle von s ist, das i -te Phonem also nicht mehr ganz, sondern nur teilweise in die kumulative Kurve einbezogen wird. In diesem Fall wird nur noch die Differenz von „N_percent“ und dem $(i-1)$ -ten Eintrag von s herangezogen und durch „N_percent“ dividiert.

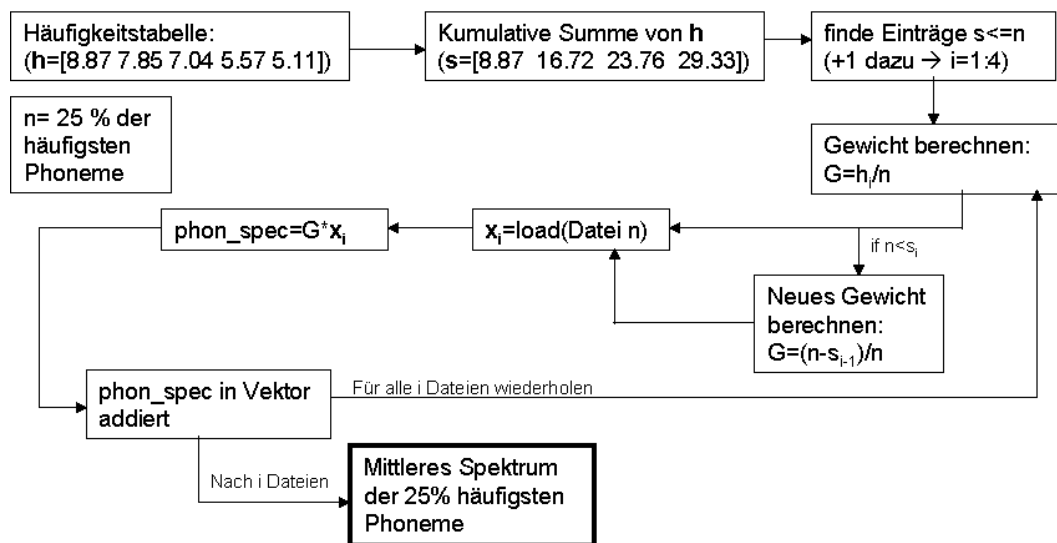


Abb. 3.2: Blockschaftbild der Berechnung der prozentualen Aufschlüsselung der Phonemhäufigkeiten

Dieser zweite Ansatz bringt hinsichtlich der Gesamtkurve, also wenn 100 % aller Phoneme aufaddiert werden, keine weiteren Erkenntnisse über die spektralen Unterschiede der verglichenen Sprachen. Er erlaubt jedoch eine viel genauere Art der Darstellung, da die Übergänge zwischen den einzelnen Kurven, die in 1 % Schritten erstellt wurden, sehr viel fließender sind. Dies erschließt sich besonders bei der Animation, die zu diesem Zwecke mittels MATLAB erstellt wurde. Die entsprechenden Gesamtfilme (.avi-Dateien) sind auf der beigelegten DVD unter DA_Sereinig\EUROM\ eurom_phoneme_spectra\mean_ocurr_spectra für den Ansatz mit den kumulierten Phonemkurven bzw. mean_percent_spectra für die Darstellung in 1 % Schritten jeweils im Unterordner „Movie-Files“ zu finden. Die Datei mit den Kurven aller drei Sprachen heißt in beiden Fällen „phon_movie_all.avi“. Weiters sind in denselben Ordnern jeweils auch die Filme der Einzelkurvenverläufe von Deutsch, Englisch und Französisch zu finden.

Die Kurven, die im folgenden Kapitel noch ausführlich ausgewertet und interpretiert werden, sind noch auf ihre Gesamtenergie normiert. 0 dB stellt somit die Gesamtenergie dar. Eine Idee, wonach die erhaltenen Kurven noch durch ein Korrekturfilter angeglichen werden sollten wurde wieder verworfen, da zu befürchten ist, dass die Ergebnisse zusätzlich eher verfälscht als verbessert werden könnten.

3.2 Auswertung der Ergebnisse

Die Interpretation der vorliegenden Ergebnisse gestaltet sich zuweilen etwas schwierig, da eine Reihe von Unsicherheiten und statistischen Unzulänglichkeiten berücksichtigt werden muss. Zunächst ist zu beachten, dass für die Berechnung der Kurven ein sogenanntes „very-few-talker-set“, also ein Datensatz von je einem männlichen und einem weiblichen Sprecher, gewählt werden musste. Durch diese wegen des zu großen Zeitaufwandes nötige Reduktion der Daten ergeben sich Kurven, die nicht sehr glatt sind. Zum besseren Vergleich stellt man sich die Kurven einfach geglättet vor. Weiters, wie später noch beschrieben, werden vermutlich durch diesen Umstand auch die Energiespitzen im Bereich unter 1 kHz verursacht, die wohl eine Sprechgrundfrequenz und evtl. eine ihrer Harmonischen darstellt.

Die Unsicherheiten, die sich durch die Datenbank selber ergeben, sind ebenfalls schwierig abzuschätzen. So könnten die Daten in inkonsistenter Weise aufgenommen worden sein, was die nicht normalisierten Kurven zunächst vermuten ließen. Dabei war vor allem die deutsche Gesamtkurve über alle Phoneme ab etwa 3 kHz energetisch bis zu 20 dB über den beiden anderen. Dies legte den Schluss nahe, dass entweder die deutschen Aufnahmen weniger Raumanteile beinhalteten, also die Sprecher näher am Mikrofon saßen, oder sie einfach sehr viel lauter sprachen. Die Normalisierung entkräftete diese Vermutungen etwas, man muss aber die möglichen Fehler berücksichtigen.

Zuletzt kommen noch einige Zweifel auf, wonach die Häufigkeitstabelle von Delattre (siehe Anhang, Kapitel 6.2.1, Seite 77¹³²) nicht oder nicht mehr zeitgemäß, bzw. falsch sei. Dies bedürfte weiterer phonologischer Untersuchungen. Ein Vorschlag hierzu findet sich im Ausblick, Kapitel 4.1, Seite 71. Zu beachten ist schließlich noch, dass nach Delattre Französisch nur 36, Deutsch und Englisch hingegen 39 unterschiedliche Phoneme beinhalten. Französisch erreicht bei der Darstellung von „Typ 1“ die 100 % schon früher als Deutsch und Englisch.

Die Farbkodierung der Ergebniskurven, dargestellt auf den Seiten 62 und 64, ist: **Grün** für Deutsch, **Blau** für Englisch und **Rot** für Französisch. Die angeführten Phoneme sind in SAMPA Transkription festgehalten. Die Transkriptionstabelle mit IPA Notation und entsprechenden Wortbeispielen ist im Anhang, Kapitel 6.2.2, Seite 78, zu finden. Wichtig für die Interpretation der Daten ist weiters die Tatsache, dass es sich bei den dargestellten Graphen um künstlich erzeugte, also synthetische Sprachspektren handelt, die in der gezeigten Art und Weise nicht gehört werden. Lediglich die Gesamtkurve, wenn alle Phonemkurven aufaddiert sind, repräsentiert die Phonemverteilung von sehr viel gesprochener Sprache. Unter Berücksichtigung all der genannten Randbedingungen wird nun im Folgenden die Auswertung der Kurven durchgeführt.

¹³² [Delattre1965], S. 97

Abb. 3.3: Spektrum des häufigsten Phonems

D: n
E: @
F: R

Was bei den drei ersten Phonemkurven gleich zu Beginn auffällt sind die Spitzen im tieffrequenten Bereich unter 1 kHz. Hierbei handelt es sich vermutlich, bei der tiefsten der Spitzen, um eine von den Sprechern erzeugte Grundfrequenz. Die anderen ausgeprägten Spitzen stellen dann wahrscheinlich eine, oder bei Deutsch mehrere, Harmonische dieser Grundfrequenz dar. Dieses Phänomen verschwindet im späteren Verlauf auch nicht mehr, da natürlich das häufigste Phonem am stärksten gewichtet wird und somit den größten Einfluss auf die schlussendliche Kurve hat. Weiters fällt eine recht ausgeprägte Tiefpasscharakteristik der drei Kurven auf, die für Sprache sehr typisch ist. Durch die geringe Sprecheranzahl der Datensätze sind die Kurven nicht besonders glatt. Diese Tendenz nimmt mit zusätzlich kumulierten Phonemkurven bis zu letzt sichtlich ab, es wären aber viel mehr Sprecher vonnöten, damit auch dieser erste Kurvenverlauf glatter würde. Man stelle sich hier die Kurven einfach geglättet, also ihre Einhüllenden, vor. Der niedrige Verlauf der deutschen Kurve ist auf das hier häufigste Phonem „n“ zurückzuführen. Dieses besitzt hauptsächlich tiefe Frequenzen.

Abb. 3.4: Spektrum der 2 häufigsten Phoneme

D: n, @
E: @, t
F: R, e

Die Änderung dieser Kurven ist mehr als deutlich im Vergleich zu jenen, die nur ein Phonem darstellen. Die englische Kurve wird stark angehoben, im Schnitt um ca. 10 dB. Dies liegt daran, dass das anfängliche „@“-Spektrum eher tieffrequent, das hinzukumulierte „t“-Spektrum als Plosiv hingegen eher hochfrequent ist. Die französische Spektralkurve ändert sich nicht so deutlich, sie wird um ca. 5 dB abgesenkt, bedingt durch die addierten Phonemkurven von „R“ und „e“, die beide eher tieffrequent sind. Die größte Änderung erfährt in diesem zweiten Schritt der deutsche Spektralverlauf. Die sehr grobe und tieffrequente Kurve des deutschen „n“ wird durch Addition des „@“-Spektrums schon ab etwa 750 Hz im Schnitt um 15 dB angehoben. Überdies wird der Kurvenverlauf verfeinert, ist also nicht mehr so grob wie in Abb. 3.3.

Abb. 3.5: Spektrum der 3 häufigsten Phoneme

D: n, @, t
E: @, t, n
F: R, e, a

Die recht deutlichen Unterschiede zwischen deutscher und englischer Kurve aus Abb. 3.4 (ab etwa 3,5 kHz) werden im dritten Schritt aufgehoben. Vergleicht man die hier vorkommenden Phoneme der beiden Sprachen stellt man fest, dass sie ident sind, wenn auch in anderer Reihenfolge auftretend, und somit unterschiedlich gewichtet. Französisch zeigt hier allerdings einen ganz anderen Verlauf. Dies ist auf die völlig unterschiedlichen häufigsten Phoneme zurückzuführen. Vor allem durch die beiden Vokale „e“ und „a“ zeigt sich hier ein deutliches Tiefpassverhalten. Die Häufigkeiten der ersten drei Phoneme machen nach Delattre bereits

etwa ein Viertel des Sprachmaterials aus. Bei Deutsch sind das 26,61 %, bei Englisch 23,76 % und bei Französisch 23,85 %. Man kann also die Auswirkungen dieser drei Phonemkurven bis zum Schluss erkennen. Bei Französisch ist das etwa die Spitze bei 4,5 kHz und die Kurvenform ab 5 kHz, die zum Ende hin lediglich noch abflacht. Die energetische Position der deutschen und englischen Kurven wird sich auch nicht mehr ändern, und die Kurven bleiben bis zum Schluss eher flach.

Abb. 3.6: Spektrum der 6 häufigsten Phoneme

D: n, @, t, R, d, l

E: @, t, n, l, r, l

F: R, e, a, l, t, i

Nach der Kumulation der sechs häufigsten Phonemspektren sind die Kurven von Deutsch und Englisch immer noch recht gleich. Sie sind im Vergleich zu Abb. 3.5 aber im höherfrequenten Bereich um wenige dB niedriger. Dies ist jedoch nicht weiter verwunderlich, sind doch fünf von sechs Phonemen der beiden Sprachen gleich. Zu beachten ist dabei jedoch, dass sich das englische „r“ bzw. das deutsche „R“ zwar von der Aussprache unterscheiden, sie aber in der jeweiligen Sprache trotzdem als gleichwertig zu erachten sind. Auch die französische Spektralkurve nähert sich hier den beiden anderen etwas an. Immerhin hat Französisch an dieser Stelle drei gemeinsame Phoneme mit Deutsch und Englisch. Außerdem zeichnet sich hier ein recht ausgeprägter Grundtonbereich, bis 1 kHz, ab.

Abb. 3.7: Spektrum der 7 häufigsten Phoneme

D: n, @, t, R, d, l, s

E: @, t, n, l, r, l, s

F: R, e, a, l, t, i, s

Einen interessanten Zufall gilt es beim kumulativen Spektrum der sieben häufigsten Phoneme zu beobachten. Bei allen drei Sprachen ist das siebent häufigste Phonem nämlich „s“. Dadurch lässt sich bei allen drei Kurven ein konsistenter Energieanstieg ab einer Frequenz von etwa 5 kHz um ca. 5 bis 10 dB erkennen. Was sich hier schon abzeichnet ist, dass Englisch und Deutsch offenbar mehr Höhen besitzen, als Französisch. Dieser Umstand hält sich bis zum Schluss.

Abb. 3.8: Spektrum der 8 häufigsten Phoneme

D: n, @, t, R, d, l, s, a

E: @, t, n, l, r, l, s, {

F: R, e, a, l, t, i, s, p

Hier passiert spektral nicht sonderlich viel. Lediglich bei der englischen Kurve, bedingt durch das „{“, und bei der deutschen Kurve, verursacht durch das „a“, kann ein Anstieg um immerhin etwa 10 dB bei einer Frequenz um 1 kHz festgestellt werden. Das „p“ in der französischen Kurve scheint derart wenig Energie zu beinhalten, dass die Änderung selbst im direkten Vergleich von Abb. 3.9, Abb. 3.7 und Abb. 3.8 kaum wahrnehmbar ist. Bereits bei dieser Stufe sind die Gewichte der Phoneme schon zu gering, um sich auf das Gesamtspektrum auszuwirken.

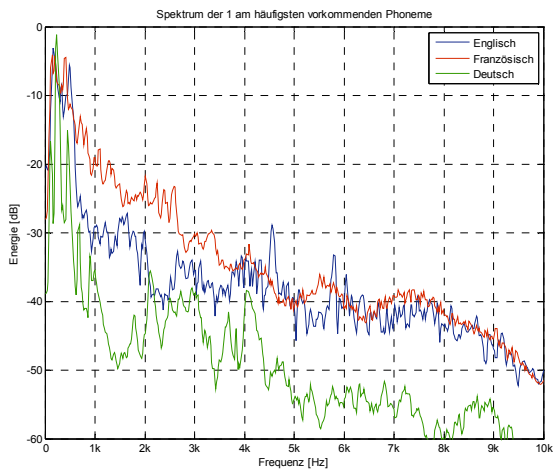


Abb. 3.3: Spektrum des häufigsten Phonems

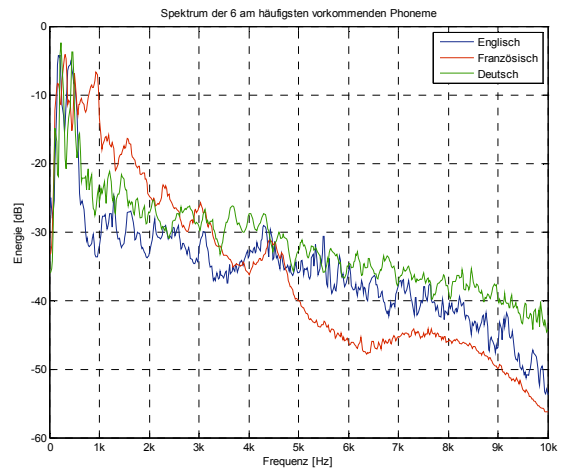


Abb. 3.6: Spektrum der 6 häufigsten Phoneme

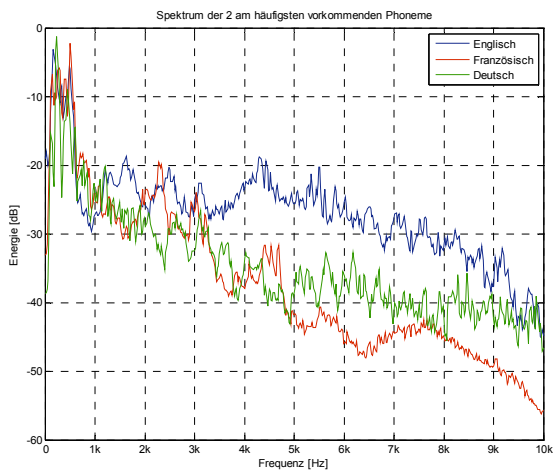


Abb. 3.4: Spektrum der 2 häufigsten Phoneme

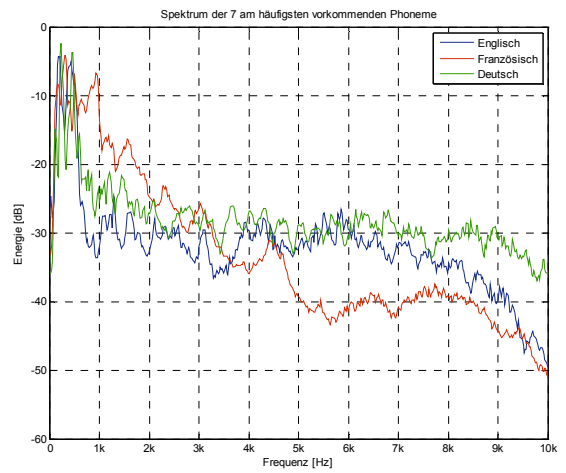


Abb. 3.7: Spektrum der 7 häufigsten Phoneme

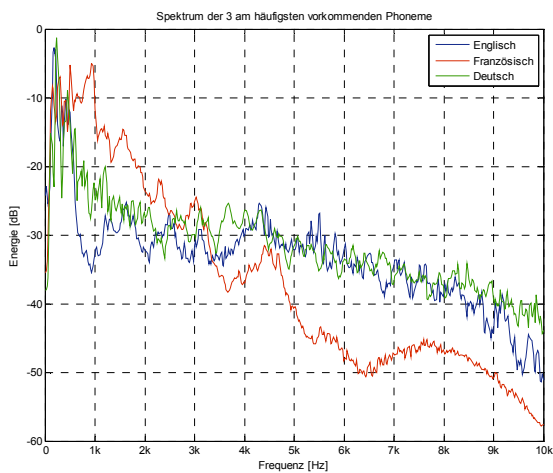


Abb. 3.5: Spektrum der 3 häufigsten Phoneme

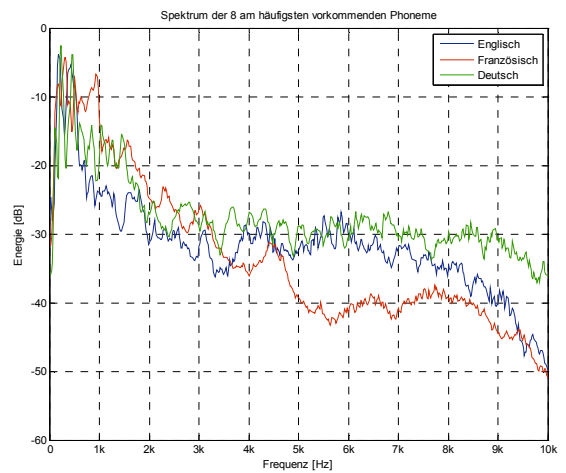


Abb. 3.8: Spektrum der 8 häufigsten Phoneme

Abb. 3.9: Spektrum der 9 häufigsten Phoneme**D:** n, @, t, R, d, l, s, a, l**E:** @, t, n, l, r, l, s, {, d**F:** R, e, a, l, t, i, s, p, d

Nach dem Hinzufügen der jeweiligen neunt häufigsten Phoneme haben sich die Spektralverläufe nur unwesentlich geändert. Sie nicht sehr energiereich bzw. haben zu wenig Gewicht. Wichtig hier ist zu bemerken, dass diese neun Phoneme bereits mehr als 50 % der Gesamtheit aller Phoneme ausmachen. In Zahlen heißt das 55,06 % aller deutschen, 50,86 % aller englischen und 54,65 % aller französischen Phoneme.

Abb. 3.10: Spektrum der 15 häufigsten Phoneme**D:** n, @, t, R, d, l, s, a, l, C, m, aI, E :, e**E:** @, t, n, l, r, l, s, {, d, i:, z, m, D, A:, k**F:** R, e, a, l, t, i, s, p, d, k, m, @, a~, n, E

Bei 15 kumulierten Phonemkurven sind die Änderungen der Verläufe im Vergleich zu den neun addierten Kurven in Abb. 3.9 nicht wirklich zu erkennen, zumindest nicht als Einzelbild. Im Direktvergleich ist zu sehen, dass die französische und deutsche Kurve ab etwa 2 kHz leicht abgesenkt werden. Zusätzlich wird die deutsche Kurve noch um die 2 kHz Marke etwas gehoben. Die englische Kurve wird bei etwa 1 kHz leicht angehoben.

Abb. 3.11: Spektrum der 20 häufigsten Phoneme**D:** n, @, t, R, d, l, s, a, l, C, m, aI, E :, e, f, v, g, z, i, U,**E:** @, t, n, l, r, l, s, {, d, i:, z, m, D, A:, k, e, w, u:, b, aI**F:** R, e, a, l, t, i, s, p, d, k, m, @, a~, n, E, u, v, O, y, j

Im Vergleich zu Abb. 3.9 flachen diese drei Kurven noch weiter ab. Jedoch ist dies im Standbild kaum sichtbar, da die einzelnen Phoneme immer kleinere Gewichtungen haben.

Im Vergleich zu Abb. 3.10 senkt sich die deutsche Spektralkurve unter ca. 6,5 kHz leicht, darüber wird sie etwas angehoben. Die anderen beiden Verläufe werden gesenkt; die englische Kurve ab etwa 3,5 kHz und die französische ab ca. 1 kHz. Die Änderungen betragen jeweils etwa 1 dB.

Abb. 3.12: Spektrum der 25 häufigsten Phoneme**D:** n, @, t, R, d, l, s, a, l, C, m, aI, E :, e, f, v, g, z, i, U, b, a:, u, k, O**E:** @, t, n, l, r, l, s, {, d, i:, z, m, D, A:, k, e, w, u:, b, aI, h, v, @U, f, 3:**F:** R, e, a, l, t, i, s, p, d, k, m, @, a~, n, E, u, v, O, y, j, Z, o~, f, z, w

Geringfügige Energieänderungen von kaum 2 dB im Mittel bei jeder der drei Kurven kann bei 25 addierten Phonemspektren noch beobachtet werden. Die Tiefen bei Deutsch und Englisch werden bei einer Frequenz um 1 kHz leicht gehoben, die französische Kurve hingegen steigt ab etwa 3 kHz leicht an. Ab ca. 5 kHz sinken sowohl die englische als auch die deutsche Phonemkurve minimal.

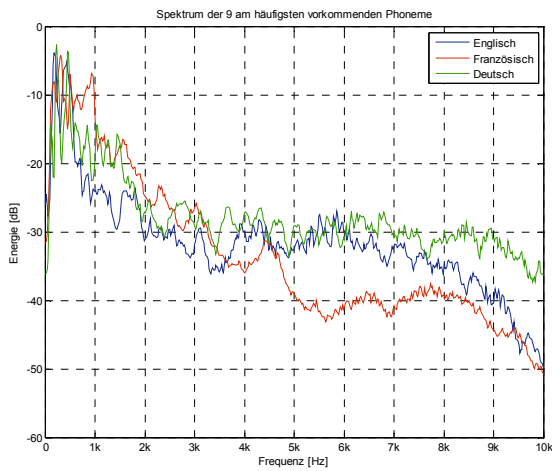


Abb. 3.9: Spektrum der 9 häufigsten Phoneme

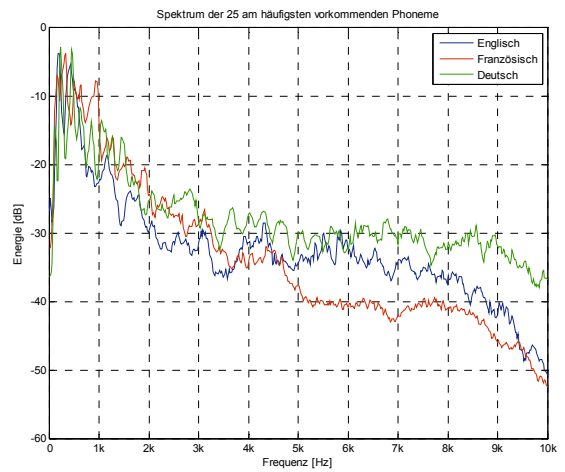


Abb. 3.12: Spektrum der 25 häufigsten Phoneme

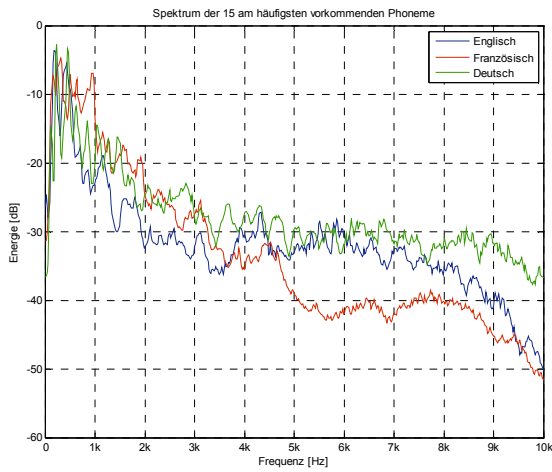


Abb. 3.10: Spektrum der 15 häufigsten Phoneme

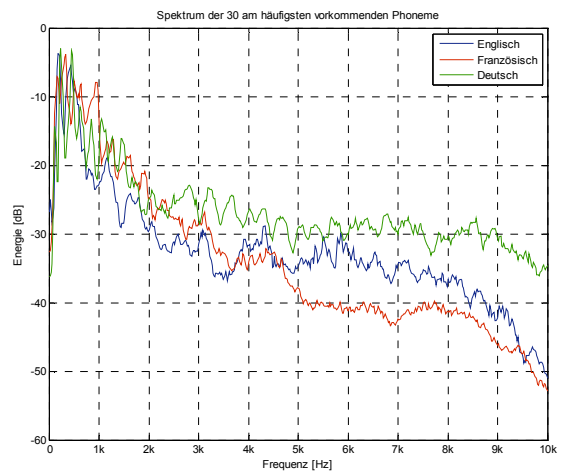


Abb. 3.13: Spektrum der 30 häufigsten Phoneme

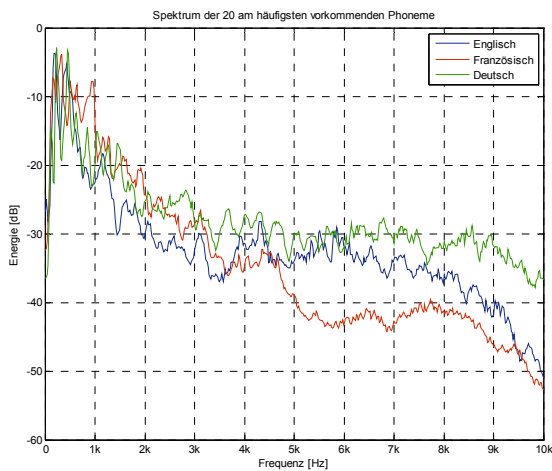


Abb. 3.11: Spektrum der 20 häufigsten Phoneme

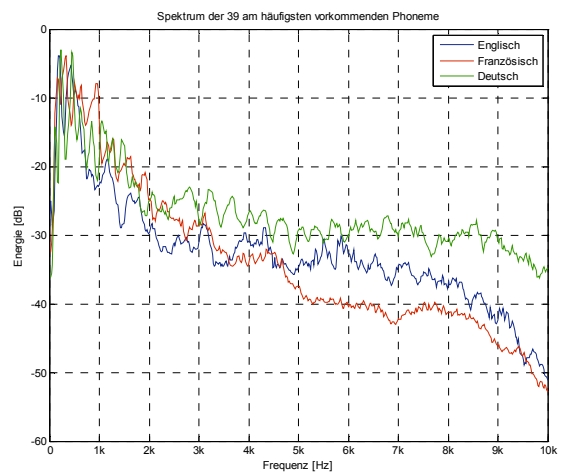


Abb. 3.14: Spektrum der 39 häufigsten Phoneme

Abb. 3.13: Spektrum der 30 häufigsten Phoneme

D: n, @, t, R, d, l, s, a, l, C, m, aI, E ;, e, f, v, g, z, i, U, b, a:, u, k, O, ts, S, aU, h, o
E: @, t, n, l, r, l, s, {, d, i:, z, m, D, A:, k, e, w, u:, b, aI, h, v, @U, f, 3:, eI, p, N, j, g
F: R, e, a, l, t, i, s, p, d, k, m, @, a~, n, E, u, v, O, y, j, Z, o~, f, z, w, b, o, e~, 9, 2

Die Phoneme verlieren mit ihrer absteigenden Häufigkeit, die Delattre¹³³ bestimmt hatte, siehe Anhang Kapitel 6.2.1, Seite 77, immer mehr an Einfluss in den Spektralkurven der jeweiligen Sprache. Der prozentuale Anteil der letzten neun Phoneme in der Tabelle beträgt gerade einmal 3,99 % bei Deutsch, 5,59% bei Englisch und 3,03 % bei Französisch, wobei hier zu beachten ist, dass bei Französisch nur sechs Phoneme gezählt werden, da nach Delattre Französisch nur 36 Phoneme aufweist. So gibt es bei den oben dargestellten Standbildern kaum sichtbare Veränderungen, ausser einen geringen Anstieg der englischen Kurven bei 3,5 kHz. Ansonsten enthüllt nur die direkte Aufeinanderfolge der letzten Graphen im auf der beigelegten CD¹³⁴ enthaltenen Film noch kleinste Veränderungen der drei Spektralkurven, und das obwohl die jeweils auftretenden Phoneme doch so unterschiedlich sind.

Abb. 3.14: Spektrum der 39 häufigsten Phoneme

D: n, @, t, R, d, l, s, a, l, C, m, aI, E:, e, f, v, g, z, i, U, b, a:, u, k, O, ts, S, aU, h, o, p, N, y, Y, 2, j, OI, 9, pf
E: @, t, n, l, r, l, s, {, d, i:, z, m, D, A:, k, e, w, u:, b, aI, h, v, @U, f, 3:, eI, p, N, j, g, aU, Q, U, T, S, dZ, tS, Z, OI
F: R, e, a, l, t, i, s, p, d, k, m, @, a~, n, E, u, v, O, y, j, Z, o~, f, z, w, b, o, e~, 9, 2, g, S, H, u~, J, A

Zu guter Letzt noch eine Analyse der Gesamtkurven aller drei Sprachen. Wie zu Beginn bereits angesprochen, hat sich die Tiefpasscharakteristik der Kurven bis zum Schluss gehalten. Dies ist typisch für Sprache im Allgemeinen und war zu erwarten. Weiters sind die tieffrequenten Spitzen in den Sprachkurven erhalten geblieben. Diese sprecherbedingten Grundfrequenzen würden mit großer Wahrscheinlichkeit durch mehrere Sprecher verschwinden, bzw. geglättet werden. Auffallend ist überdies, dass die französische Kurve mit steigender Frequenz glatter wird, vor allem ab ca. 3 kHz, wohingegen die anderen beiden Verläufe immer noch sehr rau sind. Die Rauigkeit der deutschen bzw. englischen Kurve könnte zwei Ursachen haben. Zum Einen könnte dies, was wahrscheinlich ist, an der geringen Sprecheranzahl liegen, zum Anderen könnten die Sprachen über den gesamten Frequenzbereich tatsächlich viele Frequenzspitzen aufweisen. Im Frequenzbereich unter 2 kHz sind die Kurven relativ ähnlich, bis auf einige ausreißende Spitzen hier und da, die aber mit den gegebenen Unsicherheiten nicht hinreichend gedeutet werden können.

Die deutsche Kurve weist ab ca. 2,5 kHz einen höheren energetischen Verlauf als die anderen beiden auf. Dies kann entweder durch einen lauter gesprochenen bzw. mehr ausgesteuerten Datensatz verursacht worden sein oder die deutsche Sprache weist tatsächlich mehr hochfrequente Anteile auf als Englisch oder Französisch. Umgekehrt könnte man auch eine

¹³³ [Delattre1965], S. 97

¹³⁴ DA_Sereinig\EUROM\ eurom_phoneme_spectra\mean_ocurr_spectra\Movie-Files\phon_movie_all.avi

zur deutschen Kurve gegensätzliche Vermutung die französische Kurve betreffend äußern. Hiernach könnte der Energieabfall zu hohen Frequenzen hin durch eine zu geringe Aussteuerung der Sprachdaten bedingt worden sein, oder Französisch enthält einfach weniger hohe Frequenzen als Deutsch und Englisch. Auch, dass die englische korrekt in diesem Graphen dargestellt ist, lässt sich nicht mit absoluter Sicherheit bestätigen. Die Interpretationsmöglichkeiten sind also ohne genauer Kenntnis und Sicherung der Konsistenz der vorliegenden Daten wirklich mannigfaltig. An diesem Punkt der Untersuchungen sieht es jedenfalls so aus, als ob sich die sprachspezifischen Unterschiede hauptsächlich in den höheren Frequenzbereichen zeigen, weniger in den Tiefen.

Um all die oben genannten potentiellen Fehlerquellen, wie durch Sprecher oder Dateninkonsistenz verursachte Unsicherheiten, weitgehend auszuschließen würde es sich empfehlen eine neue, eventuell standardisierte Sprachdatenbank zu erstellen. Ein Vorschlag hierzu findet sich im Ausblick, Kapitel 4.1, Seite 71.

Dass Unterschiede in den verschiedenen Sprachen vorhanden sind, wird mit dieser Arbeit klar ersichtlich. Um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten, wären jedoch weitere, genauere Untersuchungen mit verlässlicheren Daten erforderlich.

3.3 Vergleich mit den Hüllkurven von Tomatis

Nach der ausführlichen Auswertung der Sprachkurven von Kapitel 3.2, soll abschließend die Vergleichbarkeit zwischen den im Rahmen dieser Arbeit erstellten Spektralkurven und den von Tomatis berechneten „Ethnogrammen“ untersucht werden.

Die Vorgehensweise von Tomatis ist nur umrisshaft bekannt. Mit einer Kathodenstrahlröhre erstellte er von seinen Versuchspersonen je 10 Spektrogramme mit jeweils etwa 2,4 s Aufnahmedauer, die die Frequenzverteilung der Stimme zeigten. Durch Superposition der 10 Bilder ergab sich eine mittlere Hüllkurve pro Person. Weiters filterte Tomatis diese Hüllkurven mit einem Tiefpassfilter, um die Hauptformanten zu entfernen und so männliche und weibliche Sprecher gleichermaßen zu behandeln. Um die endgültigen sprachspezifischen „Ethnogramme“ zu erhalten verglich Tomatis zahlreiche¹³⁵ solcher Frequenzkurven (siehe Kapitel 2.6.2, S. 45).

Die Berechnung der in der Arbeit erstellten Spektralkurven ergibt sich anders als bei Tomatis (siehe Kapitel 3.1.4, S. 56ff). Bei diesem Ansatz werden zunächst mittlere Spektralkurven der in einer Sprache vorkommenden Phoneme erstellt. Diese Phonemkurven werden anschließend gemäß ihrer Auftrittshäufigkeit in der Sprache gewichtet und nacheinander kumuliert. Die Gesamtkurve, wenn alle gewichteten Phonemspektren addiert sind, ergibt ein Spektrum, welches phonetisch balancierte Sprache repräsentiert.

Der Vergleich der nach Häufigkeiten gewichteten Phonemkurven zu den „Ethnogrammen“ von Tomatis gestaltet sich schwierig. Es ist etwa nicht bekannt, welche genauen Filtereinstellungen Tomatis für seine Tiefpassfilter verwendet hat. Ebenso wenig kennt man heute den Frequenzgang des von ihm verwendeten Instrumentariums, der sich erheblich auf

¹³⁵ [Kaunzner2001], S. 111

das Ergebnis auswirkt. Auch welche Art von Sprache Tomatis verwendet hat ist fragwürdig. Die klassische HNO-Medizin kennt zum Testen der Worterkennung eines Menschen Listen mit einer bestimmten Anzahl an einsilbigen, phonetisch balancierten Wörtern. Die kleinste solche Liste enthält 25 Wörter, die annähernd die Phonemverteilung einer Sprache wiedergeben.¹³⁶ Es wäre durchaus plausibel, dass Tomatis eine solche Liste für seine Spektrogramme herangezogen hat. Auch die gesamte Zeitspanne seiner Spektrogramme pro Person von etwa 24 s wäre für eine solche Wortmenge ausreichend. Davon ausgehend müssten die hier erstellten Gesamtkurven aller drei untersuchten Sprachen zum Vergleich mit den „Ethnogrammen“ von Tomatis herangezogen werden. Abb. 3.15 stellt diese gegenüber.

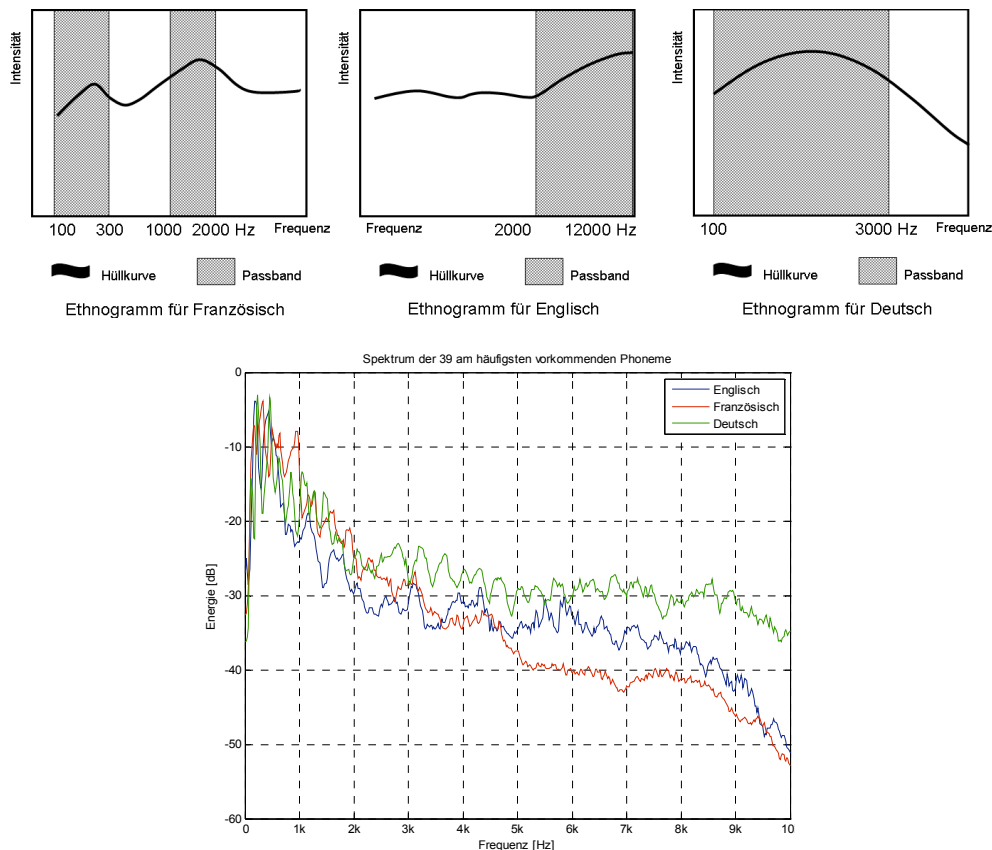


Abb. 3.15: Vergleich der „Ethnogramme“ nach Tomatis mit den gewichteten, kumulierten Phonemkurven

Man sieht, dass die Kurven unterschiedlich aussehen. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass sich die Methodiken der Kurvengenerierung der beiden Ansätze deutlich unterscheiden. Bei dem Ansatz der gewichteten Phonemkurven wurde, anders wie bei Tomatis, keine Filterung durch einen Tiefpass vorgenommen. Tomatis verwendet auch keine konsistente Frequenzachse zur Darstellung seiner Kurven. Weiters könnten seine Kurven, anders als beim Ansatz mit gewichteten Phonemspektren, logarithmisch dargestellt sein. Was ebenfalls auffällt ist das Fehlen der für Sprache typischen Tiefpasscharakteristik bei den Kurven von Tomatis. Wenn man Sprachmaterial, egal ob phonetisch balanciert oder nicht, mittelt, ergibt sich immer ein solcher Tiefpassverlauf. Dieses Verhalten könnte jedoch beeinflusst werden, wenn nur eine

¹³⁶ [Hughes2007], S. 113

Phonemklasse, z.B. Frikative, untersucht würde. Im Falle der Frikative würde sich ein Verlauf ergeben, der besonders viele hohe Frequenzen aufweist.

Wenn Tomatis seine kurzen Sprachbeispiele zufälligen Alltagssätzen, etwa Zeitungen, Büchern oder Unterhaltungen entnommen hat, ist ein Vergleich so gut wie unmöglich. Dann nimmt eine sehr große Anzahl an unbekanntem Faktoren Einfluss auf seine Ergebnisse, z.B., dass seine Beispiele nicht phonetisch balanciert sind, oder sich zufällig eine gänzlich andere Häufigkeitsverteilung, als jene die Delattre berechnet hat, ergibt. Somit wäre ein Vergleich hinfällig, da man schlichtweg raten müsste.

Abschließend kann man mit den vorliegenden Ergebnissen keine haltbaren Vergleiche zu den Kurven von Tomatis ziehen, da sich die Methodik deutlich unterscheidet und von Tomatis zu wenige Anhaltspunkte bekannt sind.

4 Zusammenfassung

Zuletzt sollen hier in aller Kürze nochmals die wesentlichsten Punkte dieser Arbeit hervorgehoben werden. Tomatis war sich in vielen, jedoch nicht allen Dingen uneinig mit den gängigen Lehren der Schulmedizin. In seiner Kurzbiographie in Kapitel 2.1 wird deutlich, wie er auf das sein Lebenswerk beherrschende Thema Ohr gestoßen ist. Eher zufällig entdeckte er bei der Untersuchung von hörgeschädigten Mitarbeitern der Luftwaffe, dass die Personen bessere Ergebnisse lieferten, wenn sie gut hören mussten, weil es angeblich um ihre Pensionen ging. Als sich jedoch herausstellte, dass die Pensionen nicht in Gefahr waren wurden die Hörkurven plötzlich ganz schlecht. Tomatis hatte für sich den Zusammenhang zwischen Hören und Psyche entdeckt.

Das darauf folgende Kapitel 2.2 beschäftigt sich mit dem menschlichen Ohr. Zunächst wird in Kapitel 2.2.1 die Ontogenese, also die embryonale Entwicklung des menschlichen Ohres, erklärt. Die Anatomie und Physiologie des Ohres werden anschließend in Kapitel 2.2.2 bzw. Kapitel 2.2.3 nach den Ansichten der klassischen Medizin definiert. Tomatis widerspricht dieser Lehrmeinung jedoch in einigen wesentlichen Punkten. In Kapitel 2.2.4 werden diese Abweichungen und seine eigenen Theorien vorgestellt. Demzufolge hat das Ohr noch eine dritte sehr wichtige Funktion, nämlich die Versorgung des Gehirns mit neuronaler Energie. Tomatis behauptet sogar, das Ohr habe im embryonalen Stadium schon die Aufgabe eines organisierenden Induktors. Die wichtigste abweichende These von Tomatis betrifft jedoch die Schallweiterleitung zum Innenohr. Er vertritt die These, dass der Schall nicht wie bei der klassischen Theorie über die Gehörknöchelchen, sondern über den Schädelknochen direkt in das Innenohr übertragen wird. Dies geschehe auch schneller, weil Knochen, bedingt durch ihre Dichte, Schall besser leiten als die träge mechanische Übersetzung der Mittelohrknochen.

Die vorhin angesprochenen Beobachtungen von Tomatis ist unter der Bezeichnung „Tomatis-Effekt“ bekannt. Die drei Grundsätze, oder Gesetze, wie er sie nennt, werden in Kapitel 2.3 angeführt. Auf dieser Basis entwickelte er ein Gerät, um das Ohr entsprechend zu konditionieren, sein sogenanntes „Elektronisches Ohr“ (Kapitel 2.3.1). Die Entwicklung des ersten Geräts wird in Kapitel 2.3.1.1 ausgeführt. Seit 2005 gibt es eine neue Generation des EO, technisch nun auf dem neuesten Stand, was zuvor lange Zeit ein Kritikpunkt war. Der Tomatis AudioPro, kurz TAP, wird in Kapitel 2.3.1.2 detailliert beschrieben. In den 1990ern entwickelten Mitarbeiter der Universität Bologna ein ähnliches Gerät, den „Sound Perception Trainer“, der basierend auf den gleichen Grundsätzen wie das EO konzipiert und gebaut wurde. Dieses Gerät wird in Kapitel 2.3.2 kurz erläutert.

Die für Tomatis so wichtige Thematik der Lateralität wird in Kapitel 2.4 aufgerollt. Seine Ansichten dazu werden anschließend mit den Erkenntnissen der Schulmedizin verglichen. Diese kennt das Phänomen der Hemisphärendominanz schon lange, sowie die sogenannte Seitigkeit von Auge, Bein, Ohr etc. Bei Tomatis ist die Lateralität besonders wichtig. Er behauptet, dass für die optimale Sprachkontrolle das rechte Ohr die Führung vor dem linken

übernehmen muss. Dies sei schon deshalb vorteilhaft, weil die Signale aus dem rechten Ohr direkt in die linke Gehirnhälfte, die für Sprachverarbeitung verantwortlich ist, führen. Weiters ist nach Tomatis die Nervenverbindung zwischen Ohr und Kehlkopf rechts sehr viel kürzer, als links.

Vor jeder Anwendung der Tomatis-Methode ist es notwendig, den von Tomatis persönlich entwickelten Hörtest durchzuführen. Kapitel 2.5 zeigt, dass hierbei zwar das Hörvermögen des Patienten erfasst wird, die Interpretation der Ergebnisse aber psychologischer Natur sind. Der sogenannte Tomatis-Hörtest wird in Kapitel 2.5.1 beschrieben, während der von der klassischen Medizin verwendete Hörtest Gegenstand des Kapitels 2.5.2 ist. Die beiden Tests werden aber lediglich gegenübergestellt, da sie, ob ihrer unterschiedlichen Ansätze, nicht wirklich miteinander vergleichbar sind. Tomatis definierte für sich vier Parameter der auditiven Wahrnehmung, die eine Sprache eindeutig charakterisieren sollen; Kapitel 2.6 zählt diese auf. Diese sind nach Tomatis die sogenannten Passbänder (Kapitel 2.6.1), die ethnischen Hüllkurven (Kapitel 2.6.2), die Latenzzeit (Kapitel 2.6.3), sowie die Präzessionszeit (Kapitel 2.6.4). Zum Abschluss von Kapitel 2 wird in Kapitel 2.7 noch das Sprachtraining nach Tomatis (Kapitel 2.7.1) und das neu entwickelte Sprachtraining der Universität Bologna (Kapitel 2.7.2) besprochen. Das Tomatis-Training wurde schon lange als monoton kritisiert. Ulrike Kaunzner von der Universität Bologna hat basierend auf den Methoden von Tomatis methodisch-didaktisch überlegte und fundierte Übungen entwickelt. Somit konnte neben dem eigentlichen Tomatis-Effekt ein linguistisch aufbereiteter Übungskatalog in das Training integriert werden.

Die in Kapitel 3 ausführlich behandelten Untersuchungen der „Sprachethnogramme“ nach Tomatis wurden von dessen Gedanken zu den spektralen Unterschieden von Sprachen maßgeblich angeregt. Kapitel 3.1 erläutert zuerst die Methoden der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen. Darin werden die zur Berechnung herangezogene Sprachdatenbank EUROM_1 (Kapitel 3.1.1), die SAMPA Transkriptionsschrift (Kapitel 3.1.2), die nötige Aufbereitung der Datenbank, um sie für die Arbeit zu optimieren (Kapitel 3.1.3), sowie schließlich die eigentlichen Berechnungen der Sprachkurven (Kapitel 3.1.4) beschrieben und erläutert. Der Ansatz der für die Berechnung gewählt wurde verfolgt die Absicht, die einzelnen Phonemkurven mit nach ihrer Auftrittshäufigkeit in einer Sprache berechneten Gewichten zu multiplizieren und anschließend zu kumulieren. Die detaillierte Auswertung und Interpretation der Ergebnisse erfolgt abschließend in Kapitel 3.2. Die berechneten Kurven aller drei Sprachen - Deutsch, Englisch und Französisch - haben einigen Aufschluss über die Unterschiede gegeben. Einige wesentliche Faktoren waren allerdings nicht hinreichend gesichert, um neben qualitativen auch quantitative Aussagen zu treffen. Die Gesamtspektren weisen eine eindeutige Tiefpasscharakteristik auf, was im Allgemeinen typisch für Sprache ist. Weiters weisen die drei spektralen Verläufe sehr viele Spitzen auf. Dies ist vermutlich auf die wenigen Sprecher im verwendeten Datensatz zurückzuführen. Im niederfrequenten Bereich bis etwa 2,5 kHz sind die drei Sprachkurven recht ähnlich. Darüber gehen sie allerdings deutlich auseinander. Ob dies nun bedingt durch die Sprachen selbst, durch die Sprecher oder durch die unzureichend gesicherte Genauigkeit und Konsistenz der Sprachdatenbank bedingt ist, kann an dieser Stelle jedoch weder bestätigt noch widerlegt werden. In Kapitel 3.3 wird ein Vergleich zwischen den „Ethnogrammen“ und den Ergebnissen dieser Arbeit erstellt. Um die in der Arbeit aufgetretenen Probleme zu beheben und die Interpretation genauer durchzuführen wird es notwendig sein, einige weiterführende Arbeiten zu tätigen. Vorschläge dazu finden sich in Kapitel 4.1.

Schlussendlich konnte mit den in dieser Arbeit gefundenen Ergebnissen keine Rückkopplung zu Tomatis' „Ethnogrammen“ geschlossen werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zu wenige Anhaltspunkte zur Rekonstruktion seiner Arbeit vorhanden sind. Als Resümee dieser Arbeit kann mit Sicherheit festgehalten werden, dass tatsächlich spektrale Unterschiede zwischen verschiedenen Sprachen existieren.

4.1 Ausblick

An dieser Stelle werden nun einige Vorschläge zur Verbesserung der Interpretationsgenauigkeit gemacht, um die am Ende von Kapitel 3.2 beschriebenen Probleme zu beheben. Zunächst wäre eine neu aufgenommene, gute, konsistente und verlässliche Sprachdatenbank zu erstellen. Die in Kapitel 3.1.1 beschriebene EUROM_1 Datenbank soll laut den Autoren unter gleichen Aufnahmenbedingungen erstellt worden sein. Jedoch lassen einige Beobachtungen während der Arbeit getätigten Beobachtungen auf Abweichungen schließen. So wäre für künftige Untersuchungen basierend auf der vorliegenden Arbeit wünschenswert, dass eine Sprachdatenbank erstellt wird, bei der man die genannten Unsicherheiten ausschließen kann. Folgende Erfordernisse wären nach den gesammelten Erfahrungen von Nöten:

1. Ein Pool von vielen Sprechern (mindestens 10) pro Sprache, die nach einigen bestimmten Kriterien ausgesucht werden (Sprachhintergrund, Geschlecht, Rauchverhalten, etc). Die Sprecher sollten dazu immer zu gleichen Teilen männlich bzw. weiblich sein
2. Genau definierte Aufnahmeörtlichkeit; unter Umständen findet sich eine international standardisierte Vorlage für solche Räume, oder es wird in Zukunft ein eigener Standard vorgeschlagen
3. Genau definierte Mikrofonposition, um den Einfluss des Raumes zu minimieren. Also z.B. als HeadSet an der Sprecherwange befestigt, oder ein bestimmter einzuhaltender Abstand des Sprechers zu einem fix montierten Mikrofon
4. Einbeziehen aller in einer Sprache vorkommenden Phoneme in einer für alle Sprachen konsistenten Weise, also z.B. CVC-Wörter. Diese sollten, falls vorhanden, die äquivalenten Laute in allen erfassten Sprachen beinhalten, um etwaige Vergleiche über die Konsistenz der aufgenommenen Daten durchführen zu können.

Ein weiterer wichtiger Punkt wäre, eine neue fundierte Überprüfung der Häufigkeitstabelle nach Delattre, die aus dem Jahre 1965 stammt, durchzuführen. Delattre verwendet für seine Berechnungen eine reduzierte Phonemstruktur, als sie bei der IPA vorzufinden ist. Das Internationale Phonetische Alphabet wurde erstmals 1888 veröffentlicht¹³⁷. Es wäre daher wünschenswert eine neue, zeitgemäße, mit dem Phoneminventar der IPA konsistente, Häufigkeitstabelle der drei Sprachen zu erstellen.

¹³⁷ [Hiebler2003], S. 179

5 Quellenverzeichnis

[Bear2009] M. F. Bear, B. W. Connors, M. A. Paradiso, „*Neurowissenschaften*“, Spektrum Akademischer Verlag, 2009

[Chan et al. 1995] D. Chan, A. Fourcin, D. Gibbon, B. Granstrom, M. Huckvale, G. Kokkinakis, K. Kvale, L. Lamel, B. Lindberg, A. Moreno, J. Mouropoulos, F. Senia, I. Trancoso, C. Veld, J. Zeiliger, "*EUROM - A Spoken Language Resource for the EU*", Proceedings of the 4th European Conference on Speech Communication and Speech Technology, Madrid, Spain, 1995

[Delattre1965] P. Delattre, „*Comparing the phonetic features of English, German, Spanish and French*“, Julius Groos Verlag Heidelberg, 1965

[Diapason2004] Informationsbroschüre „*SPT-Labo*“, Diapason di Sistemi Informativi srl, Via Quitiliano 30 - 20138 Mailand, Italien, 2004

[Hall2000] A. T. Hall, „*Phonologie : Eine Einführung*“, Verlag Walter de Gruyter, 2000

[Hiebler2003] H. Hiebler, „*Hugo von Hofmannsthal und die Medienkultur der Moderne*“, Verlag Königshausen und Neumann, Würzburg, 2003

[Hughes2007] G. B. Hughes, M. L. Pensak, „*Clinical Otology*“, Thieme Medical Publishers, Inc., 2007

[Kahle2005] W. Kahle, M. Frotscher, „*Taschenatlas Anatomie – Band 3: Nervensystem und Sinnesorgane*“, Thieme, 2005

[Kaunzner2001] U. Kaunzner, „*Das Ohr als Schlüssel zur Fremdsprachenkompetenz*“, Julius Groos Verlag Tübingen, 2001

[Kolb1996] B. Kolb, I.Q. Whishaw, „*Neuropsychologie*“, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 1996

[Kramme2007] R. Kramme (Hrsg.), „*Medizintechnik*“, Springer Medizin Verlag, 2007

[Kuhl2004] T. Feng-Ming, L. Huei-Mei, P. K. Kuhl, „*Speech Perception in Infancy Predicts Language Development in the Second Year of Life: A Longitudinal Study*“, Society for Research in Child Development, July/August 2004, Volume 75, Nr. 4, Pages 1067-1084

[Lang2007] F. Lang, R. F. Schmidt, „*Physiologie des Menschen*“, Springer Medizin Verlag, 2007

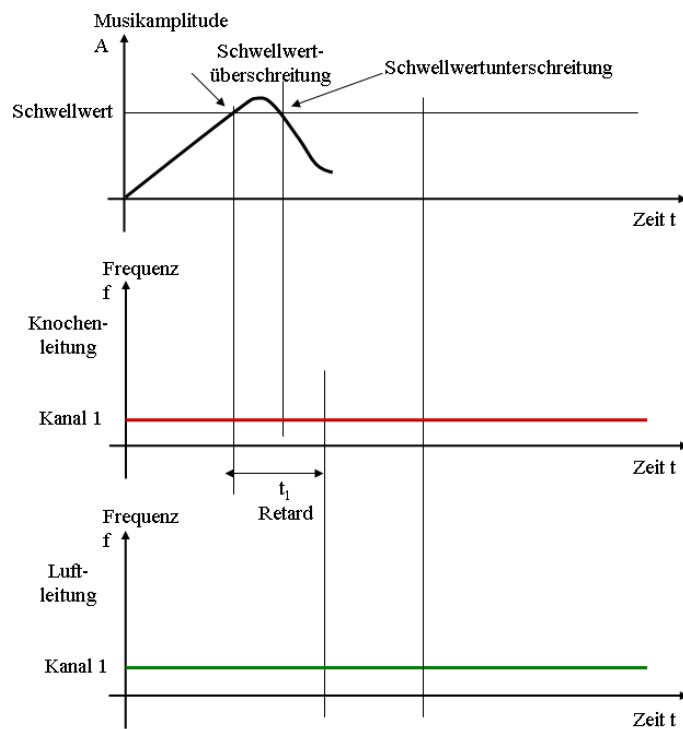
- [Manassi1987] S. Manassi, „Pädagogik des Horchens. Eine Einführung“ Tomatis International (Deutschland) GmbH, Hamburg, 1987
- [Moore2007] K. L. Moore, T. V. N. Persaud, „*Embryologie*“, Urban & Fischer, 2007
- [Pschyrembel2007] Pschyrembel[®], „*Klinisches Wörterbuch*“, Walter de Gruyter Berlin, 2007
- [Reiß2009] M. Reiß (Hrsg.), „*Facharztwissen HNO-Heilkunde*“, Springer Medizin Verlag, 2009
- [Schmidt2006] F. Schmidt (Hrsg.), H.-G. Schaible (Hrsg.), „*Neuro- und Sinnesphysiologie*“, Springer Medizin Verlag, 2006
- [Silverthorn2009] D. U. Silverthorn, „*Physiologie*“, Pearson Studium, 2009
- [Sollier2005] P. Sollier, „*Listening for Wellness*“, The Mozart Center Press, 2005
- [Speckmann2008] E.-J. Speckmann, J. Hescheler, R. Köhling, „*Physiologie*“, Urban & Fischer, 2008
- [Springer1995] S. P. Springer, G. Deutsch, „*Linkes – Rechtes Gehirn*“, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 1995
- [Tinkl2009] Informationen aus dem Schriftverkehr mit Herrn Peter Tinkl vom „Tomatis – Institut Tinkl“, Serravagasse 6/6, A-1140 Wien
- [Tomatis1991] A. Tomatis, „*Nous sommes tous nés polyglottes*“, Fixot, 1991
- [Tomatis1994] A. Tomatis, „*Der Klang des Lebens*“, Rowolth, 1994
- [Tomatis1997] A. Tomatis, „*The Ear and Language*“, Stoddart, 1997
- [Tomatis2003] A. Tomatis, „*Das Ohr und das Leben*“, Walter Verlag, 2003
- [Tomatis2006] „*Das Elektronische Ohr*“, Offizielle Unterlagen der Tomatis-Ausbildung, Tomatis Développement S.A., 2006
- [Tomatis2009a] Offizielle Kursunterlagen der Tomatis-Ausbildung am Centre Tomatis in Paris, „*Modules 1 & 2 - The Listening Test*“, Tomatis Développement S.A., 2009
- [Tomatis2009b] Offizielle Kursunterlagen der Tomatis-Ausbildung am Centre Tomatis in Paris, „*Modul 3 - The Tomatis Method and Foreign Languages*“, Tomatis Développement S.A., 2009
- [Tomatis2009c] Offizielle Kursunterlagen der Tomatis-Ausbildung am Centre Tomatis in Paris, „*Modul 3 - Listening Test Analysis Procedure: Foreign Languages*“, Tomatis Développement S.A., 2009
- [Trepel2008] M. Trepel, „*Neuroanatomie*“, Urban & Fischer, 2008
- [Wirth1994] G. Wirth, „*Sprachstörungen, Sprechstörungen, Kindliche Hörstörungen*“, Deutscher Ärzte Verlag, 1994

6 Anhang

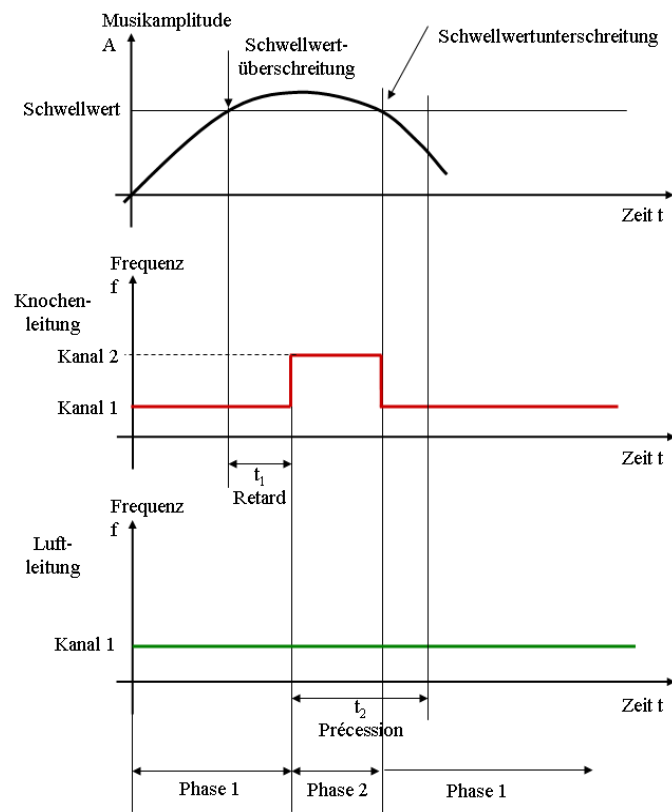
6.1 Zum Elektronischen Ohr

Zeitdiagramme der elektronischen Wippe; nach [Tomatis2006]

Fall 1 – Keine Umschaltung



Fall 2 – Nur Knochenleitung schaltet auf Kanal 2



Fall 3 – Knochen- und Luftleitung schalten auf Kanal 2

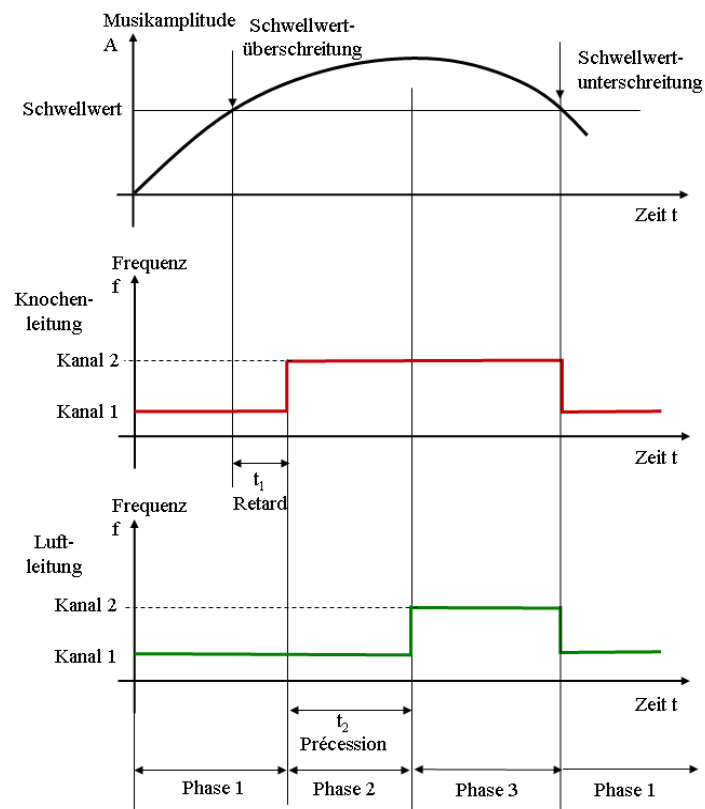


Tabelle der Fremdspracheneinstellungen für EO und TAP; [Tomatis2006]

Sprache	Retard	Precession	Kanal1	Kanal2
Deutsch	5	6	+5/-5	+5/+2
Amerikanisch	3	2	+5/-5	-3/-3
Englisch	0	0	+5/-5	+5/-5
Brasilianisch	3	6	+5/-5	+3/+4
Chinesisch	5	6	+5/-5	+4/-2
Spanisch	0	8	0/0	+5/-5
Französisch	2	4	+5/-5	-2/-2
Griechisch	4	6	+5/-5	+2/+2
Hebräisch	4	4	+5/-5	-3/+4
Italienisch	3	6	+5/-5	-3/+3
Japanisch	5	6	+5/-5	+2/-2
Holländisch	4	6	+5/-5	-2/-2
Polnisch	4	7	+5/-5	+2/+4
Portugiesisch	7	10	+5/-5	+4/+4
Russisch	7	8	+5/-5	+4/+4
Schwedisch	6	6	+5/-5	+4/+2

Einstellungen bei Gregorianischer Musik; [Tomatis2006]

	Retard	Precession	Kanal 1	Kanal 2
Gregorianik 1	7,8	81	+4/-5	-5/+5
Gregorianik 2	2,8	91	+4/-5	-5/+5

6.2 Zur Untersuchung der Sprachethnogramme

6.2.1 Häufigkeitsverteilung der Phoneme nach Delattre

Deutsch				Englisch				Französisch			
Vokale		Konsonanten		Vokale		Konsonanten		Vokale		Konsonanten	
SAMPA	IPA	IPA	SAMPA	SAMPA	IPA	IPA	SAMPA	SAMPA	IPA	IPA	SAMPA
@	[ə]	10,45	[n] n	@	[ə]	8,87				8,67	[R] R
		8,99				7,85	[t] t	e	[e]	8,14	
		7,17	[t] t			7,04	[n] n	a	[a]	7,04	
		6,92	[R] R, r, 6	I	[I]	5,57				6,14	[l] l
		5,14	[d] d	r	[r]	5,11				5,59	[t] t
I	[I]	4,33				4,72	[l] l	i	[i]	5,23	
		4,24	[s] s			4,59	[s] s			5,06	[s] s
a	[a]	4,03		{	[æ]	3,64				4,60	[p] p
		3,79	[l] l			3,47	[d] d			4,18	[d] d
		3,32	[x] C	i:	[i]	3,28				3,67	[k] k
		3,26	[m] m			3,01	[z] z			3,46	[m] m
aI	[ai]	2,96				2,91	[m] m	@	[ə]	3,21	
E, E:	[ɛ]	2,66		A:	[a]	2,83	[ð] D	a~	ã	3,20	
e	[e]	2,53		e	[e]	2,70		E	[ɛ]	3,02	[n] n
		2,46	[f] f			2,64	[k] k			2,83	
		2,42	[v] v	e	[e]	2,64				2,70	[u] u
		2,35	[g] g			2,26	[w] w			2,57	[v] v
		2,29	[z] z	u:	[u]	2,16		O	[ɔ]	2,13	
i	[i]	2,21				2,14	[b] b	y	[y]	1,98	
U	[U]	1,99		aI	[ai]	2,12				1,86	[j] j
		1,78	[b] b			2,01	[h] h			1,67	[ʒ] Z
a:	[ɑ]	1,46		@U	[əʊ]	1,95	[v] v	o~	õ	1,62	
u	[u]	1,44				1,91				1,48	[f] f
		1,43	[k] k			1,75	[f] f			1,35	[z] z
O	[ɔ]	1,41		ɜ:	[ɜ]	1,70				1,33	[w] w
		1,41	[ts] ts	eI	[eɪ]	1,52				1,31	[b] b
		1,20	[ʃ] S			1,45	[p] p	o	[o]	1,10	
aU	[au]	1,18				1,35	[ŋ] N	e~	[ɛ̃]	1,03	
		1,18	[h] h			1,23	[j] j	9	[œ]	0,76	
o	[o]	0,86				0,96	[g] g	2	[ø]	0,72	
		0,64	[p] p	aU	[au]	0,84				0,65	[g] g
		0,51	[ŋ] N	Q, O:	[ɔ]	0,77				0,57	[ʃ] S
y	[y]	0,49		U	[U]	0,77				0,49	[ɥ] H
Y	[Y]	0,38				0,60	[θ] T	9~	[œ̃]	0,44	
2	[ø]	0,36				0,54	[ʃ] S			0,15	[ɲ] J
		0,34	[j] j			0,54	[dʒ] dZ	A	[ɑ]	0,01	
OI	[ɔɪ]	0,21				0,39	[tʃ] tS				
9	[œ]	0,13		OI	[ɔi]	0,10	[ʒ] Z				
		0,07	[pf] pf			0,08					
		100,00				100,00				100,00	

6.2.2 SAMPA Transkriptionstabelle

6.2.2.1 Konsonanten

IPA* Symbol	SAMPA° Symbol	Deutsch		Englisch		Französisch	
		Beispiel	SAMPA Transkription	Beispiel	SAMPA Transkription	Beispiel	SAMPA Transkription
[p]	p	Pein	paIn	pin	pIn	pont	po~
[b]	b	Bein	baIn	bin	bIn	bon	bo~
[t]	t	Teich	taIC	tin	tIn	temps	ta~
[d]	d	Deich	daIC	din	dIn	dans	da~
[k]	k	Kunst	kUnst	kin	kIn	quand	ka~
[g]	g	Gunst	gUnst	give	gIv	gant	ga~
[pf]	pf	Pfahl	pfa:l				
[ts]	ts	Zahl	tsa:l				
[tʃ]	tʃ			chin	tʃIn		
[dʒ]	dʒ			gin	dʒIn		
[m]	m	mein	maIn	mock	mQk	mont	mo~
[n]	n	nein	naIn	knock	nQk	nom	no~
[ɲ]	J					oignon	oJo~
[ŋ]	N	Ding	dIN	thing	TIN		
[f]	f	fast	fast	fin	fIn	femme	fam
[v]	v	was	vas	vim	vIm	vent	va~
[θ]	T			thin	Tin		
[ð]	D			this	Dis		
[s]	s	Tasse	"tas@	sin	sIn	sans	sa~
[z]	z	Hase	"ha:z@	zing	zIN	zone	zon
[ʃ]	S	waschen	"vaS=n	shin	SIn	champ	Sa~
[ʒ]	Z	Genie	Ze"ni:	measure	"meZ(@	gens	Za~
[x]	C	Buch	bu:x				
[ç]	C	sicher	ziC6				
[h]	h	Hand	hant	hit	hIt		
[ɹ]	r			wrong	rQN		
[R]♦	R	Reim	RaIm			rond	Ro~
[ʁ]	6	besser	"bEs6				
[l]	l	Leim	laIm	long	lQN	long	lo~
[j]	j	Jahr	ja:6	yacht	jQt	pierre	pjER
[ɥ]	H					juin	ZHe~
[w]	w			wasp	wQsp	coin	kwe~

Die Erläuterung des Farbcodes findet sich auf Seite 80.

♦ Delattre bezeichnet alle „r“ Laute gleich. Um die Übersichtlichkeit zu wahren wurde die IPA Notation zur Hilfe genommen.

6.2.2.2 Vokale

IPA* Symbol	SAMPA° Symbol	Deutsch		Englisch		Französisch	
		Beispiel	SAMPA Transkription	Beispiel	SAMPA Transkription	Beispiel	SAMPA Transkription
[ɑ]	a:	Tat	ta:t				
[ɑ]	A:			stars	stA:z		
[ɑ]	A					pâte	pAt
[a]	a	Satz	zats			patte	pat
[e]	e	Beet	bet			ses	se
[ɛ]	e			sell	sel		
[ɛ]	E	Gesetz	g@"zEts			seize	sEz
[æ]	{			pat	p{t		
[æ]	E:	spät	SpE:t				
[i]	i:			ease	i:z		
[i]	i	Lied	lit			lît	li
[I]	I	Sitz	zIts	pit	pIt		
[o]	o	rot	rot			gros	gRo
[ɔ]	O	Trotz	trOts			comme	kOm
[ɔ]	Q			pot	pQt		
[ɔ]	O:			cause	kO:z		
[u]	u:			lose	lu:z		
[u]	u	Blut	blut			doux	du
[U]	U	Schutz	SUts	put	pUt		
[ʌ]	V			cut	kVt		
[ɜ]	ɜ:			furs	fɜ:z		
[ø]	2	blöd	bl2d			deux	d2
[œ]	9	plötzlich	"pl9tsIIC			neuf	n9f
[y]	y	süß	zys			du	dy
[Y]	Y	hübsch	hYpS				
[ɛ̃]	e~					vin	ve~
[œ̃]	u~					brun	bR9~
[ɑ̃]	a~					vent	va~
[ɔ̃]	o~					bon	bo~
[ai]	aI	Eis	aIs	rise	raIz		
[au]	aU	Haus	haUs	rouse	raUz		
[ei]	eI			raise	reIz		
d:[ɔχ], e:[ɔi]	OI	Kreuz	krOIts	noise	nOIz		
[əʊ]	@U			nose	n@Uz		
[ə]	@	bitte	"bIt@	another	@"nVd@	justement	Zyst@ma~

Die Erläuterung des Farbcodes findet sich auf Seite 80.

* Die IPA Notation wurde gemäß den Richtlinien der IPA übernommen (<http://www.langsci.ucl.ac.uk/ipa/index.html> und http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_IPA_Zeichen)

° Die SAMPA Transkription ist jener der EUROM Datenbank entnommen und entspricht nicht zwangsläufig den offiziellen SAMPA Konventionen (<http://www.phon.ucl.ac.uk/sampa/index.html>)

Gelb: Bei Delattre werden die Laute zu einem zusammengefasst

Grün: Delattre bezeichnet diesen Laut als "e", laut IPA handelt es sich aber um einen Diphthong. Um Verwechslungen vorzubeugen wurde dieser Laut nach IPA Konvention umbenannt.

Orange: Bei Delattre findet sich dieser, bei der IPA als Diphthong geführter, Laut als "o" wieder. Auch hier wurde der Richtigkeit und Übersichtlichkeit halber die Nomenklatur jener der IPA angepasst.

Violett: Diese Laute in den markierten Sprachen stellt Delattre zwar auf, übernimmt sie jedoch nicht in seiner Häufigkeitstabelle

6.2.3 Datensätze

6.2.3.1 Deutsch

Gruppe S1		Gruppe S2		Gruppe S3		Gruppe S4	
Text	SAMPA	Text	SAMPA	Text	SAMPA	Text	SAMPA
pill	pIl	pull	pUl	plill	pIlI	tüt	tyt
till	tIl	tall	tal	klill	klIlI	töt	t2t
kill	kIl	tull	tUl	lipp	lIp	titt	tIt
bill	bIl	kall	kal	litt	lIt	tett	tEt
dill	dIl	kull	kUl	lick	lIk	tatt	tat
gill	gIl	ball	bal	liff	lIf	tott	tOt
fill	fIl	bull	bUl	liss	lIs	tutt	tUt
schill	Sil	dall	dal	lisch	liS	tütt	tYt
chill	Cil	dull	dUl	lich	lIC	tött	t9t
sill	zIl	gall	gal	limm	lIm	teit	taIt
hill	hIl	gull	gUl	linn	lIn	taut	taUt
mill	mIl	lall	lal	ling	lIN	teut	tOI
nill	nIl	lull	lUl	lill	lIlI		
lill	lIl	rall	Ral	lirr	lI6		
rill	RIl	rull	rUl	tieht	tit		
jill	jIl	jall	jal	teht	tet		
pfill	pfIl	jull	jUl	tät	tE:t		
zill	tsil	prill	pRIl	tat	ta:t		
tschill	tSil	trill	tRIl	tot	tot		
pal	pal	krill	kRIl	tut	tut		

Anmerkung zum deutschen Datensatz: Die in dem CVC Satz fehlenden Phoneme '@' und 'v' wurden aus einem in der Datenbank vorhandenen, von den gleichen zwei Sprechern gesprochenen, Absatz gewonnen.

6.2.3.2 Englisch

Gruppe S1		Gruppe S2		Gruppe S3		Gruppe S4		Gruppe S5	
Text	SAMPA	Text	SAMPA	Text	SAMPA	Text	SAMPA	Text	SAMPA
peel	pi:l	pahl	pA:l	preel	pri:l	leap	li:p	deed	di:d
teel	ti:l	pool	pu:l	treel	tri:l	leet	li:t	did	dId
keel	ki:l	tahl	tA:l	creel	kri:l	leak	li:k	dead	ded
Beale	bi:l	tool	tu:l	pleal	pli:l	leeb	li:b	dad	d{d
deal	di:l	kahl	kA:l	cleal	kli:l	lead	li:d	dahd	dA:d
geal	gi:l	cool	ku:l	tweel	twi:l	league	li:g	dud	dVd
feel	fi:l	bahl	bA:l	queel	kwi:l	leaf	li:f	dod	dQd
Theale	Ti:l	boole	bu:l			Leith	li:T	daud	dO:d
seal	si:l	Dahl	dA:l			lease	li:s	dood	dUd
veal	vi:l	dool	du:l			leash	li:S	dude	du:d
theele	Di:l	gahl	gA:l			leave	li:v	dird	d3:d
zeal	zi:l	ghoul	gu:l			leathe	li:D	daid	deId
heel	hi:l	rahl	rA:l			leaze	li:z	died	daId
cheel	tSi:l	rule	ru:l			liege	li:Z	doud	daUd
jeel	dZi:l	lahl	lA:l			leech	li:tS	doid	dOId
meal	mi:l	loole	lu:l			leedge	li:dZ		
kneel	ni:l	wahl	wA:l			leem	li:m		
reel	ri:l	woole	wu:l			lean	li:n		
leal	li:l	yahl	jA:l			leeng	li:N		
weal	wi:l	yule	ju:l						
yeel	ji:l								

Anmerkung zum englischen Datensatz: Die in dem CVC Satz fehlenden Phoneme '@' und '@U' wurden aus einem in der DB vorhandenen, von den gleichen zwei Sprechern gesprochenen, Absatz gewonnen.

6.2.3.3 Französisch

Gruppe S1		Gruppe S2		Gruppe S3		Gruppe S4		Gruppe S5	
Text	SAMPA	Text	SAMPA	Text	SAMPA	Text	SAMPA	Text	SAMPA
pile	pil@	pale	pal@	pril	pRil	lippe	lip@	Tite	tit@
Till	til	poule	pul@	tril	tRil	lite	lit@	tête	tEte
Kiel	kil	talle	tal@	kriil	kRil	lique	lik@	Tate	tat@
bile	bil@	Toul	tul	plil	plil	libes	lib@	tâte	tAt@
Dil	dil	cale	kal@	klil	klil	lied	lid	tute	tyt@
guil	gil	coule	kul@			ligue	lig@	te-te	t2t@
fil	fil	balle	bal@			lif	lif	teute	t9t@
cil	sil	boule	bul@			lys	lis	toute	tut@
chyle	Sil@	dalle	dal@			liche	liS@	taute	tot@
vil	vil	doul	dul			Lives	liv@	Totes	tOt@
Zile	zil@	gale	gal@			Lise	liz@	teinte	te~t@
Gilles	Zil@	goule	gul@			lige	liZ@	tunte	t9~t@
mil	mil	Lalle	lal@			lime	lim@	tante	ta~t@
Nil	nil	loul	lul			Line	lin@	tonte	to~t@
Lille	lil@	hual	Hal			Lille	lil@		
huile	Hil@	yal	jal			liye	lij@		
yil	jil	youl	jul			ligne	liJ@		
gnil	Jil	gnal	Jal			ling	liN@		
wil	will	gnoul	Jul			lire	liR@		
ril	Ril	wal	wal						
		woul	wul						
		ral	Ral						
		roule	Rul@						

6.2.3.4 Phonemstatistik

Deutsch			Englisch			Französisch		
SAMPA	IPA	Segmente	SAMPA	IPA	Segmente	SAMPA	IPA	Segmente
n	[n]	20	@	[ə]	30	R	[R]	70
@	[ə]	32	t	[t]	60	e	[e]	10
t	[t]	410	n	[n]	20	a	[a]	130
R, r, 6	[R]	60	l	[l]	10	l	[l]	730
d	[d]	30	r	[r]	60	t	[t]	350
l	[l]	370	l	[l]	720	i	[i]	450
s	[s]	10	s	[s]	20	s	[s]	20
a	[a]	110	{	[æ]	10	p	[p]	60
l	[l]	599	d	[d]	339	d	[d]	40
C	[x]	20	i:	[i]	480	k	[k]	60
m	[m]	20	z	[z]	20	m	[m]	20
aI	[ai]	10	m	[m]	20	@	[ə]	490
E, E:	[ε]	20	D	[ð]	19	a~	ã	10
e	[e]	10	A:	[ɑ]	110	n	[n]	20
f	[f]	20	k	[k]	70	E	[ε]	10
v	[v]	18	e	[e]	10	ü	[u]	121
g	[g]	30	w	[w]	50	v	[v]	20
z	[z]	10	u:	[u]	109	O	[ɔ]	10
i	[i]	10	b	[b]	40	y	[y]	9
U	[U]	100	aI	[ai]	10	j	[j]	40
b	[b]	30	h	[h]	10	Z	[ʒ]	20
a:	[ɑ]	10	v	[v]	20	o~	ø	10
u	[u]	10	@U	[əu]	10	f	[f]	20
k	[k]	60	f	[f]	20	z	[z]	20
O	[ɔ]	10	z:	[z]	10	w	[w]	30
ts	[ts]	10	eI	[ei]	10	b	[b]	40
S	[ʃ]	20	p	[p]	60	o	[o]	10
aU	[au]	10	N	[ŋ]	10	e~	[ɛ̃]	10
h	[h]	10	j	[j]	30	9	[œ]	10
o	[o]	10	g	[g]	40	2	[ø]	10
p	[p]	60	aU	[au]	10	g	[g]	40
N	[ŋ]	10	Q, O:	[ɔ]	20	S	[ʃ]	20
y	[y]	10	U	[U]	10	H	[χ]	20
Y	[Y]	10	T	[θ]	20	9~	[œ̃]	10
2	[ø]	10	S	[ʃ]	10	J	[j]	40
j	[j]	30	dZ	[dʒ]	20	A	[ɑ]	10
OI	[ɔɪ]	10	tS	[tʃ]	20			
9	[œ]	10	Z	[ʒ]	10			
pf	[pf]	10	OI	[ɔi]	10			