

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Philipps-Universität Marburg  
Geschäftsführender Direktor  
Prof. Dr. Ulrich Lotzmann  
Direktor der Abteilung für Zahnersatzkunde  
Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

---

**Zum Einfluss der Gaumengestaltung von Oberkiefer-  
Totalprothesen auf die Sprachlautbildung**

---

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Humanmedizin  
vorgelegt

von  
Kai Steffen Klimek  
aus Duisburg

Marburg an der Lahn, 2003

Angenommen vom Fachbereich 20  
-Humanmedizin- der  
Philipps-Universität Marburg am

22. Mai 2003

Gedruckt mit Genehmigung  
des Fachbereiches

Dekan:

Prof. Dr. B. Maisch

Referent:

Prof. Dr. U. Lotzmann

1. Korreferent:

Prof. Dr. K. M. Lehmann

2. Korreferentin:

Prof. Dr. R. Berger

**Gewidmet**  
**meinen lieben Eltern,**  
**Karin und Klaus Peter Klimek**  
**in Liebe und Dankbarkeit für die**  
**stetige Unterstützung und Geduld**

„Es bedarf oft großer Anstrengung und Mühe,  
bis die Natur in Ordnung gebracht hat,  
was unsere Sorgfalt hätte vermeiden können!“

W. Wild

## INHALT

1.0. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG . . . . .	1
2.0. GRUNDLAGEN . . . . .	3
2.1. Literaturübersicht zum Thema . . . . .	3
2.2. Anatomische Grundlagen zur Stimmbildung . . . . .	9
2.6. Physiologische Grundlagen zur Stimmbildung. . . . .	10
2.4. Anatomische Grundlagen des Gehörs . . . . .	12
2.5. Physiologische Grundlagen des Gehörs . . . . .	14
2.6. Phonetische Grundlagen . . . . .	15
2.7. Instrumentalphonetische Grundlagen . . . . .	19
2.8. Phoniatische Grundlagen . . . . .	20
2.9. Audiometrische Grundlagen . . . . .	21
3.0. MATERIAL UND METHODE . . . . .	24
3.1. Probandenauswahl . . . . .	24
3.2. Audiometrische Voruntersuchung . . . . .	25
3.3. Anfertigung eines Palatogrammes auf einer Oberkiefer-Totalprothese	27
3.3.1. Palatogramm „ <u>O</u> ssi“ . . . . .	28
3.3.2. Palatogramm „ <u>S</u> chaf“ . . . . .	29
3.3.3. Palatogramm „ <u>A</u> rzt“ . . . . .	30
3.3.4. Nutzung des Palatogramms . . . . .	31
3.4. Rekonstruktion des Gaumenreliefs . . . . .	31
3.4.1. Modifikation mit med. Gaumenfalte . . . . .	33
3.4.2. Modifikation mit med. Gaumenfalte u. transv. Gaumenfalte I . . . . .	33
3.4.3. Modifikation mit med. Gaumenfalte u. transv. Gaumenfalte II . . . . .	34
3.4.4. Modifikation mit med. Gaumenfalte u. transv. Gaumenfalte III . . . . .	35
3.4.5. Modifikation mit modifiziertem Snow-Wulst . . . . .	35
3.4.6. Modifikation mit aufgerauter, sandgestrahlter Oberfläche . . . . .	36
3.5. Tonaufnahmen . . . . .	37
3.6. Frequenzanalytische Auswertung . . . . .	39
3.7. Statistische Auswertung . . . . .	42

4.0. ERGEBNISSE . . . . .	45
4.1. Probandenauswahl . . . . .	45
4.2. Instrumentelle Lautanalyse . . . . .	47
5.0. DISKUSSION . . . . .	56
5.1. Diskussion der Methode . . . . .	56
5.1.1. Zur Prüfprothese . . . . .	57
5.1.2. Zur Gaumenplatte . . . . .	58
5.1.3. Zur Audiometrie . . . . .	59
5.1.4. Zur Tonaufnahme . . . . .	60
5.1.5. Zur instrumentalphonetischen Auswertung . . . . .	60
5.2. Diskussion der Ergebnisse . . . . .	62
5.2.1. Zur Probandenauswahl . . . . .	62
5.2.2. Zu den phonetischen Parametern . . . . .	62
5.2.3. Zur Lautanalyse . . . . .	63
5.3. Folgerungen für die zahnärztliche Behandlung . . . . .	65
5.3.1. Linguopalatal gebildete Laute [ t ] und [ d ] . . . . .	66
5.3.2. Reibelaute [ sch ] und [ s ] . . . . .	66
5.3.3. Bei der Bildung von S- u. Sch- Lauten ist ein „Pfeifen“ zu vernehmen . . . . .	67
5.3.4. Die S-Laute klingen wie ein SCH-Laut. . . . .	67
ZUSAMMENFASSUNG . . . . .	68
SUMMARY . . . . .	70
LITERATURVERZEICHNIS . . . . .	72
ANHANG	

## 1. Einleitung

Die Sprache ist ein System von Lauten und Lautkombinationen für Begriffe und Gegenstände und ein System von Regeln für die Kombination dieser Zeichen. In erster Linie stellt die Sprache Sachverhalte mittels Zeichen dar, die keine Ähnlichkeit mit diesen haben. Im Hinblick auf den Menschen als Sender und Empfänger von sprachlichen Äußerungen dient die Sprache der Mitteilung und Kommunikation. Eine Mitteilung ist aber nur möglich über die Repräsentation, das heißt, dass die sprachlichen Äußerungen für den Sender und den Empfänger das Gleiche bedeuten. Somit gehören Sprache und Sprachverhalten zum individuellen Erscheinungsbild einer Persönlichkeit. Über die Sprache wird kommuniziert und repräsentiert. Das Sprachverhalten einer Person charakterisiert bewusst und unbewusst das Individuum innerhalb seines sozialen Umfeldes [Gauer ,1972]. Demnach ist Sprache eines der wichtigsten Hilfsmittel des täglichen Lebens und jeder Mensch hat das grundsätzliche Bedürfnis, von seinem Umfeld korrekt verstanden zu werden.

Die gesprochene Sprache ist ein hoch komplizierter Vorgang, der sich schon durch eine geringe Veränderung auch nur einer einzelnen, beteiligten Komponente, wesentlich beeinflussen lässt. Als Komponenten wären die Zähne, die Zunge und der Gaumen und weitere anatomische Strukturen zu nennen, die bei der Artikulation zusammen wirken und sich beeinflussen. So legt sich die Zunge zur Bildung spezieller Reibelaute an das Gaumenrelief an, was bei Trägern von herausnehmbarem Zahnersatz, der den Gaumen teilweise oder ganz abdeckt, zu einer Veränderung der ursprünglichen Situation führt [Duden, 2000].

Durch das Tragen von Zahnersatz verändert sich die Mundsituation, so dass ein Fremdkörpergefühl ausgelöst wird, das vom Behandler und dem Patienten gleichermaßen adaptiert werden muss. Die Behandlung geschieht durch Veränderung des ästhetischen Erscheinungsbildes der zahnärztlichen Konstruktion oder aber der funktionellen Komponente. Die funktionelle Komponente betrifft dabei auch die Lautbildung. Speziell bei Trägern von Totalprothesen im Oberkiefer legt sich die Zunge zur Lautbildung an eine Gaumenplatte aus Kunststoff oder Metall an, welche die anatomischen Strukturen

des natürlichen Gaumens überdeckt und demnach zwangsläufig zu Veränderungen in der Artikulation führt.

Die Gestaltung von Gaumenplatten wird bei Totalprothesen aus phonetischer Sicht in der aktuellen Literatur kaum berücksichtigt. Daher entstand die vorliegende Arbeit, mit der zwei Zielsetzungen verfolgt werden sollen:

1. Untersuchungen zur Ausformung der Gaumenplatten bei Totalprothesen im Oberkiefer und dessen Einfluss auf die Sprachlautbildung mit Hilfe der von *Wisser* [2000] beschriebenen, instrumentalphonetischen Methode.
2. Erarbeitung therapeutischer Ansätze zur Behandlung von Lautbildungsstörungen an Oberkiefer- Totalprothesen durch Veränderung und Ausformung des Gaumenreliefs.

## 2. GRUNDLAGEN

### 2.1. Literaturübersicht zum Thema

Mit zunehmendem Alter wird die Wahrscheinlichkeit des Zahnverlustes entsprechend höher [Dolder, 1956]. Neben der Wiederherstellung der Kaufunktion und der Gesichtsästhetik begründet sich die Anfertigung unter anderem auf die der Umwelt auffallenden, veränderte Sprache durch fehlende Zähne, bis hin zur negativen Beeinflussung der gesellschaftlichen Wertung in Zusammenhang mit dem beruflichen Wettbewerb bei Sprachveränderungen [Mänel, 1931].

Neben den Sprachstörungen durch Zahn- und Gaumendefekte werden auch Ursachen durch Platzmangel der Zunge hervorgerufen, die zum Lispeln führen und als Kieferkompression beschrieben werden [Lieb-Mühlhausen, 1964]. Auch Zahnanomalien und -fehlstellungen führen zur Limitation des Sprechens. So engen palatinal durchgebrochene Zähne den Zungenraum so ein, dass eine Bewegungseinschränkung des Zungenkörpers resultiert [Vinceloe, 1957]. Ebenfalls entstehen durch eine Zahnüberzahl im Praemolarenbereich Sprachprobleme [Eberhardt, 1954].

Änderungen im Bereich des natürlichen Gaumens führen zu Störungen der Lautbildung, wie bei schmerzhafter Schwellung der Papilla inzisiva beobachtet werden konnte. Hierbei zeigte sich eine Veränderung des [s]-Lautes und eine zum weichen Gaumen verschobene Lautbildungsstelle des palatal gebildeten [t]-Lautes, wobei sich der Zustand nach Abheilung wieder normalisierte [Förster, 1967].

Bei einer prothetischen Versorgung ist neben den Faktoren der Mechanik und Ästhetik noch die Phonetik zu berücksichtigen, wobei dieser die geringste Beachtung zukommt [Allen, 1959]. So beeinflusst eine neue Prothese zwar anfänglich die Lautbildung ungünstig, doch nach einer gewissen Eingewöhnungszeit normalisiert sich die Sprache zusehends [Reumuth, 1957].

Die Gewöhnung an die neue Prothese kann sogar dergestalt verlaufen, dass sich die Sprache von der ursprünglichen nicht mehr unterscheiden lässt [Münch, 1956].



Diese ideale Form der Gewöhnung wird abermals von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, wobei letztendlich auch der Wille des Prothesenträgers mit entscheidend ist [Gysi, 1929 und Slankamenac, 1980].

Totalprothesen decken im Oberkiefer den natürlichen Gaumen ab, so dass die Zunge nicht mehr die Möglichkeit hat, das Gaumenrelief zu ertasten. Zu dem ist die Oberfläche der Prothese hochglänzend poliert, wodurch die Zunge die Orientierung in der Mundhöhle verliert, was eine Verschlechterung der Sprache zur Folge hat [Reumuth, 1957]. Bei prothetischen Maßnahmen lassen sich neben Verengung des Zungenraumes durch die Prothese und ungenügendem Halt der Prothese selber auch fremdartige Formen an den phonetisch wichtigen Artikulationsstellen als Ursache von Sprachstörungen feststellen [Wild, 1950]. Auch die dorsale Gestaltung einer Totalprothese im Oberkiefer nimmt Einfluss auf die Sprachbildung. So wird eine zu lange Prothese abgehebelt und eine undichte, dorsale Abdämmung führt zu einer Teilung des Phonationsstromes [Eisenring, 1951]. Auch Suter [1951] beschreibt, dass ein zu langer, dorsaler Rand eine Irritation des weichen Gaumens provoziert und zu einer guturalen, hölzernen Sprache führt. Zahnaufstellungen führen ebenfalls zu Sprachveränderungen, insbesondere, wenn palatinale Höcker an Prothesenzähnen besonders stark ausgeprägt sind [Arnold, 1943; Müller, 1931; Vinkeloe, 1957].

Die Gestaltung des Zahnersatzes kann nach unterschiedlichen Richtlinien erfolgen [Stuck, 1996]. Erfolgt die Ausformung des Zahnersatzes jedoch nach phonetischen Gesichtspunkten, muss beachtet werden, dass „der mandibulo-maxilläre Apparat ein äußerst feines, mechanisches Instrument beim Sprechen darstellt und somit nur einen geringen Spielraum zulässt“ [Wild, 1950]. So unterscheiden und formieren die Zähne die Rede, wobei geringfügige Veränderungen eine große Wirkung verursachen [Paré, 1635]. Die Stellung der Frontzähne beeinflusst dabei besonders die Bildung der s-Laute [von Essen, 1979].

Die Gestaltung von Zahnersatz nach phonetischen Gesichtspunkten, setzt die Kenntnisse von Artikulationszonen, die bei zusammenhängenden Lauten, sowie von Artikulationsstellen bei Einzellauten, bestehen, voraus [Gutzmann sen., 1895].

Demnach traf bereits Halil [791 n. Chr.] die Einteilung in Laute des Kehlkopfes, der Backenzähne, Lippen und des Gaumens [Braumann, 1934].

Da sich diese Arbeit mit der Ausformung der Gaumenplatte auseinandersetzt, soll auch vornehmlich darauf eingegangen werden:

Im Rahmen dieser Studie war es zunächst initial erforderlich, die oben beschriebenen Artikulationsstellen und -zonen, die bei jedem Patienten individuell verschieden ausgeprägt und lokalisiert sind, zu ermitteln. Hierzu werden verschiedene Techniken beschrieben, die zu den sogenannten Berührungsbildern oder Palatogrammen führen und sich in die indirekte Palatographie mit Hilfe eines künstlichen Gaumens oder direkte Palatographie durch direktes Anfärben des Gaumens oder der Zunge kategorisieren lassen [Foerster, 1967]. Die Palatographie wird zum Teil auch durch den Begriff Linguographie ersetzt, da die größere Bedeutung der Zunge zukommt und diese sich als veränderndes Organ, im Gegensatz zum starren Gaumen, den entscheidenden Teil übernimmt [Herold, 1935]. Anfängliche Untersuchungen beschreiben dabei den Einsatz eines Glasspiegels, der durch die Zungenbewegung an den Artikulationszonen befeuchtet werden [Merkel, 1866]. Dadurch sollte der palatal gebildete [t]-Laut und die dadurch entstehenden Artikulationsstellen sichtbar gemacht werden können. Andere, direkte Methoden beschreiben das Bestreichen der Zunge mit Farbe, bei der Artikulationszonen am Gaumen farblich markiert werden [Grützner, 1879], oder das Bestreichen des Gaumens mit Farbe, um durch den Abrieb die Lage der Artikulationszonen sichtbar zu machen [Uldall, 1958]. Bei der Möglichkeit des Färbens kommen die unterschiedlichsten Materialien zur Anwendung, wobei die genauesten Untersuchungen hierzu von Pancocelli-Calica [1934] durchgeführt wurden. Andere Autoren verwandten Mischungen aus Gummi Arabicum und Mehl [Coles, 1905], Aquarellfarben [Grützner, 1879], eingefärbten Gipsbrei [Reichenbach, 1924], einer Salbe auf Serol-Basis [Foerster, 1967] oder einem Gemisch aus Kohle und Schokoladenpulver [Uldall, 1958].

Weitere indirekte Methoden bestanden in der Anfertigung von künstlichen Gaumen durch die Herstellung eines Papierbreies [Rousselot, 1924]. Andere Autoren verwendeten dünne Platten aus Schellack, Metall, Kautschuk oder Wachs [Corradi, 1927], wobei sich die indirekten Methoden als übermäßig aufwendig herausstellten und die Übertragung der Ergebnisse auf die Gipsmodelle eine nicht akzeptable Fehlerquelle darstellt.

In jüngeren Artikeln wird der Einsatz der elektronischen Palatographie (EPG) beschrieben, wobei es sich um ein direktes Verfahren handelt. *Lundquist et al.* [1995] setzte Probanden eine mit 62 kleinen Elektroden ausgestattete Gaumenplatte aus Polymethylmetacrylat ein, die ihre Befestigung über kieferorthopädische Knopfanker und Adamsklammern findet. Über dieses Verfahren konnte er ermitteln, dass die Zunge im Durchschnitt 100 bis 170 msec Kontakt zur Gaumenoberfläche hat, um einen Sprachlaut zu bilden [*Lundquist et al.*, 1995].

Die Anfertigung von Palatogrammen sollen Aufschluss über Lage der Artikulations- und Lautbildungsstellen geben, wodurch eine Verbesserung der Gestaltung von Zahnersatz erreicht werden soll. Neben den ästhetischen und funktionellen Aspekten, wird angestrebt, auch den phonetischen Aspekten gerecht zu werden. Die Literatur beschreibt diesbezüglich verschiedene Möglichkeiten, dem phonetischen Anspruch gerecht zu werden. So können künstliche Gaumenfalten verwendet werden, die jedoch nicht zu stark ausgeprägt sein sollten, um nicht den Luftstrom zu behindern [*Suter*, 1951]. *Reumuth* [1957] hingegen rät von der Verwendung künstlicher Gaumenfalten ab und favorisiert den Einsatz individueller Falten. Es sollte dabei ebenfalls beachtet werden, ob es sich bei dem Prothesenträger um das erstmalige Tragen einer Totalprothese handelt oder die Gewöhnung an eine Hochglanz polierte Prothesenoberfläche schon abgeschlossen ist. Sogenannte Altprothesenträger können Faltenmuster auf der Prothesenoberfläche als störend empfinden [*Foerster*, 1967], wie auch bei einigen anderen Autoren festgestellt wurde. Eine weitere Möglichkeit sieht *Foerster* [1967] darin, eine künstliche Papilla inzisiva zu verwenden, bei der ebenfalls entscheidend ist, ob es sich um einen Neu- oder Altprothesenträger handelt. Des Weiteren kann in der Mittellinie des Gaumens einen Tast- und Berührungskamm nach *Suter* [1951] aufgebracht werden. Dieser Kamm hat ein V-förmiges Aussehen und erstreckt sich jeweils vom Torus palatinus bis zur Papilla inzisiva.

Dieser gilt als Orientierungshilfe für die Zunge in der Mundhöhle [*Suter*, 1951]. Auch eine phonetisch aktive Platte nach *Kobes* [1957] kann zum Einsatz kommen, um die Phonetik zu verbessern. Hierbei hat *Kobes* [1957] durch Palatographie

Haupt- und Nebenareale ermittelt, wobei Hauptareale diejenigen Stellen sind, die von der Zunge zur Sprachbildung sehr häufig berührt werden. Hauptareale sollten tiefer und Nebenareale höher gestaltet sein, als das Niveau der Gaumenplatte.

Die Rauigkeit einer Prothesenoberfläche kann ebenfalls zu einem phonetischen Effekt führen, wenn auf eine Hochglanzpolitur verzichtet wird. Hierbei wird eine bessere Haftung des Speichels erzielt und die Zunge verspürt eine rauhe, gewohnte Oberfläche. Das subjektive Empfinden des Patienten ist gleichsam besser, als bei einer Hochglanz polierten Oberfläche [*Balters, 1956; Kobes, 1958*].

Aktuelle Richtlinien für eine phonetisch korrekt ausgeformte Prothese beschränken sich auf die Erlangung von einer einwandfrei festsitzenden Prothese, die nicht überdimensioniert gestaltet sein soll. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Zungenraum nicht eingeengt wird und die Prothese möglichst dünn ausgearbeitet ist. Auch fremdartige Formen sollten keine Anwendung finden, was bedeutet, dass die Form der Prothese nicht unnötig rationiert werden soll und auf eine Skelettierung der Prothese verzichtet werden sollte [*Eichner, 1974*].

## 2.2. Anatomische Grundlagen zur Stimmbildung

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Grundlagen der Anatomie und Physiologie der Sprachlautbildung sowie der phonetischen Methodik, insofern erläutert, wie sie für das Verständnis der vorliegenden Studie von Bedeutung sind.

Die Hippokratiker befassten sich schon um 400 vor Christi Geburt mit der Sprachlautbildung und dessen phonetischen Grundlagen [Wängler, 1972]: „Der Mensch spricht, in dem er die Luft nach innen in den ganzen Körper einzieht, den größten Teil des Quantum in die hohlen Teile seines Körpers. Diese Luft bringt, wenn sie nach außen gestoßen wird, da sie in einen leeren Raum eintritt, ein Geräusch hervor. Denn der Kopf gibt eine Resonanz. Die Gliederung dieses Geräusches erfolgt durch die Zunge, dadurch, dass sie einen Druck ausübt: Sie sperrt den Luftstrom in der Kehle ab, drückt ihn gegen den Gaumen und die Zähne und bewirkt so das klare und deutliche Sprechen.“

*Leonardo Da Vinci* verfasste um 1488 exakte Zeichnungen und einige Texte zur Bildung von Sprache und griff damit die bereits von *Claudios Galenos* [131 n. Chr.] aufgrund von Sektionen und Vivisektionen gewonnenen Erkenntnisse in bezug auf Anatomie, Physiologie dem Atmungsorganismus und den Verhältnissen des Kehlkopfes auf.

Die Stimmlippen wurden von *Hieronimus Fabricius* [1537] bei der Sektion von Kehlköpfen an Leichen entdeckt, so dass er die These aufstellte, dass die Stimme zwischen ihnen gebildet wird [Von Essen, 1979].

Sprachlaute wurden von *Johann Konrad Amman* [1700] nach ihren Artikulationsstellen in Lippen-, Zahn-, Zungen-, Kehl- und Nasenlaute, nämlich den Labiales, Dentales, Linguales, Gutturales und Nasaes eingeteilt, beziehungsweise als selbstlautende, halblautende und mitlautenden, nämlich den Vokales, Semivokales und Consonantes voneinander unterschieden [Von Essen, 1979].

Die Mediziner und Sprechärzte *Panconcelli-Caliza* [1934] und *Gutzmann* [1895] bemühten sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts sehr um die Erforschung der Stimme, wobei *Hermann Gutzmann* [1895] schon sehr früh vermutete, dass Zahn-

fehlstellungen und eingebrachter Zahnersatz zu Lautbildungsstörungen führen können.

Die Phonation wird auch als Stimmbildung bezeichnet und läuft im Kehlkopf ab, wobei die Oszillation der Stimmbänder die physikalische Grundlage bildet. Der phonemische Aufbau wird durch den Mechanismus der Artikulation bestimmt, der sich im Bereich des Mund-, Rachen- und Nasenraumes abspielt [Schmidt-Thews, 1985]. Das sogenannte Ansatzrohr bezeichnet in der Phonetik den Hohlraum, der sich cranial der Stimmlippen und caudal der Mundlippen und Nasenöffnungen befindet [Wängler, 1981]. Luft, die in diesem Raum eingeschlossen wird, stellt das akustische Medium zur Bildung von Sprachlauten dar.

Der Gaumen lässt sich in Hartgaumen (Palatum), Weichgaumen (Velum) und Zäpfchen (Uvula) gliedern, wobei der Hartgaumen aus einem vorderen, mittleren und hinteren, der Weichgaumen aus einem vorderen und hinteren Anteil besteht [Foerster, 1967]. Die Gaumenform nimmt dabei dergestalt Einfluss auf die Stimmgattung, als dass sich ein flacher Gaumen einer tiefen Kategorie und ein hoher, schmaler Gaumen einer hohen Kategorie zuordnen lässt [Gutzmann jun., 1950].

Der untere Abschnitt des Rachenraumes wird als Kehlkopfrachen (*Laryngopharynx*) bezeichnet und reicht vom Zungenbein (*Os hyoideum*) bis zur Speiseröhre (*Oesophageus*) und zum Kehlkopf (*Larynx*), wobei der Kehlkopf zwei Funktionen wahrnimmt: Zum einen verschließt er die unteren Luftwege und regelt ihre Belüftung, zum anderen ist er das Hauptorgan der Stimmbildung [Schäffler, 1994].

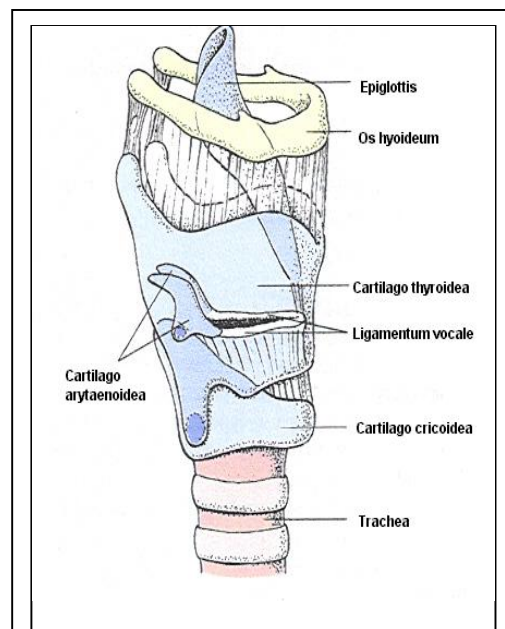


Abb. 2.2.1.: Knorpeliger Aufbau des Kehlkopfes nach Schäffler und Schmidt

Der Kehlkopf ist ein röhrenförmiges Knorpelgerüst, das sich vom Zungengrund bis hin zur Luftröhre erstreckt. Seine wichtigsten Strukturen sind die

Stimmbänder. Seine Festigkeit erhält er durch Knorpelstücke (Abb. 2.2.1.), die durch Bänder und Muskeln miteinander verbunden sind. Der größte Knorpel ist der Schildknorpel (*Cartilago thyroidea*), dessen scharfkantiger Vorsprung den Adamsapfel markiert und dem Kehlkopf seine dreieckige Form gibt.

Auf dem Oberrand des Schildknorpels sitzt der Kehledeckel (*Epiglottis*), der eher beim Schluckakt eine große Rolle spielt. Unterhalb des Schildknorpels liegt der siegelringförmige Ringknorpel (*Cartilago cricoidea*), dessen Verdickung (das „Siegel“) nach hinten gerichtet ist. Schild- und Ringknorpel sind durch Gelenke miteinander verbunden. Das Siegel des Ringknorpels bildet außerdem die Basis für zwei sehr kleine Stellknorpel (*Cartilago arytaenoidea*), die für die Stellung und Spannung der Stimmbänder verantwortlich sind. Der gesamte Kehlkopf, mit Ausnahme des Kehledeckels und der Stimmbänder, ist von einer gefäßreichen Schleimhaut, ähnlich der Nasenschleimhaut bedeckt [Schiebler und Schmidt, 1983].

### 2.3. Physiologische Grundlagen zur Stimmbildung

Die Kehlkopfschleimhaut bildet zwei waagrecht übereinandergelegene Faltenpaare: die unten gelegenen Stimmfalten und die darüber gelegenen Taschenfalten.

Die freien, oberen Ränder der Stimmfalten in der Mitte des Kehlkopffinneren werden als Stimmbänder (*Ligamenta vocalia*, *Stimmlippen*) bezeichnet (Abb. 2.3.1.). Sie verlaufen von der Innenfläche des Schildknorpels nach hinten zu den beiden Stellknorpeln [Schäffler, 1994].

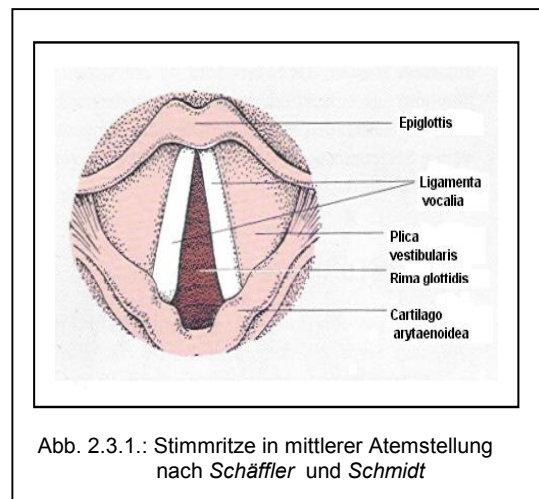


Abb. 2.3.1.: Stimmritze in mittlerer Atemstellung nach Schäffler und Schmidt

An den Stellknorpeln setzen mehrere sehr kleine Muskeln an, welche die Stimmbänder indirekt über den Stellknorpel bewegen können. Die Öffnung zwischen den beiden Stimmbändern wird als Stimmritze bezeichnet. Die Weite dieser Öffnung kann über die Kehlkopfmuskeln verändert werden. Innerviert werden die Stimmbänder vom Nervus recurrens, einem Nervenast des Nervus vagus [Kahle, 1986].

Bei der Stimmbildung oder Phonation werden die Stimmbänder durch einen Luftstrom in regelmäßige Schwingungen versetzt. Die Frequenz der Schwingungen und damit die Höhe des Grundtones kann durch eine Änderung der Spannung der Stimmbänder reguliert werden; die Lautstärke hingegen hängt von der Stärke des Luftstromes ab [*Silbernagel, 1991*].

Die Fülle der Stimme wird schließlich durch den Resonanzraum von Rachen, Mund- und Nasenhöhle erzeugt, der auch die Klangfarbe bestimmt.

Wie oben beschrieben, hängt die Tonhöhe von der Schwingungszahl der Stimmbänder ab:

Soll ein hoher Ton erzeugt werden, so werden die Stimmbänder durch Kontraktion von Kehlkopfmuskeln stärker gespannt, ähnlich dem Vergleich des Höherstimmens einer Gitarrensaite durch das Nachspannen. Sollen die Stimmbänder tiefer klingen, so können sie durch entsprechende Bewegungen der Kehlkopfmuskeln entspannt werden. Sie erzeugen dann durch weite, langsamere Schwingungen tiefere Töne [*Frick, Leonhard, Starck; 1992*].

Für die Lautbildung oder Artikulation muss sich der aus Mund-, Nasen- und Rachenhöhle bestehende Resonanzraum, der in mancher Literatur auch als Ansatzrohr bezeichnet wird, in seiner Form ändern können. Dadurch bekommt die Luftsäule unterschiedliche Eigenfrequenzen und charakteristische Resonanzen, wobei die verschiedenen Klangbilder der Laute entstehen.

So ist bei der Entstehung der Konsonanten das Ansatzrohr stärker verengt, als bei den Vokalen. Die einzelnen Konsonanten werden dagegen vor allem durch unterschiedliche Stellungen der Zahnreihen, der Lippen und Zunge sowie des Gaumens gebildet [*Voss, 1974*].



## 2.4. Anatomische Grundlagen des Gehörs

Das Hörorgan liegt zusammen mit dem Gleichgewichtsorgan gut geschützt in der Felsenbeinpyramide des Schläfenbeines (Pars petrosa ossis temporalis). Beide Organe sind in verschiedenen Strukturen des Innenohrs lokalisiert und haben unterschiedliche Funktionen:

Das Gehör dient der Aufnahme von Schallreizen; seine Sinneszellen sind in der Schnecke enthalten (Abbildung 2.4.1.). Das Gleichgewichtsorgan registriert Körperlage und -bewegung im Raum; seine Sinneszellen befinden sich im Vorhof und in den Bogengängen. Die Informationen aus beiden Organen werden über den Nervus vestibulocochlearis (VIII. Hirnnerv) an das Gehirn übermittelt. Dieser Nerv verläuft mit den ohrversorgenden Blutgefäßen vom Innenohr durch den inneren Gehörgang in das Schädelinnere [Benninghoff, 1992].

Das Hörorgan lässt sich in das äußere Ohr, Mittelohr und Innenohr unterteilen. Zum äußeren Ohr gehören die knorpelige Ohrmuschel und der äußere Gehörgang. Der äußere Gehörgang, der leicht abgewinkelt von der Ohrmuschel zum Trommelfell zieht, enthält Drüsen, die das Ohrenschmalz (Cerumen) bilden, und einzelne Haare.

Sie schützen vor eindringenden Fremdkörpern. Das Trommelfell (Membrana tympani), eine dünne, bindegewebige Membran, ist die Grenze zwischen äußerem Ohr und Mittelohr. Das Mittelohr liegt in der Paukenhöhle (Cavum tympani), einer kleinen, luftgefüllten Knochenhöhle im Felsenbein. Diese ist mit Epithel ausgekleidet und erstreckt sich vom Trommelfell bis zu einer knöchernen Wand des Innenohres. In dieser Wand befinden sich zwei membranverschlossene Knochenfenster - das ovale Fenster (Fenestra vestibuli) und das runde Fenster (Fenestra cochleae) -, die eine Verbindung mit dem Innenohr herstellen. Nach hinten geht die Paukenhöhle in die Hohlräume des Warzenfortsatzes (Processus mastoideus) über. Die Ohrtrumpete (Eustachische Röhre oder Tuba auditiva) stellt eine Verbindung zwischen Mittelohr und oberem Rachenraum her. Diese bewirkt einen Luftdruckausgleich zwischen den beiden Räumen, indem sie bei jedem Schluckakt automatisch geöffnet wird [Lippert, 2000].

In der Paukenhöhle selbst, liegen die drei Gehörknöchelchen (Ossicula auditus): Hammer (Malleus), Amboß (Incus) und Steigbügel (Stapes), wobei der

Hammergriff (Manubrium mallei) mit dem Trommelfell fest verbunden ist. Sein kürzerer Fortsatz ist gelenkig mit dem Amboß und dieser wiederum gelenkig mit dem Steigbügel verbunden. Der Steigbügel ist mit seiner „Fußplatte“ in dem ovalen Fenster befestigt. Die Gehörknöchelchen wandeln die auf das Trommelfell treffende Luftschwingung in eine Knochenschwingung um und dämpfen starke Trommelfellschwingungen, damit das Innenohr nicht durch extreme Vibrationen oder Lärm geschädigt wird [Schmidt, Thews; 1995].

Das Innenohr enthält die Sinnesrezeptoren für das Gehör und den Gleichgewichtssinn und liegt in einem komplizierten Hohlraumsystem, dem knöchernen Labyrinth des Felsenbeins. Dieses besteht aus Vorhof, Bogengängen und Schnecke und ist mit einer Flüssigkeit, der Perilymphe, gefüllt. Im Vorhof und in den Bogengängen liegen die Sinnesrezeptoren für das Gleichgewichtsorgan. Die Schnecke enthält die Sinnesrezeptoren für das Gehör (Abbildung 2.4.1.), wobei die Zwischenwand den Schneckengang in zwei Etagen teilt. Die obere Etage (Scala vestibuli) beginnt am ovalen Fenster und geht an der Schneckenspitze in die untere Etage (Scala tympani), die auch als Paukentreppe bezeichnet wird, über, die am Fenestra cochleae endet [Rohen, 1994]. Die knöcherne Schnecke (Cochlea) ist ein spiralgewundener Knochenraum, der mit liquor-ähnlicher Perilymphe gefüllt ist.

Von der knöchernen Schnecke wird die häutige Schnecke umgeben. Diese ist ein membranöser, ebenfalls mit Lymphe (Endo-

lymphe) gefüllter Schlauch. In ihr befindet sich die Basilmembran mit den Sinneszellen. Die Sinneszellen für das Gehör heißen Haarzellen, da sie an ihrem freien Ende feine Härchen tragen, die in die Endolymphe des häutigen Schneckenganges ragen und mit einer gallertigen Membran (Membrana tectoria)

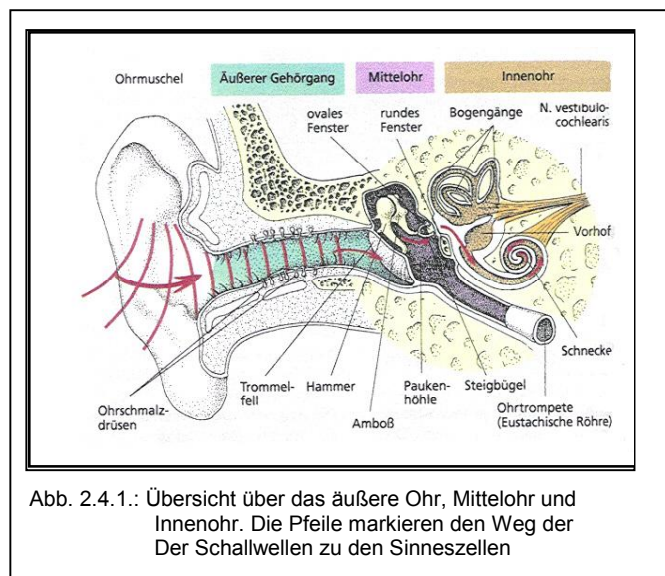


Abb. 2.4.1.: Übersicht über das äußere Ohr, Mittelohr und Innenohr. Die Pfeile markieren den Weg der Schallwellen zu den Sinneszellen

in Verbindung stehen. An ihrer Basis werden die Haarzellen von Fasern des Nervus vestibulocochlearis umfasst [Schäffler, 1994].

## 2.5. Physiologische Grundlagen des Gehörs

Das Ohr ist bei höherentwickelten Tieren und beim Mensch das Sinnesorgan, das auf die Wahrnehmung von Schallwellen spezialisiert ist. Schallwellen sind Luftschwingungen, die sich wellenförmig ausbreiten. Auf das Ohr eintreffende Schallwellen werden von der Ohrmuschel aufgenommen und durch den äußeren Gehörgang (Meatus acusticus externus) zum Trommelfell geleitet. Das Trommelfell wird durch die Schallwellen in Schwingungen versetzt, die sich auf die Gehörknöchelchenkette übertragen und schließlich das Fenestra vestibuli erreichen (Abbildung 2.4.1.) [Schmidt, Thews; 1995].

Die Steigbügelschwingungen an diesem ovalen Fenster versetzen die Perilymphe der Scala vestibuli in Schwingungen, durchlaufen diese als Wanderwellen bis zur Schneckenspitze und laufen von dort die Scala tympani hinab zum Fenestra cochleae, wo sie verebben. Die Wanderwellen in der Perilymphe versetzen auch die Basilarmembran innerhalb der häutigen Schnecke in Schwingungen. Dadurch werden zwischen den Haarzellen auf der Basilarmembran und der gallertigen Membrana tectoria Scherbewegungen erzeugt, die dazu führen, dass die Härchen der Sinneszellen verbogen werden [Schmidt, Thews; 1995].

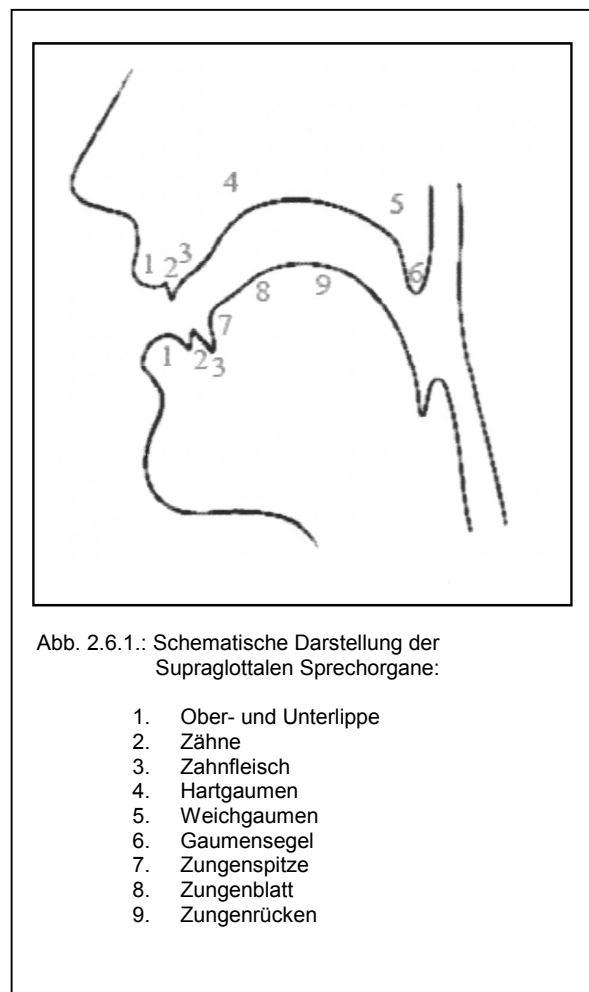
Aufgrund dieses mechanischen Biegeungsreizes werden die Haarzellen erregt, die ihre Reize an die basal gelegenen Nervenfasern weitergeben. Die Nervenfasern vereinigen sich später zusammen mit den Nervenfasern des Gleichgewichtsorgans zum Nervus vestibulocochlearis und ziehen zum Hörzentrum im Großhirnschläfenlappen. Dieses befindet sich dort direkt unterhalb der Großhirnfurche. Im primären Hörzentrum endet die Hörbahn. Das sekundäre Hörzentrum ermöglicht die Identifizierung der Höreindrücke. Für das Sprachverständnis ist ein besonderes Rindenfeld lokalisiert worden, das *Wernicke-Zentrum* [Schmidt, Thews; 1995].

## 2.6. Phonetische Grundlagen

Phonetik ist das Schallereignis der sprachlichen Kommunikation in allen seinen Aspekten, d.h. die Produktion, die Transmission und die Rezeption von Sprachschall, einschließlich der psychologischen und soziologischen Voraussetzungen in der Kommunikationssituation zwischen Sprechern und Hörer, wobei sowohl symbol- als auch messphonetische Betrachtungsweisen dieses Objekt prägen. Ein Anliegen der Phonetik ist es, herauszufinden, wie Signale (physiologisch und artikulatorisch) erzeugt werden, wie sie als Schall (akustisch) übermittelt werden und wie sie vom Hörer (perzeptiv) wahrgenommen werden [Kohler, 1977].

Die Phonetik unterteilt das Sprechorgan in drei Abschnitte: Subglottal (Lunge, Zwerchfell, Luftröhre, Brustmuskeln), Glottis und supraglottal (Abbildung 2.6.1.). Die Beteiligung am Artikulationsprozess wird in aktiv (Artikulationsorgan) und passiv (Artikulationsstelle oder -ort) unterschieden [Künzel, 1987].

Neben dieser physiologischen Einteilung wird die Lautproduktion in der Regel aber in Vokale (Selbstlaute, ohne Artikulation) und Konsonanten (immer artikuliert) eingeteilt.



Vokale sind Laute, bei denen die Stimmlippen im Kehlkopf schwingen und die Atemluft ungehindert durch den Mund ausströmt [DUDEN, 2000]. In der Regel sind Vokale Silbenträger und werden nach den nachfolgend aufgeführten Kriterien klassifiziert:



Zu den Verschlusslauten gehören:

- Stimmlose Verschlusslaute: Bilabiales [p], Dentales [t], Velares [k],
- Stimmhafte Verschlusslaute: Bilabiales [b], Dentales [d], Velares [g].

Frikative, auch bezeichnet als Engelaute, Reibelaute oder Spiranten, sind Konsonanten, bei deren Entstehung der Luftstrom sich durch eine Enge zwängt (Abb. 2.6.2).

Halböffnungslaute sind Konsonanten, die mit einer Öffnung und mit einer Hemmung, Enge oder einem Verschluss gebildet werden. Bei der Öffnung handelt es sich um eine typische Eigenschaft der Vokale, wobei es sich bei dem Verschluss um eine typische Eigenschaft der Konsonanten handelt.

- Nasale: [m], [n], [ŋ]
- Laterale: [l]
- Vibranten, sogenannte Schwinglaute oder Zitterlaute: die r-Laute.

Die Beschreibung der Konsonanten erfolgt nach folgenden Kriterien: Überwindungsmodus, Verschlusslaut, Engelaute, Halböffnungslaut, nach Lage der Artikulationsstelle, dem Artikulationsorgan, der Gaumensegelfunktion (oral, nasal), der Stimmbildung (stimmhaft, stimmlos) oder der Behauchung (Aspiration).

Die graphische Darstellung der Konsonanten erfolgt nach dem Artikulationsmodus (Abbildung 2.6.3.). Die relevanten Konsonanten werden nachfolgend in den Abbildung 2.6.4. und 2.6.5. als grundlegende Laut-Buchstaben-Zuordnung zum besseren Verständnis zusammengefasst [DUDEN, 2000].

	bilabial	labio-dental	alveolar	post-alveolar	palatal	velar	uvular	glottal
<b>Plosive</b>	p b		t d			k g		ʔ
<b>Nasale</b>	m		n			ŋ		
<b>Frikative</b>		f v	s z	ʃ (ʒ)	ç	x		h
<b>Approximant</b>					j			
<b>Laterale</b>			l					
<b>Vibranten</b>			r			ʀ	ʁ	

Abb. 2.6.3.: Graphische Darstellung der Konsonanten nach dem Artikulationsmodus. Links stehen stimmlose, rechts stehen stimmhafte Konsonanten.

Laute	Buchstaben	Beispiele
[b]	b	Baum, backen
[ç], [x]	ch	Rauch, Bücher, ich
[d]	d	Druck, danken
[f]	f	Hafen, fertig
[g]	g	Organ, Glas, Geiz
[h]	h	Hektik, Haus,
[j]	j	Jagd, ja
[k]	k	Kutsche, Kiste,
[l]	l	Schlange, laufen
[m]	m	Mund, malen
[n]	n	Natur, niemals
[ŋ]	ng	Zange, singen
[p]	p	Problem, packen
[r],	r	Rampe, riechen
[s]	s	Hast, skandalös
[z]	s	Seife, lesen
[ʃ]	sch	Schaufel, Schaf
[t]	t	Tür, tragen
[v]	w	Waage, warum

Abb.2.6.4.: Grundlegende Laut-Buchstabenzuordnung; einfache Konsonanten

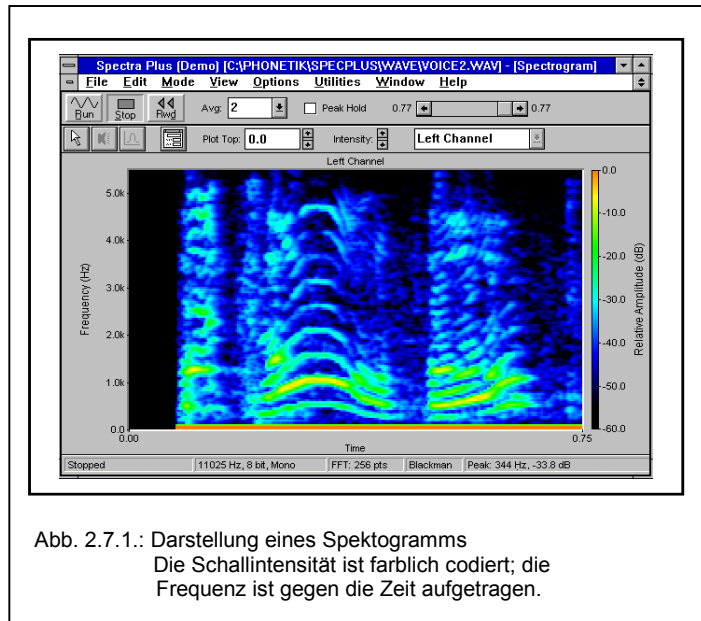
Laute	Buchstaben	Beispiele
[kv]	qu	Liquidität, quetschen
[ks]	x	Boxer, toxisch
[ts]	z	Arzt, tanzen

Abb.2.6.5.: Grundlegende Laut-Buchstabenzuordnung; Konsonantenverbindungen (innerhalb des Stammes)

## 7.2. Instrumentalphonetische Grundlagen

Die Instrumentalphonetik beschäftigt sich unter anderem mit der graphischen Darstellung des Sprachschalls, wobei dieser bedingt durch schnelle und starke Änderungen der Schwingungsformen großen Schwankungen unterworfen ist. Die Darstellung erfolgt anhand von Spektrogrammen oder Sonagrammen, bei denen es sich um Darstellungen von Sprachschall gegen die Zeit handelt (Abb. 2.7.1.).

Die Abbildung 2.7.1. zeigt die Darstellung der Frequenz gegen die Zeit, in der der Schalldruck in den einzelnen Frequenzbereichen farblich oder in Graustufen codiert wird. In der Lautanalyse kommen des weiteren Frequenzspektren zur Anwendung, bei denen eine Darstellung des Frequenzganges in einer vorbestimmten Zeit gegen den Schalldruck erfolgt.



Um einzelne Komponenten eines komplexen Schalls zu ermitteln, werden Filter in den technischen Analysegeräten benutzt. Hierbei werden Schmalbandfilter mit relativ kleiner und Breitbandfilter mit relativ großer Filterbandbreite verwandt. Der Breitbandfilter sorgt für eine große Dämpfung und fasst damit einen relativ großen Frequenzbereich zusammen, wobei ein Schmalbandfilter in seinem Durchlassbereich zwar relativ große Amplituden zulässt, jedoch nur wenige Frequenzen passieren lässt.

Mit Hilfe der „Schnellen Fouriertransformation“ (FFT), erfolgt in der modernen Signalverarbeitung eine digitale Filterung. Dem Anwender stehen hierbei über Algorithmen individuell und übergangslos wählbare Bandbreiten zur Verfügung, was eine Vereinfachung gegenüber analogen Frequenzanalytoren mit elektronischen Filtern darstellt [Baken, 1987; Brigham, 1995].



### 7.3. Phoniatische Grundlagen

Die Beeinträchtigungen der Phonation werden in zentrale und periphere Störungen eingeteilt. Die zentralen Sprachstörungen sind oftmals auf die Schädigung des Brocaschen- oder Wernicke- Sprachzentrums zurückzuführen. Bei der Schädigung des Brocaschen Sprachzentrums geht die Fähigkeit des Sprechens verloren, was als motorische Aphasie bezeichnet wird. Die zugehörigen Hirnnerven und Hirnnervenkerne, sowie die primäre motorische Hirnrinde sind dabei völlig intakt [*Schmidt, Thews, 1985*].

Als häufigste Ursache für eine periphere Störung tritt die Lähmung des Nervus recurrens auf, was einen ein- oder doppelseitigen Ausfall der Kehlkopfmuskulatur mit begleitender Behinderung beim Atmen zur Folge hat. Im Falle eines doppelseitigen Ausfalles kommt es zur Aphonie, bei der eine Phonation nicht mehr möglich ist. Die Verständigung mit der „Flüsterstimme“ ist jedoch noch möglich, da die Artikulation nicht gestört ist. Eine leichte Schädigung des Nervus recurrens führt zur Heiserkeit.

Auch bei der kompletten Entfernung des Kehlkopfes ist die Artikulation nicht gestört, so dass die sogenannte Oesophageussprache erlernt werden kann.

Neben diesen Erkrankungen werden die Störungen bei fehlerhafter Artikulation unterschieden. Hierbei handelt es sich um Stammeln, Stottern, Näseln und Poltern.

Die Dyslalien beschreiben die Fehler des Stammelns und betreffen die Aussprache, wobei das Verhältnis des Rauminhaltes der Mundhöhle und der Rachenhöhle für die regelrechte Vokalbildung relevant ist. Die Gestaltung des vorderen Teiles der Mundhöhle ist dabei für die regelrechte Bildung von Konsonanten ausschlaggebend [*Ondrácková, 1964*]. *Panconcelli-Calzia* [1924] spricht bei der Ausformung der Konsonanten dem Ansatzrohr spezifische Leistungen zu.

Der Sigmatismus beschreibt das „Lispeln“, das die häufigste Dyslalie darstellt [*Müller, 1931*]. Diese Störung wird damit begründet, dass das „s“ als letzter Laut erworben wird. Zur Bildung der „s“- und „z“- Laute bildet die Zunge eine mediane Rinne zum Gaumen, so dass die Luft vornehmlich im Bereich der mittleren Schneidezähne austritt.

Diese Hemmschwelle liegt im Falle der ungestörten Lautbildung circa zehn Millimeter hinter der Zungenspitze, welche dabei hinter den unteren Schneidezähnen ruht, was als praedorsale Bildung bezeichnet wird. Bei der sogenannten apikalen Bildung liegt die Überwindungsstelle an der Zungenspitze, die sich hinter den oberen Schneidezähnen befindet [Wängler, 1972].

Die Funktionsbeeinträchtigung der Zungen- und Rachenmuskulatur führt oftmals zu einer erheblichen Beeinträchtigung des Sprechvermögens. Die Artikulation ist derart gestört, dass Formanten nicht mehr gebildet werden können, wie bei der neurologischen Erkrankung der Bulbärparalysis. Bei dieser Erkrankung sind unter anderem die motorischen Hirnnervenkerne betroffen, die nerval die Zungenmuskulatur versorgen, wodurch eine „klossige Sprache“ hervorgerufen wird [Schmidt, Thews, 1985].

Angeborene Fehlbildungen, wie die Lippen- Kiefer- Gaumenspalte, führen ebenfalls in erheblichem Masse zu Lautbildungsstörungen. Spaltträger weisen das Unvermögen auf, einige Laute erst gar nicht bilden zu können, wodurch die Rhinolalia apuerta, das „offene Näseln“, bis hin zur Sprachunverständlichkeit auftreten kann. Operative oder prothetische Abdeckungen der Spalten sind für die Sprachentwicklung schon im frühen Kleinkindalter erforderlich [Castillo-Morales, 1985].

#### 7.4. Audiometrische Grundlagen

Ein Messverfahren für die Hörfunktion stellt die Audiometrie dar. Sie wird mit einem Audiometer durchgeführt, das Töne bestimmter Frequenz (gemessen in *Hertz* = Hz) und Intensität (gemessen in *Dezibel* = dB) erzeugen kann. So können die individuellen Hörschwellen ermittelt werden, das heißt, die minimalen Schallintensitäten, mit denen Töne bestimmter Frequenz gerade eben noch wahrgenommen werden können. Mit Hilfe unterschiedlicher Testverfahren kann sowohl eine Schädigung des Hörorgans nachgewiesen werden, als auch auf deren Sitz rückgeschlossen werden [Lehnhardt, 1978].

Der wichtigste klinische Test ist die Schwellenaudiometrie. Dem Patienten werden hierbei über einen Kopfhörer einohrig verschiedene Töne angeboten.

Der Arzt beginnt im sicher unterschwelligem Bereich und erhöht den Schalldruck langsam, bis der Patient eine Hörempfindung angibt. Der dazu gehörige Wert wird zur Dokumentation in ein Diagramm eingetragen, das als Audiogramm bezeichnet wird [Schmidt, Thews, 1985]. Der Hörverlust kann dann für die einzelnen Frequenzen in dB angegeben werden. Dieses Testverfahren überprüft die Luftleitung.

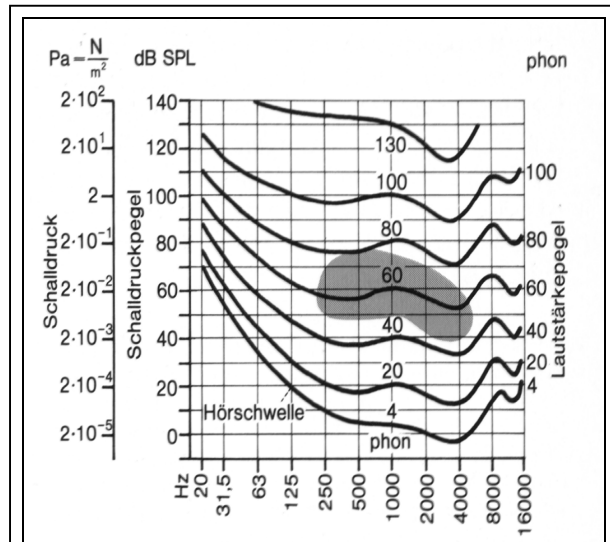


Abb. 2.9.1.: Hörfläche des menschlichen Gehörs mit Hörschwellenkurve, Kurven gleicher Lautstärke (Isophone) und Hauptsprachbereich (grau), entsprechend DIN 45630. Die Ordinaten der linken Seite geben eine Gegenüberstellung von Schalldruck und Schalldruckpegel.

Unter Überprüfung der Knochenleitung wird verstanden, dass der Ton statt über einen Kopfhörer mittels eines Schwingkörpers, aufgesetzt am Processus mastoideus, übertragen wird. Durch den Vergleich von Luftleitung und Knochenleitung kann eine Unterscheidung von Mittelohrschwerhörigkeit (Luftleitung herabgesetzt, Knochenleitung normal) und Innenohrschaden (beide Prüfverfahren ergeben ein herabgesetztes Hörvermögen) getroffen werden. Wenn bekannt ist, welches Ohr geschädigt ist, kann ein Innenohrschaden vom Mittelohrschaden auch durch den Versuch *nach Weber* abgegrenzt werden: Wird eine schwingende Stimmgabel auf die Mitte des Schädels aufgesetzt, gibt ein Patient mit Mittelohrschaden an, den Ton auf der kranken Seite zu hören, der Patient mit einem Innenohrschaden hört den Ton auf der gesunden Seite.

Insbesondere ermöglichen neu entwickelte Testverfahren im Rahmen der Pädaudiologie [Berger, 2000] eine Erkennung der Schwerhörigkeit oder Taubheit auch im Kleinkindalter. Dies ist deshalb so wichtig, da ohne ausreichendes Gehör keine spontane Sprachentwicklung stattfindet [Bisalski, 1994; Berger, 1998]. Vereinfacht heißt dies: was nicht gehört wird, kann auch nicht gesprochen werden.

Der Schall muss einen bestimmten Schalldruckpegel überschreiten, um gehört werden zu können. Dieser Schwellenwert wird Hörschwelle genannt. Diese Hörschwelle (Abb.2.9.1.) ist frequenzabhängig.

Im Bereich von 2000-5000 Hz ist das menschliche Ohr am empfindlichsten, während im Bereich hoher und tiefer Frequenzen erheblich höhere Schalldruckpegel nötig sind, um die Schwelle zu überschreiten [Schmidt, Thews, 1985]. Die Abbildung 2.9.1. zeigt frequenzabhängige Kurven gleicher Lautstärke, sogenannte Isophone. Dies sind international genormte Mittelwerte einer großen Zahl gesunder, jugendlicher Versuchspersonen. Auch die Hörschwelle ist eine Isophone, deren Töne, die auf ihr liegen als gerade überschwellig empfunden werden. Die mittlere Hörschwelle liegt bei gesunden Versuchspersonen um vier phon [Gauer, 1972].

#### a) Schalleitungsstörungen

Wird der Schall nicht im üblichen Umfang übertragen, kann eine Schalleitungsstörung im Mittelohr vorliegen, zum Beispiel durch eine Entzündung des Mittelohres im Trommelfell - Gehörknöchelchenapparat. So resultiert eine Verschlechterung des Hörvermögens bei intaktem Innenohr [Becker, 1989].

#### b) Schallempfindungsstörungen

Liegt eine Schädigung der Haarzellen des Cortischen Organs vor, ist der Transduktionsprozess an den Sinneszellen oder die Transmitterfreisetzung gestört. In Folge der Störung der Informationsübertragung von Cochlea an das ZNS resultiert eine Schwerhörigkeit.

#### c) Retrocochleäre Schäden

Bei intaktem Mittelohr und Innenohr liegt hier eine Schädigung am zentralem Teil der primären afferenten Nervenfasern oder an anderen Teilen der Hörbahn vor. Als Ursache werden häufig Hirntumore gesehen.

### 3. Material und Methode

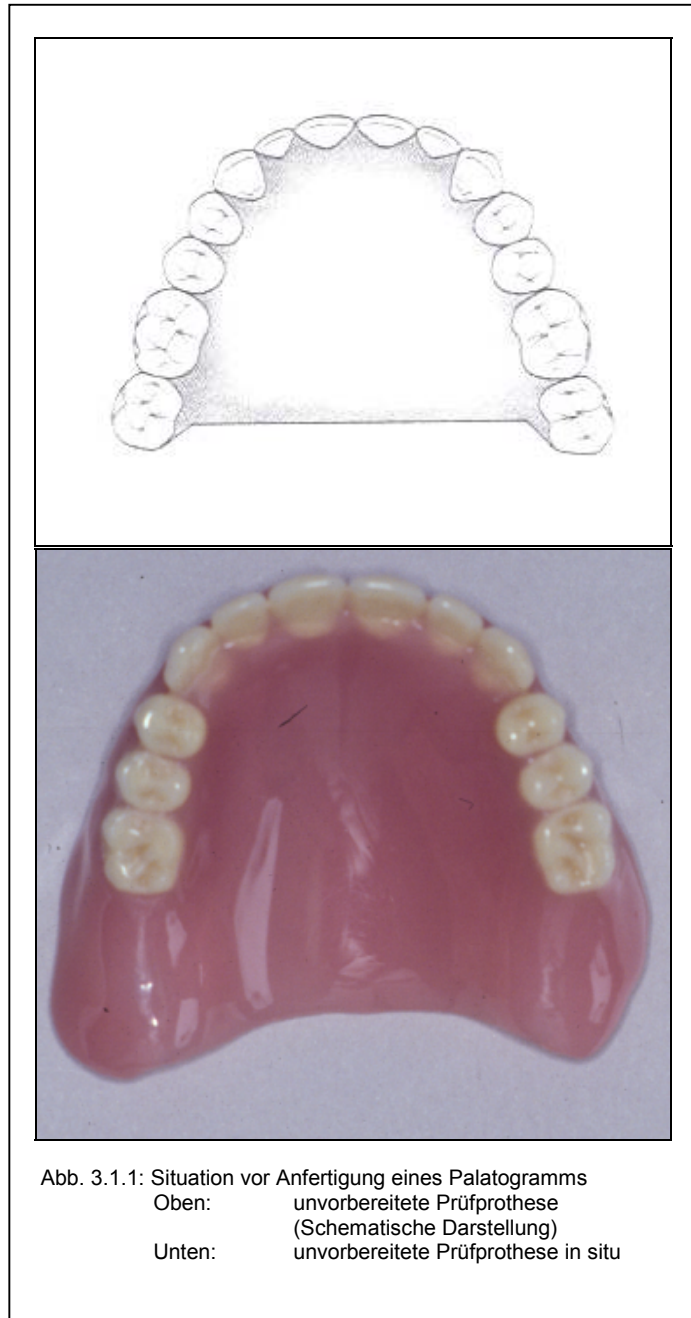
#### 3.1. Probandenauswahl

Zur Durchführung der Studie wurden 35 Totalprothesenträger, die in der Abteilung für Zahnersatzkunde des Medizinischen Zentrums für Zahn-Mund- und Kieferheilkunde der Philipps - Universität Marburg versorgt wurden, telefonisch befragt, ob sie an dieser Studie teilnehmen würden. Ein entscheidendes Auswahlkriterium bestand darin, dass der Proband im Besitz von mindestens zwei Prothesenpaaren war. Ein weiteres Auswahlkriterium war eine über mindestens ein Jahr komplikationslos getragene Totalprothese im Ober- und Unterkiefer, ein uneingeschränktes Lesevermögen sowie die Fähigkeit, ein gut verständliches, dialektfreies Normdeutsch zu sprechen.

Ebenso wurde das Hörvermögen audiometrisch überprüft.

Elf der befragten Probanden lehnten die Teilnahme schon im telefonischen Vorgespräch ab, wobei Zeit- oder gesundheitliche Gründe angegeben wurden.

Zwei der befragten Probanden waren nicht in der Lage, ein gut verständliches, dialektfreies Normdeutsch zu sprechen.



Weitere zwei der befragten Probanden wiesen ein eingeschränktes Hörvermögen auf und einer der befragten Probanden waren nicht in der Lage, den vorgegebenen Text zu lesen.

Letztendlich nahmen an dieser Studie insgesamt 19 von 35 gebetenen Probanden teil, nämlich acht Männer und elf Frauen im Alter von 64 bis 76 Jahren.

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurden an den zur Zeit nicht getragenen Totalprothesen, hier als Prüfprothesen bezeichnet, durchgeführt, weil Veränderungen an den Oberflächen der Gaumenplatten vorgenommen wurden (Abb. 3.1.1). Die Prüfprothesen wurden nach den Sitzungen nicht vollständig in ihren Ursprung zurück versetzt, weil dies weitere Sitzungen und damit einen unverhältnismäßigen Aufwand in Anspruch genommen hätte. Dauerhafte Modifikationen an den getragenen Totalprothesen hätten die meisten der befragten Probanden nicht toleriert. Voruntersuchungen ergaben, dass keine signifikanten Unterschiede der Lautbildung zwischen getragener Totalprothese und Prüfprothese bestehen.

Der Prothesenhalt der Prüfprothese wurde im Vorfeld überprüft und gegebenenfalls durch indirekte Unterfütterung und Korrektur der Okklusion optimiert. Anschließend wurde ein Palatogramm der alveolären und postalveolären Frikative abgeleitet, wobei die ermittelte Lautbildungsstelle mit einem wasserfesten Stift markiert wurde.

### 3.2. Audiometrische Voruntersuchung

Durch die Audiometrie sollte im Vorfeld sichergestellt werden, dass das Hörvermögen der Probanden ausreichend ist, um eine unverminderte Sprachbildung zu gewährleisten. Probanden, deren Hörverlust in einem der überprüften Frequenzbereiche über 20 dB lag, nahmen nicht an der Untersuchung teil. Diesen Probanden wurde nahegelegt, einen Facharzt zur weiteren Hörprüfung aufzusuchen.

In der Sitzung fand ein Screening-Audiometer HP 8745 (Philips Audiometrische Technik, D-Hamburg) Anwendung. Das Gerät wurde so vor dem Probanden positioniert, dass kein Einblick in die Bedienung des Gerätes möglich war, um

sicherzustellen, dass die Reaktionen des Probanden ausschließlich auf das akustische Signal hin erfolgte (Abb. 3.2.1).

Der Proband wurde darüber aufgeklärt, dass er mehrere, verschiedene Töne hören wird, damit ermittelt werden kann, bei welcher jeweils geringsten Lautstärke gerade eben noch eine Tonwahrnehmung statt-

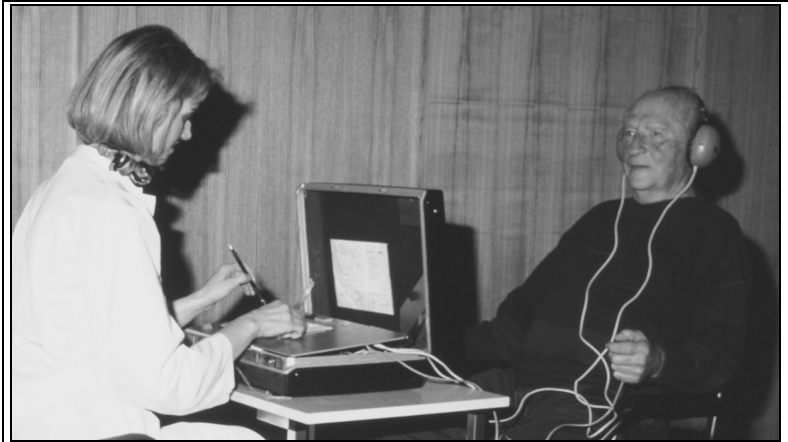


Abb.3.2.1.: Screening-Audiometrie zur Prüfung des Hörvermögens über Luftleitung (Audiometer HP 8735)

findet. Der Proband hielt die Patientensignaltaste in einer Hand und wurde aufgefordert, diese unverzüglich zu betätigen, sobald ein noch so leiser Ton wahrgenommen wurde. Dem Probanden wurde der Kopfhörer dicht auf die Ohren aufgesetzt, wobei die Schallöffnungen des Hörers immer auf einer Linie mit den Öffnungen des äußeren Gehörganges lagen. In den Untersuchungen wurden immer zuerst das rechte und danach das linke Ohr geprüft. Die Audiometrie erfolgte dabei in 12 Frequenzbereichen von 0,125 bis 10 kHz über die Luftleitung. Das Audiometer liefert sinusförmige Prüffrequenzen (125, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 8000 und 10000 Hz) in einer Intensität von 5 dB-Stufen, von -10 dB bis +100 dB. Der Signal/Rauschabstand beträgt  $\geq 60$  dB, ebenso die Übersprechdämpfung zwischen dem linken und rechten Kanal.

Die audiometrische Untersuchung begann mit einer Frequenz von 1000 Hz in einer Lautstärke von 40 dB. Die Intensität wurde gesteigert, sofern der Ton nicht wahrgenommen wurde. Nach Wahrnehmung des Prüftons wurde die Lautstärke um jeweils 5 dB reduziert. Nahm der Proband den Prüftton nicht mehr wahr, wurde der Schwellenwert unterschritten und die Intensität um jeweils 5 dB erhöht, bis der Prüftton wieder die Hörschwelle erreichte. Es wurden somit zuerst die Frequenzen über 1000 Hz und danach die Frequenzen unter 1000 Hz geprüft und als Messpunkt in einem Diagramm eingetragen (Abb. 3.2.2). Die ermittelten Messpunkte wurden miteinander verbunden, um die Hörverlustkurve zu ermitteln.

Audiogramm		Nr.
Personenkennziffer	Stempel	Datum gemessen (Signum)
Name, Rufname, Dienstgrad		Beurteilung
Dienststelle		Fehlerziffer <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> VI <input type="checkbox"/> 28
		Unterschrift, Namensstempel des Arztes

Rechtes Ohr		Linkes Ohr	
Frequenz in kHz 0,125 0,25 0,5 0,75 1 1,5 2 3 4 6 8 10/12*		Frequenz in kHz 0,125 0,25 0,5 0,75 1 1,5 2 3 4 6 8 10/12*	
Hörverlust in dB -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110		Hörverlust in dB -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110	
1 2 3 4 5		1 2 3 4 5	

Bei Nr. 0488/75/V Ver.Nr. 7530 - 12 - 141 - 1436 Der Vordruck ist auf dem Nachschubweg zu beziehen

\* HP 8745 - 10 kHz  
AT 208 - 12 kHz

Abb. 3.2.2: Audiogrammformular zum Audio- Meter HP 8745 zum direkten Protokoll des Hörvermögens am Gerät

### 3.3. Anfertigung eines Palatogramms auf einer Totalprothese im Oberkiefer

Es wurde ein Alkohol-Kakaopulver-Gemisch aus 2 ml Alkohol (70 Vol%) und 30 mg fettfreiem, reinen Kakaopulver (Firma Schmidt, D-Essen) angefertigt. Dieses Gemisch wurde anschließend dünn mit einem feinen Pinsel (Firma Faber-Castell, D-Frankfurt / Main) auf die der Mundhöhle zugewandten Seite der Prüfprothesenbasis gleichmäßig aufgetragen (Abb. 3.3.1).

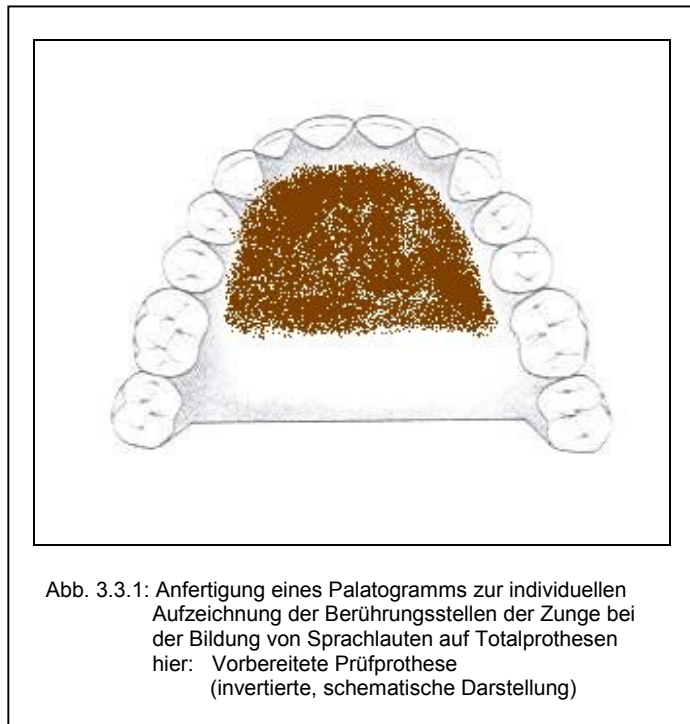


Abb. 3.3.1: Anfertigung eines Palatogramms zur individuellen Aufzeichnung der Berührungsstellen der Zunge bei der Bildung von Sprachlauten auf Totalprothesen hier: Vorbereitete Prüfprothese (invertierte, schematische Darstellung)

Durch den Alkoholanteil, der bei Zimmertemperatur rasch verdunstet, bildet das Gemisch schon nach einer Minute einen dünnen, homogenen und festen, nur schwer abwischbaren Belag (Abb. 3.3.2).



Diese Technik erwies sich anhand der Vorversuche geeigneter als andere Methoden, die mit Hilfe von Lebensmittel- oder Pigmentfarben die Zunge einfärben.

Der Proband wurde gebeten, nur bei Aufforderung zu sprechen, um unsaubere und verfälschte Lautbildungen und Verfälschungen des Palatogramms zu vermeiden. Nach Einsetzen der Prothese wurde



Abb. 3.3.2: Anfertigung eines Palatogramms zur individuellen Aufzeichnung der Berührungsstellen der Zunge bei der Bildung von Sprachlauten auf Totalprothesen hier: Prothese mit Alkohol-Kakaopulver in situ

von dem Probanden die alveolären und postalveolären Frikative aus den Worten „Arzt“, „Ossi“ und „Schaf“ gebildet. Hierbei sollten die Frikative besonders betont artikuliert werden.

Nach jeder Lautbildung wurde die Prothese zügig aus dem Mund entfernt, das Palatogramm fotografisch dokumentiert und die Stelle des Abriebs mit einem wasserfesten Filzschreiber markiert.

### 3.3.1. Prüfprothese mit Palatogramm „Ossi“

Die Prüfprothese wurde in bestrichenem Zustand eingesetzt. Der Proband wurde im Anschluss aufgefordert, dreimal aufeinander das Wort „Ossi“ mit besonderer Betonung der Silbe „ss“ zu sprechen und danach unverzüglich die Prüfprothese herauszunehmen, ohne diese nochmals mit der Zunge zu berühren (Abb. 3.3.3).

Die Stellen auf der Gaumenplatte der Prüfprothese, an denen ein Abrieb der Beschichtung stattfand, wurden mit einem fettfreien, wasserlöslichen Filzstift (Fa. Edding, D - Hamburg) markiert. Die Markierungen entsprachen der individuellen Lautbildungsstelle des scharfen „s“ auf der Oberfläche der Oberkiefer-Totalprothese und dienten im weiteren Verlauf der Untersuchung orientierend zur Befestigung der künstlichen Gaumenfallen.

Nach der Fotodokumentation des Palatogrammes und der Kennzeichnung der Lautbildungsstelle, wurde die Prüfprothese erneut mit dem Alkohol-Kakaopulver-Gemisch beschickt (Abb. 3.3.2), um das zweite Palatogramm mit dem nächsten Wort „Schaf“ ausformen zu können.



Abb.3.3.3: Methodik in situ: Palatogramm des Wortes „Ossi“

### 3.3.2. Prüfprothese mit Palatogramm „Schaf“

Der Proband wurde aufgefordert dreimal aufeinander das Wort „Schaf“ mit besonderer Betonung der Silbe „Sch“ zu sprechen und danach unverzüglich die Prüfprothese herauszunehmen, ohne diese nochmals mit der Zunge zu berühren (Abb. 3.3.4).

Die Stellen auf der Gaumenplatte der Prüfprothese, an denen ein Abrieb der Beschichtung stattfand, wurden entsprechend dem ersten Palatogramm mit einem fettfreien, wasserlöslichen Filzstift (Fa. Edding) markiert. Die Markierungen entsprachen der individuellen Lautbildungs-

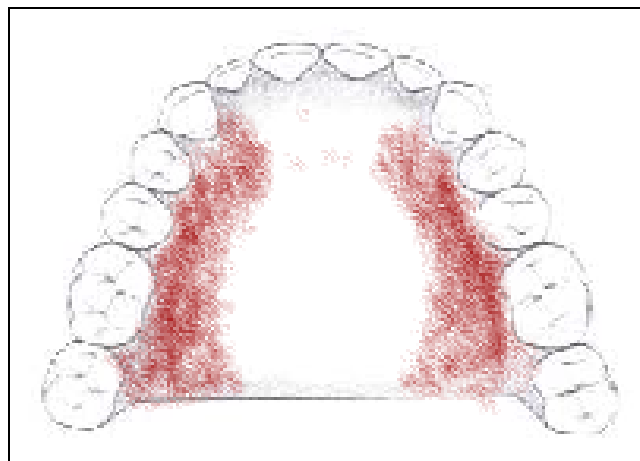


Abb.3.3.4: Oben: invertierte, schematische Darstellung: individuelle Aufzeichnung der Berührungsstellen der Zunge, bei der Bildung von s-Lauten  
Unten: Palatogramm des Wortes „Schaf“  
Methodik in situ

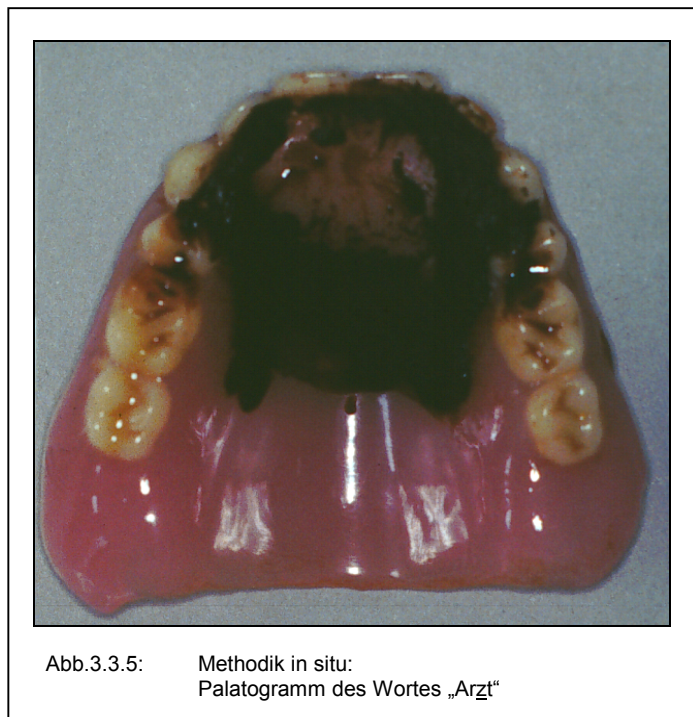
stelle des weichen „sch“ auf der Oberfläche der Oberkiefer-Totalprothese und dienten im weiteren Verlauf der Untersuchung orientierend zur späteren Befestigung der künstlichen Gaumenfalten.

Nach der Fotodokumentation des Palatogrammes und der Kennzeichnung der Lautbildungsstelle, wurde die Prüfprothese erneut mit dem Alkohol-Kakaopulver-Gemisch beschickt (Abb. 3.3.2), um das dritte Palatogramm mit dem nächsten Wort „Arzt“ anfertigen zu können.

### 3.3.3. Prüfprothese mit Palatogramm „Arzt“

Der Proband wird aufgefordert dreimal aufeinander das Wort „Arzt“ mit besonderer Betonung der Silbe „z“ zu sprechen und danach unverzüglich die Prothese herauszunehmen, ohne diese nochmals mit der Zunge zu berühren (Abb. 3.3.5).

Die Stellen auf der Gaumenplatte der Prüfprothese, an denen ein Abrieb der Beschichtung stattfand, wurden



entsprechend dem ersten und zweiten Palatogramme mit einem fettfreien, wasserlöslichen Filzstift (Fa. Edding) markiert. Die Markierungen entsprachen der individuellen Lautbildungsstelle des scharfen „z“ auf der Oberfläche der Oberkiefer-Totalprothese und dienten im weiteren Verlauf der Untersuchung orientierend zur späteren Befestigung der künstlichen Gaumenfalten. Auch das letzte Palatogramm wurde photographisch dokumentiert.

Durch die individuelle, palatographische Darstellung der Lautbildungsstellen, konnten im nachfolgenden Teil der Untersuchung ein künstliches Gaumenrelief auf die Basis, genau in die Bereiche der Lautbildung, aufgebracht werden.

### 3.3.4. Nutzung des Palatogramms an Totalprothesen im Oberkiefer

Die Zunge stößt bei der Lautbildung am natürlichen, harten Gaumen gegen das signifikante Gaumenrelief, dass bei Trägern einer Totalprothese im Oberkiefer abgedeckt wird. Durch das Palatogramm kann ermittelt werden, wo beim Prothesenträger die Lautbildungsstelle auf dem herausnehmbaren Zahnersatz liegt.

Nach jeder palatographischen Aufzeichnung erfolgte die Kennzeichnung der Lautbildungsstelle mit einem wasserfesten Filzschreiber. Dies ist für die schematische Rekonstruktion des Gaumenreliefs auf der Kunststoffbasis der Totalprothese von entscheidender Bedeutung gewesen, da somit für alle Probanden die gleichen, reproduzierbaren Voraussetzungen geschaffen wurden.

## 3.4. Rekonstruktion des Gaumenreliefs auf einer Totalprothese im Oberkiefer

Im zweiten Teil der Untersuchung stand die Simulation der Gaumenfalten im Vordergrund. Diese Gaumenfalten wurden durch Anwachsen eines Wachs-Halbprofiles (2mm basal, 1mm hoch, Firma Bego, D-Bremen) an den Gaumenbereich simuliert, der im ersten Teil der Untersuchung palatographisch ermittelt werden konnte.

Für die Positionierung der transversalen Gaumenfalten wurde die Hauptlautbildungsstelle der postalveolären und alveolären Frikative durch Mittelung der Palatogrammumzeichnungen genutzt, um dann im dritten Teil der Untersuchung folgende Tonaufnahmen herzustellen:

1. Hochglanzpolierte Oberfläche der oberen Totalprothese
2. Mediane Gaumenfalte (Regio Papilla incisiva bis in Höhe 15/25) (Abb. 3.4.1)
3. Mediane und transversale Gaumenfalte auf der Lautbildungsstelle (Abb. 3.4.2)
4. Mediane und transversale Gaumenfalte vor der Lautbildungsstelle (Abb. 3.4.3)
5. Mediane und transversale Gaumenfalte hinter der Lautbildungsstelle (Abb. 3.4.4)

Als weitere, sechste Modifikation wurde ein modifizierter „Snow-Wulst“ in Form von zwei halbkugelförmigen Erhebungen ( $\varnothing$  6mm, Höhe 3 mm) palatinal der Zähne 14 und 24 (Abb. 3.4.5) in Hartwachs (Solidus 84, Yedi Dental, D-Engen) aufgetragen und modelliert.

Als letzte und siebte Modifikation wurde die Prothesenbasis vom Wachs befreit, entfettet und mit 110  $\mu$ m Edelkorund bei 2 bar eine Minute lang sandgestrahlt (Abb. 3.4.6).

Nach diesen beiden letzten Tonaufnahmen konnte die Prothesenbasis wieder hochglanzpoliert werden und die „Ersatzprothese“ stand dem Patienten wieder aufgearbeitet zur Verfügung.

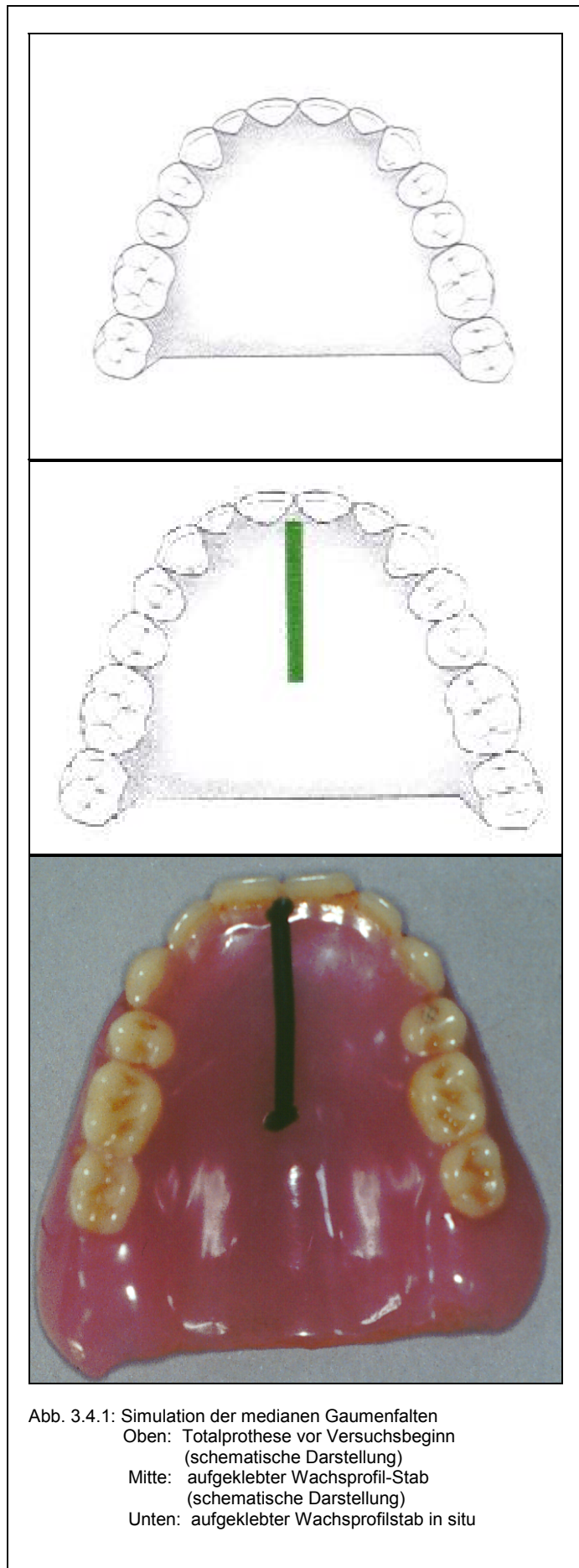
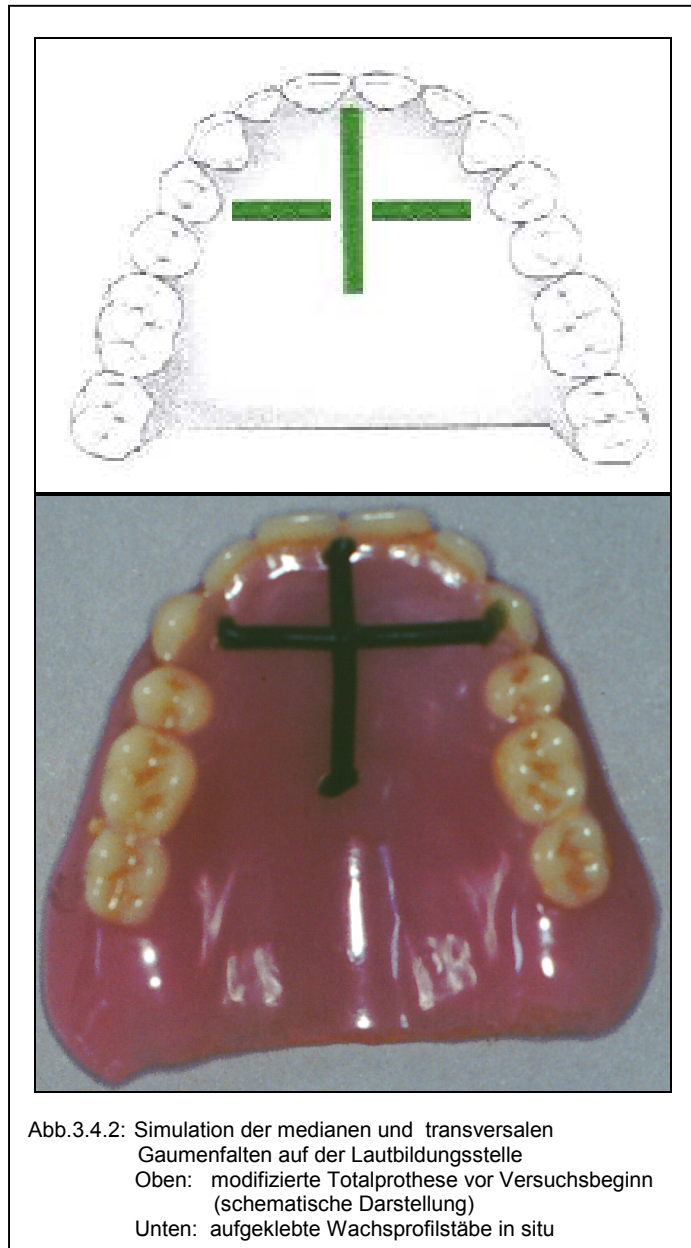


Abb. 3.4.1: Simulation der medianen Gaumenfalten  
 Oben: Totalprothese vor Versuchsbeginn (schematische Darstellung)  
 Mitte: aufgeklebter Wachsprofil-Stab (schematische Darstellung)  
 Unten: aufgeklebter Wachsprofilstab in situ

### 3.4.1. Modifikation der Prüfprothese mit medianer Gaumenfalte

Die Prothesenbasis wurde, nachdem die Lautbildungsstelle mittels Palatogramm ermittelt wurde, sowie eine Sprechaufnahme mit der getragenen Prothese und der unveränderten Prüfprothese erfolgte, mit einem circa 25 mm langen Wachsprofilstab besetzt, der von dorso-interinzisal bis hinter die zweiten Prämolaren in der Medianebene verlief. Der Wachsprofilstab wurde vorsichtig an die Prothesenbasis angedrückt und an den Enden festgewachst (Abb. 3.4.1).



### 3.4.2. Modifikation der Prüfprothese mit medianer Gaumenfalte und transversaler Gaumenfalte auf der Lautbildungsstelle

Die Prothesenbasis wurde, nachdem die Sprechaufnahme mit der Prüfprothese in der Modifikation mit medianer Gaumenfalte erfolgte, zusätzlich mit einem circa 30 mm langen Wachsprofilstab besetzt, der auf der Transversalachse, nämlich auf der mittels Palatogramm ermittelten Lautbildungsstelle verläuft. Die Lautbildungsstelle befand sich dabei häufig auf der Höhe kurz vor den vorderen

Prämolaren. Der Wachsprofilstab wurde vorsichtig an die Prothesenbasis angedrückt und an den Enden festgewachst (Abb. 3.4.2).

### 3.4.3. Modifikation der Prüfprothese mit medianer Gaumenfalte und transversaler Gaumenfalte vor der Lautbildungsstelle

Die Prothesenbasis wurde, nachdem die Sprechaufnahme mit der Prüfprothese in der Modifikation mit medianer und transversaler Gaumenfalte auf der Lautbildungsstelle erfolgte, neu mit einem circa 30 mm langen Wachsprofilstab besetzt, der wieder auf der Transversalachse, jedoch vor der mittels Palatogramm ermittelten Lautbildungsstelle, verläuft. Die Lokalisation „vor der Lautbildungsstelle“ befand sich dabei häufig in einer Region vor den Canini. Der Wachsprofilstab wurde vorsichtig an die Prothesenbasis angedrückt und an den Enden festgewachst (Abb. 3.4.3).

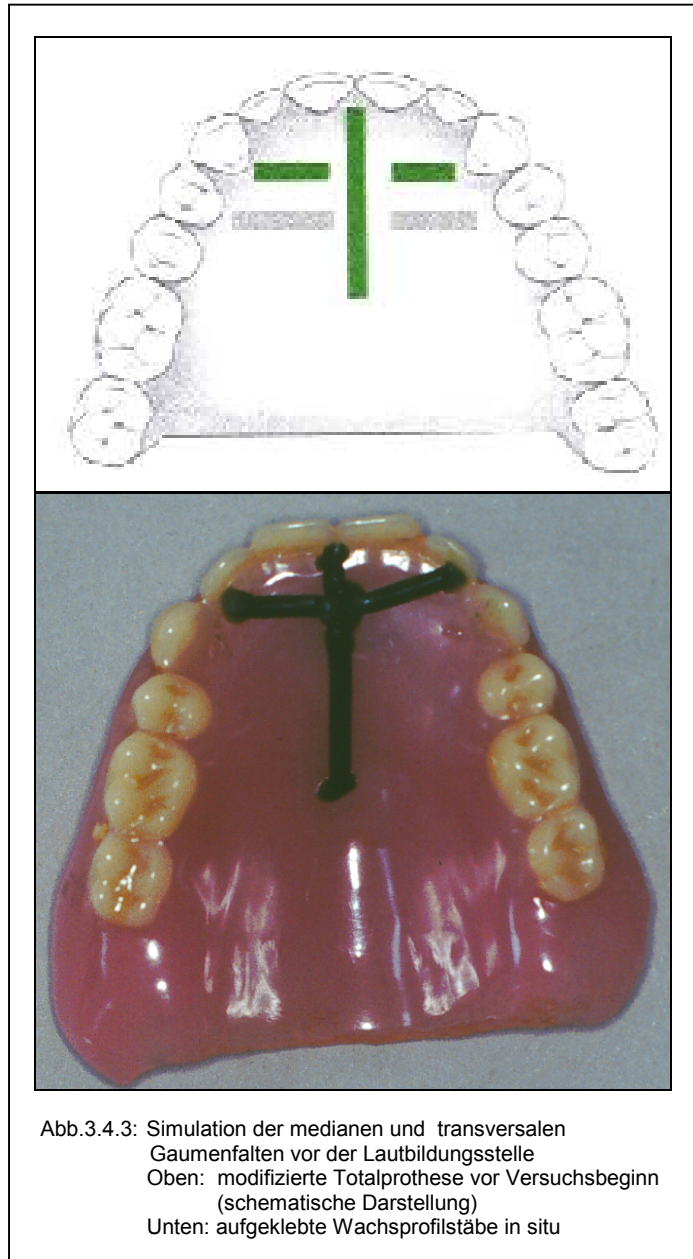
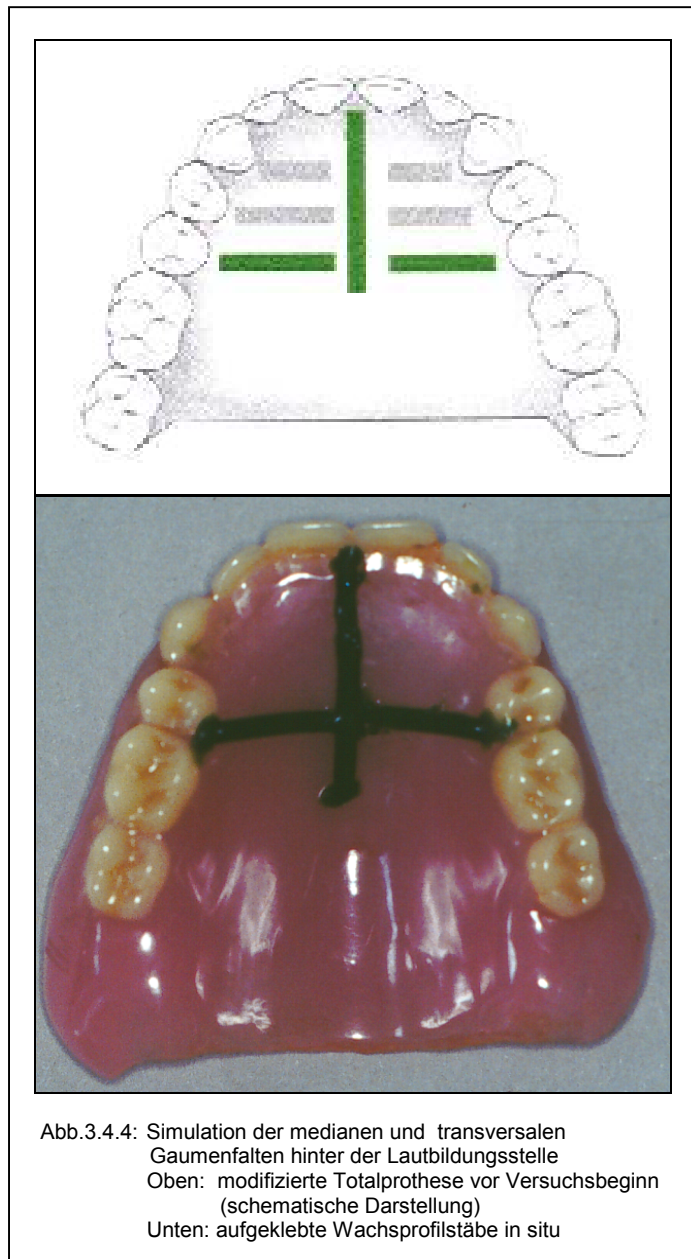


Abb.3.4.3: Simulation der medianen und transversalen Gaumenfalten vor der Lautbildungsstelle  
 Oben: modifizierte Totalprothese vor Versuchsbeginn (schematische Darstellung)  
 Unten: aufgeklebte Wachsprofilstäbe in situ

### 3.4.4. Modifikation der Prüfprothese mit medianer Gaumenfalte und transversaler Gaumenfalte hinter der Lautbildungsstelle

Die Prothesenbasis wird, nachdem die Sprechaufnahme mit der Prüfprothese in der Modifikation mit medianer und transversaler Gaumenfalte vor der Lautbildungsstelle erfolgte, neu mit einem circa 35 mm langen Wachsprofilstab besetzt, der wieder auf der Transversalachse, jedoch hinter der mittels Palatogramm ermittelten Lautbildungsstelle, verlief. Die Lokalisation „hinter der Lautbildungsstelle“ befand sich dabei häufig in einem Bereich vor den zweiten Prämolaren. Der Wachsprofilstab wird vorsichtig an die Prothesenbasis angedrückt und an den Enden festgewachst (Abb. 3.4.4).



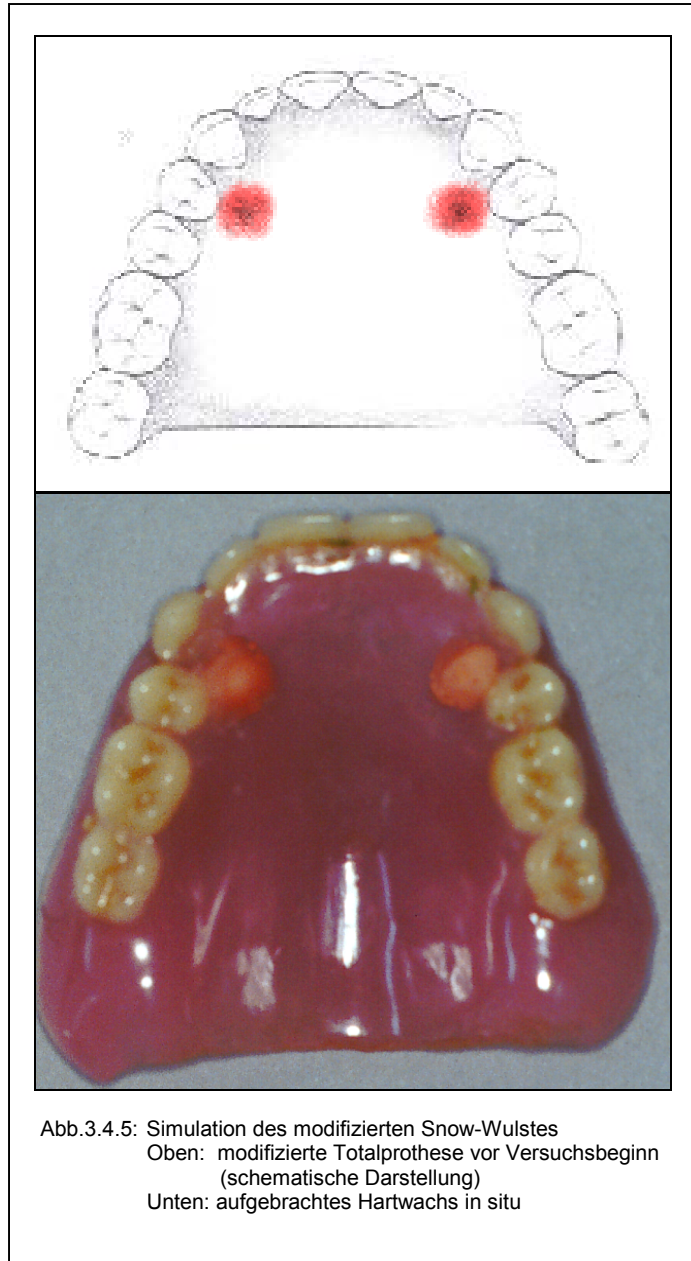
### 3.4.5. Modifikation der Prüfprothese mit modifiziertem Snow-Wulst

Die Prothesenbasis wurde, nachdem die Sprechaufnahme mit der Prüfprothese in der Modifikation mit medianer und transversaler Gaumenfalte hinter der Lautbildungsstelle erfolgte, mit einem Wachstropfen eines Hartwachses (Solidus 84, Yedi Dental, D-Engen) besetzt, der oral neben den vorderen Prämolaren plaziert wird.



Der Wachtropfen wurde circa 6 mm dick und 3 mm hoch modelliert.

Das Wachs wurde an die Prothesenbasis angedrückt und mit den Fingern vorsichtig nachmodelliert, damit die Form nach oral abgerundet und homogen erscheint (Abb. 3.4.5).



### 3.4.6. Modifikation der Prüfprothese mit aufgerauter Oberfläche

Die Prothesenbasis wurde, nachdem die Sprechaufnahme mit der Prüfprothese in der Modifikation mit modifiziertem Snow-Wulst erfolgte, entfettet und mit 110 µm Edelkorund bei 2 bar eine Minute lang sandgestrahlt. Dabei wurde die Fläche der Prothesenbasis, oral der Zahnreihen dergestalt bearbeitet, dass die Prüfprothese bis zu den hinteren Prämolaren aufgeraut war (Abb. 3.4.6).

Nach diesen beiden letzten Tonaufnahmen konnte die Prothesenbasis wieder hochglanzpoliert werden und die „Ersatzprothese“ stand dem Patienten wieder aufgearbeitet zur Verfügung.

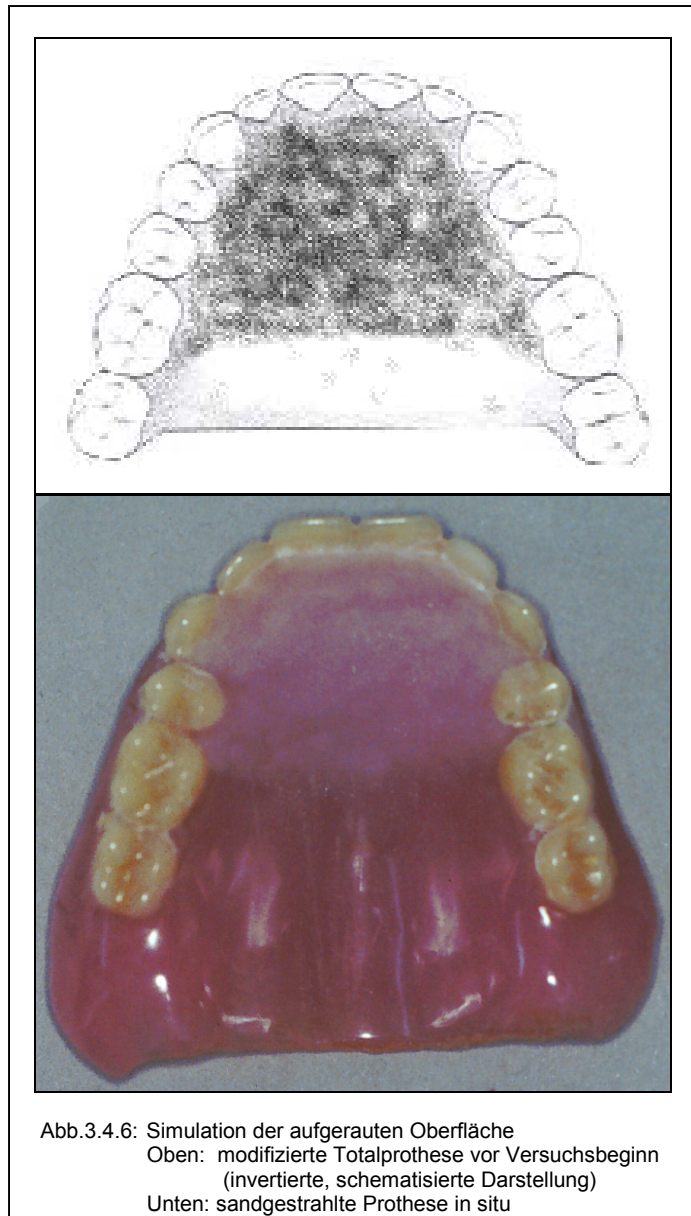
### 3.5. Tonaufnahme

In Zusammenarbeit mit dem Bundeskriminalamt (*Prof. Dr. H. Künzel*) und dem Deutschen Sprachatlas (*Prof. Dr. em. J. Göschel*) entwickelte *Wisser* [2000] einen Lesetext, der alle deutschen Sprachlaute in einem sinnvollen Satzgefüge enthält. Dieser Lesetext gliederte sich in drei Teile: Vokale, Sätze und ein kurzer Lesetext

(„Nordwind und Sonne“, *Esoph*) und ist im Anhang aufgeführt.

Die Tonaufnahmen wurden in einem zahnärztlichen Behandlungszimmer aufgenommen. Der Proband sollte dabei eine aufrechte, bequeme Haltung (Abb.3.5.1, oben) einnehmen und wurde instruiert, mit seiner normalen Lesestimme aufzusprechen und nicht zu versuchen, nun „besonders deutlich“ zu sprechen. Bei „Versprechern“ wurde der gesamte Satz wiederholt.

Mit Hilfe einer Kopfhalterung (Abb.3.5.1, oben), einem speziellen Richtmikrophon (Fa. Phonax, CH-Zürich, Abb.3.5.1, mitte) und einem tragbaren DAT-Recorder (DCT 8, Sony, Jp-Tokyo, Abb.3.5.1, unten) gelang es, selbst bei einem



geringen Nebengeräuschpegel, nahezu studioreife, digitale Tonaufnahmen herzustellen. Der Aufnahmepegel wurde zu Beginn der Tonaufzeichnung über die Lautstärke der gesprochenen Vokale manuell am Recorder eingestellt und danach für diesen Probanden nicht mehr verändert.

Die Aufnahmen wurden mit einer Abtastfrequenz von 48 kHz bei einer Datenrate von 27 Bit auf einem DAT-Masterband (BASF, D-Frankfurt) gespeichert und ohne Datenverluste über einen PC mit hochwertiger Soundkarte (Produkt: Soundblaster Platinum, Fa. Creative Labs, USA-Boston) als Audio-CD gebrannt.

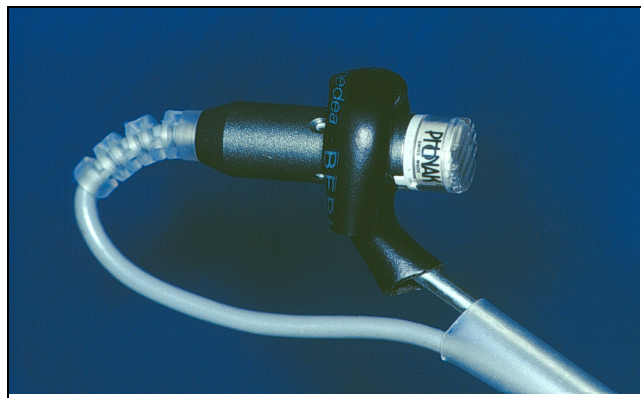
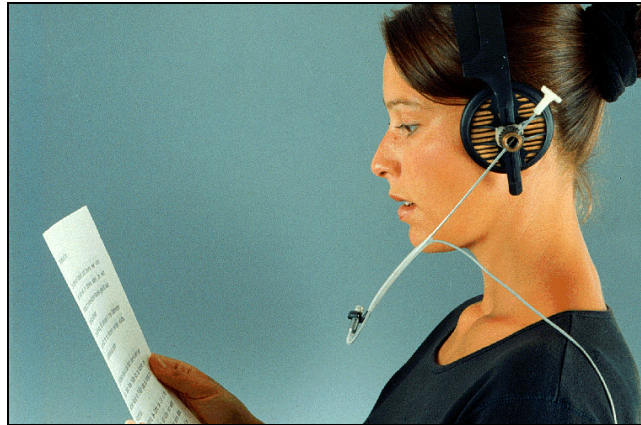


Abb. 3.5.1: Die Tonaufnahme  
 Oben: Positionierung des Richtmikrophons und Lesehaltung während der Tonaufnahme  
 Mitte: Richtmikrofon (Fa. Phonax) in gummierter Halterung  
 Unten: DAT-Recorder (Fa. Sony) zur digitalen Tonaufzeichnung

### 3.6. Frequenzanalytische Auswertung

Nach Übertragung der Daten auf den Computer wurden die Tonaufnahmen digital geschnitten (Abb.3.6.1.) und mit einem Expertentool zur Sprach- Schall- und Akustikanalyse (Sound-Scope, GW Instruments, USA-Somerville) ausgewertet. Neben der Berechnung phonetischer Parameter wie Jitter, Shimmer, Behauchung, Heiserkeit der Stimme als Parameter der Phonation, stand die

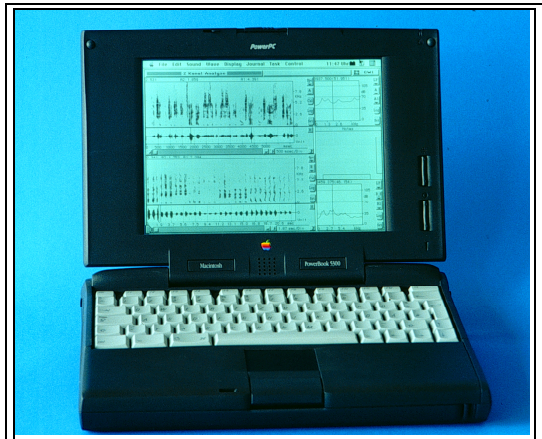


Abb.3.6.1.: Auswertung der Tonaufnahmen am Computer (Powerbook 5300, Apple Macintosh) mit spezieller Software

Artikulation im Zentrum dieser Untersuchung. Daher wurden nach Anhören der Aufnahmen von Wörtern, bei denen eine Laut-veränderung durch die

Manipulation an den Prothesen vermutet werden konnte, Spektrogramme (Abb.3.6.2.) hergestellt, an denen erkannt wurde, welche Laute verändert waren.

Die Spektrogramme als „Visible speech“ wurden über eine schnelle Fourier Transformation als

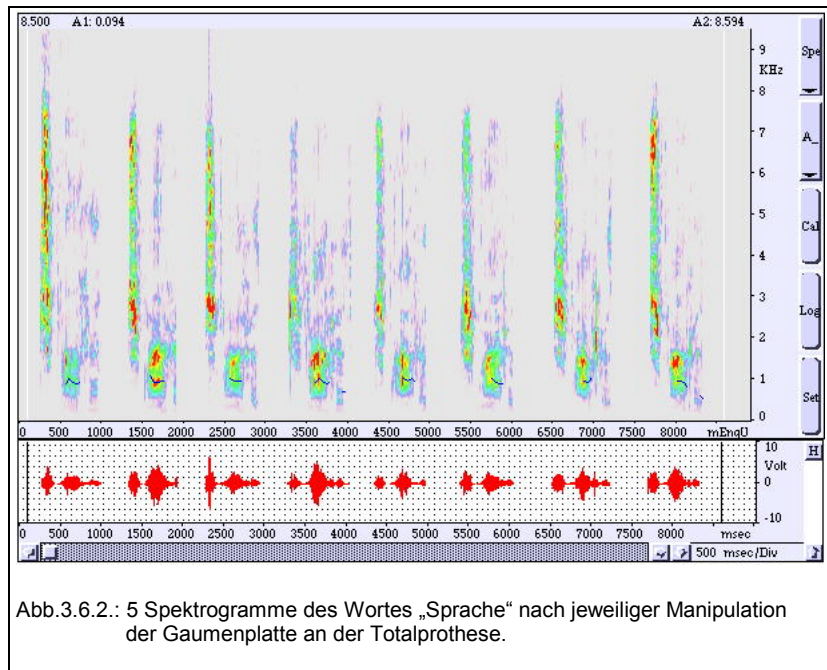


Abb.3.6.2.: 5 Spektrogramme des Wortes „Sprache“ nach jeweiliger Manipulation der Gaumenplatte an der Totalprothese.

Transformation als

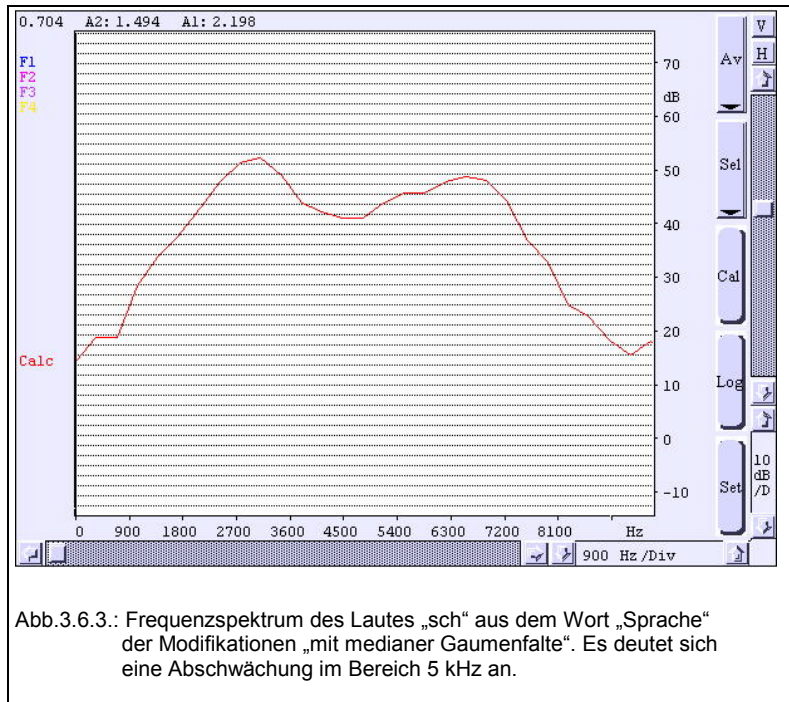
Frequenz gegen die Zeit gerechnet. Der Schalldruck in den einzelnen Frequenzbereichen wurde farblich oder in Graustufen codiert. Besonders „laute“ Bereiche wurden schwarz eingefärbt (Abb.3.6.2) und werden als „Formanten“ bezeichnet. Der mittlere Formant innerhalb der Vokale wurde ebenfalls über eine spezielle Form der Fourier Transformation berechnet und ist als blaue Linie dargestellt. Diese Spektrogramme dienen zur Auswahl der Laute, die weiter

untersucht wurden. Aufgrund der Vorversuche wurden Abweichungen in den Lauten **ç,d,f,g,j,k,l,n,s,ʃ**, und **t** vermutet.

Zur weiteren Auswertung war es notwendig, diese vermutlich veränderten Laute in ihrem Frequenzgang in Abhängigkeit zum Schalldruck darzustellen. Diese

Frequenzspektren zeigten dann sehr genau, in welchen Frequenzen sich der Laut durch den Zahnersatz oder eine entsprechende Manipulation am Zahnersatz verändert hat (Abb.3.6.3).

Der schnellen Fouriertransformation lag eine Berechnungsgrundlage von 600 Hz und 64 Punkten zugrunde, um



eine eher Frequenz- als amplitudenabhängige Auswertung der gesprochenen Sprache zu erreichen. Die Amplitudenspitzen in den Frequenzbereichen stellten wieder die für den Laut charakteristischen Formanten dar und wurden automatisch mit Schalldruck, Bandbreite und Frequenz protokolliert und in EXCEL-Tabellen (EXCEL for Windows 95, Vers.7.0, Excel for Macintosh, Vers. 6.0, Microsoft Corp., USA) kopiert. Für jeden der untersuchten Laute wurden 3 charakteristische Formanten bestimmt und die Datensätze in SPSS for Windows, Vers.9.0 (SPSS Inc., USA, Chicago) zur statistischen Auswertung überführt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte als modifizierter Box-Plot mit Einzeichnung von arithmetischem Mittelwert, Median, Konfidenzintervall (95%) und Standardabweichung (s. Kap. 3.7.).

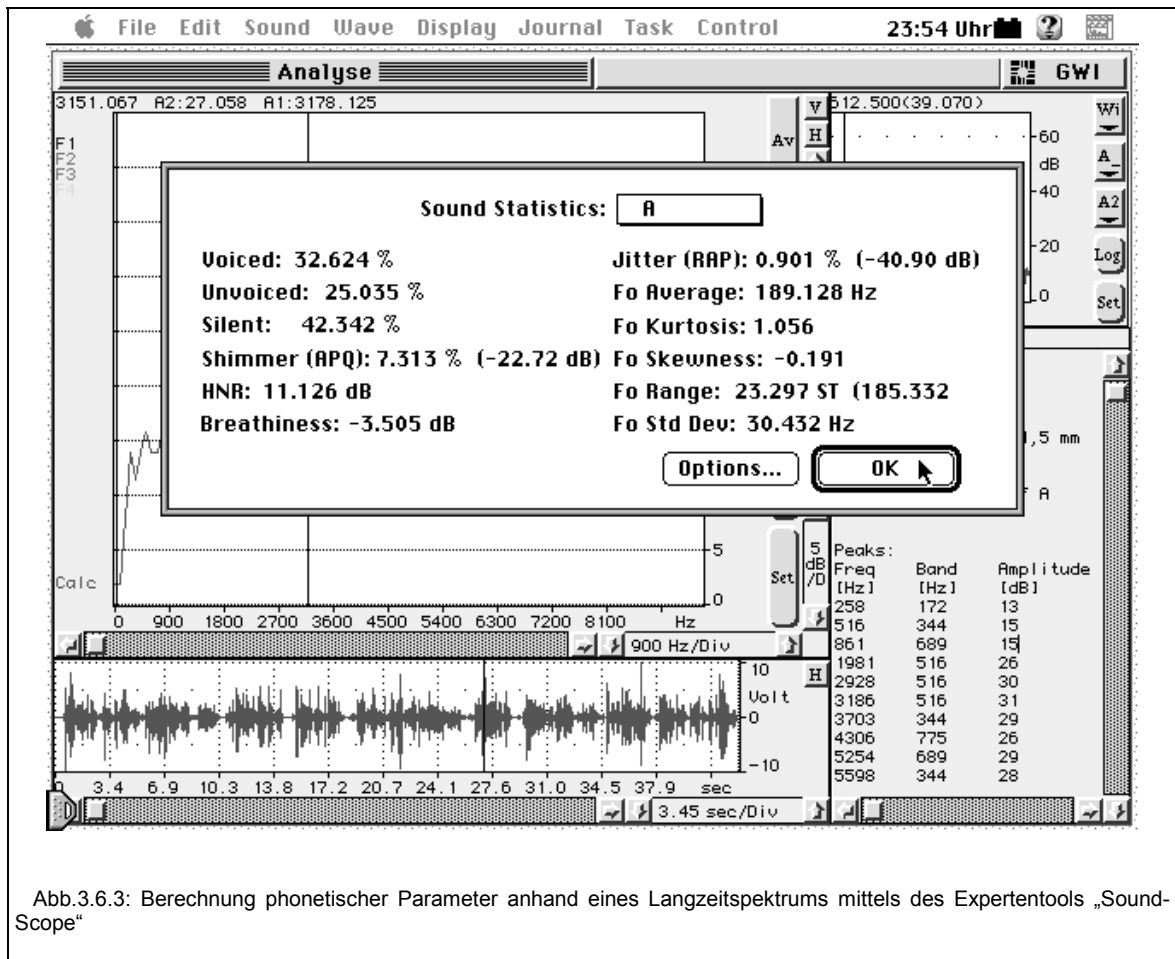


Abb.3.6.3: Berechnung phonetischer Parameter anhand eines Langzeitspektrums mittels des Expertentools „Sound-Scope“

Zur Berechnung der phonetischen Parameter (Betont, Unbetont, Pausen, Heiserkeit, Behauchung, Shimmer, Jitter, mittlerer Formant (Vokalformant) und Dauer) diente ein Langzeitspektrum eines Absatzes aus dem Text von „Nordwind und Sonne“: „Einst stritten sich Nordwind und Sonne, wer von Ihnen beiden wohl der Stärkere wäre, als ein Wanderer, der in einen warmen Mantel gehüllt war, des Weges daherkam. Sie wurden einig, dass derjenige für den Stärkeren gelten sollte, der den Wanderer zwingen würde, seinen Mantel auszuziehen.“

Aus diesen Daten wurde ein Langzeitspektrum gerechnet und mit der im Expertentool „Sound-Scope“ integrierten Software zur Berechnung phonetischer Parameter analysiert (Abb.3.6.3.). Die Ergebnisse dieser Auswertung wurden wie oben beschrieben protokolliert und statistisch ausgewertet.

### 3.7. Statistische Auswertung

Zur deskriptiven Statistik wurden für die beschriebenen Untersuchungen Mittelwert, Median, Standardabweichung und Konfidenzintervall berechnet. Die analytische Statistik erfolgte mit Hilfe des *Friedman*- und *Wilcoxon*-Tests. Diese Methoden werden nachfolgend kurz beschrieben. Für die Herleitung dieser Berechnungen sei auf die entsprechende Literatur von *Wagner* [1983], *Zöfel* [1992] sowie *Bühl* und *Zöfel* [2000] hingewiesen.

#### Der arithmetische Mittelwert

Der arithmetische Mittelwert ist der Quotient der Summe aller Einzelwerte ( $\sum x$ ) durch die Anzahl der Messwerte ( $n$ ).

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

#### Der Median

Der Median wird ermittelt, indem die Messwerte der Größe nach geordnet werden und der mittelste Wert gesucht wird. Bei einer geraden Anzahl von Werten wird die Summe aus den beiden mittelsten Werten gebildet und durch 2 geteilt. Der Median ist gegenüber „Ausreißern“ wesentlich unempfindlicher als der arithmetische Mittelwert.

#### Die Standardabweichung

Ein Maß für die Streuung von Einzelwerten um einen Mittelwert ist die Standardabweichung ( $s$ ). Sie definiert sich als die Quadratwurzel aus der Varianz. Diese wiederum definiert sich aus dem Quotienten der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert durch die um eins verminderte Anzahl der Messwerte.

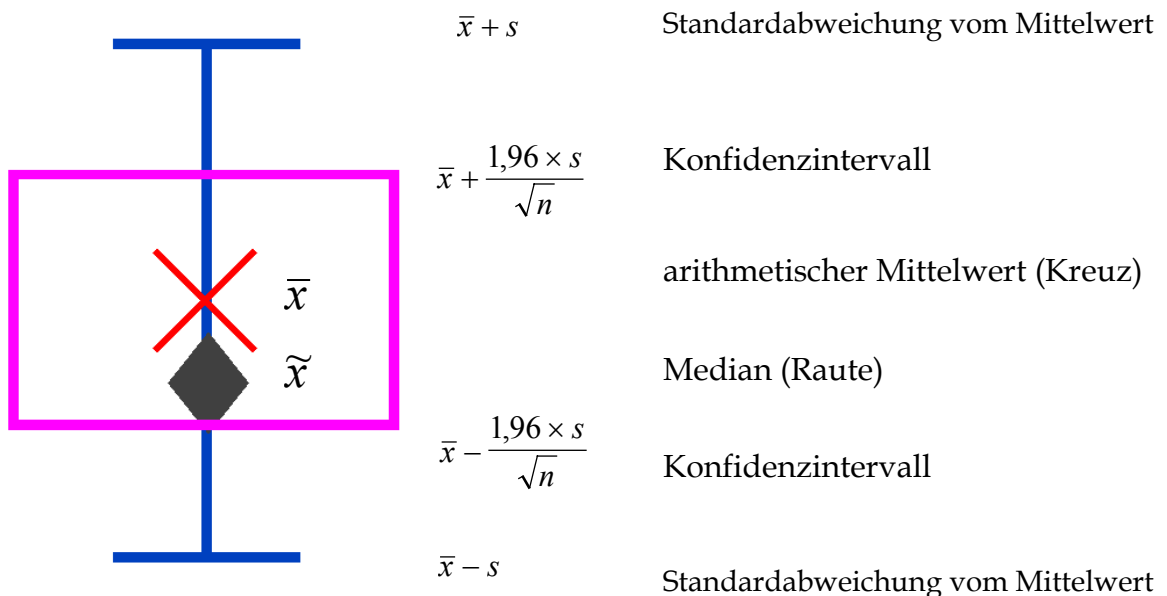
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

## Das Konfidenzintervall

Das 95% Konfidenzintervall für den Mittelwert  $\mu$  der Grundgesamtheit berechnet sich bei großer Fallzahl  $n$  nach der Formel:

$$\bar{x} - \frac{1,96 \times s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + \frac{1,96 \times s}{\sqrt{n}}$$

Zur Darstellung der Ergebnisse für die Auswertung der einzelnen Formanten wird der Mittelwert, der Median, das Konfidenzintervall und die Standardabweichung in folgender graphischer Umsetzung herangezogen:



## Der Friedman-Test

Der *Friedman* - Test dient zum Vergleich von mehr als zwei abhängigen Stichproben, wobei nicht die Voraussetzung der Normalverteilung erfüllt sein braucht [Zöfel 1992]. Dieser Test ist eine Ausweitung des *Wilcoxon*-Tests und basiert auf Rangreihen, die fallweise für die Werte der beteiligten Variablen ermittelt werden [Bühl und Zöfel, 2000]. Als Bedingung für diese Untersuchungen wurde definiert, dass es erst dann gestattet ist, einen Test nach *Wilcoxon* durchzuführen, wenn der Test nach *Friedman* eine Signifikanz auf dem 5% Niveau ( $p \leq 0,05$ ) zeigt.



Der Wilcoxon-Test

Im Rahmen der klinischen Untersuchungen kam es darauf an, Unterschiede in den verschiedenen Prothesenmodifikationen statistisch gesichert herauszuarbeiten. Da von einem Sprecher oder Sprecherin mehrere Aufnahmen mit entsprechenden Modifikationen angefertigt wurden, handelt es sich um abhängige Stichproben. Als „Rohdaten“ dienen hier der gemessenen Schalldruckpegel für die einzelnen Modifikationen.

Der Wilcoxon - Test für Paardifferenzen dient zum Vergleich zweier abhängiger Stichproben, wobei die Differenzen zusammengehöriger Messwertpaare nicht aus einer normal verteilten Grundgesamtheit stammen müssen. Als Rechenvorschrift gilt, dass zunächst zu allen auftretenden Wertepaaren die Differenzen gebildet werden, wobei Wertepaare mit Nulldifferenzen gestrichen werden. Die Anzahl der verbliebenen Differenzen wird als *n* bezeichnet.

n	α		
	5%	1%	0,1%
6	0		
7	2		
8	3	0	
9	5	1	
10	8	3	
11	10	5	0
12	13	7	1
13	17	9	2
14	21	12	4
15	25	15	6
16	29	19	8
17	34	23	11
18	40	27	14
19	46	32	18
20	52	37	21
21	58	42	25
22	65	48	30
23	73	54	35
24	81	61	40
25	89	68	45

Diese Differenzen werden in ihren Absolutbeträgen nachgeordnet, wobei die Differenz mit dem kleinsten Absolutbetrag erhält. Die Ränge für positive und negative Differenzen werden zu den beiden Rangsummen *T*<sub>1</sub> und *T*<sub>2</sub> aufsummiert, dabei wird dann die kleinere der beiden *T*-Werte als die Prüfgröße *T* definiert. Ist *n* ≤ 25, wird die Signifikanz *z* in Abhängigkeit von *n* und dem *T*-Wert der *T*-Tafel (Abb.3.7.1.) entnommen. Ist *n* > 25 wird nach folgender Formel gerechnet:

Abb.3.7.1. T-Tabelle für den Wilcoxon Test

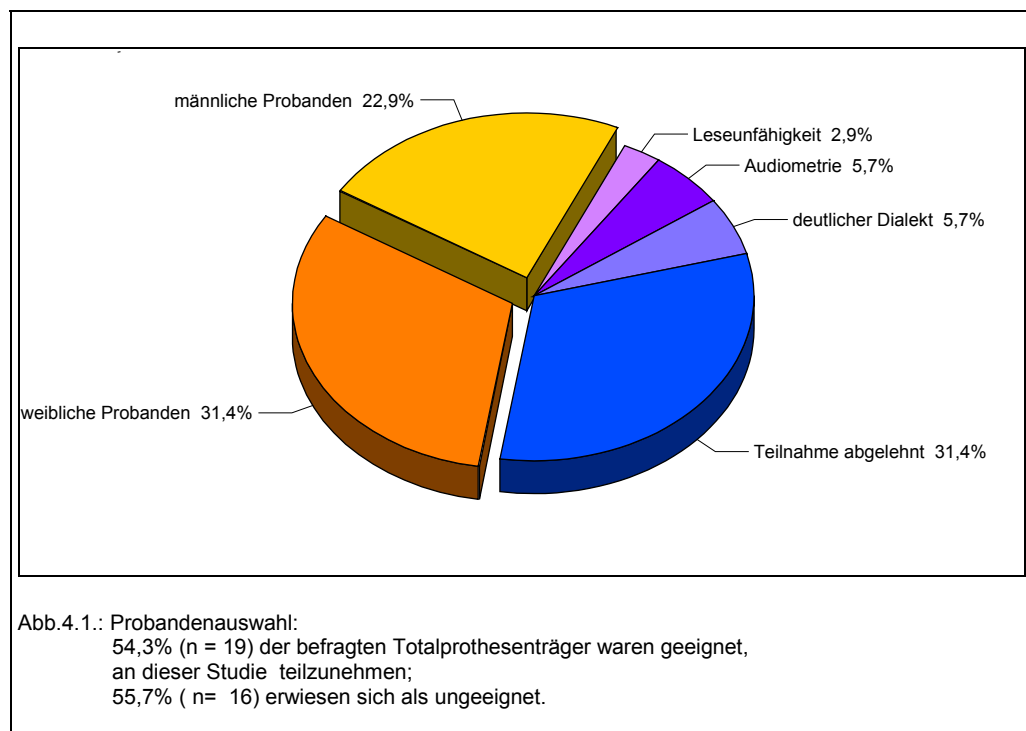
$$z = \frac{\frac{n \times (n + 1)}{4} - T}{\sqrt{\frac{n \times (n + 1) \times (2 \times n + 1)}{24}}}$$

Die zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit kann einer *z*-Tabelle entnommen werden. Bei *z*>1,96 liegt Signifikanz auf der 5%-Stufe (*p* ≤ 0,05), bei *z*>2,58 Signifikanz auf der 1%-Stufe (*p* ≤ 0,01) und bei *z*>3,29 Signifikanz auf der 0,1%-Stufe (*p* ≤ 0,001) vor.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Probandenauswahl

Insgesamt wurden 35 Patienten der Abteilung für Zahnersatzkunde des MZ für ZMK der Philipps-Universität Marburg telefonisch um die Teilnahme an dieser Studie gebeten. Es handelte sich um „Stammpatienten“ dieser Abteilung, die in studentischen Kursen und Staatsexamina mehrfach mit Totalprothesen versorgt wurden. 11 der Befragten lehnten aus Zeit- oder gesundheitlichen Gründen die Teilnahme ab. Von den 24 einbestellten Probanden schieden nach der Voruntersuchung nochmals 5 aus. Zwei dieser Probanden sprachen einen deutlichen Dialekt, ein Patient vermochte nicht, den vorgegebenen Lesetext vorzulesen und 2 der 25 untersuchten Probanden wiesen ein nach audiometrischer Überprüfung eingeschränktes Hörvermögen auf (Abb.4.1.).



Es verblieben 19 Probanden (11 weiblich, 8 männlich) im Alter zwischen 64 und 76 Jahren, die an dieser Studie teilnahmen. Die für die Studie eingesetzten Totalprothesen waren zwischen einem Jahr und vier Jahre alt. Zwei dieser Prothesen mussten für diese Studie indirekt unterfüttert werden, eine Prothese wies stark

abradierte Zähne auf, die nach einer Reregistrierung neu aufgestellt und anpolymerisiert wurden. Alle Probanden besaßen somit eine bislang getragene Totalprothese und mindestens eine funktionell einwandfreie „Ersatzprothese“, an der die Veränderungen der Gaumenplatte für diese Studie vorgenommen wurde und die nach Abschluss der Studie wieder ohne Einschränkung vom Patienten getragen werden konnte.

#### 4.2. Instrumentellen Lautanalyse

Nach der Anfertigung der Palatogramme (Kap. 3.3.) wurden von jedem Probanden acht Tonaufnahmen angefertigt, wobei die Tonaufnahme der vom Patienten zur Zeit getragenen Prothese in dieser Studie unberücksichtigt blieb. Somit wurden jeweils 7 Tonaufnahmen mit der „Ersatzprothese“ ausgewertet.

Die Abbildungen 4.2. bis 4.10. zeigen die statistische Auswertung der Daten, die durch die Veränderung der Gaumenplatte an oberen Totalprothese frequenzanalytisch erhoben wurden.

Die untersuchten, sogenannten „phonetischen Parameter“: Sprechdauer, stimmloser Anteil, stimmhafter Anteil, Sprechpausen, Shimmer, Heiserkeit, Behauchung, Jitter und mittlerer Formant ergaben in keinem Fall eine statistisch signifikante Abweichung im *Friedman* - Test.

#### Legende zu den Abbildungen 4.2. bis 4.10.:

Arithmetischer Mittelwert:	Kreuz	ns	nicht signifikant	$p > 0,05$
Median:	Raute	+	signifikant	$p \leq 0,05$
Konfidenzintervall (95%)	Rechteck	++	hoch signifikant	$p \leq 0,01$
Standardabweichung:	Balken	+++	höchst signifikant	$p \leq 0,001$
Original:	Hochglanzpolierte Oberfläche (Gaumenanteil) der oberen Totalprothese			
GF m:	Mediane Gaumenfalte			
GF m + aL:	Mediane und transversale Gaumenfalte auf der Lautbildungsstelle			
GF m + vL:	Mediane und transversale Gaumenfalte vor der Lautbildungsstelle			
GF m + hL:	Mediane und transversale Gaumenfalte hinter der Lautbildungsstelle			
Wulst:	Wachswulst im Bereich der ersten Praemolaren			
Rau:	Aufgeraute Kunststoffoberfläche im Bereich des Gaumens			

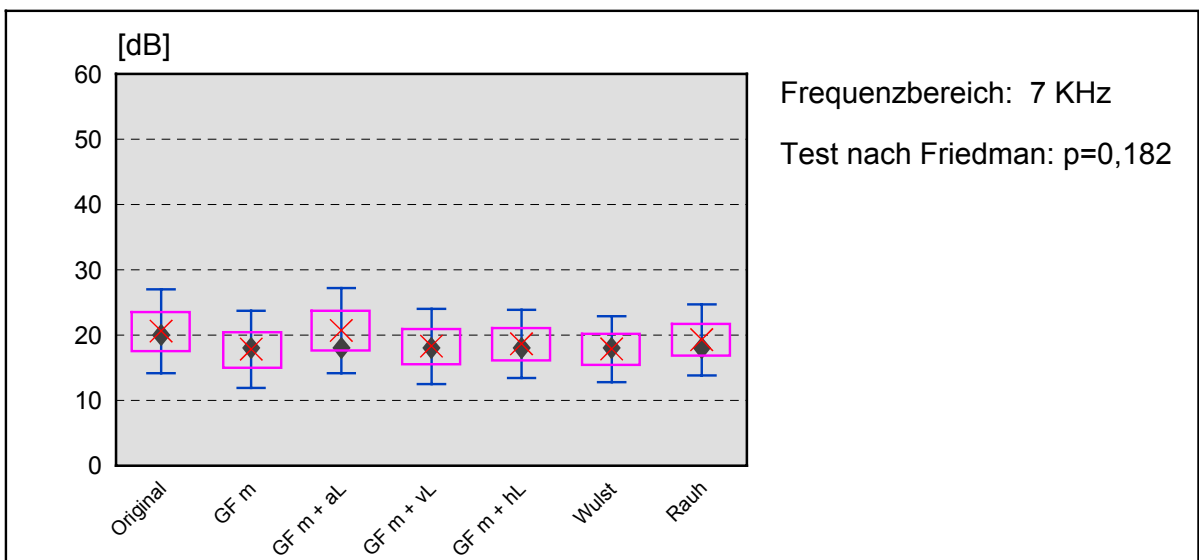
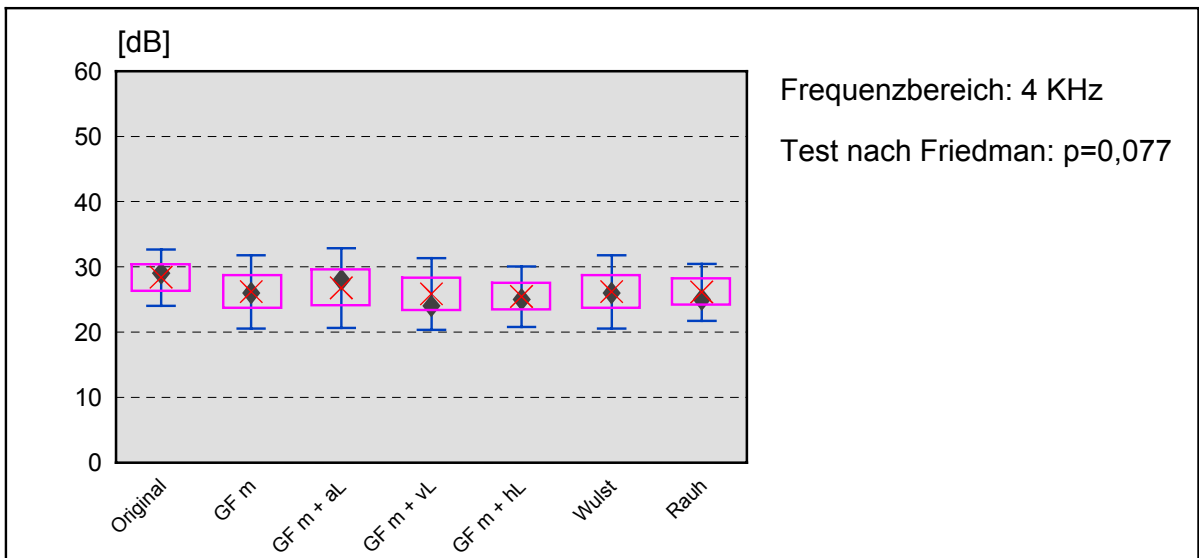
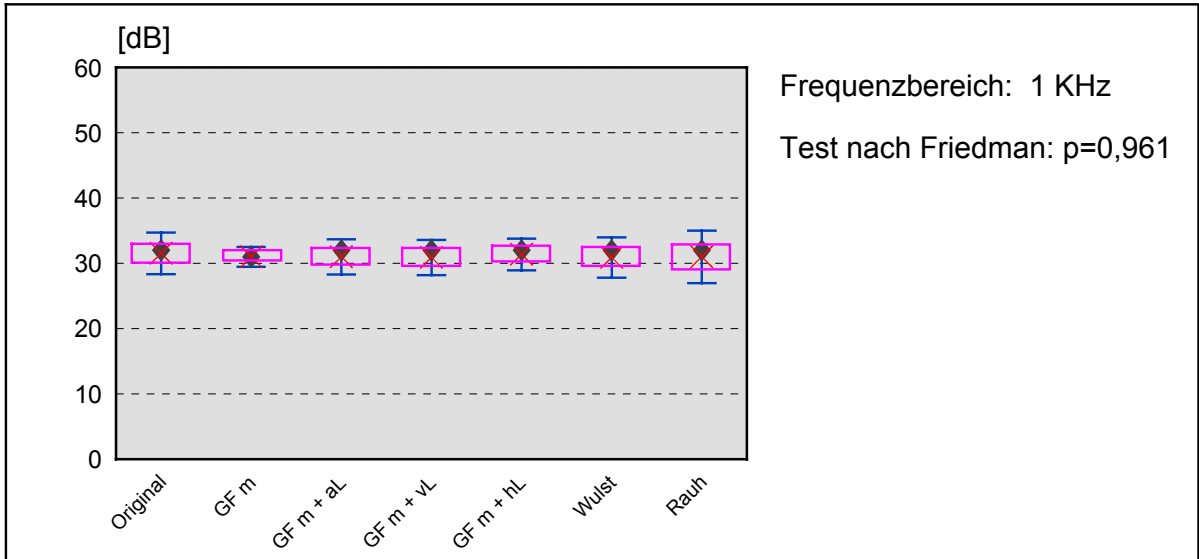


Abb.4.2.: „K“ aus „Kutsche“

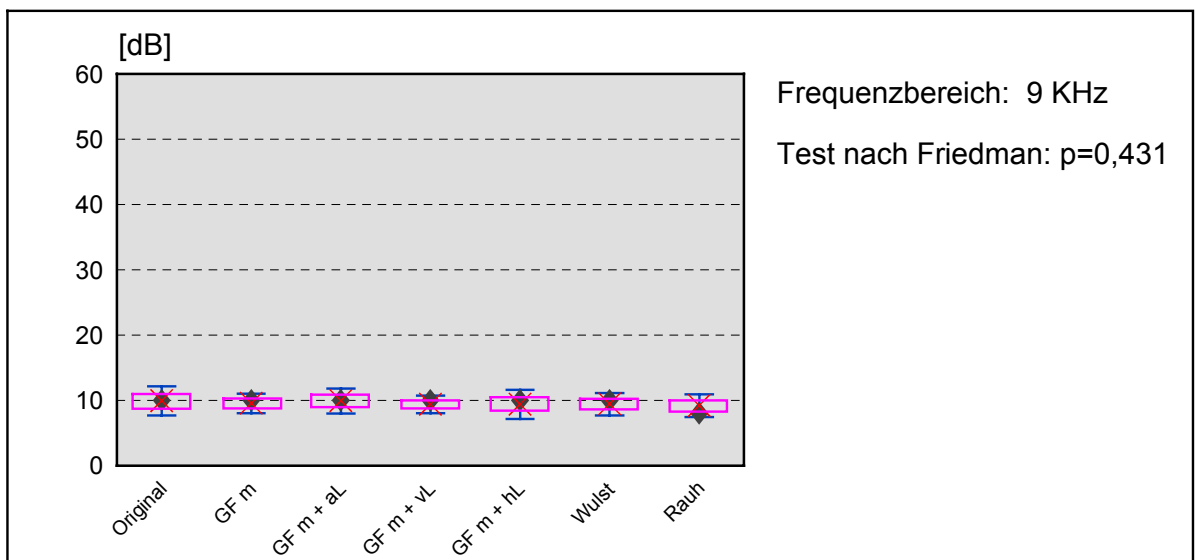
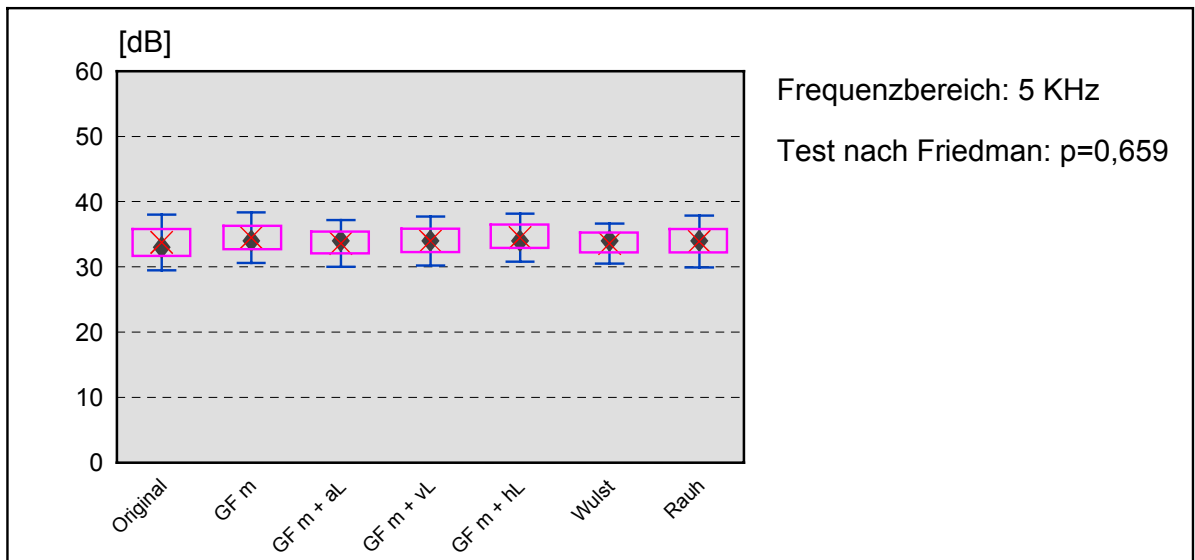
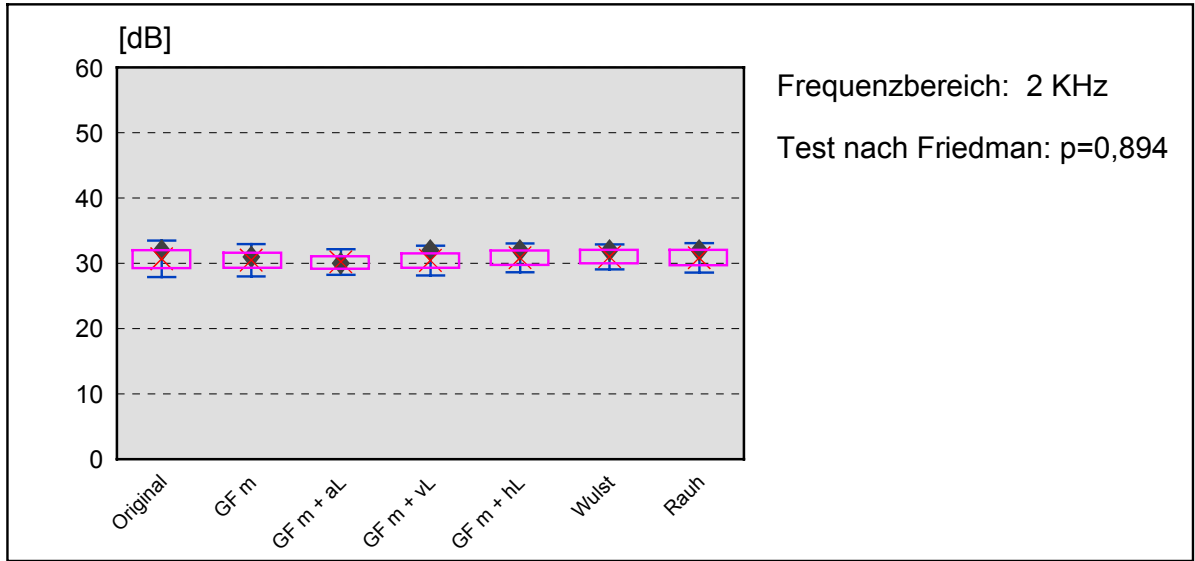


Abb.4.3.: „f“ aus „Pfeil“

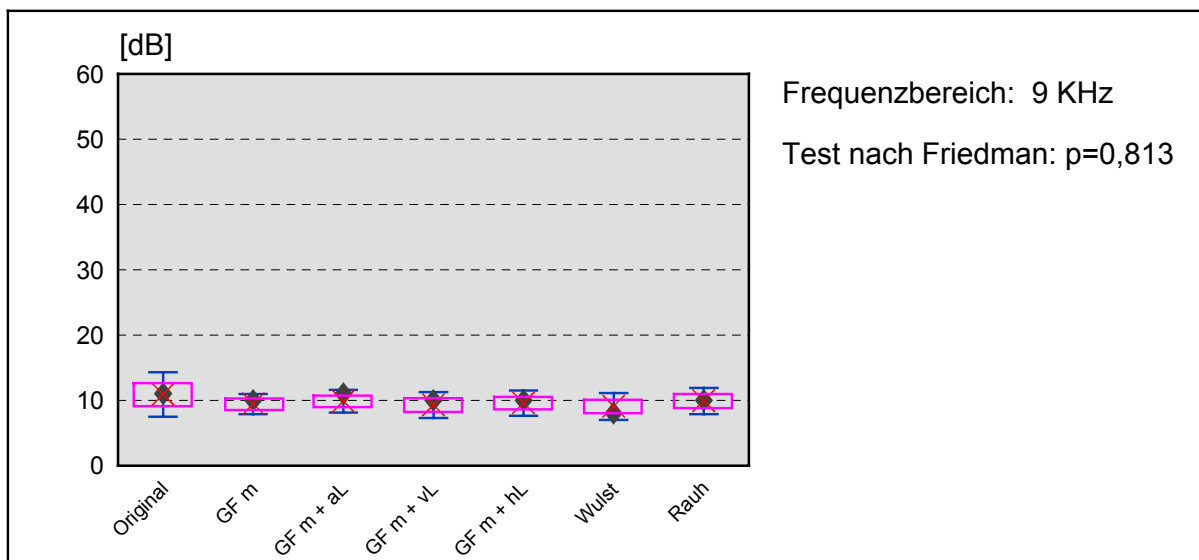
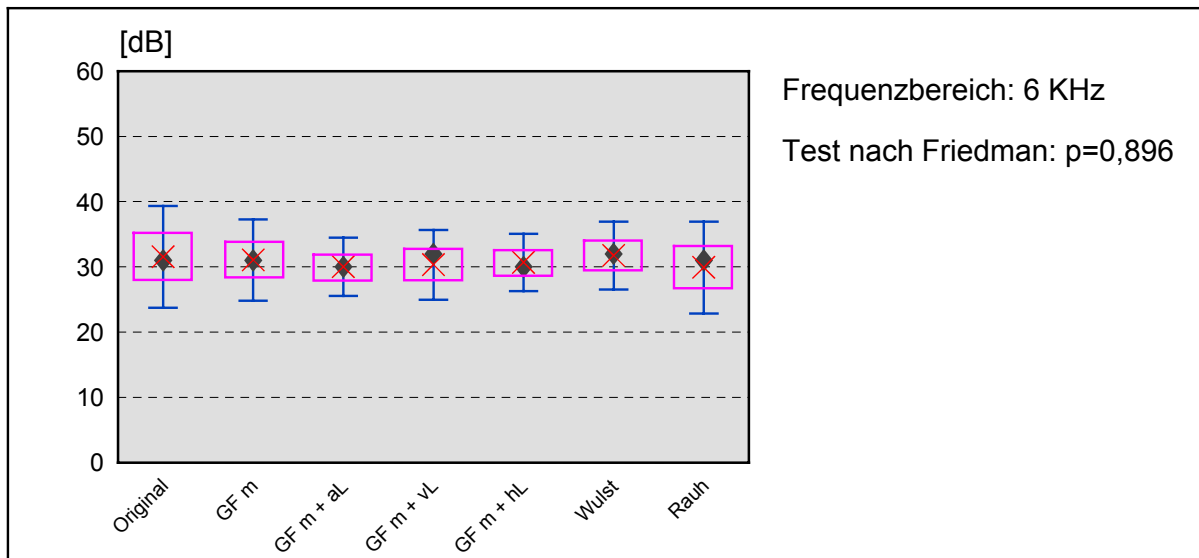
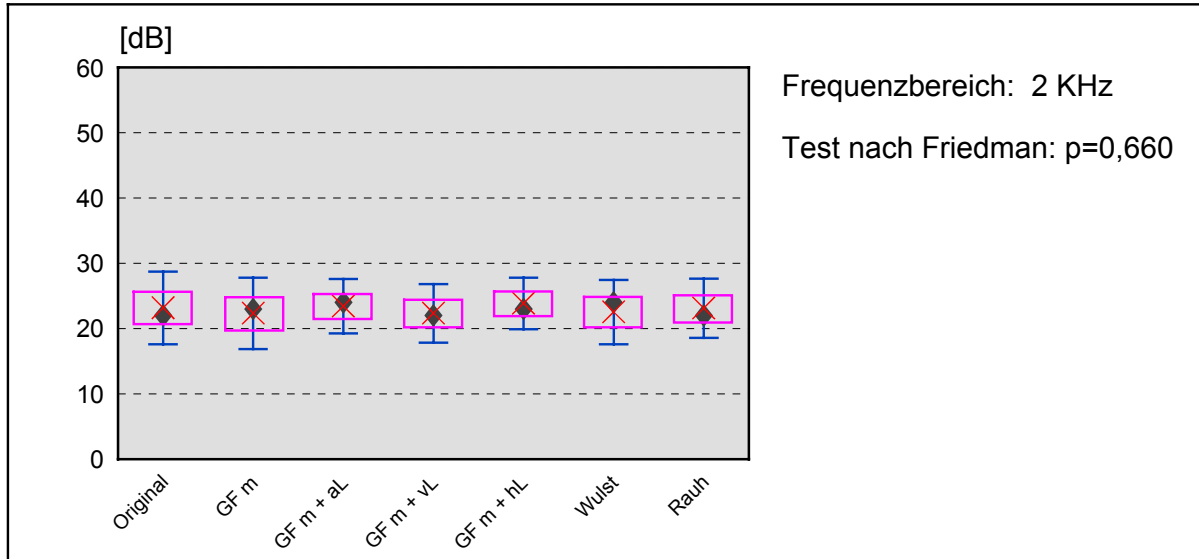


Abb.4.4.: „ts“ aus „Arzt“

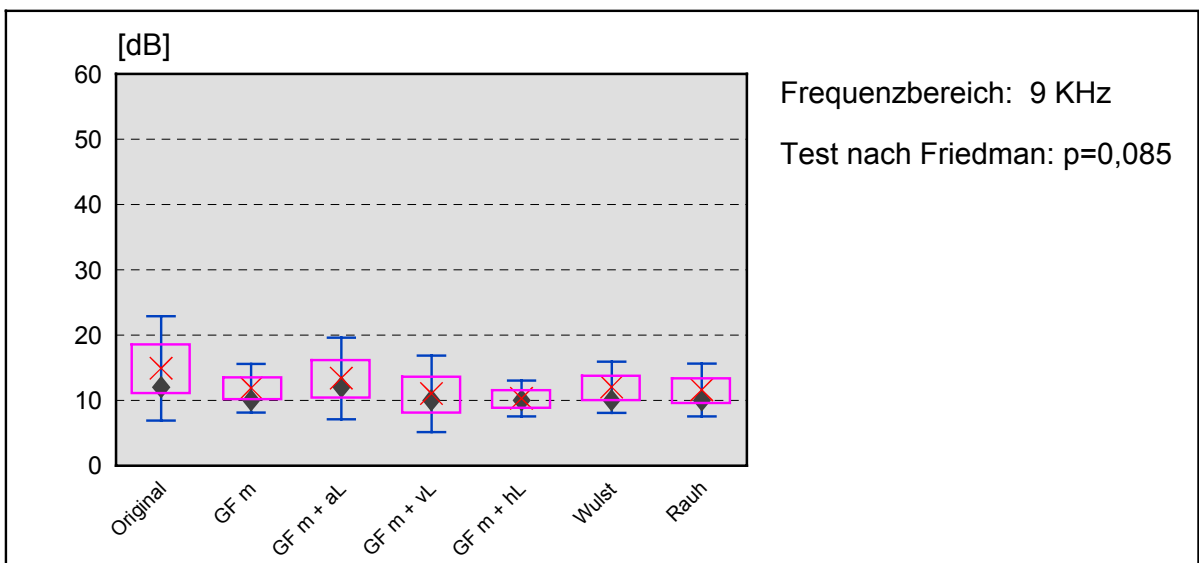
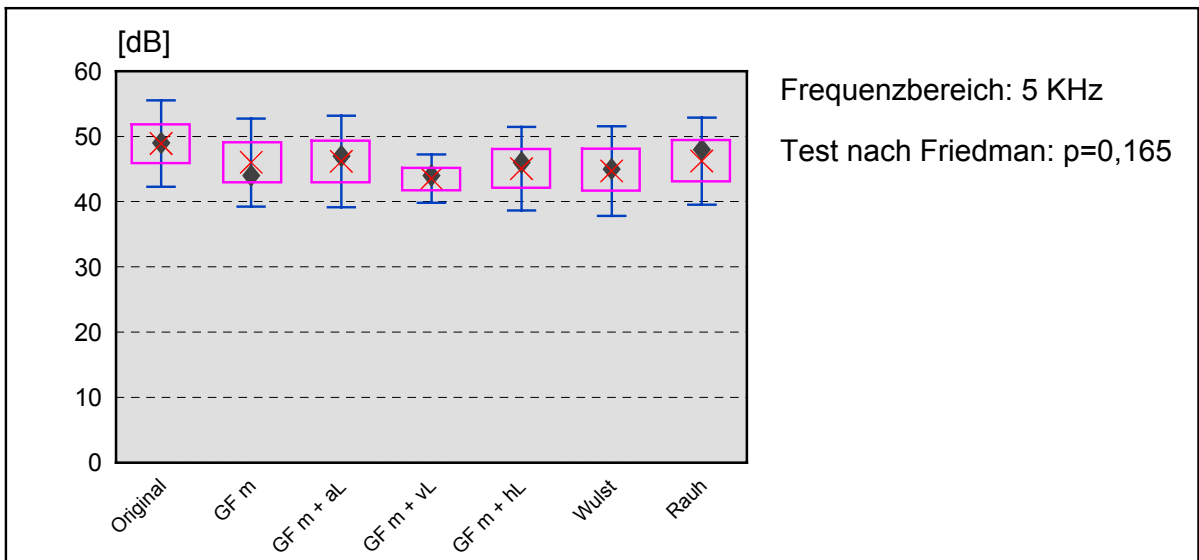
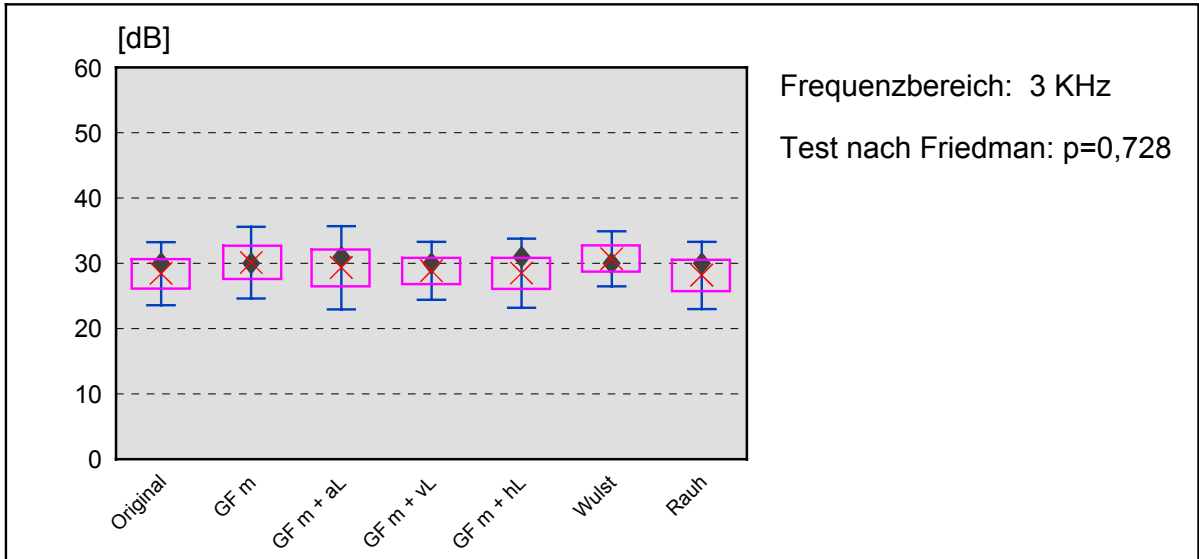


Abb.4.5.: „s“ aus „Mississippi“

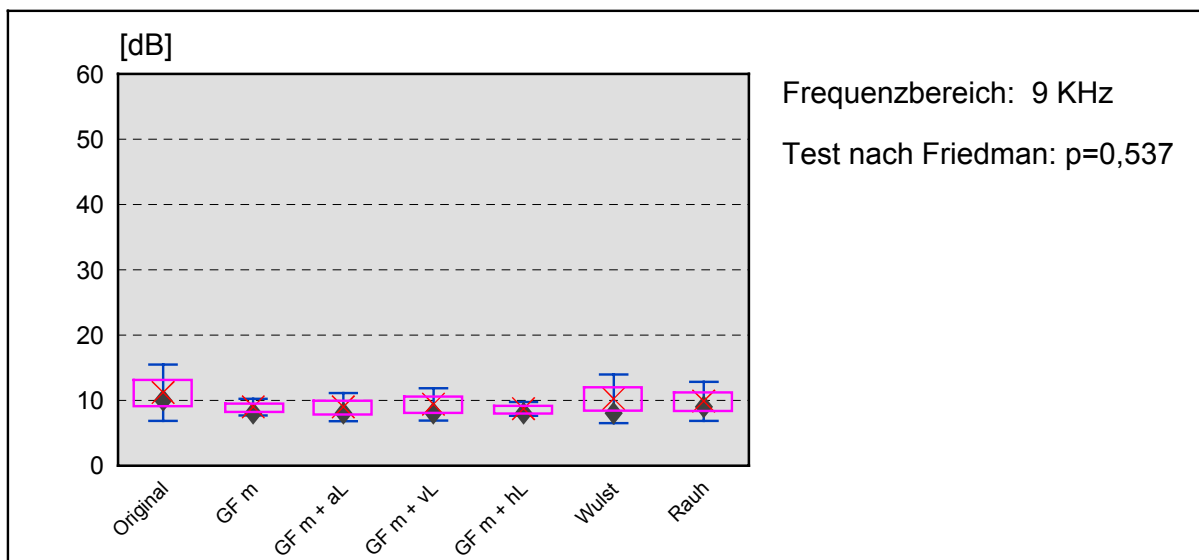
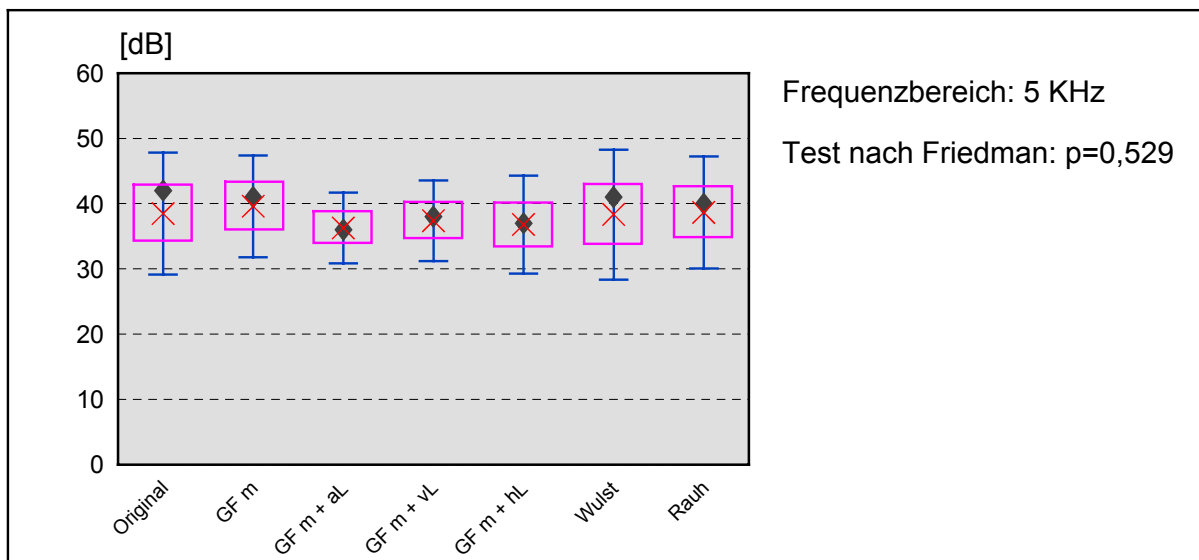
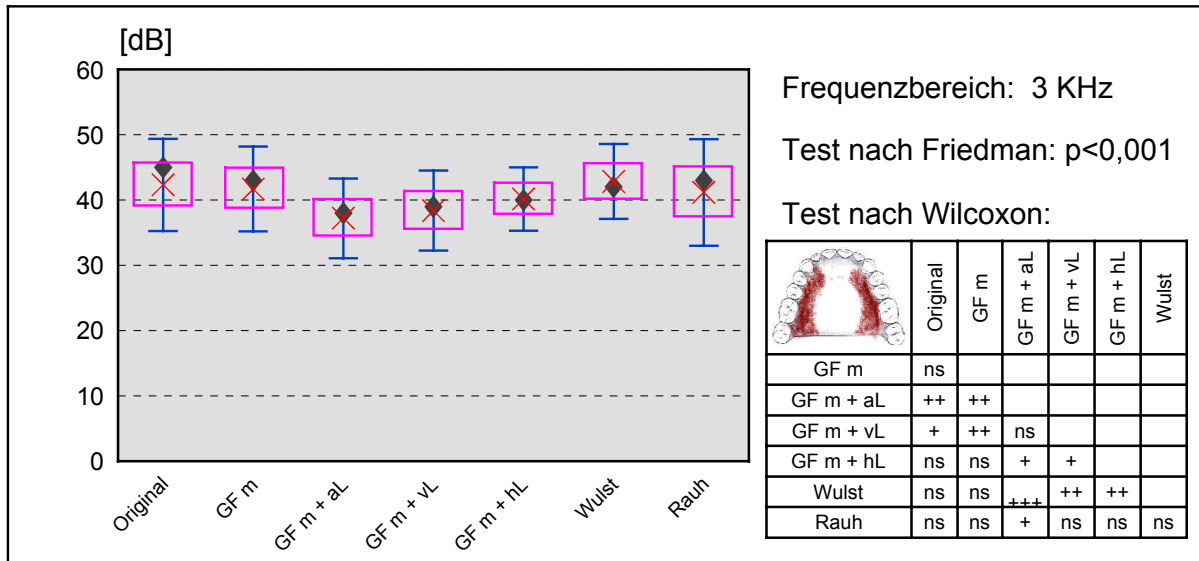


Abb.4.6.: „sch“ aus „Stimme“



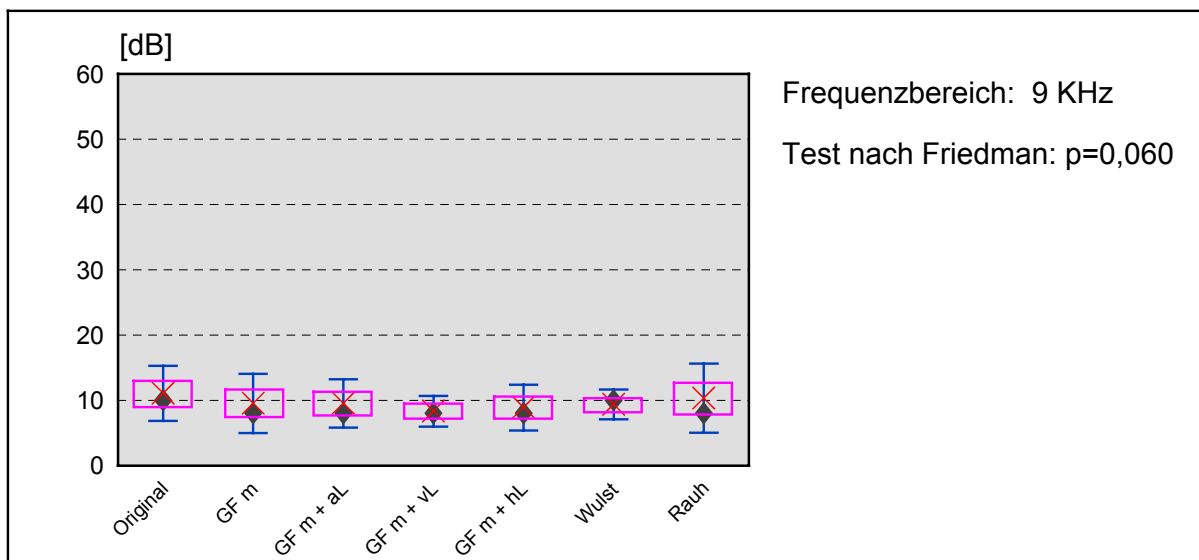
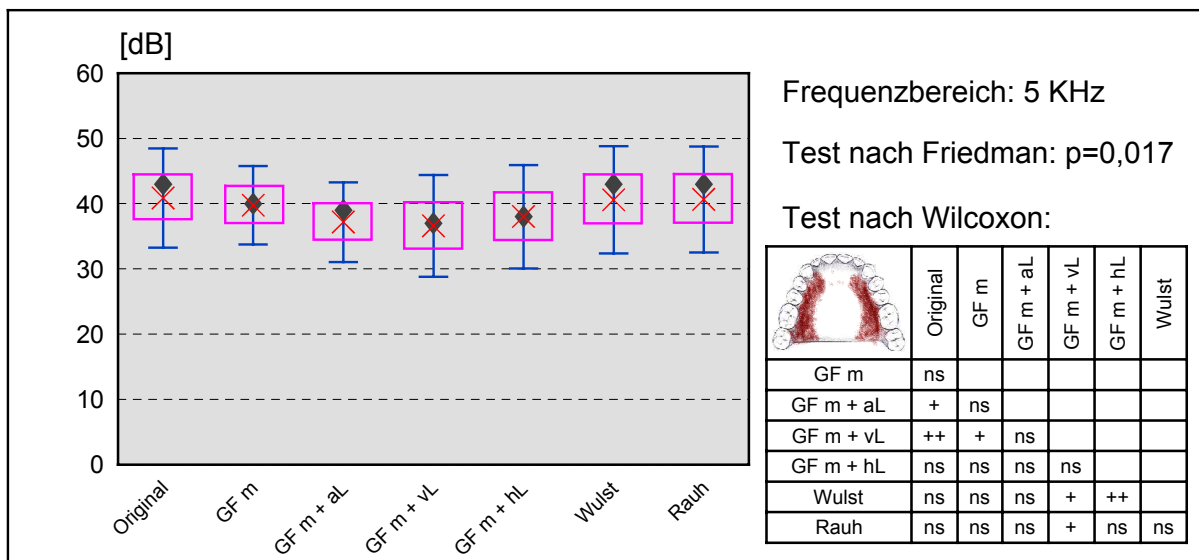
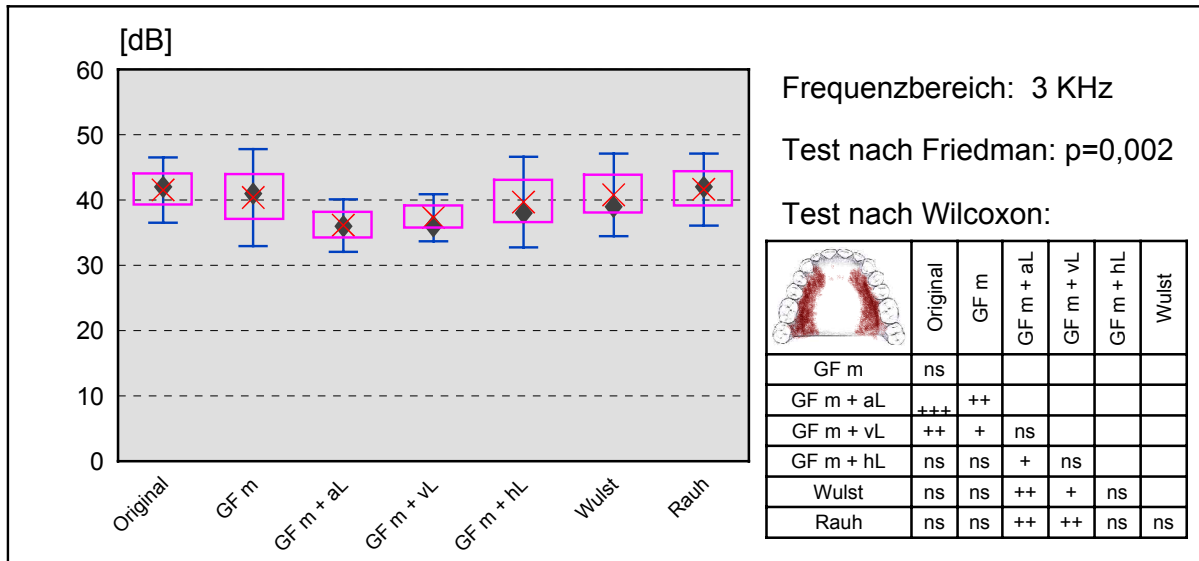


Abb.4.7.: „sch“ aus „Sprache“

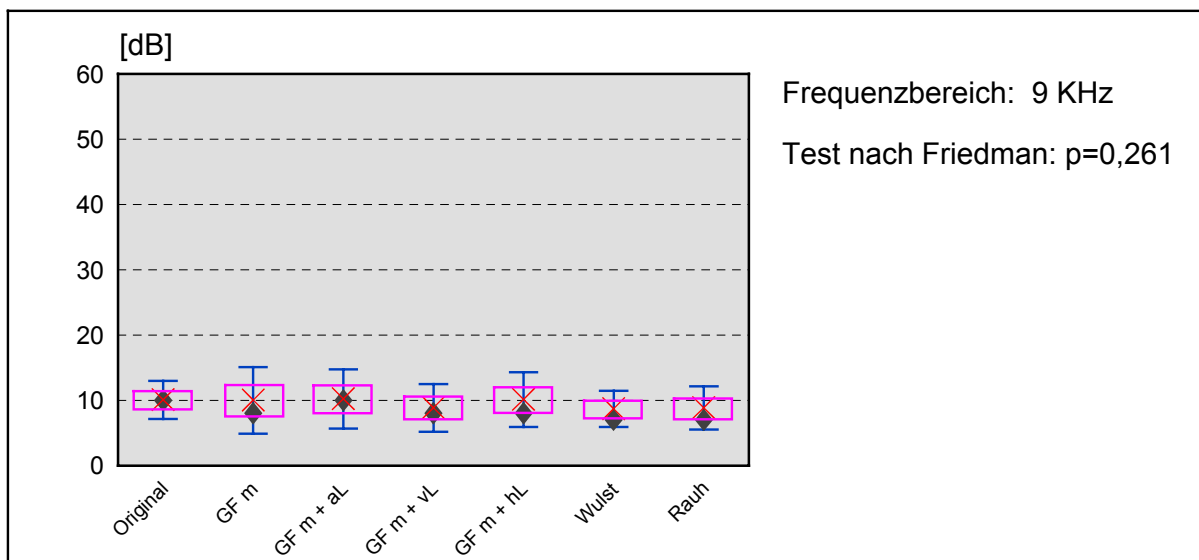
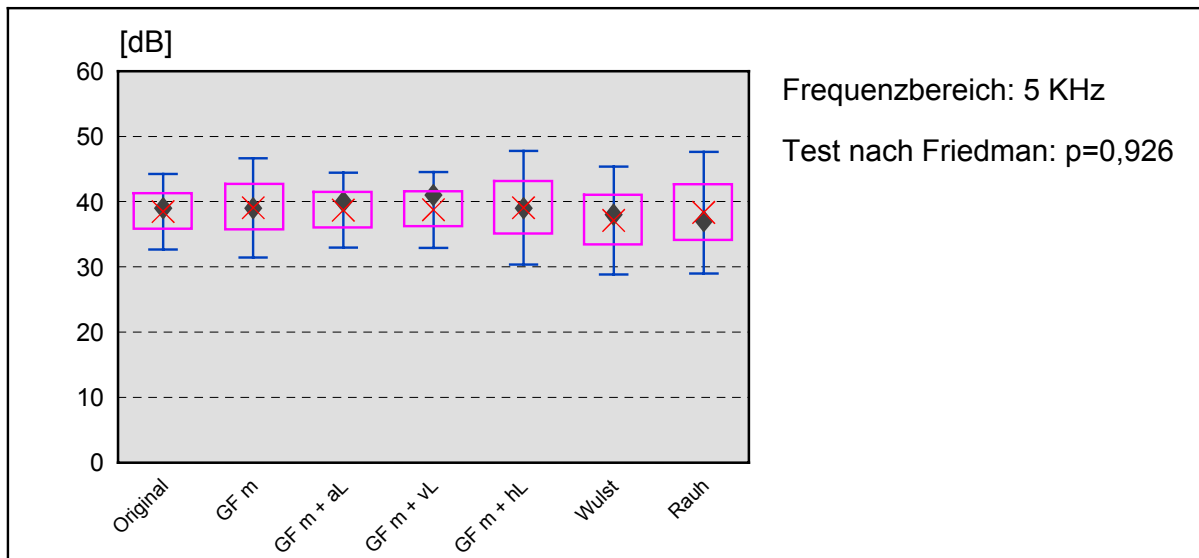
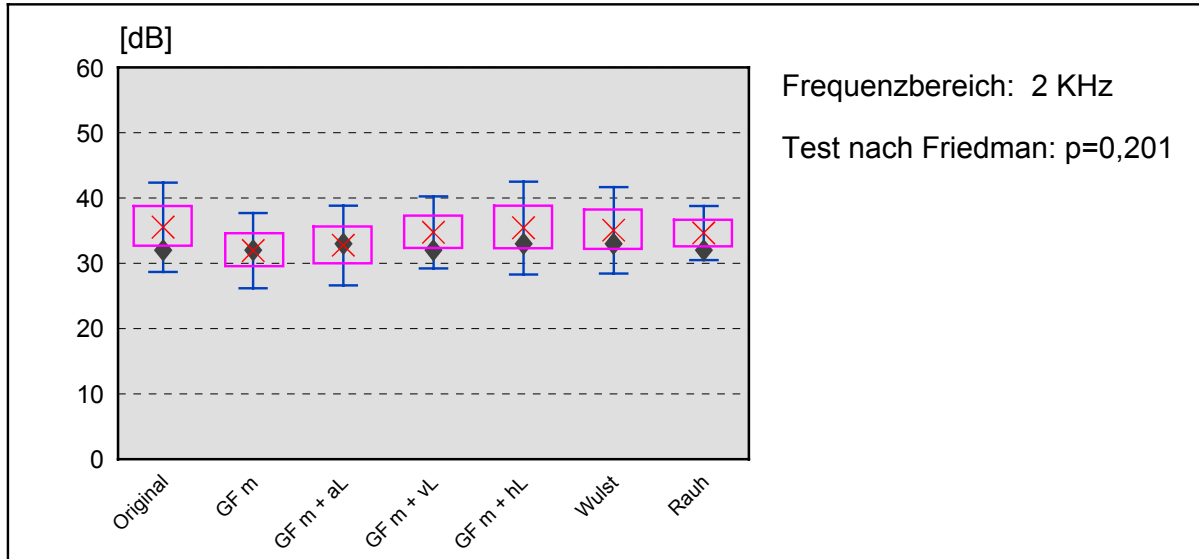


Abb.4.8.: „ch“ aus „ich“

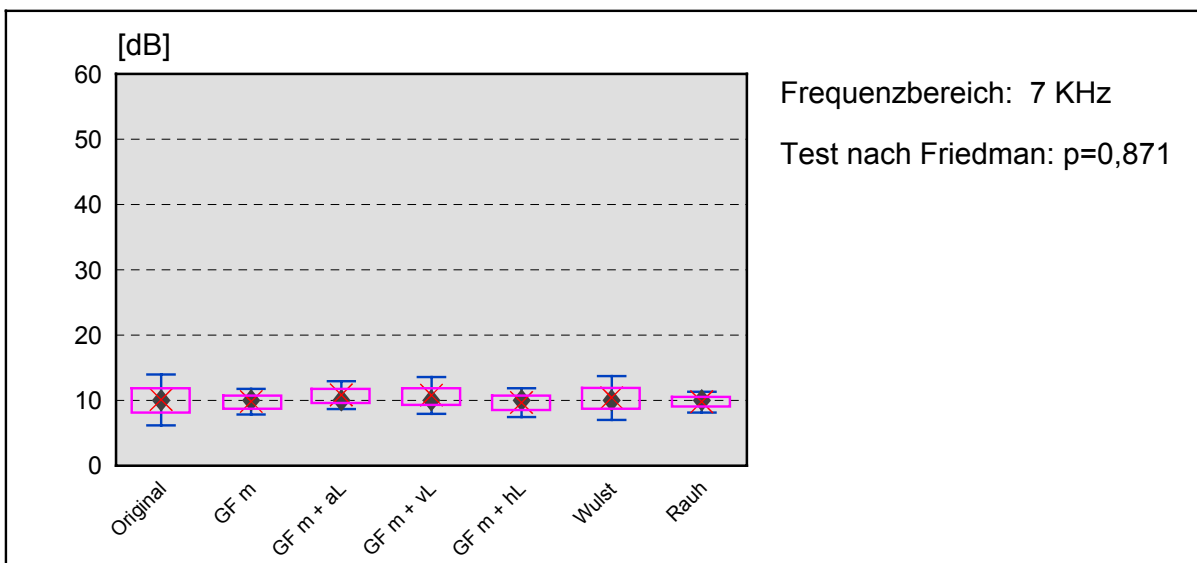
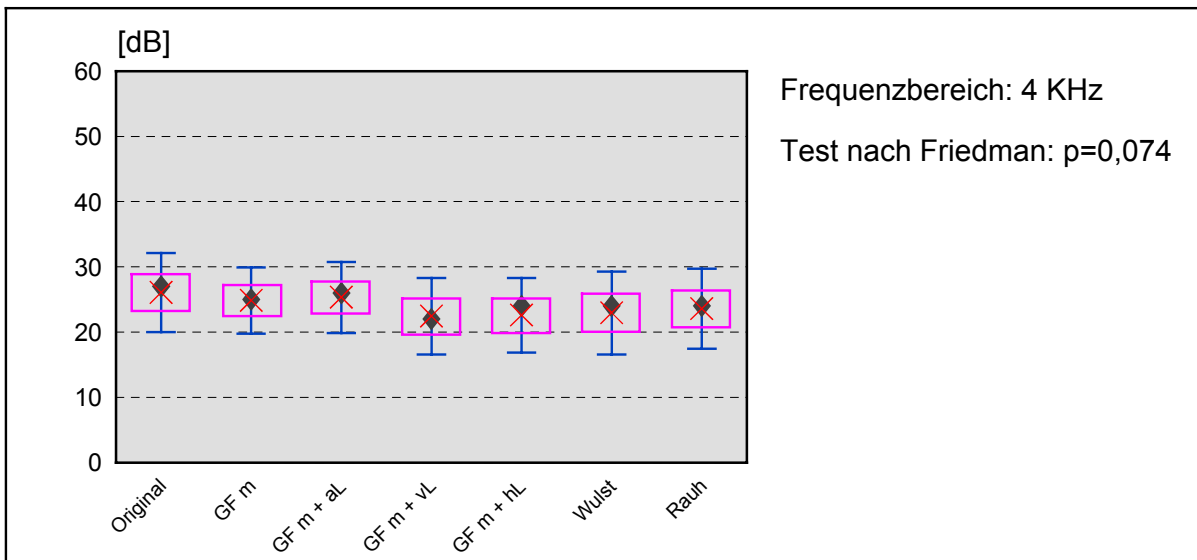
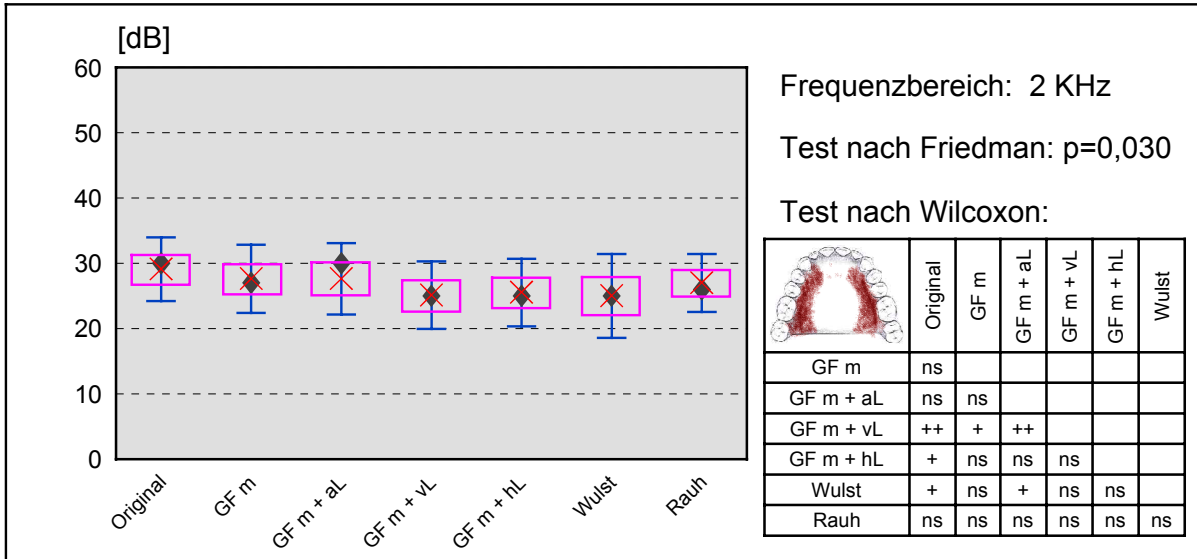


Abb.4.9.: „n“ aus „sind“

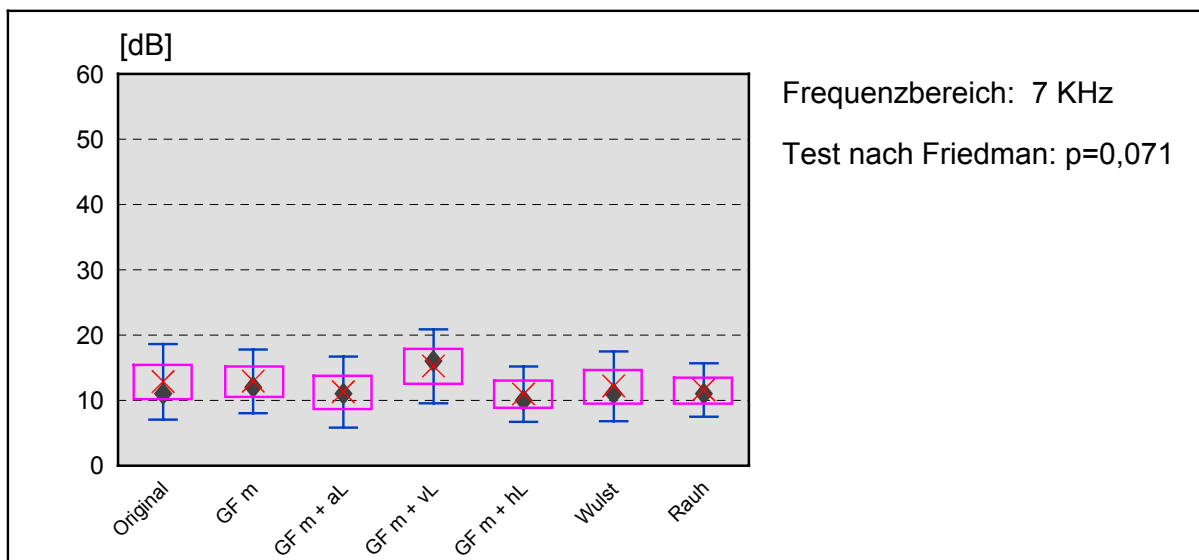
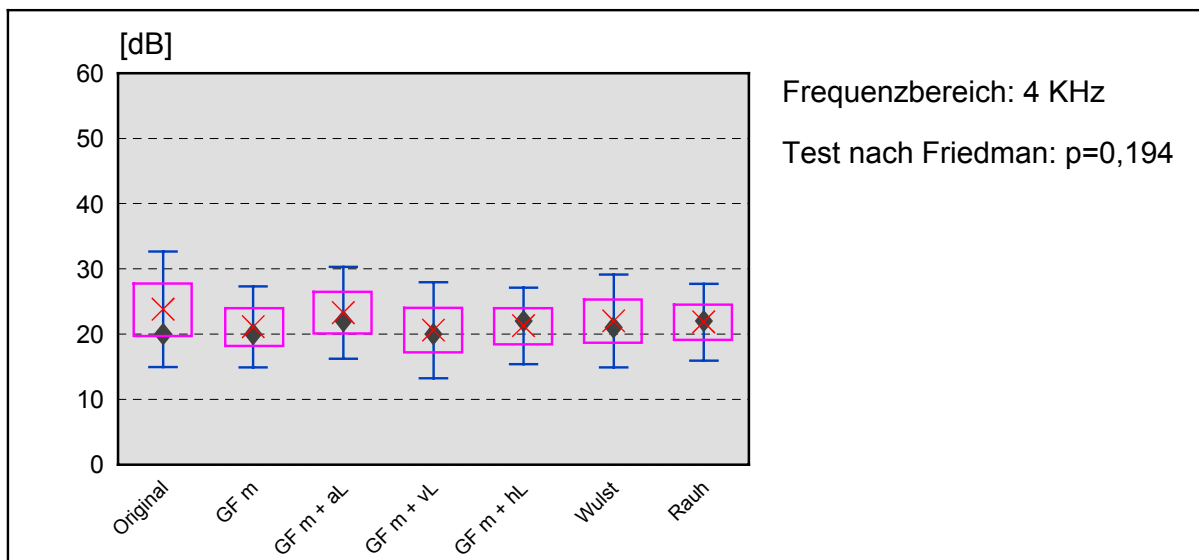
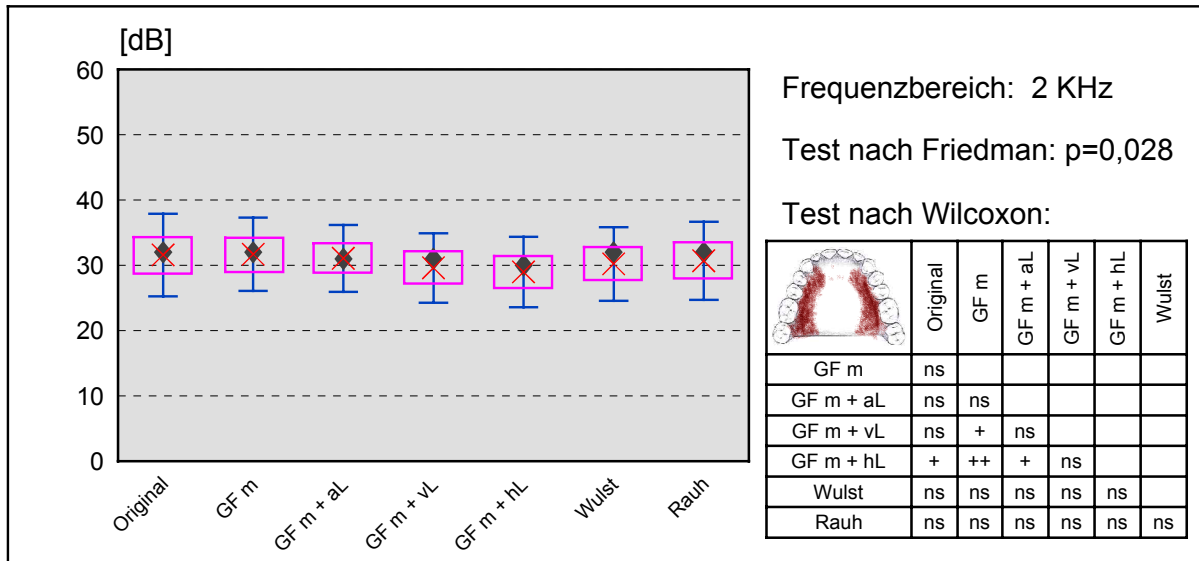


Abb.4.10.: „l“ aus „Blumenstrauß“

## 5.0. Diskussion

### 5.1. Zur Methodik

*Allen* [1959] definierte, dass bei einer prothetischen Versorgung mit Zahnersatz die Mechanik, die Ästhetik sowie die Phonetik zu berücksichtigen sind.

Die Mechanik scheint die größten Probleme aufzuwerfen und wurde deshalb in einer Vielzahl von Arbeiten untersucht. Der ästhetischen Wirkung einer prothetischen Arbeit wird insbesondere in der aktuellen Literatur große Bedeutung beigemessen, während die Phonetik in den meisten Fällen eine nur untergeordnete Rolle spielt.

Letzteres wird durch Autoren wie *Reumuth* [1957] und *Siebert* [1986] unterstrichen, deren Hauptaussage dahin geht, dass die Totalprothese die Lautbildung zwar zunächst ungünstig beeinflusst, sich die Sprache jedoch nach Inkorporation des herausnehmbaren Zahnersatzes in der Regel wieder normalisiert. Anzumerken wäre auch hier, dass eine Lautbildungsstörung zwar objektiv existiert, aber subjektiv nicht mehr nach einer gewissen Zeit wahrgenommen wird. Dennoch klagen 40% der Totalprothesenträger, dass sich ihre Aussprache zum Nachteil verändert habe [*Wisser*, 2000]. Dies deckt sich mit den Untersuchungen von *Kotkin* [1985] und *Lundquist* [1992]. Das subjektive Empfinden der Totalprothesenträger lässt sich dadurch objektivieren, dass nach den Untersuchungen von *Wisser* [2000] 18% dieser Patientengruppe schon von Dritten auf die Verschlechterung oder Veränderung der Aussprache angesprochen wurden.

Daher ist es gerade sinnvoll, die einzelnen Anteile einer Totalprothese (Front-, Seitenzähne und Gaumenplattenformen) aus phonetischer Sicht zu untersuchen. Zum einen, um gerade den Patienten mit Sprechstörungen helfen zu können und zum anderen, um von vorneherein vermeidbare Negativeinflüsse auszuschalten. Untersuchungen zu Gaumenplattenformen wurden von *Foerster* [1967] durchgeführt, der als Möglichkeit der phonetischen Verbesserung die künstlichen Gaumenfalten und die künstliche Papilla inzisiva ansah, von *Suter* [1951],

der einen sogenannten Tast- und Berührungskamm in der Mittellinie des Gaumens vorschlug und von Kobes [1957], der eine „phonetisch aktive Platte“ verwandte.

Aus phonetischer Sicht erscheint demnach die Totalprothese in der Literatur auf den ersten Blick gut untersucht zu sein. Allerdings handelt es sich in diesen Untersuchungen in der Regel lediglich um reine Beobachtungen sowie subjektive Einschätzungen zur Lautbildung an Totalprothesen. Studien, welche die Lautbildung von zahnlosen Patienten mit Versorgung und ohne eingesetzte Totalprothese [AGNELLO, 1972, PECANOV, 1998] analysieren, liefern zwar wertvolle Anregungen zur Messmethodik, sind allerdings in ihrer Zielsetzung weniger auf die zahnärztliche Behandlung gerichtet.

Die Entwicklung der Methodik dieser Studien zur Totalprothetik stützt sich daher in den Ansätzen lediglich auf die Untersuchungen von Kobes [1957, 1958], Pound [1970], Siebert [1986], Laine [1987, 1988], Förster [1967] und Pecanov [1998].

### 5.1.1. Zur Prüfprothese

Die aufwendige Technik zur Modifikation der Gaumenplatte an der Prüfprothesen gründet sich in der Tatsache, dass lediglich nur der Einfluss des Gaumenreliefs auf die Lautbildung in dieser Studie beurteilt werden sollte. So konnte die Artikulation aufgrund der für den Probanden immer identischen Prothesenbasis und Zahnaufstellung in der Beurteilung auf die Ausformung des Gaumens beschränkt werden.

Geringfügige Abweichungen zur Originalprothese wurden dergestalt mit berücksichtigt, in dem die erste Tonaufnahme immer mit der getragenen Prothese, sowie die zweite Tonaufnahme mit der zu dem Zeitpunkt noch unmodifizierten Prüfprothese erfolgte und somit verglichen werden konnte.

### 5.1.2. Zur Gestaltung der Gaumenplatte

Die Gestaltung der Gaumenplatte und deren Einfluss auf die Lautbildung erscheint auf den ersten Blick relativ gut untersucht zu sein. Dies ist auch vor dem Hintergrund der hier lokalisierten Artikulationszonen der s-Laute durchaus sinnvoll. Die Motivation, sich noch einmal mit dieser Thematik zu beschäftigen, gründet sich zum einen auf die widersprüchlichen Aussagen in der Literatur (Ergebnisse Kobes [1957], Reumuth [1957], Förster [1967] versus Siebert [1986]), zum anderen darin, dass bislang keine statistisch gesicherten Ergebnisse publiziert wurden.

Im Vordergrund der Untersuchungen standen zunächst die Gaumenfalten. Förster [1967] lehnt konfektionierte Gaumenfalten ab und empfiehlt ein individuelles Muster bei Neuprothesenträgern. Auf das Aufkopieren von Gaumenfalten [Goyal, 1982] wurde bewusst verzichtet, da eine exakte Positionierung der Kopien aufgrund der unterschiedlichen Geometrie von Prothesenunter- und Oberseite praktisch nicht möglich ist. Das Ergebnis käme den konfektionierten Gaumenfalten gleich. Ebenso weisen ein Grossteil der oberen Totalprothesen eine „Torusentlastung“ (Hohllegung der Prothese über den Torus palatinus) auf, deren Saugkammereffekt in der Regel zu einer Verformung der Gaumenschleimhaut in diesen Bereichen führt.

Nach Vorversuchen mit Palatogrammen wurden die Gaumenfalten daher individuell positioniert. Nach Umzeichnung der Artikulationsstellen des s-Lautes sowie des t-Lautes im Anschluss an das Palatogramm (Kap.3.3.) wurde nach der ersten Tonaufnahme mit hochglanzpolierter, oraler Gaumenfläche die mediane Gaumenfalte im Sinne eines Tast- und Berührungskammes nach Suter [1951] aufgelegt und eine Tonaufnahme angefertigt. Im Gegensatz zu anderen Autoren [Suter, 1951, Förster 1967] wurde in dieser Methodik das Artikulationsareal des Lautes „t“ („Arzt“) zur Positionierung der transversalen Gaumenfalten herangezogen (Abb.3.4.2. bis 3.4.4.).

Neben den Gaumenfalten war es interessant auch durch wulstförmiges Antragen von Wachs lateral der Engstelle der Artikulationszone der s-Laute eine Lautveränderung hervorzurufen.

Leider war es aus forensischen Gründen nicht möglich, den Einfluss der von Kobes [1958] beschriebenen „phonetisch aktiven Platte“ zu untersuchen, da die Probanden zwar ihre „Zweit-“ oder „Ersatzprothese“ für diese Untersuchung zur Verfügung stellten, aber grundlegende und irreversible Veränderungen an diesen Prothesen nicht durchgeführt werden durften. Balters [1956] und Kobes [1957] empfehlen eine mattierte, nicht hochglanzpolierte Platte, daher wurde als letzte Untersuchung der Gaumenanteil der oberen Totalprothese mattiert und auch hier Tonaufnahmen angefertigt. Diese Mattierung konnte dann nach Abschluss der Untersuchung ohne signifikanten Substanzverlust wieder aufpoliert werden.

### 5.1.3. Zur Audiometrie

Im Rahmen dieser Studien war das intakte Hörvermögen ein einschränkendes Kriterium zur Probandenauswahl [Lundqvist 1993; Jussen, 1994].

Das für diese Studien eingesetzte Audiometer wird überwiegend zur Reihenuntersuchung und Einstellungsuntersuchung von Soldaten der Deutschen Bundeswehr genutzt. Der entsprechende Befundbogen zur Erfassung der Hörschwelle weist neben den Skalierungen für Hörverlust (dB) und Frequenz (Abb.3.2.2.) auch eine Einteilung in „Tauglichkeitsstufen“ auf.

Probanden, die an den beschriebenen Studien teilnahmen, mussten einen „Tauglichkeitsgrad 1“ aufweisen, der in der Regel einen Hörverlust von bis zu 20 dB noch zulässt.

Da Probanden mit einem bekannten oder anamnestisch erhobenen Hörschaden nicht an dieser Studie teilnahmen, waren bei der durchgeführten Screening-Audiometrie nur „Zufallsbefunde“ zu erwarten. Daher war es interessant zu erfahren, dass den zwei hörgeschädigten Probanden (5,7%) eine Veränderung beim Hören schon aufgefallen war.



Eine weitere Hörprüfung zur Ergänzung der Luftleitungs-Schwellenaudiometrie wurde nicht durchgeführt. Jenen Patienten, die ein eingeschränktes Hörvermögen zeigten, wurde eine weitere Diagnostik durch eine fachärztliche Untersuchung nahegelegt.

Die beschriebene Technik der Screening Audiometrie ist einfach und sicher durchzuführen und stellte in zeitlicher, physischer und psychischer Hinsicht keine Belastung für die untersuchten Probanden dar, sondern wurde von diesen durchweg als positive Erfahrung betrachtet.

#### 5.1.4. Zur Tonaufnahme

Die beschriebene Methode der Tonaufnahme ermöglicht selbst bei geringem Nebengeräuschpegel in einem zahnärztlichen Behandlungszimmer nahezu studioreife Aufnahmen [Wisser, 2000]. Ermöglicht wird dies durch ein hochempfindliches Richtmikrofon, das sich mit einer einfachen Kopfhaltung sicher und in Grenzen reliabel positionieren lässt. Die Tonaufnahme mit einem DAT-Recorder ist inzwischen ein Standardverfahren in der Phonetik und in Tonstudios. Relativ neu ist die Möglichkeit über hochwertige Soundkarten, PC und CD-Brenner diese Daten verlustfrei zu speichern. Der schnellere Datenzugriff erleichtern die Arbeit bei der Auswertung der Daten und die Tonaufnahmen können auf jedem beliebigen CD-Spieler gehört werden.

#### 5.1.5. Zur instrumentalphontischen Auswertung

Zur Auswertung der Daten wurden die Spektrogramme lediglich zur Vorauswahl der zu untersuchenden Laute genutzt. Obwohl Spektrogramme sogar zur Personenidentifizierung [Künzel, 1982] genutzt werden und hervorragend zur Darstellung intraindividuelle Unterschiede in der Lautbildung geeignet sind [Kobes, 1958; Ylppö, 1962], ist eine Einbindung dieser Daten in eine statistische Analyse nur schwer möglich. Wir nutzten daher, wie von Niedermeier [1988]

empfohlen, Frequenzspektren einzelner Laute. Seiner Forderung nach „Referenzspektren“ kommt diese Studie mit Einschränkung nach, indem hier zu untersuchende Frequenzbereiche für die untersuchten Konsonanten angegeben sind. Doch diese sind aufgrund der gewählten Form der Berechnung mit Hilfe der schnellen Fourier-Analyse eher vorsichtig zu interpretieren. Da eher eine amplituden- und nicht frequenzspezifische Berechnung mit einem Raster von 600 Hz gewählt wurde, sind die Bandbreiten der angegebenen Formanten im Bereich von einem kHz anzusiedeln.

Dennoch erwies sich diese Methode als hinreichend empfindlich, um selbst Unterschiede aufzuzeigen, die nicht mit dem ersten Höreindruck wahrgenommen wurden.

## 5.2. Diskussion der Ergebnisse

### 5.2.1. Zur Probandenauswahl

Die Auswahl der Probanden gestaltete sich für diese Studie als unproblematisch. Lediglich 5,7% sprachen einen starken Dialekt, der die Ergebnisse weitgehend verfälscht hätte, obwohl sich die Probanden eher aus einem ländlichen Einzugsgebiet rekrutierten. Nur ein Proband wies eine Leseschwäche auf. Ebenso war es verständlich, dass elf der Probanden aus zeitlichen oder gesundheitlichen Gründen nicht an dieser Studie teilnehmen konnten.

Eine audiometrische Voruntersuchung wird als unabdingbar erachtet, da Laute, die nicht gehört werden, auch nicht sicher gesprochen werden können. Dieses trifft sowohl für die Probanden als auch für die Untersucher zu. Da Patienten mit Hörhilfen schon vorab nicht zur Teilnahme gebeten wurden, wiesen die 2 Probanden eine Hörschwäche auf, die ihnen bislang nicht bewusst war. Abbildung 4.1. zeigt auf, dass immerhin 60% der voruntersuchten Probanden an der Studie teilnehmen konnten und wollten.

### 5.2.2. Zu den phonetischen Parametern

Die Ergebnisse der phonetischen Parameter zeigen in keinem Fall eine signifikante Abweichung. Dieses ist dadurch zu erklären, dass lediglich die Artikulationsstellen in dieser Untersuchung modifiziert wurden und daher keine Störungen in der Phonation bei sachgerechter Durchführung der Untersuchung auftreten konnten.

Lediglich zwischen zahnlosen und mit Totalprothese versorgten Patienten konnte Pecanov [1998] zwar in einer spektrographischen Analyse nicht nur Fehlbildungen der Konsonanten, sondern auch Abweichungen in den Formantbereichen der Vokale an Probanden mit und ohne getragener Totalprothese zeigen, in der vorliegenden Untersuchung war die Messung ohne Totalprothese allerdings nicht Gegenstand der Fragestellung.

### 5.2.3. Zur Lautanalyse

Der vorzeitige Verlust des natürlichen Gebisses infolge von Karies und Parodontopathien sowie die Erhöhung des durchschnittlichen Lebensalters führen in vielen Ländern gegenwärtig noch dazu, dass es immer mehr Prothesenträger gibt. Deshalb müssen auch jene Faktoren, die eine bessere Lautbildung der Prothesenträger ermöglichen, bei der Anfertigung von Totalprothesen in größerem Maß berücksichtigt werden *Kaán* [1995].

Im Rahmen von frequenzanalytischen Untersuchungen stellt sich als grundsätzliches Problem die große interindividuelle Schwankung der Frequenzspektren dar [*Ylppö*, 1955 und 1962; *Altmann*, 1981; *Niedermeier*, 1988; *Kaán*, 1995]. Aus diesem Grund sind in der Darstellung der Ergebnisse (Abb. 4.2. bis 4.10) alle untersuchten Laute in den analysierten Frequenzbereichen angegeben. Sowohl eine große Standardabweichung, als auch ein durch eine eher geringe Probandenanzahl bedingtes, großes Konfidenzintervall belegen dieses Problem der interindividuellen Schwankung sehr deutlich.

So konnten zwar von der Höreinschätzung, an Spektrogrammen und Frequenzspektren im Einzelfall eine Veränderung der Lautbildung intraindividuell gesehen und gehört werden, nach der statistischen Auswertung aber nicht allgemeingültig nachgewiesen werden. Der paarweise Vergleich nach *Friedman* und nach *Wilcoxon* zeigte generell eher eine geringe Abweichung für alle Laute zusammen gesehen. Diese Beobachtung deckt sich mit der Untersuchung von *Niedermeier* [1988]. Er beurteilte die phonetische Qualität von Totalprothesen anhand Gaumenplattenveränderungen mit einer frequenzanalytischen Untersuchung. Mit Hilfe seiner Versuchsanordnung konnten Unterschiede in der Tonformung von Konsonanten als Folge geringfügiger Formveränderungen des Zahnersatzes objektiviert werden, allerdings aufgrund der interindividuell unterschiedlichen Frequenzspektren keine allgemeingültige Aussage getroffen werden.

Somit ist auch nicht nur eine interindividuelle sondern auch eine intraindividuelle Schwankung in den Frequenzspektren belegt. Unter diesem Aspekt ist daher bei „Fallstudien“ zum Thema Lautbildung eine vorsichtige Interpretation angezeigt.

*Foerster* [1967] fand als Ursache für Sprachstörungen auch leichte Läsionen des Gaumens heraus. Bei einem Patienten mit schmerzhafter Schwellung der Papilla inzisiva zeigte sich eine Veränderung des S-Lautes und eine nach velar verhubene Artikulationsstelle des „t“. Nach Abheilung normalisierten sich Aussprache und Artikulationsstelle unverzüglich. Zu diesen von der Natur geschaffenen Störungen treten bei der Versorgung durch Plattenprothesen noch viele andere Ursachen hinzu.

*Niedermeier* [1988] beurteilte die phonetische Qualität von Totalprothesen anhand von Gaumenplattenveränderungen mit einer frequenzanalytischen Untersuchung. Mit Hilfe dieser Informationen konnten Unterschiede in der Tonformung von Konsonanten als Folge geringfügiger Formveränderungen des Zahnersatzes objektiviert werden.

In dieser Studie konnten keine statistisch signifikante Abweichung durch die Gaumenplattenmodifikationen in den Lauten „k“, „f“, „ts“, „s“ und „ç“ erzeugt werden. Dies war gerade für den Laut „s“ eher unerwartet, zeigt aber wiederum die Kompensationsfähigkeit der Artikulation. Neben der Kompensationsfähigkeit muss bei diesen Untersuchungen die statistische Streuung mit berücksichtigt werden. Unterschiede in der Lautbildung konnte in dieser Untersuchung in den Lauten „ʃ“, „n“ und „l“ (Abb. 4.6., 4.7., 4.9. und 4.10.) nachgewiesen werden. Allerdings in der Regel nur durch Auflegen der transversalen Gaumenfalten. Sowohl die raue Oberfläche im Bereich der Artikulationszonen der untersuchten Laute, Wachswülste im palatinalen Bereich der ersten Praemolaren als auch das Auflegen einer medianen Gaumenfalte (Abb. 3.4.1., 3.4.5. und 3.4.6.) mussten als statistisch nicht signifikant für die Lautbildung gewertet werden. Als „Referenzareal“ für die transversalen Gaumenfalten diente die Berührungsstelle der Zunge bei der Bildung des Affrikaten „tst“ (Arzt) am Gaumen der Totalprothese. Durch Auflegen einer transversalen „Störung“ direkt im Zentrum dieses Areals wurde der Laut „S“ signifikant im Frequenzbereich um 3 kHz und 5

kHz abgeschwächt, während im Laut „n“ und „l“ keine Störung zu messen war. Die funktionellen oralen Andrucke beim Sprechen (zählen von 1 bis 10) betragen im eugnathen Gebiss nach *Bookhold* [1989] 0,9 - 1,5 kPa.

Da die Berührungsstellen der Zunge am Gaumen bei der Bildung der Laute „t“, „n“ und „l“ (s. Anhang) sehr ähnliche Areale aufweisen, wird bei einer Störung direkt in diesem Areal durch den relativ hohen Zungendruck eine Störstelle komplett abgedeckt. Liegt die Störstelle allerdings vor oder hinter diesem Areal, kann es zu Lautbildungsstörungen kommen. Diese Störungen konnten für den Laut „n“ im Frequenzbereich von 2 kHz in den Modifikationen der transversalen Gaumenfalten vor und hinter dem Lautbildungsareal für „tst“ und auch für den angetragenen Wachswulst palatinal der ersten Praemolaren in Form einer Abschwächung des Schalldruckpegels signifikant nachgewiesen werden. Der Laut „l“ änderte sich hingegen nur bei Positionierung der transversalen Gaumenfalte hinter dem Lautbildungsareal für „tst“.

Ein interessantes Ergebnis war, dass in dieser Untersuchung zur Gaumengestaltung einer Totalprothese in der Regel eher niedrigere Frequenzbereiche (2 - 3 kHz) einer Veränderung unterworfen waren. Nur in einem Fall konnte eine Veränderung im Frequenzbereich von 5 kHz (im Laut „j“) beobachtet werden. Frequenzbereiche über 5 kHz wurden statistisch nicht signifikant durch die Störstellen verändert.

### 5.3. Ansätze zur Behandlung von Lautbildungsstörungen

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Ausformung der Gaumenplatten bei Oberkiefer-Totalprothesen einen Einfluss auf die Lautbildung nehmen. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass der Zahnarzt in der Lage ist, eine verbesserte Lautbildung gerade in den Bereichen der S- und T-beziehungsweise D-Laute durch die individuelle Gestaltung der Gaumenplatte zu erreichen.

#### 5.3.1. Linguopalatal gebildete Laute [ t ] und [ d ]

Lautbildungsstörungen dieser Art resultieren oft in einer zu dicken Prothesenbasis im Bereich der vorderen Gaumenfalten. Ein deutlicher Unterschied zwischen [ t ] und [ d ] ist nicht hörbar. Bei offensichtlichen Mängeln an der Basis muss diese zurückgeschliffen werden. Ansonsten wird ein Alkohol-Kakaopulver-Gemisch auf die Basis aufgetragen und somit die Bildungsstellen mit Hilfe dieser modifizierten palatographischen Methode sichtbar gemacht und korrigiert.

In seltenen Fällen sind die Frontzähne zu weit nach lingual gestellt worden, das [ d ] klingt nach einem [ t ], auch hier kann eine Neuaufstellung der Frontzähne mit Sprachproben während der Wachseinprobe Besserung verschaffen

#### 5.3.2. Reibelaute [ sch ] und [ s ]

Diese Lautbildungsstörung wird am häufigsten von Patienten angegeben. Leitaussagen sind „die Prothese zischt, pfeift, rauscht“ oder ein vorher nicht bekanntes Lispeln tritt nach Eingliederung auf.

Die Ursachen sind vielgestaltig und vorwiegend an der Basisgestaltung der oberen Totalprothese oder an der Front- und Seitenzahnstellung zu suchen.

Zur Differentialdiagnose ist ein Palatogramm anzufertigen. Dazu wird die linguale Prothesenbasis entweder mit einem Alkohol-Kakaopulver-Gemisch beschickt oder ein mittelfließendes Korrektursilikon aufgetragen und S- und SCH-Laute „aufgezeichnet“.

### 5.5.3. Bei der Bildung von S- und Sch- Lauten ist ein „Pfeifen“ zu vernehmen:

Entweder ist der S-Kanal zu schmal, oder die Seitenzähne stehen zu weit nach lingual. Im ersten Fall wird versucht durch Antragen von Wachs auf die Region der Gaumenfalten den S-Kanal breiter zu gestalten und das „Pfeifen“ zu mindern. Im zweiten Fall wird eine Neuaufstellung der Seitenzähne mit Sprechproben während der Gesamtwachsaufstellung den Fehler abschwächen.

### 5.3.4. Die S-Laute klingen wie ein SCH-Laut:

Die Prothesenbasis ist im Bereich der Gaumenfalten zu dick, der S-Kanal zu breit ausgeformt oder die Seitenzähne sind zu weit nach außen gestellt. Ist die Prothesenbasis zu dick gestaltet, sind auch t- und d-Laute verändert. Durch Umschleifen der Basis oder Zahnumstellung, bei vorher mehrfacher Anfertigung von Palatogrammen, lassen sich diese Fehler beim Sprechen abmildern oder gänzlich beseitigen.



## Zusammenfassung

Die gesprochene Sprache ist ein hoch komplizierter Vorgang, der sich schon durch eine geringe Veränderung auch nur einer einzelnen, beteiligten Komponente, wesentlich beeinflussen lässt. Als Komponenten wären die Zähne, die Zunge und der Gaumen und weitere anatomische Strukturen zu nennen, die bei der Artikulation zusammen wirken und sich beeinflussen. So legt sich die Zunge zur Bildung spezieller Reibelaute an das Gaumenrelief an, was bei Trägern von herausnehmbarem Zahnersatz, der den Gaumen teilweise oder ganz abdeckt, zu einer Veränderung der ursprünglichen Situation führt. Neben einer funktionellen und ästhetischen Rehabilitation muss eine prothetische Rekonstruktion demnach auch eine ungestörte Lautbildung gewährleisten.

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss der Ausformung der Gaumenplatte einer Totalprothese instrumentalphonetisch mit der von W. Wisser [2000] entwickelten Methode zu untersuchen und therapeutische Ansätze zu formulieren.

Für diese Untersuchung konnten elf weibliche und neun männliche Probanden gewonnen werden, die neben dem jetzt getragenen Zahnersatz noch ein zweites Totalprothesenpaar besaßen. Neben der Fähigkeit, ein dialektfreies Normdeutsch zu sprechen, und ein gutes Lesevermögen zu haben, wurde auch das uneingeschränkte Hörvermögen bei diesen Probanden audiometrisch überprüft. Mit Einverständnis der Probanden wurde die Oberfläche des künstlichen Gaumens der Zweit-Totalprothese nach Anfertigung eines Palatogramms wie folgt modifiziert:

- hochglanzpolierte Oberfläche der oberen Totalprothese
- mediane Gaumenfalte (Regio Papilla incisiva bis in Höhe 15/25)
- mediane und transversale Gaumenfalte auf der Lautbildungsstelle
- mediane und transversale Gaumenfalte vor der Lautbildungsstelle
- mediane und transversale Gaumenfalte hinter der Lautbildungsstelle
- modifizierter Snow-Wulst
- aufgeraute, sandgestrahlte Oberfläche

Die Probanden mussten mit jeder dieser Modifikationen einen Lesetext vorlesen. Mit Hilfe eines DAT-Rekorders und eines an einer Kopfhaltung befestigten Richtmikrofons wurden nahezu studioreife Tonaufnahmen dieser Sprechproben hergestellt. Über eine rechnergestützte Frequenzanalyse, nach dem Prinzip der schnellen Fourier-Transformation (FFT), sowie anschließende statistische Auswertungen mittels Wilcoxon- und Friedman-Tests war es möglich, Unterschiede in der Lautbildung der untersuchten Konsonanten als Folge der jeweils getragenen Modifikation der Gaumenplatte objektiv und reproduzierbar nachzuweisen.

In dieser Studie konnten keine statistisch signifikante Abweichung durch die Gaumenplattenmodifikationen in den Lauten „k“, „f“, „ts“, „s“ und „ç“ erzeugt werden. Dies war gerade für den Laut „s“ eher unerwartet, zeigt aber wiederum die Kompensationsfähigkeit der Artikulation. Unterschiede in der Lautbildung konnte in dieser Untersuchung in den Lauten „ʃ“, „n“ und „l“ nachgewiesen werden. Allerdings in der Regel nur durch Auflegen der transversalen Gaumenfalten. Sowohl die raue Oberfläche im Bereich der Artikulationszonen der untersuchten Laute, Wachswülste im palatinalen Bereich der ersten Praemolaren als auch das Auflegen einer medianen Gaumenfalte führten zu keiner statistisch signifikanten Veränderung der Lautbildung.

Diese Studie zeigt erstmals statistisch gesicherte Ergebnisse zum Einfluss der Gaumengestaltung an Totalprothesen auf die Lautbildung.

## Summary

The speech is a very complicated process which can be essentially influenced by a small modification of an individual, shared component. As components we designate the teeth, the tongue and the palate and further anatomical structures which perform together during articulation and influence themselves. In such a way, the tongue leans on the palate relief to form specific fricatives, which can cause a modification of the initial situation for carriers of loose tooth-substitutes with full dentures which cover the palate completely or partially. Accordingly, a full denture must also guarantee a not disturbing articulation in addition to a functional and aesthetic rehabilitation.

The aim of this study was to examine the influence of the design on the palatal appliance instrumentalphonetically and to formulate therapeutic approaches with the developed method by W. Wisser [2000].

Eleven female and nine male probands were tested for this examination, who had another full denture pair in addition to the actual teething substitute. Besides of the capability to speak a dialect-free German and to the position to have a well property of reading, the unlimited hearing property of these probands were also checked audio metrically. In agreement with the probands, the surface of the artificial palate of the second full denture was modified after the production of a palatogram as follows:

- polished surface of upper complete denture
- median palatine rugae (regio Papilla incisiva, regio 15/25)
- median and transversal palatine rugae on articulation place
- median and transversal palatine rugae before articulation place
- median and transversal palatine rugae after articulation place
- modified Snow bulge
- roughened surface

The probands had to read a text with each of these modifications.

By using a DAT-recorder and a microphone fixed on the headset high fidelity recordings of these voice-tests were made. By a computer-assisted frequency-analysis according to the principle of the Fast Fourier transform (FFT), also to the subsequent statistical evaluations by the Wilcoxon- and Friedman-test it was possible to prove objectively and reproducibly form differences in articulation of the examined consonants as a result of the modification of the worn palate-plate in each case.

In this research there could not be seen any statistically significant deviations through the palatal-appliance-modifications in the sounds „k“, „f“, „ts“, „s“ and „ç“. This was rather unexpected for the loud „s“, however it shows the compensation-ability of articulation. In this examination differences in articulation could be proved in the sounds „ʃ“, „n“ and „l“, but normally only by putting on the transversal palatine rugae. The rough surface in the area of the articulation-zones of the examined tones, wax bulges in the palatine field of the first premolar teeth, as well as the placing of a median palatine rugae were not evaluated statistically significant for articulation.

For the first time a study shows statistically saved results for the influence of the palate appliance to full denture on articulation.

## Literaturverzeichnis

1. *Agnello, J.G., Wictorin, L.:*  
A study of phonetic changes in edentulous patients following complete denture treatment.  
J Prosthet Dent 27,133-139 (1972).
2. *Allen, L.:*  
Verbesserte Phonetik bei Prothesen.  
Quintessenz, Berlin (1959)
3. *Allen, L.R.:*  
Improved phonetics in denture construction.  
J Prosthet Dent 8,753-763 (1958).
4. *Altmann, B., Goydke, H., Schlegel, D.:*  
Sprachlautspektren nach Eingliederung von Gaumenplatten.  
Folia Phoniatr 33, 261-272 (1981).
5. *Arnold, G.E.:*  
Orthodontie und Sprachheilkunde.  
Z Stomat 41,346-362 (1943).
6. *Baken, R. J.:*  
Clinical Measurement of Speech and Voice.  
Taylor & Francis, London (1975)
7. *Balters, W.:*  
Die Bedeutung von Zahnverlust und Zahnersatz für den Patienten von der Psychologie her gesehen.  
Dtsch Zahnärztl Z 5,112-120 (1956).
8. *Bhat, S., Bhargava, K.:*  
An evaluation of closest speaking space using various sibilants amongst age groups of both sexes.  
Indian J Dent Res 6, 99-103 (1995).
9. *Becker, W., Naumann, H.H., Pfalz, R.C.:*  
Hals - Nasen - Ohren - Heilkunde.  
Thieme Verlag, Stuttgart - New York (1989).
10. *Benninghoff, A.:*  
Lehrbuch der Anatomie des Menschen.  
Urban & Schwazenberg, München (1990).
11. *Berger, R., Macht, S., Beimesche, H.:*  
Probleme und Lösungsansätze bei der Auswertung des dichotischen Diskreminationstests für Kinder.  
HNO 46,737-756 (1998)
12. *Berger, R., Demirakca, T.:*  
Vergleich zwischen dem alten und neuen Auswertemodus im dichotischen Diskreminationstest.  
HNO 48,390-393 (2000)
13. *Biesalski, P, Frank, F.:*  
Phoniatrie - Pädaudiologie  
Thieme, Stuttgart - New York (1994).
14. *Bookhold, P., Hensel, S.:*  
Metrische Untersuchungen zum Weichteilverhalten am anterioren Zahnbogen bei regelrechter und progener Frontzahnstellung.  
Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl 77,801-806 (1989).

15. *Bravmann, M.:*  
Materialien und Untersuchungen zu den phonetischen Lehren der Araber.  
Phil Diss, Breslau (1934)
16. *Brigham, E.O.:*  
FFT-Schnelle Fourier Transformation.  
R. Oldenbourg, München-Wien (1995).
17. *Bühl, A., Zöfel, P.:*  
SPSS Version 10 - Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows  
Addison-Wesley, München (2000).
18. *Castillo-Morales, R. Brondo, J. Hoyer, H. Limbrock, G.J.:*  
Die Behandlung von Kau-, Schluck- und Sprechstörungen bei behinderten Kindern mit der orofazialen Regulationstherapie nach Castillo-Morales: Aufgabe für Pädiater und Zahnarzt.  
Zahnärztl Mitt 75,935-951 (1985).
19. *Corradi, G.:*  
Die Beziehung zwischen Sprachbildung und Gaumen.  
Stomatol, 12 (1927) und 1 (1928)
20. *Dolder, E.:*  
Zur Psychologie des Zahn-Verlustes und des Zahn-Ersatzes.  
Prothetik 2, (1956).
21. *Duden Band 1.*  
DUDEN - Rechtschreibung der deutschen Sprache.  
DUDENVERLAG, Mannheim - Leipzig - Wien - Zürich (2000)
22. *Eberhardt, H.:*  
Zahnsystem und Sprachstörungen.  
Med Diss, Erlangen (1954).
23. *Eichner, K.:*  
Funktionelle Gesichtspunkte zur Basisgestaltung von Modellgußprothesen.  
Dtsch Zahnärztl Z 29,930-937 (1974).
24. *Eisenring, R.:*  
Rand- und Flächengestaltung totaler Prothesen.  
Schweiz Mschr Zahnhlk 61,705-711 (1951).
25. *Ekfeldt, A., Jemt, T., Mansson, L.:*  
Interocclusal distance measurement comparing chin and tooth reference points.  
J Prosthet Dent 47,560-563 (1982).
26. *Ewers, R., Hoffmeister, B.:*  
Reconstruction of the mandibular denture bearing area and freeing of the tongue after tumor surgery.  
J Oral Maxillofac Surg 46,272-275 (1988).
27. *Farley, D. W.:*  
Palatoramm Assesment of Maxillary Complete Dentures.  
J Prosthodont 2,84-90 (1998).
28. *Fayz, F., Eslami, A.:*  
Determination of occlusal vertical dimension: a literature review.  
J Prosthet Dent 59,321-323 (1988).
29. *Frick, H., Leonhardt H., Starck, D.:*  
Allgemeine Anatomie  
Thieme, Bd. 1, Stuttgart-New York (1992).

30. Förster, H.:  
Abhängigkeit der Lautbildung von Gaumen, Kiefer und Gebiss: Eine phonetische Untersuchung.  
Phil Diss Hamburg (1967)
31. Gauer, O.H., Kramer, K., Jung, R.:  
Physiologie des Menschen, Bd.12: Hören, Stimme, Gleichgewicht.  
Urban & Scharzenberg, München (1972).
32. Goyal, B.K. Greenstein, P.:  
Functional contouring of the palatal vault for improving speech with complete dentures  
J Prosthet Dent 48,640-646 (1982).
33. Gutzmann, H.:  
Über Untersuchung und Behandlung der durch Gaumen- oder Zahndefekte entstehenden Sprachstörungen (mechanische Dyslalien).  
Dtsch Zahnärztl Wschr 14,186-188/209-217 (1895).
34. Gutzmann, H. jun.:  
Über das Erkennen der Stimmgattung.  
Fol Phoniatri 1 - 5 (1950).
35. Gysi, A., Köhler, L., Scheff, J.:  
Handbuch der Zahnheilkunde, Bd.4: Zahnersatzkunde.  
Urban und Scharzenberg, Berlin (1929).
36. Grützner, M.:  
Physiologie der Stimme und Sprache.  
Handbuch der Physiologie von L. Herrmann.  
Vogel, I und II, Leipzig (1879)
37. Heroldt, E.:  
Experimentalphonetische Untersuchung über die Bildung des S-Lautes  
Med Diss, Freiburg (1935)
38. Horn, H., Göz, G., Bacher, M., Müllauer, M., Kretschmer, I., Axmann-Krcmar, D.:  
Reliability of electromagnetic articulography recording during speaking sequences.  
Europ J Orthodont 19,647-655 (1997).
39. Jussen, H., Kloster-Jensen, M., Wisotzki, K.H.:  
Lautbildung bei Hörgeschädigten. 3. Aufl. Edition  
Marhold im wiss.Verl. Spiess, Berlin, (1994).
40. Kahle, W., Leonhardt, H., Platzer, W.:  
Taschenatlas der Anatomie.  
Thieme, Stuttgart-New York (1986).
41. Kaán, M. Bolla, K. Kezler, B.:  
Die suprasegmentalen Eigenschaften beim Sprechen der Totalprothesenträger  
Zahnärztl Welt/Ref 103,710-713 (1995).
42. Kobes, L.:  
Betrachtungen und experimentelle Untersuchungen zum Problem der phonetischen  
Adaptation von totalem und partiellem Zahnersatz sowie Angabe der Konstruktion eines die  
Bildung der Sprachlaute unterstützenden Zahnersatzes im Oberkieferbereich.  
Med Diss, Erlangen (1957)
43. Kobes, L.:  
Experimentelle Untersuchungen zum Problem der phonetischen Adaptation von  
herausnehmbarem Zahnersatz.  
Dtsch Zahnärztl Z 13,825-831 (1958).

44. *Kobes, L.:*  
Die Versorgung von Kiefer-Gaumendefekten auf prothetischem Wege und deren Auswirkung auf die Bildung der Sprachlaute.  
Hanser, München (1968).
45. *Kohler, K.J.:*  
Einführung in die Phonetik des Deutschen.  
E. Schmidt, Berlin (1977).
46. *Kotkin, H.:*  
Diagnostic significance of denture complaints.  
J Prosthet Dent 53,73-77 (1985).
47. *Künzel, H.J., Borys, B.B.:*  
Farbige Schallspektrographie: einige Anwendungsbeispiele einer neuen Technik in der Phoniatrie.  
Sprache Stimme Gehör 6,74-78 (1982).
48. *Künzel, H.J.:*  
Praxis der forensischen Sprechererkennung.  
Kriminalistik 3,120-126 (1987).
49. *Laine, T.:*  
Articulatory disorders in speech as related to size of the alveolar arches.  
Europ J Orthodont 8,192-197 (1986).
50. *Laine, T., Jaroma, M., Linnasalo, A.L.:*  
Relationships between interincisal occlusion and articulatory components of speech.  
Folia Phoniatri 39,78-86 (1987).
51. *Lehnhardt, E.:*  
Praktische Audiometrie.  
Thieme, Stuttgart (1978).
52. *Lippert, H.:*  
Lehrbuch Anatomie.  
Urban und Fischer, München (2000).
53. *Lieb-Mühlhausen, K.:*  
Gebissanomalien und Sprachfehler.  
Ernst Reinhardt, München, Basel (1964)
54. *Lundqvist, S., Karlsson, S., Lindblad, P., et al.:*  
An electropalatographic and optoelectronic analysis of Swedish [s] production.  
Acta Odont Scand 53,372-380 (1995).
55. *Lundqvist, S., Haraldson, T., Lindblad, P.:*  
Speech in connection with maxillary fixed prostheses on osseointegrated implants: a three-year follow-up study.  
Clin Oral Impl Res 3,176-180 (1992).
56. *Lundqvist, S., Lohmander-Agerskov, A., Haraldson, T.:*  
Speech before and after treatment with bridges on osseointegrated implants in the edentulous upper jaw.  
Clin Oral Impl Res 3,57-62 (1992).
57. *Lundqvist, S.:*  
Speech and other oral functions: Clinical and experimental studies with special reference to maxillary rehabilitation on osseointegrated implants.  
Swed Dent J (Suppl) 91,1-39 (1993).



58. *Mänel, H.:*  
Über die Gewöhnung an die totale Prothese des Oberkiefers unter besonderer Berücksichtigung der Zunge und der Zähne für die Sprachlautbildung.  
Med Diss, Rostock (1931).
59. *Merkel, C. L.:*  
Physiologie der menschlichen Sprache (Physiologische Laetik).  
Wigand, 97, 104, Leipzig (1866)
60. *Müller, M.:*  
Über das Lispeln der Prothesenträger  
Dtsch Zahnärztl Wschr 34,77-84 (1931).
61. *Münch, F. C.:*  
Endlich haben wir die physiologisch-phonetisch einwandfreie Porzellan-Gaumenplatte  
Dtsch Zahnärztebl 10, 225-226 (1956)
62. *Nadoleczny, M., Reichenbach, E.:*  
Orthopädisch (orthodontisch-) -prothetische Maßnahmen zur Behebung von Sprachstörungen.  
Fortschr Zahnkd 3,53-57 (1927).
63. *Niedermeier, W., Kick, W., Moder, M.:*  
Frequenzanalytische Untersuchungen zur Beurteilung der phonetischen Qualität von Zahnersatz  
Dtsch Zahnärztl Z 43,765-772 (1988).
64. *Ondrácková, H.:*  
Zur Untersuchung der physiologischen Tätigkeit der Sprechorgane in den supraglottalen Höhlen.  
Folia Phoniatr 19,161-171 (1967).
65. *Panconcelli-Calzia, G.:*  
Über die Wichtigkeit der Experimentalphonetik für die Zahnheilkunde.  
Ergebnisse VIII, W. de Gruyter Verlag, Berlin (1924).
66. *Paré, A. :*  
In: Offenbach, „Artzney-Spiegel des hocherfahrenen und weit berühmten Herrn Ambrosii Parei“.  
Frankfurt am Main (1635)
67. *Pecanov, A.:*  
Spektrographische Analyse des Einflusses von Oberkiefer-Zahnersatz auf die Lautbildung.  
Dtsch Zahnärztl Z 53,810-815 (1998).
68. *Pound, E.:*  
Utilizing speech to simplify a personalized denture service.  
J Prosthet Dent 24,586-601 (1970).
69. *Reichenbach, E., Meinhold, G.:*  
Neuere Beobachtungen und Untersuchungen über orale organische Sigmatismen in Zusammenhang mit Zahnstellung- und Kieferanomalien.  
Fortschr Kieferorthop 24,1-11 (1963).
70. *Reumuth, E.:*  
Sprachstörungen und Prothetik.  
Zahnärztl Praxis 8,9-10 (1957).
71. *Rohen, J.W.:*  
Anatomie für Zahnmediziner.  
Schattauer, Stuttgart (1994).

72. *Schäffler, A., Schmidt, S.:*  
Biologie, Anatomie, Physiologie.  
Jungjohann, Neckarsulm (1994).
73. *Rousselot, P. J.:*  
Principes de phonétique expérimentale.  
Paris, (1924).
74. *Schiebler, T.H., Schmidt, W.:*  
Lehrbuch der gesamten Anatomie  
Springer, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo (1983).
75. *Schmidt, R.F., Thews, G.:*  
Physiologie des Menschen.  
Springer, Berlin (1985)
76. *Siebert, G.K., Wentzke, M.:*  
Zum Einfluß verschiedener Gaumenplattenformen auf das Palatogramm  
und auf die Computeranalyse der Sprache.  
Dtsch Zahnärztl Z 41,1178-1183 (1986).
77. *Silbernagl, S., Despopoulos, A.:*  
Taschenatlas der Physiologie  
Thieme, Stuttgart - New York, 1991.
78. *Slankamenac, S.:*  
Motivationsaspekte für das Akzeptieren und Tragen von Totalprothesen.  
Quintessenz 4,39-43 (1980)
79. *Stuck, J.:*  
Das Aufstellen von Frontzähnen nach den Prinzipien der phonetischen Logopädie.  
Dent Spectrum I/3,259-263 (1996).
80. *Suter, T.:*  
Frontzähne und S-Lautbildung.  
Med Diss, Zürich (1951)
81. *Uldall, E.:*  
American „Molar“ R and „Flapped“ T.  
Revista do Lab. De Fonética Experimental, Coimbra (1958)
82. *Vinkeloe, E.:*  
Über die in der zahnärztlichen Praxis auftretenden Sprachstörungen.  
Med Diss, Düsseldorf (1957)
83. *Von Essen, O.:*  
Allgemeine und angewandte Phonetik. 5. Aufl.  
Akademie, Berlin (1979)
84. *Voss, H., Herrlinger, R.:*  
Taschenbuch der Anatomie Band II.  
Fischer, Stuttgart (1974).
85. *Wagner, F.:*  
Biomathematik.  
Mediscript, München (1983).
86. *Wängler, H.H.:*  
Physiologische Phonetik  
Elwert, Marburg (1972).
87. *Wängler, H.H.:*  
Atlas deutscher Sprachlaute.  
Akademie, Berlin (1981).

88. *Wild, W.:*  
Funktionelle Prothetik.  
B. Schwabe und Co., Basel (1950)
89. *Wisser, W., Lotzmann, U.:*  
Zur instrumentalphonetischen Analyse der Lautbildung an Zahnersatz.  
Zahnärztl Welt/Ref 109, 538-543 (2000)
90. *Ylppö, A.:*  
The effects of dentures on speech.  
Int Dent J 5,225-240 (1955).
91. *Ylppö, A., Sovijärvi, A.:*  
Sonagraphic and palatographic studies of full denture, half denture and edentulous cases.  
Acta Odont Scand 20,257-299 (1962).
92. *Zöfel, P.:*  
Statistik in der Praxis.  
Fischer, Stuttgart-Jena (1992)

## **ANHANG**

### **Lesetext**

I - III

### **Zusammenstellung der untersuchten Laute**

IV - VIII

**ah**

**eh**

**ih**

**oh**

**uh**

**üh**

**öh**

**au**

**ei**

**eu**

Die Zeit der Kutsche ist vorbei.

Der Arzt empfiehlt zum Inhalieren Kampfer.

Ich kämpfe mit Pfeil und Bogen.

Diese Hetze ist mir zuviel.

Der Stein fällt ins Wasser.

Der Mississippi ist ein großer Fluß.

Er hat das Heft in der Hand.

Mein schöner Blumenstrauß ist schon verwelkt.

Stimme und Sprache sind in Ordnung.

Die Stimmen sind gut.

Die Stammkundin ist im Laden.

Die Stummheit paßt zu ihm.

Die Steinzeit ist schon lange vorbei.

Die Stoßgebete wurden erhört.

Die sture Verhaltensweise schadet ihm sehr.

Die Staus sind auf der Autobahn.

.

## Nordwind und Sonne

Einst stritten sich Nordwind und Sonne, wer von Ihnen beiden wohl der Stärkere wäre, als ein Wanderer, der in einen warmen Mantel gehüllt war, des Weges daherkam.

Sie wurden einig, daß derjenige für den Stärkeren gelten sollte, der den Wanderer zwingen würde, seinen Mantel auszuziehen.

Der Nordwind blies mit aller Macht, aber je mehr er blies, desto fester hüllte sich der Wanderer in seinen Mantel ein. Endlich gab der Nordwind den Kampf auf.

Nun erwärmte die Sonne die Luft mit ihren freundlichen Strahlen, und schon nach wenigen Augenblicken zog der Wanderer seinen Mantel aus. Da mußte der Nordwind zugeben, daß die Sonne von ihnen beiden der Stärkere war.

## Zusammenstellung der untersuchten Laute

Zur besseren Übersicht wurden die untersuchten Sprachlaute in diesem Anhang zusammengestellt und für diese Studie in Auszügen benutzt.

Die Röntgenseitenbilder, Umzeichnungen der Artikulationszonen im Sagittalschnitt und Palatogramme entstammen dem *Atlas deutscher Sprachlaute* [WÄNGLER, 1981, mit freundlicher Genehmigung des Akademie-Verlag Berlin].

Das Fernröntgenseitenbild zeigt neben der Zahnstellung auch die Zungenstellung bei der Bildung eines Lautes. Zur Veranschaulichung ist dies einschliesslich der Lautbildungsstelle (sagittal) daneben umzeichnet.

Die schraffierten Flächen im Palatogramm umzeichnen die Berührungsstellen der Zunge am Gaumen.

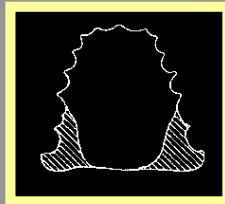
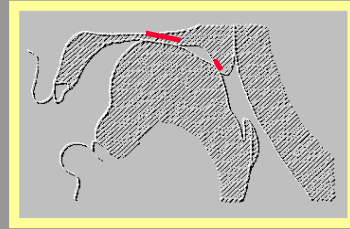
Die Untersuchungen beschränken sich auf insgesamt 16 Konsonanten:

Plosive:	k				
Frikative:	f	s	ʃ	ç	
Nasale	n				
Liquide	l				

Diese Laute werden im Anschluss in dieser Reihenfolge wie oben beschrieben dargestellt.

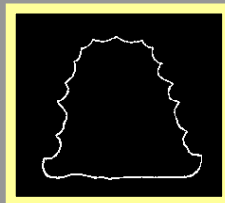
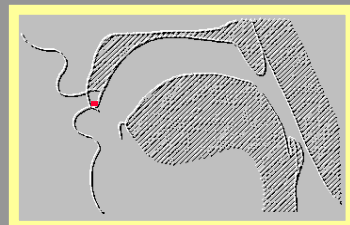
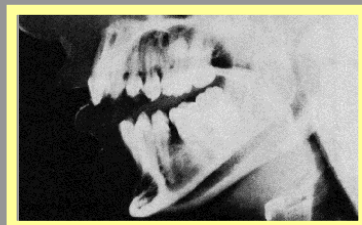


### Konsonant k



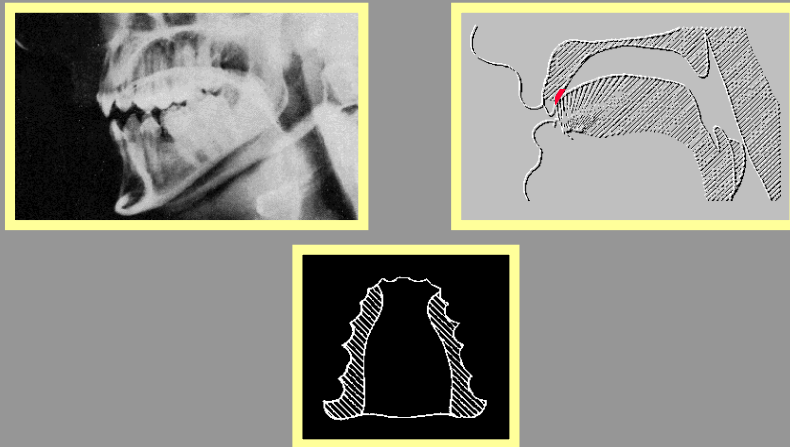
Fernröntgenseitenbild, Lautbildungsstelle und Palatogramm des Lautes „k“

### Konsonant f



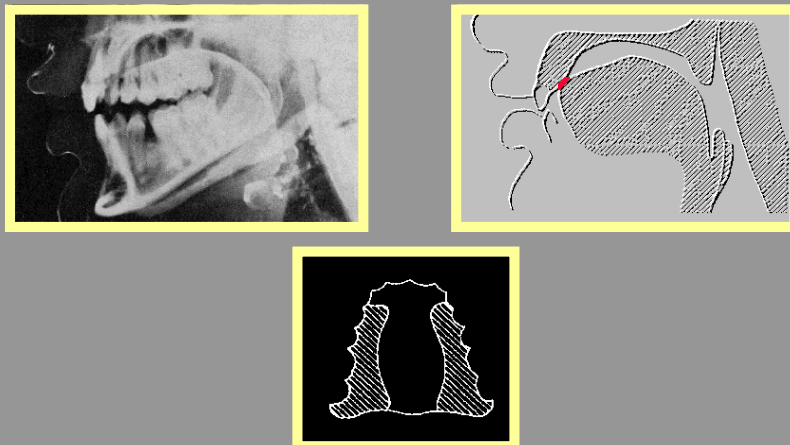
Fernröntgenseitenbild, Lautbildungsstelle und Palatogramm des Lautes „f“

### Konsonant s



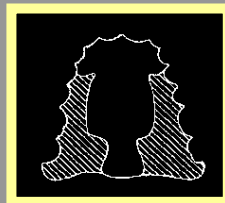
Fernröntgenseitenbild, Lautbildungsstelle und Palatogramm des Lautes „s“

### Konsonant ʃ



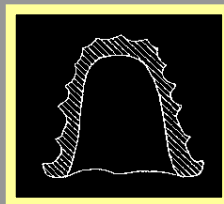
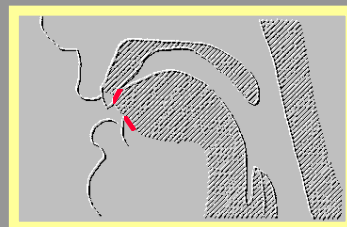
Fernröntgenseitenbild, Lautbildungsstelle und Palatogramm des Lautes „ʃ“

### Konsonant ç



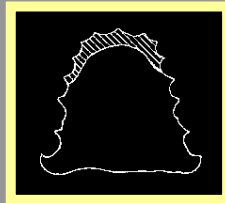
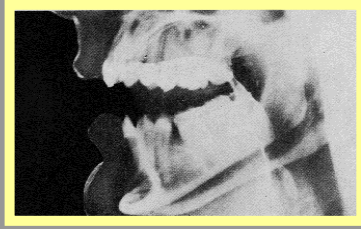
Fernröntgenseitenbild, Lautbildungsstelle und Palatogramm des Lautes „ç“

### Konsonant n



Fernröntgenseitenbild, Lautbildungsstelle und Palatogramm des Lautes „n“

## Konsonant l



Fernröntgenseitenbild, Lautbildungsstelle und Palatogramm des Lautes „l“

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen  
und Herren Universitäts-Professoren und Dozenten:

Austermann	Petermann
Barth	Pieper
Dibbets	Radsak
Dobelstein	Schmidt
Flores de Jacobi	Seitz
Gente	Stachniss
Habermehl	Stoll
Hochban	Suske
Holzheid	Umstadt
Junclas	Wagner
Kern	Wenz
König	Werner
Lammel	Westermann
Lauer	Wisser
Lehmann	
Lotzmann	
Mittag	
Neumüller	

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. U. LOTZMANN für die Überlassung des Themas und die Übernahme des Referates.

Besonders danke ich auch Herrn Dr. W. WISSER für die freundliche und engagierte Unterstützung in allen Phasen dieser Arbeit.

Herrn Dipl. Math. P. ZÖFEL bin ich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse sehr dankbar.

Den Firmen BEGO (D-Bremen), DEGUSSA (D-Hanau), HERAEUS-KULZER (D-Hanau), IVOCLAR (D-Ellwangen) und YEDI DENTAL (D-Engen) danke ich für die kostenlose Bereitstellung der Geräte und Materialien.

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem  
Fachbereich Medizin zur Promotionsprüfung  
eingereichte Arbeit mit dem Titel

„Zum Einfluss der  
Gaumengestaltung von Oberkiefer-Totalprothesen auf die  
Sprachlautbildung“

in der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,  
Abteilung für Zahnersatzkunde

unter Leitung von Herrn PROF. DR. U. LOTZMANN

mit Unterstützung durch

Herrn DR. W. WISSER aus Hage-Berum

ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt

und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die  
in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keinem in- und ausländischem

Medizinischen Fachbereich ein Gesuch zur

Zulassung zur Promotion eingereicht,

noch die vorliegende oder andere Arbeiten

als Dissertation vorgelegt.

Marburg, den 22. Mai 2003

gez.

KAI STEFFEN KLIMEK