

**Akustische, artikulatorische und perzeptive
Parameter in der Konsonantenproduktion nach
Zungenteilresektion**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie
an der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von

Katalin Mády

aus

Budapest

München, 2005

Referent:

Prof. Dr. Hans G. Tillmann,

Institut für Phonetik und Sprachliche Kommunikation, Ludwig-Maximilians-Universität
München.

Korreferent:

Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Hans-Henning Horch,

Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Klinikum rechts der Isar,
TU München.

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Februar 2004.

Danksagungen

Die vorliegende Arbeit entstand an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Klinikum rechts der Isar der TU München und wurde in den ersten zwei Jahren durch die DFG gefördert.

An dieser Stelle möchte ich daher zuerst dem Leiter des Projektes, OA Dr. Dr. Robert Sader danken. Seine innovativen Ideen und vielseitige Denkweise machten die Zusammenarbeit zu einem konstruktiven interdisziplinären Unterfangen. Danken möchte ich Angela Zimmermann, PhD, für die gemeinsame Durchführung der Datenerhebung und meinem Vorgänger Tim Bressmann, PhD, für die zahlreichen Hilfestellungen bezüglich der klinischen Arbeit, gerade in der ersten Orientierungsphase. Die Kollegen von der Klinik, allen voran Univ.-Prof. Dr. Dr. Dr. h. c. Hans-Henning Horch, die Oberärzte Dr. Dr. Andreas Neff, Dr. Dr. Andreas Kolk, Dr. Stefan Koch und Dr. Dr. Hans-Florian Zeilhofer sowie Dr. Flor Alicia Montañez haben mir in den drei Jahren viel von ihrem medizinischen Wissen weitergegeben, nicht nur über Glossektomien, sondern über viele andere Bereiche der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.

Ich möchte Univ.-Prof. Dr. Hans G. Tillmann, dem Leiter des Institut für Phonetik und sprachliche Kommunikation der LMU München, für die Betreuung dieser Arbeit danken. Ein ganz besonderer Dank gilt Phil Hoole, PhD, der die Arbeit nicht nur praktisch, durch zahlreiche Anregungen bei technischen Fragen und durch Programmierhilfen, sondern auch durch sein enormes Wissen über Artikulation sehr stark unterstützt hat.

Bei den artikulatorischen Aufnahmen waren die Kollegen vom Institut für Radiologie eine unerlässliche Stütze. Besonders viel Freude hat die Zusammenarbeit mit Dr. Ambros Beer bereitet, dem die Idee für den Einsatz der Echtzeit-MRT für dieses Forschungsfeld zu verdanken ist. An der Durchführung der Aufnahmen wirkten außerdem Dr. Paul Hellerhoff und Prof. Dr. Christian Hannig mit, denen ich ebenfalls danken möchte. Ingo Scheid leistete eine große Hilfe bei der Erstellung der Zungenkonturen für die artikulatorische Auswertung. Vielen Dank auch an meinen alten Freund Ulrich Katscher, PhD (Philips Research Laboratories, Hamburg), der mir viele hilfreiche Erklärungen zur Funktionsweise der MRT und der SENSE-Technik gegeben hat.

Eine große Bereicherung meiner Münchner Zeit war der Kontakt zu einer Forschergruppe aus Edinburgh und Glasgow (Schottland), der im Rahmen eines DAAD-Forscheraustausches entstand und mir viele wissenschaftlich und menschlich wertvolle Begegnungen beschert hat. Vielen Dank dafür an Janet (Mackenzie) Beck, PhD, Alan Wrench, PhD, Richard Thomson, MD, und Mary Jackson.

Der perzeptive Teil der vorliegenden Arbeit war nur dadurch möglich, dass Dr. habil. Wolfram Ziegler von der Entwicklungsgruppe für Klinische Neuropsychologie, Städtisches Krankenhaus Bogenhausen, uns den Testplatz für das Münchner Verständlichkeitsprofil zur Verfügung gestellt hat. Ihm danke ich auch für die zahlreichen Auskünfte über das MVP. Die Durchführung des Verständlichkeitstests haben Ulrich Reubold, Patricia Foidl, Margó Jánosi, Margret Höchst, Ingo Scheid und Olaf Metzner möglich gemacht.

Olaf Metzner danke ich außerdem für die Erstellung eines Matlab-Programms für die artikulatorische Auswertung, was meine Arbeit in großem Maße erleichtert hat. Ferner möchte ich meinen Dank an Jörg Reichert, PhD, für seine ausführlichen Erklärungen über physikalische Zusammenhänge der Akustik, für die Hilfe beim Programmieren und den Beistand während der Erstellung der Dissertation aussprechen.

Besonders wertvoll waren die vielen gedankenregenden Gespräche mit meinen Berliner Mitdoktorandinnen Susanne Fuchs, PhD und Sabine Koppetsch, PhD, die mich auch durch die kritische Durchsicht der Arbeit unterstützt haben. Sabine danke ich im Besonderen für das Überlassen ihres damals noch nicht veröffentlichten Motorikprotokolls. Sie leisteten auch eine wertvolle Hilfe beim Korrekturlesen, wofür ich ferner Yvonne Schramm danken möchte.

Weitere konstruktive Diskussionen habe ich mit Uwe Reichel geführt, der die Arbeit in verschiedenen Versionen gelesen und um zahlreiche Ideen bereichert hat. Nicht zuletzt hat er mir aber auch in vielen praktischen und scheinbar belanglosen Angelegenheiten geholfen, die ich in meiner Abwesenheit von München nicht oder nur schwer hätte erledigen können.

Des Weiteren möchte ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung in der Phase der Datensammlung sowie meinem alt-neuen Arbeitgeber, der Katholischen Péter-Pázmány-Universität in Ungarn, danken, die mich für die Zeit der Promotion vom Unterricht freigestellt hat.

Schließlich möchte ich meinen Dank an die Patienten aussprechen, die sich trotz ihrer besonders schwierigen Situation bereit erklärt haben, an den Untersuchungen teilzunehmen. Ihre beeindruckende Art, das Leben unter allen Umständen lebenswert zu gestalten, erlaubte mir einen Einblick in mir bis dahin unbekanntere menschliche Dimensionen.

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung.....	8
1	Teilnehmer und Methoden der Untersuchung.....	15
1.1	Patientenauswahl.....	15
1.2	Datensammlung.....	16
1.2.1	Motorische Untersuchung.....	16
1.2.2	Akustische Daten.....	17
1.2.3	Artikulatorische Daten.....	18
1.2.4	Verständlichkeit und Perzeption.....	19
1.2.5	Surgical-Mapping-Protokoll.....	20
2	Mundhöhle: Muskulatur, Tumoren und ihre Therapie.....	21
2.1	Orofaziale Muskulatur.....	21
2.1.1	Kaumuskeln.....	21
2.1.2	Gesichtsmuskeln.....	21
2.1.3	Zungenbeinmuskeln.....	22
2.1.4	Extrinsische und intrinsische Zungemuskeln.....	23
2.2	Mundhöhlenkarzinome.....	25
2.2.1	Charakteristik und Klassifizierung der Plattenepithelkarzinome.....	26
2.2.2	Operation.....	27
2.2.3	Rekonstruktion.....	28
2.2.3.1	Rekonstruktionstechniken.....	28
2.2.3.2	Probleme der funktionellen Evaluierung.....	29
2.3	Operationsdokumentation der Patientengruppe.....	31
2.3.1	GL1.....	33
2.3.2	GL2.....	33
2.3.3	GL3.....	34
2.3.4	GL4.....	34
2.3.5	GL5.....	35
2.3.6	GL6.....	35
2.3.7	GL7.....	36
2.3.8	GL8.....	36
2.3.9	Vorhersagen über die Einzellautartikulation.....	37
3	Konsonanten im Überblick.....	39
3.1	Frikative.....	39
3.1.1	Artikulatorische Eigenschaften der Frikative.....	39
3.1.1.1	/s/.....	40
3.1.1.2	/ʃ/.....	41
3.1.1.3	/x/.....	42
3.1.2	Akustische Eigenschaften der Frikative.....	43
3.2	Der Lateral //.....	46
3.2.1	Artikulatorische Eigenschaften des Laterals.....	46
3.2.2	Akustische Eigenschaften des alveolaren Laterals.....	48

3.3	Zusammenfassung und Vorhersagen	49
4	Akustische Analyse	51
4.1	Die Sibilanten /z/ und /ʃ/	51
4.1.1	Methoden.....	51
4.1.2	Ergebnisse.....	55
4.1.2.1	Präoperative Realisierungen.....	55
4.1.2.1.1	Dauer	55
4.1.2.1.2	Gesamtintensität.....	56
4.1.2.1.3	Gipfel mit höchster Intensität (GI).....	57
4.1.2.1.4	Friktionsbandbreite	60
4.1.2.1.5	Centre of gravity.....	61
4.1.2.1.6	Dispersion	62
4.1.2.2	Qualitativer Vergleich prä- und postoperativer Segmente	63
4.1.2.2.1	GL4	64
4.1.2.2.2	GL7	66
4.1.2.2.3	GL8	67
4.1.2.2.4	GL1	70
4.1.2.2.5	GL2	71
4.1.2.2.6	GL3	72
4.1.2.2.7	GL5	72
4.1.2.2.8	GL6	73
4.1.2.2.9	Allgemeine Tendenzen	74
4.2	Postoperative Realisierungen	76
4.2.3.1.1	Dauer	77
4.2.3.1.2	Intensität.....	79
4.2.3.1.3	Gipfel mit höchster Intensität.....	82
4.2.3.1.4	Friktionsbandbreite	83
4.2.3.1.5	Centre of gravity.....	83
4.2.3.1.6	Dispersion	85
4.3	Der Lateral //	88
4.3.1	Methoden.....	88
4.3.2	Ergebnisse.....	89
4.3.2.1	Dauer	89
4.3.2.2	Intensität.....	91
4.3.2.3	Formantstruktur	92
4.3.2.4	F1	94
4.3.2.5	F2	94
4.3.2.6	Differenz F2-F3	95
4.3.2.7	Allgemeine Tendenzen.....	96
4.4	Der velare Frikativ /x/	96
5	Artikulatorische Analyse mittels Echtzeit-MRT	100
5.1	Analyseverfahren.....	100
5.2	Die Sibilanten /z/ und /ʃ/	102
5.2.1	Normale Artikulation: Methodik und Ergebnisse.....	102
5.2.1.1	Methoden	103
5.2.1.2	Distanz- und Steigungskurven.....	105

5.2.2	Gestörte Artikulation	107
5.2.2.1	Gruppe 1	107
5.2.2.2	Gruppe 2	110
5.2.2.3	Gruppe 3	112
5.2.2.4	Distanz- und Steigungskurven.....	113
5.2.3	Akustik und Artikulation im Vergleich.....	115
5.2.3.1	Gruppe 1	115
5.2.3.2	Gruppe 2	116
5.2.3.3	Gruppe 3	117
5.3	Der Lateral //	118
5.3.1	Präoperative Artikulation.....	119
5.3.2	Prä- und postoperativer Vergleich.....	120
5.3.2.1	Gruppe 1	120
5.3.2.2	Gruppe 2	121
5.3.2.3	Gruppe 3	123
5.3.3	Distanz- und Steigungskurven	125
5.3.4	Akustik und Artikulation in Vergleich	126
5.4	Der velare Frikativ /x/	127
5.4.1	Einzeldarstellung.....	128
5.4.1.1	Gruppe 1	128
5.4.1.2	Gruppe 2	130
5.4.2	Distanz- und Steigungskurven	132
5.4.3	Akustik und Artikulation in Vergleich	133
5.5	Artikulatorische Parameter von /z/, /ʃ/, // und /x/	136
5.6	Postoperative Evaluierung nach den erhaltenen anatomischen Strukturen.....	139
6	Verständlichkeit und Beurteilung der Sprechfähigkeit.....	141
6.1	Funktionsweise des Münchener Verständlichkeitsprofils.....	141
6.2	Objektive Verständlichkeit und subjektive Bewertung.....	142
6.3	Problematische Artikulationsstellen	145
7	Zusammenfassung und Diskussion.....	151
7.1	Die Sibilanten /z/ und /ʃ/.....	154
7.1.1	Gruppe 1	155
7.1.2	Gruppe 2.....	156
7.1.3	Gruppe 3.....	157
7.1.4	Diskussion der Ergebnisse	158
7.2	Produktion des Laterals //.....	158
7.2.1	Gruppe 1	159
7.2.2	Gruppe 2.....	159
7.2.3	Gruppe 3.....	160
7.2.4	Diskussion der Ergebnisse	161
7.3	Der velare Frikativ /x/.....	161
7.4	Konsonantenproduktion im Vergleich	162
7.5	Münchener Verständlichkeitsprofil.....	163

7.6	Anatomische Strukturen und Konsonantenproduktion.....	164
7.7	Evaluierung der Untersuchungsmethodik.....	164
8	Literatur	166
9	Anhang.....	175

„Der Mund hat drei Tätigkeiten: er spricht, er küsst und er nimmt Nahrung auf. [...] Über meinen Mund bin ich unmittelbar mit der Welt verwachsen, und in diesem Verwachsensein sind mir drei Tätigkeiten möglich: ich gebe, oder ich nehme, oder ich gebe und nehme. Mit dem Wort gebe ich, mit dem Essen nehme ich, mit dem Küssen gebe und nehme ich. Das Wort ist nach außen gerichtet, die Nahrung ist nach innen gerichtet, der Kuss ist nach außen und nach innen gerichtet, also ein Kreis.“

Béla Hamvas: Die Philosophie des Weins (S. 12).

0 Einleitung

Karzinome des orofazialen Bereichs (Lippen, Mundhöhle und Oropharynx) machen 1–4 % des Gesamtvorkommens aller Malignome am menschlichen Körper aus (Fröhlich et al., 1992). Dies ist zwar kein sehr hoher Anteil, dennoch sind Kopf-Hals-Tumoren (sprich: orale, pharyngale und laryngale Malignome) in Deutschland die sechsthäufigste onkologische Todesursache. Die für Mundhöhlenkarzinome spezifische 5-Jahres-Überlebensrate liegt bei ca. 50–75 %, d. h. über die Hälfte der an Mundhöhlenkarzinomen erkrankten Personen lebt mindestens fünf Jahre lang nach dem ersten Vorkommen eines orofazialen Tumors (von dieser Zahl sind früher verstorbene Personen mit anderen, also nicht krebsbedingten, Ursachen, ausgenommen, vgl. Al-Rahji et al., 2000).

Aus dieser Statistik ist ersichtlich, dass orofaziale Tumorerkrankungen nicht zu den besonders aggressiven Krebsarten gehören, etwa im Vergleich zum Nierentumor, der mit einer durchschnittlichen Überlebenszeit von 15 Monaten einhergeht (Fairclough, 2002: 15). Dennoch haben orofaziale Tumoren oft schwerwiegende psychologische, soziale und ernährungsrelevante Folgen: viele der Patienten sind in ihrem Äußeren entstellt und haben Sprech- und Schluckstörungen. Sie sind durch die Erkrankung, oder vielmehr durch die medizinische Therapie, für die Umgebung sichtbar und hörbar „stigmatisiert“ und leiden oft an einer Kachexie (Unterernährung), da sie die für die Ernährung notwendigen motorischen Bewegungen (Kauen, Schlucken) nur eingeschränkt oder gar nicht ausführen können. Hinzu kommt, dass die überwiegende Mehrheit der an Oraltumoren erkrankten Patienten alkohol- und/oder nikotinabhängig ist und deshalb bereits vor der Erkrankung erheblichen sozialen und psychologischen Schwierigkeiten ausgesetzt war.

Durch die mit den orofazialen Tumoren verbundene relativ hohe Überlebenszeit steigt die Bedeutung solcher Therapiemöglichkeiten, die zu einer möglichst hohen Lebensqualität des Patienten nach einer chirurgischen oder radio(chemo)therapeutischen Behandlung führen. Andererseits muss der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurg seine Therapiewahl danach ausrichten, wie der Patient über eine möglichst lange Zeit rezidivfrei überleben kann; zusätzlich muss er eventuelle therapiebedingte Komplikationen in Betracht ziehen. Dies bedeutet in der Praxis, dass ein Kompromiss zwischen dem Erhalt der Funktionalität des Sprech- und Schluckapparates einerseits und einer möglichst sicheren Tumorbeseitigung andererseits gefunden werden muss, der z. T. von der Behandlungsphilosophie der jeweiligen Klinik abhängt. Trotz der klaren Vorgaben hinsichtlich der Tumorentfernung (Resektion) sind in vielen Fällen mehrere Möglichkeiten zur Sofortrekonstruktion (Versorgung des verbleibenden Defektes im Rahmen der Erstoperation) gegeben, die die postoperative orofaziale Funktionalität beeinflussen können.

Daher wäre es wünschenswert, das funktionelle Ergebnis von Zungen- und Mundbodentumoroperationen systematisch zu erfassen, so dass sich daraus Kriterien für die bestmögliche Erhaltung der postoperativen Zungenmobilität ableiten lassen, die dem Kieferchirurgen bei der Wahl der Rekonstruktionstechnik als Orientierung dienen können. Die Validität solcher Kriterien kann auf zwei Arten gesichert werden: zum Einen kann eine breit angelegte Untersuchung mit einer großen Patientenzahl durchgeführt werden, die verschiedene Rekonstruktionstechniken berücksichtigt und statistische Aussagen ermöglicht. Der

andere Weg führt über detaillierte Einzelfallbeschreibungen, in denen versucht wird, die Beeinträchtigung einzelner Funktionen anhand des operativen Eingriffs zu begründen.

Bei der diachronen Übersicht der einschlägigen Literatur zeichnet sich eine Verschiebung des Interessenschwerpunktes ab: während die ersten Arbeiten, die die Sprechleistung von Glossektomierten in systematischer Weise thematisieren (Massengill, Maxwell & Pickrell, 1970, Skelly et al., 1972) in erster Linie auf die *erhaltene* artikulatorische Fähigkeit fokussieren und primär qualitativ vorgehen, wird in späteren Arbeiten die Bemühung deutlich, sprachliche und funktionelle Beeinträchtigungen zu quantifizieren und instrumentell zu erfassen. Die Zielsetzung dieser Arbeiten ist es meist, anhand einer größeren Patientengruppe ($n > 15$) zu allgemeinen Erkenntnissen über den Zusammenhang von Sprech- und Schluckfähigkeit, Zungenmobilität und -funktion einerseits und der medizinischen Therapie (chirurgische vs. Strahlentherapie, Resektionsgröße und -lokalisierung sowie Rekonstruktionsart) andererseits zu gelangen. Die Untersuchungsmethoden sind überaus vielfältig: Sprechuntersuchungen basieren auf Perzeptionstests (Bewertung durch Punktzahlen oder durch die Anzahl richtig identifizierter Einheiten, z. B. Skelly et al., 1972, Rentschler, Arbor & Mann, 1980, McConnel et al., 1987, Schliephake et al., 1998, Chuanjun et al., 2002, usw.), funktionellen Untersuchungen liegen motorische Protokolle zugrunde (Jacobson et al., 1995), in anderen Fällen werden für die sprechsprachliche und/oder motorische Untersuchung bildgebende Verfahren eingesetzt wie Röntgenkinematographie (Hamlet et al., 1990), Ultraschall (Schliephake et al., 1998, Bressmann, Uy & Irish, 2004), Elektropalatographie¹ (Fletcher 1988, Michi et al. 1989, Imai & Michi, 1992, Wakumoto et al., 1996), Funktionspalatographie und elektromagnetische Artikulographie (Engelke, Schönle & Engelke, 1990).

In einer der ersten Arbeiten mit einer größeren Patientengruppe ($n = 20$) untersuchten Rentschler, Arbor & Mann (1980) den Zusammenhang zwischen Resektionsgröße und objektiver Verständlichkeit (auf phonemischer, morphosyntaktischer und pragmatischer Ebene). Neben einer eindeutigen Korrelation zwischen dem Ausmaß der Resektion und der postoperativen Verständlichkeit stellten sie eine allgemeine Verlangsamung des Sprechtempo in ihrer Patientengruppe fest. Ein normales Sprechtempo wurde bei Patienten mit geringen Störungen festgestellt. Ferner überragte die Verständlichkeit auf der syntaktischen Ebene die morphophonemische Ebene bei weitem, d. h. Sätze wurden weitaus besser verstanden als einzelne Wörter.

Ein Zusammenhang zwischen Defektgröße und postoperativer Sprechfähigkeit wird auch von Schliephake et al. (1998) postuliert, allerdings wird hier ein differenzierteres Bild aufgezeichnet, nach dem auch der Ort und die Rekonstruktion des Defektes und sogar die Untersuchungsart eine Wirkung auf das funktionelle Ergebnis ausüben können (näheres s. 2.2.3). Der Einfluss der Defektlokalisierung auf das sprechsprachliche Ergebnis wird von Jacobson et al. (1995) ebenfalls betont, die ihre Studie auf eine einzige Rekonstruktionsmethode und auf eine allgemeine Mobilitätsuntersuchung einschränkten und somit die möglichen Einwirkungen diverser unkontrollierter Faktoren einschränken konnten. Haribhakti, Kavarana & Tibrewala (1993) zeigten, dass die Funktionalität neben dem Anteil des resezierten Weichgewebes durch die Betroffenheit des Unterkiefers, insbesondere des Kieferbogens, beeinflusst wird.

In anderen Arbeiten wird die Bedeutung der Defektgröße auf den Grad der Zungenmobilitätseinschränkung etwas relativiert. Konstantinović und Dimić (1998) konnten den Einfluss der Defektgröße nur bei bestimmten Zungenbewegungen (Strecken, Zungenspitze zur Oberlippe und an die Innenseite der Unterlippe) nachweisen, bei sonstigen Zungenbewegungen sowie bei der Bewertung der Lautproduktion waren keine signifikanten Abweichun-

¹ Die Begriffe Röntgenkinematographie und Videofluoroskopie sind austauschbar und bezeichnen bewegte Röntgenaufnahmen, die per Videogerät festgehalten werden.

gen in Abhängigkeit von der Resektionsgröße erkennbar. Auch Chuanjun et al. (2002), deren Patientengruppe bezüglich der Tumorlokalisation weitgehend einheitlich war (unilaterale Tumoren der Zunge, ohne bilaterale oder Mundbodendefekte), kamen zu dem Ergebnis, dass die postoperative Sprechfähigkeit im Wesentlichen von der Rekonstruktionsart und nicht der Resektionsgröße abhängt.

In den zitierten Arbeiten wird von diversen Schwierigkeiten bei der Interpretation der Ergebnisse berichtet: zum Einen wird die unzulängliche Dokumentation der Resektion und Rekonstruktion bemängelt, was einen nachträglichen Vergleich zwischen den einzelnen Patienten erschwert. Zum Zweiten kann der Einfluss von Tumorgröße, -lokalisation und Rekonstruktionsart nie gänzlich auseinander gehalten werden, da die Rekonstruktion meist in Abhängigkeit von der geplanten Resektion gewählt wird. Die hier zitierten Arbeiten lassen in den meisten Fällen streng genommen keine statistischen Aussagen zu, da die Stichprobengröße in der Regel 20 nicht oder kaum übersteigt (mit Ausnahme von Schliephake et al., 1998, sowie Konstantinović und Dimić, 1998). Gerade in Hinblick auf die immanenten Zusammenhänge zwischen den zu untersuchenden Variablen Resektionsgröße, Tumorlokalisation und Rekonstruktionsart, die die Kontrolle der Variablen extrem erschweren, wäre eine Gruppengröße von mehreren Hundert Patienten erforderlich, um statistisch zuverlässige Aussagen machen zu können. Dies ist jedoch aus organisatorischen Gründen kaum praktikabel, da die Datensammlung nur im Rahmen einer langfristigen Kooperation vieler Kliniken zu verwirklichen wäre, um die Kategorien der drei Variablen in möglichst vielen Ausprägungen in ausreichender Zahl belegen zu können.

Ein weiteres Problem, das oft nur implizit vorhanden ist, wird in Schliephake et al. 1998 formuliert: die Ergebnisse können u. U. vom Testverfahren beeinflusst werden. In ihrem konkreten Fall fiel die Entscheidung zwischen den Rekonstruktionsmethoden (s. 2.3.3) unterschiedlich aus, je nachdem, ob der motorischen Leistung artikulatorische Bewegungen in der Einzellautproduktion oder die Verständlichkeit zugrunde gelegt wurde. Allen Übersichtsarbeiten ist ferner gemeinsam, dass die Zusammenwirkungen der untersuchten Faktoren ein recht komplexes Bild ergeben, so dass allgemeine Aussagen nicht oder nur mit Einschränkungen möglich sind.

Aus diesem Grund fanden seit Ende der 80er Jahre vermehrt Untersuchungen mit kleinen Patientengruppen statt, in denen die Zusammenhänge zwischen chirurgischer Therapie und Sprechfähigkeit direkt, vor dem Hintergrund einer detaillierten Beschreibung untersucht wurden. Der Schwerpunkt lag auf der Erfassung von individuellen Kompensationstechniken, dabei sollte die Produktion Rückschlüsse auf den Defekt bzw. auf kompensatorische Mechanismen erlauben. In diesen Arbeiten kommen verstärkt instrumentelle Methoden zur Untersuchung der Artikulation sowie die perzeptive oder akustische Beurteilung von einzelnen Segmenten zum Einsatz, mit anderen Worten gewinnt die phonetische Betrachtungsweise allmählich an Einfluss. Hinzu kommt die Erkenntnis der letzten 10–15 Jahre, dass artikulatorische Einzeluntersuchungen mit gesunden Sprechern in den letzten Jahren vielfach zeigten, dass artikulatorische Vorgänge auch sprecherspezifische Merkmale haben und daher in jedem Fall einer Einzelanalyse bedürfen (s. z. B. Ladefoged & Maddieson, 1996, Hoole et al., 1989, 1993, Lindblad & Lundquist, 1999, Narayanan et al. 1995, 1996, 1997, 1999).

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang eine Studie von Fletcher (1988), der eine elektropalatographische Untersuchung der /s/- und /ʃ/-Produktion durchführte und die Ergebnisse mittels eines phonembasierten Verständlichkeitstests verifizierte. Die perzeptive Beurteilung erfolgte auf einer Fünf-Punkte-Skala, die Artikulation wurde mittels Elektropalatographie erfasst. Bei diesem Verfahren wird ein künstlicher Gaumen für die jeweilige Person erstellt, in dem mehrere Elektroden eingefügt sind, die einen Zungenkontakt am harten Gaumen melden. Die so entstehenden Elektropalatogramme vermitteln einen quasi-dreidimensionalen Eindruck von der prävelaren Zungenform (s. u. a. Hardcastle, 1984, Gibbon & Nicolaidis, 1999). Der Fokus der Studie Fletchers lag auf kompensatorischen

Mechanismen bei der Sibilantenproduktion, wobei die Evaluierung der Lautproduktion im Verständlichkeitstest recht allgemein, bezüglich der Segmente rein perzeptiv erfolgte, so dass eine direkte Gegenüberstellung des linguopalatalen Musters mit akustisch beschriebenen Segmenten anhand der Arbeit nicht möglich ist.

In einer Studie von Imai & Michi (1992), die im Wesentlichen dem Aufbau der Arbeit Fletchers folgt, wurde die Konsonantenproduktion von 17 Patienten mit unterschiedlichen Defektlokalisierungen und Rekonstruktionen untersucht. Ihr Ziel war, eine Verbindung zwischen Perzeption und Artikulation zu erstellen und Rückschlüsse auf die Rekonstruktion zu ziehen. Die Untersuchung erstreckte sich auf die linguale Konsonanten /t/, /s/, /ʃ/ und /ç/ in /a_a/-Umgebung. Es zeigte sich, dass ein perzeptiv zufrieden stellendes Ergebnis nicht notwendigerweise an bestimmte linguopalatale Muster gekoppelt war, vielmehr führten sehr unterschiedliche Kontakttypen zu perzeptiv als gleich gut eingestuften Lautergebnissen. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass erfolgreiche kompensatorische Mechanismen z. T. stark von den Ausgangsmustern abweichen können.

Hamlet et al. (1990) untersuchten die Artikulation der Plosive /p/, /t/ und /k/ mittels Videofluoroskopie (Röntgenkinematographie), indem sie die sagittale Kontur der Zunge nachzeichneten. Sie fanden unmittelbar nach der Operation bei allen Patienten stark veränderte artikulatorische Muster, die sich ca. vier Monate nach der Operation trotz Bestrahlung weitgehend dem präoperativen Stand angepasst haben. Es ist bedauerlich, dass in der Arbeit von Hamlet und Kollegen (1990) keine direkte Verbindung zwischen Zungenkonturen und Sprechfähigkeit hergestellt wurde, da die Beurteilung der Sprechfähigkeit nicht durch die perzeptive Evaluierung der untersuchten Einzelsegmente, sondern durch andere Kriterien (Konsonantenartikulation, Silbenwiederholungsrate sowie allgemeine Bewertung) erfolgte. Es bleibt daher unklar, ob ein unauffälliges artikulatorisches Muster in jedem Fall zu einem adäquaten akustischen und perzeptiven Ergebnis führt.

Zu ähnlichen Ergebnissen wie Hamlet et al. (1990) gelangten Heller, Levy & Sciubba (1991), die die Sprechfähigkeit von Patienten mit kleineren Zungenkarzinomen sechs Monate nach der Operation anhand von diadochokinetischen Untersuchungen für weitgehend normal befanden.

Aus dieser kurzen und keineswegs vollständigen Übersicht sind einige wesentliche Schwierigkeiten, mit denen die Erfassung der Sprechfähigkeit Glossektomierter behaftet ist, deutlich geworden:

- (1) bei rein postoperativen Auswertungen mangelt es oft an genauen Angaben zur exakten Lokalisation und Größe der Resektion, was eine Erklärung vor dem Hintergrund der Muskelfunktionen schwierig macht;
- (2) in den meisten Untersuchungen wurde kein Wert auf die Herstellung eines direkten Zusammenhangs zwischen artikulatorischen und akustischen Eigenschaften der Einzellaутproduktion gelegt;
- (3) die Interpretation der artikulatorischen Untersuchungen ist aufgrund der üblichen semiquantitativen Auswertung, die meist zu Kategorisierungen anstatt zu echten quantitativen Variablen führt, kompliziert und schwer überschaubar (Palatographie, Röntgenkinematographie), in anderen Fällen dienen die Messungen (wie etwa bei der Ultraschalluntersuchung von Schliephake et al., 1998) nur der groben Orientierung über Zungenbeweglichkeit und nicht der Analyse einzelner sprechsprachlicher Segmente.

Das erste Problem wird in zwei Arbeiten aufgegriffen, die der Entstehung der vorliegenden Arbeit unmittelbar vorausgingen und sie beeinflussen haben. Um die intraoperative Dokumentation der Resektion zu ermöglichen, wurde von einer schottischen Forschergruppe, beste-

hend aus Chirurgen, Phonetikern sowie Sprech- und Sprachtherapeuten, ein intraorales ‚Surgical Mapping Protocol‘ entwickelt (Mackenzie Beck et al., 1998). Eine Aufgabe des Protokolls war, anhand der Betroffenheit einzelner zungenintrinsic und -extrinsic Muskeln Vorhersagen über die zu erwartende postoperative Einzellauteartikulation zu ermöglichen, die in einem zweiten Schritt anhand postoperativer Aufnahmen evaluiert wurden. Mackenzie Beck und Kollegen stellten eine gewisse Diskrepanz zwischen den hypothetisierten und den tatsächlichen phonetischen Beeinträchtigungen fest, was sie mit individuell abweichenden motorischen Fähigkeiten sowie dem erfolgreichen Einsatz von Kompensationsmechanismen erklärten.

Aufgrund neuerer Forschungsergebnisse, die auf einen entscheidenden Einfluss der Rekonstruktionsmethode auf das postoperative funktionelle Ergebnis hindeuten, wurde das Protokoll von Mackenzie Beck et al. (1998) von Bressmann et al. (2002) um die Dokumentation der Rekonstruktion erweitert und um eine Aufteilung des gesamten Mundraums in gewebeabhängige Sektoren ergänzt (basierend auf Stone & Lundberg, 1996), die der Erfassung des strukturspezifischen Gewebeverlustes dienen. Bressmann und Kollegen konnten für unterschiedliche Rekonstruktionen (Lappen vs. lokale Defektdeckung) abweichende sprechsprachliche Ergebnisse nachweisen, die jedoch nicht eindeutig für die eine oder andere Methode sprachen (s. 2.2.3). Die Anzahl der betroffenen Segmente zeigte, je nach Aufgabentyp, eine schwache bzw. keine Korrelation mit der postoperativen Sprechfähigkeit.

Die Frage nach postoperativen Veränderungen im Sinne von akustischen Parametern rückte erst in den letzten Jahren ins Interessenfeld der Forscher und betraf primär die Untersuchung von Vokalen. Erwähnenswert sind hier Georgian, Logemann & Fisher (1982), die einen einzelnen Patienten untersuchten, sowie Morrish (1984), der eine Verbindung zwischen akustischen und artikulatorischen Merkmalen der Vokalproduktion (mittels Videofluoroskopie) herstellte. In neuerer Zeit entstanden Arbeiten von Knuuttila et al. (1999), Perrier et al. (1999), Savariaux et al. (2001) sowie Koppetsch & Dahlmeier (2003), Koppetsch (2004). Besondere Erwähnung verdienen Veröffentlichungen Zimmermann (Zimmermann, 2003 sowie Zimmermann et al., 2003), die sich in etwa auf die gleiche Patientengruppe wie die der vorliegenden Arbeit beziehen und neben der Vokalartikulation Veränderungen in der Stimme nach der Therapie eines Mundhöhlenkarzinoms behandeln.

Savariaux et al. 2001 untersuchten die Produktion von Plosiven bei Glossektomierten auf ‚Voice Onset Time‘ und das Vorhandensein einer Plosion. Nach ihren Ergebnissen ist bei allen Patienten eine Veränderung in der temporalen Organisation der artikulatorischen Gesten (‚gestures‘) gegeben, was sich in der Verlängerung der Voice Onset Time sowie einem längeren frikativen Anteil nach der Verschlusslösung beobachten lässt und auf Schwierigkeiten bei der motorischen Koordination hindeutet. Logemann et al. (1993) kamen zu dem Ergebnis, dass die Plosivproduktion im Allgemeinen weit weniger Beeinträchtigungen zeigt als die Produktion linguale Frikative (im Einzelnen /s, z, ʃ, ʒ/).

Zur Artikulation ist anzumerken, dass, wie Engelke, Schönle & Engelke (1990) betonen, die Hauptschwierigkeit der instrumentellen Evaluierung von Zungenbewegungen in ihrer Quantifizierbarkeit liegt. Zahlreiche Versuche wurden unternommen, eine quantitativ verifizierbare Methodik zu erarbeiten, die sich jedoch bei Glossektomierten meist nicht anwenden lassen. So ist die elektromagnetische Artikulographie, wie sie von Engelke und Kollegen vorgeschlagen wird, für die frisch operierten Patienten aufgrund der notwendigen Fixierung von Elektroden an der Zunge mit einer erheblichen Belastung verbunden. Das apparativ wenig aufwendige Verfahren der Funktionspalatographie (Anfärben des Zungen-Gaumen-Kontakts durch Kontrastmittel, Festhalten durch Photographieren) hat den Nachteil der problematischen Quantifizierbarkeit. Die von Imai & Michi (1992) verwendete Elektropalatographie wiederum schränkt die Zahl der zu untersuchenden Patienten stark ein, was sich auf den zeitlichen und finanziellen Aufwand, die mit der Herstellung eines

individuellen künstlichen Gaumens verbunden sind, zurückzuführen sind. Ferner ist die Palatographie aufgrund der velaren Reizung für Personen mit starkem Würgeiz ungeeignet. Die Röntgenkinematographie, die oft für artikulatorische Untersuchungen verwendet wurde, ist – abgesehen von der erheblichen Strahlenbelastung – aufgrund des analogen Datenträgers mit einer aufwendigen Bildbearbeitung behaftet.

Die vorliegende Arbeit möchte primär zum besseren Verständnis der Konsonantenproduktion bei Glossektomierten beitragen, indem die Produktionsseite, d. h. die Artikulation, mit dem akustischen Ergebnis sowie mit dem perzeptiven Eindruck unmittelbar in Beziehung gesetzt werden soll. Als bildgebendes Verfahren wird dabei die dynamische Magnetresonanztomographie (MRT) verwendet, die ein nicht-invasives Verfahren ohne Strahlen- oder physikalische Belastung (in Form eines künstlichen Gaumens oder Elektroden) darstellt und eine digital-zu-digitale Bildübertragung ohne Signalverlust ermöglicht. Die Zielsetzung ist zweierlei: durch die Beschreibung der Korrelation zwischen akustischen Eigenschaften einzelner Konsonanten und den zu ihnen gehörenden artikulatorischen Mustern sollen erfolgreiche Kompensationsmethoden aufgedeckt und evaluiert, ferner die Rolle einzelner artikulatorischer Komponenten, die bisher für normale Sprecher festgehalten wurden, vor einem perzeptiven Hintergrund abgewogen werden. Zum Anderen soll die Operationsdokumentation möglichst genaue Rückschlüsse auf muskulär bedingte Einschränkungen erlauben, die als Basis für die Erklärung funktioneller Ausfälle bei der Lautproduktion dienen können.

Aus diesen Fragestellungen ergibt sich eine Gliederung in die Bereiche Motorik, Akustik, Artikulation und Perzeption. Um Theorie und Praxis nicht ganz auseinander zu reißen, wird die Literatur, die als Grundlage für die hier vorgestellten Untersuchungen gilt, anstatt einer zusammenhängenden Einleitung zu Beginn des jeweiligen Abschnitts vorgestellt. Damit sei die etwas ungewöhnliche Entscheidung begründet, die Abhandlung mit der Darstellung der Untersuchungsmethodik zu beginnen und erst im Anschluss den theoretischen Rahmen für die einzelnen Auswertungsbereiche zu schaffen.

Die Arbeit ist daher folgendermaßen aufgebaut: In Kapitel 1 werden die Patientengruppe sowie Mittel und Material der Untersuchung vorgestellt. In Kapitel 2 wird zunächst eine allgemeine Übersicht über die orofaziale Muskulatur unter besonderer Berücksichtigung der Funktionalität gegeben, gefolgt von allgemeinen Angaben zur Epidemiologie, Ätiologie, Histologie und Therapie der Mundhöhlenkarzinome. Im gleichen Kapitel werden die Patienten anhand ihrer Operationsprotokolle und ihrer allgemeinen motorischen Fertigkeiten vorgestellt.

Kapitel 3 bildet die theoretische Grundlage für den akustischen und den artikulatorischen Teil (Kapitel 4 und 5), die zusammen den größten Raum in der vorliegenden Arbeit einnehmen und auch inhaltlich als ihr Kern aufgefasst werden können. Dabei wird auf die Produktion der alveolaren Sibilanten, des alveolaren Laterals sowie des velaren Frikativs eingegangen. Entscheidend für die Wahl dieser Konsonanten war nebst ihrer guten Kontrastierbarkeit bezüglich Artikulationsart und -stelle ihr Reichtum an spektralen Eigenschaften, die als Grundlage für eine akustische Analyse dienen können, etwa in Vergleich zu den Plosiven. In Kapitel 4 werden diverse akustische Kriterien, die in der bisherigen Literatur für das normale oder beeinträchtigte Sprechen als relevant dargestellt worden sind, ausgehend von einer perzeptiven Beschreibung auf ihre Gültigkeit bei glossektomierten Sprechern überprüft. In Kapitel 5 werden entsprechend diejenigen artikulatorischen Merkmale der Frikativ- und Lateralproduktion evaluiert, die sich mittels Kernspintomographie in der midsagittalen Schicht erfassen lassen. Neben der qualitativen Beschreibung geht es darum, Möglichkeiten für die Quantifizierung zu entwickeln und zu testen. Abschließend wird der Zusammenhang zwischen den akustischen und artikulatorischen Korrelaten diskutiert.

Kapitel 6 hat einen eher allgemeinen Charakter, indem es den perzeptiven Aspekt durch unbefangene Hörer in den Vordergrund stellt, wobei es hier um die Identifizierung einzelner Segmente in Wörtern geht. In Verbindung damit wird der subjektive Eindruck der

Hörer über die Sprechfähigkeit festgehalten. Somit kann die Beurteilung der Einzelausproduktion in einen größeren Rahmen gestellt und der Anteil der Beeinträchtigung der untersuchten Segmente an der gesamten Sprechleistung relativiert werden.

In Kapitel 7 werden die Ergebnisse noch einmal zusammengefasst und abschließend diskutiert. Am Schluss der Arbeit steht eine Literaturübersicht (Kapitel 8) sowie ein Anhang mit den Operationsprotokollen (Kapitel 9).

I Teilnehmer und Methoden der Untersuchung

I.1 Patientenauswahl

Bei der Patientenauswahl wurde auf das reguläre Patientenaufkommen in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie, Klinikum rechts der Isar der TU München, zugegriffen. Das wichtigste Kriterium für die Auswahl der Teilnehmer war, dass der Tumorbefall die Zunge, den Mundboden und/oder den Unterkiefer betraf. Dabei wurde davon ausgegangen, dass anatomische Veränderungen benachbarter Gewebestrukturen (Mundboden und Unterkiefer) einen Einfluss auf die Zungenmotorik ausüben können, selbst wenn die Zunge nicht direkt vom Karzinom betroffen ist. Ein weiteres Kriterium war, dass der derzeitigen Tumorerkrankung keine frühere (onkologische oder das Sprechen allgemein betreffende) Erkrankung vorausging, die Veränderungen in der Mundhöhle hervorgerufen hätte. Ferner wurden Patienten mit Tumorbefall weiterer oraler Strukturen (Gaumen, Oberkiefer usw.) von der Erhebung ausgeschlossen. Um der klinischen Zielsetzung der Studie möglichst nahe zu kommen, blieben Patienten, bei denen die Tumorbehandlung primär nicht chirurgisch, sondern durch Strahlentherapie erfolgte, bei der Untersuchung ebenfalls unberücksichtigt.

In der Zeit zwischen November 2000 und Oktober 2001 wurden insgesamt 18 Patienten mit der unten vorgestellten Untersuchungsmethodik erfasst. Von ihnen konnten schließlich acht Personen in der Auswertung berücksichtigt werden. Die relativ geringe Anzahl der Patienten erklärt sich aus der typischerweise schlechten Compliance (= Kooperationsbereitschaft) für an Kopf-Hals-Tumoren erkrankten Patienten, die sich aus den sozialen und psychologischen Aspekten einer Tumorerkrankung einerseits und aus den erheblichen Einschränkungen der postoperativen Lebensqualität andererseits ergeben (s. Reinboth, 2001, Breitbart & Holland, 1988, 1989). Während die Patienten den akustischen Aufnahmen und der motorischen Untersuchung (s. unten) in der Regel positiv oder neutral gegenüber standen, erlebten sie die magnetresonanztomographische (MRT-) Aufnahme als lästig, zumal diese aus organisatorischen Gründen in den Abendstunden stattfinden musste. Die präoperative Durchführung der MRT stellte dabei meistens kein wesentliches Problem dar (sie erfolgte während des stationären Aufenthaltes unmittelbar vor der Operation), postoperativ stellten sich jedoch nur noch zehn Personen zu einem MRT-Termin zur Verfügung, wovon zwei Aufnahmen nicht verwertbar waren (ein Patient erschien betrunken zum Aufnahmetermin, in einem anderen Fall passierte bei der Aufnahme ein Softwarefehler, der nachträglich nicht zu korrigieren war). Die Gründe für das Wegbleiben der Patienten waren unterschiedlich: bereits begonnene Strahlentherapie, Verschlechterung des gesundheitlichen Zustandes, fehlende Kooperationsbereitschaft² sowie Versterben eines Patienten kurz nach der Operation an einer von dem Tumor unabhängigen Erkrankung.

Die relativ niedrige Anzahl der vollständig erfassten Patienten erklärt, warum in der Analyse zum Teil auch qualitativ eingeschränkte Daten in Kauf genommen wurden (s. unten sowie Kapitel 4 und 5). Das Bestreben, nur komplett verwertbares akustisches Material und gut zu interpretierende MRT-Scans auszuwerten, hätte zu einer Reduktion auf insgesamt eine Versuchsperson (GL8) geführt. Dieses Ergebnis hätte in einem Missverhältnis mit dem enormen Arbeitsaufwand gestanden, mit dem die Datensammlung verbunden war. Auf die

² Bezeichnend für die bekanntermaßen niedrige Compliance ist auch die Rücklaufquote der Fragebogen zur Erfassung der Lebensqualität (LQ), die in dieser Untersuchung keine Berücksichtigung fand: hier waren von 18 lediglich sechs Patienten bereit, Fragen zu ihrer allgemeinen und gesundheitlichen Lebensqualität ein halbes Jahr nach ihrer Operation zu beantworten. Einer der Patienten ist aufgrund der Datenerhebung zur LQ von jeglicher Art von Untersuchungen (einschließlich Sprachaufnahmen) zurückgetreten.

Einschränkungen im Einzelnen und den methodischen Umgang mit ihnen wird an den entsprechenden Stellen der Analyse (Kapitel 4 und 5) eingegangen.

Das gemittelte Alter für die hier untersuchte Patientengruppe (s. Tabelle 1-1) entspricht in etwa den in Deutschland für Oraltumorerkrankungen geltenden Angaben von ca. 50–60 Jahren, wobei das Erkrankungsdatum dreier Patienten aus onkologischen Gesichtspunkten eher als früh eingestuft wird (< 50 Jahre). Die Tatsache, dass der Patientenkreis ausschließlich aus männlichen Personen besteht, geht nicht auf eine bewusste Entscheidung zurück. Vielmehr entspricht sie der Verteilungsstatistik (s. u. a. Metelmann, 1998), die besagt, dass der Frauenanteil bei Kopf-Hals-Tumoren mit ca. 15 % insgesamt geringer als bei Männern ausfällt.

Patient	Geschlecht	Alter (Jahre)	Zeitpunkt post-op. Aufnahme (Monate)
GL1	m	45	1
GL2	m	77	8
GL3	m	45	1
GL4	m	53	6
GL5	m	65	1
GL6	m	45	3
GL7	m	65	2
GL8	m	51	1
—			
\bar{x}		55,75	2,88
s		11,95	2,70

Tabelle 1-1: Übersicht über Teilnehmer: Geschlecht, Alter und Zeitpunkt der postoperativen Aufnahme, arithmetisches Mittel und Standardabweichung.

1.2 Datensammlung

Jeder Patient, der die obigen Kriterien erfüllte, wurde im Rahmen der routinemäßigen Tumordiagnostik einer präoperativen motorischen und sprechsprachlichen Untersuchung unterzogen. Entsprechend der Ausgangsfragestellung nach dem Einfluss struktureller Veränderungen auf die Lautproduktion wurde beabsichtigt, die Operationsfolgen möglichst direkt, ohne die Modifizierung weiterer Behandlungseinheiten (z. B. Strahlentherapie oder sekundäre Rekonstruktionen) zu erfassen. Als idealer Zeitpunkt für die postoperative Aufnahme wurde daher die Zeit von ca. einem Monat nach der Operation angesehen, da die Wundheilung zu dieser Zeit – sofern keine Komplikationen vorlagen – bereits abgeschlossen war, eine eventuelle adjuvante (d. h. der Tumorchirurgie folgende) Bestrahlung jedoch noch nicht begonnen hatte. Wie Tabelle 1-1 zeigt, konnte die zeitliche Vorgabe nicht bei allen Patienten eingehalten werden (aufgrund von Kuraufenthalten, Zweiterkrankungen oder anderen Verhinderungen direkt nach der Operation). Sofern die Patienten keine Bestrahlung erhalten hatten, wurde angestrebt, einen postoperativen Untersuchungstermin selbst mit einem längeren Verzug zu vereinbaren.

1.2.1 Motorische Untersuchung

Prä- und postoperative Einschränkungen im orofazialen Bereich wurden einheitlich, anhand des in Koppetsch (2004)³ veröffentlichten motorischen Untersuchungsbogens dokumentiert. Der Bogen bot neben der Funktion der Anamnese (Anomalien der Sprechorgane über die

³ Der Bogen wurde mir bereits in seiner Testphase zur Verfügung gestellt, wofür ich Sabine Koppetsch an dieser Stelle gesondert danken möchte.

derzeitige Erkrankung hinaus) eine umfassende Funktionsdiagnostik von Bewegungen des Unterkiefers, der Lippen, der Zunge, des Halses sowie der Schultern.

Die Untersuchung der Kieferfunktion umfasste Bewegungsstörungen und Asymmetrien des Unterkiefers sowie die Schluckfunktion. Asymmetrien der Lippen wurden in Hinblick auf die möglichen Nervenschädigungen erfasst: eine Seitenabweichung der Unterlippe kann auf die Beeinträchtigung des N. facialis hindeuten, ein Sensitivitätsausfall macht eine Schädigung des N. mentalis wahrscheinlich, während der unkomplette Lippenschluss eine Störung des M. orbicularis oris vermuten lässt.

Im Bogen wurde ferner die Form und Ruhelage der Zunge festgehalten, die maximale Ausdehnung der horizontalen und vertikalen Bewegung, die Beweglichkeit der Zungenspitze (Kreisen auf den Lippen und am Zahndamm, Zunge gegen die Wange drücken), sowie die Zungenkraft (Heben gegen einen Widerstand). Durch Kopf- und Schulterbewegungen wurden eventuelle Folgen der Neck dissection (s. 2.2.2) dokumentiert.

1.2.2 Akustische Daten

Die Aufnahme der akustischen Sprachdaten erfolgte mittels eines Studiomikrophons der Marke Audiotechnika (AT 4033a) und eines Vorverstärkers Behringer Ultragain 2000, in der ersten Untersuchungsperiode direkt über einen PC, später über einen DAT-Recorder (Sony DTC-ZE700). Die Abtastrate wurde aus Speicherkapazitätsgründen anfangs auf 11 kHz, später aus Gründen der besseren akustischen Analysierbarkeit auf 22 kHz festgelegt. Trotz der Bemühungen um eine möglichst gute Aufnahmequalität konnte unter den gegebenen räumlichen Bedingungen (Aufnahmeraum mit einfach verglasten Fenstern direkt zu einer stark befahrenen Straße) kein ideales akustisches Ergebnis erzielt werden.

Das in Kapitel 4 ausgewertete Datenmaterial besteht aus neun Testwörtern.⁴ Diese wurden so ausgewählt, dass sie alle linguale Konsonanten (in stimmhafter oder stimmloser Ausprägung) sowie alle Vokale des Deutschen (möglichst als Langvokal) enthalten. Die Entscheidung, statt besser kontrollierbarer Logatome echte Wörter zu verwenden, lag erstens in den erschwerten kommunikativen Bedingungen bei der MRT begründet⁵, zweitens waren die Patienten z. T. damit überfordert, abstrakte artikulatorische Bewegungen oder für sie unbekannte oder sinnlose Lautfolgen zu reproduzieren. Die Verwendung von Echtwörtern hat einerseits den Nachteil konnotativer Verbindungen (weswegen beispielsweise das Testwort *jüdisch* aus der Wortliste gestrichen werden musste, da es bei einem Großteil der Patienten auf Abneigung gestoßen war), zweitens entstanden durch die unterschiedlichen Positionen und vokalischen Umgebungen der Ziellaute schwer kontrollierbare koartikulatorische Effekte wie z. B. perseverative, d. h. auf das folgende Segment ausgedehnte Lippenrundung nach primär oder sekundär gerundeten Lauten. Auf der anderen Seite mussten neben konsonantischen auch vokalische Faktoren bei der Wortlistenstellung beachtet werden, da diese den Gegenstand einer weiteren Arbeit (Zimmermann, 2003a) bildeten.

In die Einzellautanalyse sind zwei alveolare Frikative (/z/⁶ und /ʃ/), der alveolare Lateral // sowie der velare Frikativ /x/ eingegangen. Die Auswahl der Segmente erfolgte primär nach Gesichtspunkten der Kontrastierbarkeit (alveolar vs. postalveolar bei /z/ und /ʃ/, apikal

⁴ Für weitere Auswertungen wurde pro Patient zusätzlich ein frei gesprochener Text, schnell wiederholte Silben sowie eine vorgelesene Geschichte akustisch aufgenommen.

⁵ Aufgrund des hohen Geräuschpegels während der MRT-Aufnahme mussten die Patienten mit Ohrstöpseln ausgestattet werden, was eine Kommunikation über Mikrofon in den Aufnahmepausen einschränkte.

⁶ Abweichend von der in Kapitel 3 gegebenen allgemeinen Darstellung liegt der Analyse nicht das stimmlose /s/, sondern dessen stimmhafte Entsprechung, /z/, zugrunde. Die Wahl der stimmhaften Ausprägung ist allein in der Beschaffenheit der Testwörter begründet, indem die Aspekte der Distribution mit einer hochgradigen Sparsamkeit kombiniert werden mussten, um die Zeit der Röntgen- und Kernspinaufnahmen möglichst kurz zu halten.

vs. laminal bei // und /z, ʃ/, obstruent vs. sonorant (Frikative vs. Lateral) sowie anterior vs. posterior (/z, ʃ, l/ gegenüber /x/). Plosive wurden aufgrund des kleineren akustischen Beschreibungsinventars in die Auswertung nicht einbezogen.

Konsonant	Zielwort
/z/	<i>Rosi</i>
/ʃ/	<i>jüdisch/Schädel</i>
/x/	<i>Tuch</i>
//	<i>lang (+Juli)</i>

Tabelle 1-2: Übersicht über untersuchte Einzelkonsonanten sowie ihr Trägerwort.

1.2.3 Artikulatorische Daten

Das bildgebende Verfahren, das die Grundlage für die artikulatorische Analyse bildete, war die Kernspintomographie, genannt auch Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) oder ‚Magnetic Resonance Imaging‘ (MRI), deren Vorteil neben der guten Bildqualität in ihrem nicht-invasiven (d. h. für den Patienten unschädlichen) Charakter besteht. Dieses Verfahren, das etwa seit Mitte der 80-er Jahre in der Medizin angewandt wird, basiert auf dem unterschiedlichen Resonanzverhalten von Wasserstoffatomen in verschiedenen Gewebetypen. Durch einen Hochfrequenzpuls werden die Spins um 90° aus der xy-Ebene gekippt, wobei sie mit einer gewebespezifischen longitudinalen Relaxationszeit T1 allmählich in ihre Ausgangslage zurückkehren. Es gibt zwei verschiedene Möglichkeiten, durch die Erzeugung eines sogenannten "Echos" die Dephasierung der Spins in der xy-Ebene (entsprechend der transversalen Relaxationszeit T2) rückgängig zu machen. Die sog. Spinecho-Sequenz, die pro Messung einen 90°-Puls und einen 180°-Puls sendet, hat ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis, ist jedoch etwas langsamer. Bei der sog. Gradientenecho-Sequenz wird der 180°-Puls durch ein spezielles Gradientenfeld ersetzt, wodurch die Messung beschleunigt, gleichzeitig aber auch das Signal-Rausch-Verhältnis verschlechtert wird (s. Vlaardingerbroek & den Boer, 1997, Shadle et al., 1999).⁷

Da der Schwerpunkt in der vorliegenden Untersuchung auf einer möglichst guten zeitlichen Auflösung der Bildrate lag, wurden Gradientenecho-Sequenzen verwendet und die damit verbundenen qualitativen Einbußen in Kauf genommen. Die Sequenzen wurden auf einem Philips ACS NT Gyroscan bei einem magnetischen Hauptfeld mit der Stärke $B_0 = 1,5$ Tesla erzeugt. Erfasst wurde die midsagittale Ebene mit einer Schichtdicke von 10 mm, die einerseits eine ausreichende Differenzierung im koronalen Bereich erlaubt und andererseits geringe individuelle Abweichungen von der Mitte (z. B. bei der apikalen // - Artikulation) mit erfasst. Die zeitliche Auflösung betrug anfangs sechs Bilder/s, nach Einführung der SENSE-Technik (s. Prüssmann et al., 1999), die durch die Verwendung mehrerer Empfangsantennen eine höhere Bildrate bei nahezu gleich guter Qualität produzieren kann, wurde die Auflösung auf acht Bilder/s erhöht. Gleichzeitig verschwanden die für die Gradientenecho-Sequenz charakteristischen Spiegelungsartefakte (der rechte aufgenommene Abschnitt wird links im Bild eingeblendet, siehe z. B. die präoperativen Aufnahmen von GL1 bis GL5 in Kapitel 5).

Jedes Wort wurde während einer 10 Sekunden langen Aufnahmesequenz wiederholt, so dass es – je nach Sprechtempo – fünf bis elf Mal realisiert wurde. Die höhere Anzahl der Wiederholungen im Vergleich zur Akustik sollte helfen, die durch die zu große Zeitfenster bedingte Produktionsvarianz aufzufangen und die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass der Moment des Verschlusses mehr als einmal erfasst wird.

⁷ Dank an Dr. Ambros Beer und Dr. Ulrich Katscher für ihre hilfreichen Kommentare zur Funktionsweise der MRT.

Im Anschluss an die Testwörter wurden zwei Zungenbewegungen (Zunge strecken und auf- und abwärts bewegen, mit Zungenspitze rückwärts am Gaumen entlang fahren) sowie der Schluckvorgang aufgenommen, um zusätzliche Informationen über Zungenmotorik und Schluckfunktion zu erhalten.⁸ Die Daten wurden im DICOM-Format festgehalten und nach einer Konvertierung mit MATLAB 6.1 weiter verarbeitet.

Theoretische Bedenken über die Vergleichbarkeit der akustischen und artikulatorischen Erfassung der Konsonantenproduktion, die sich aus der unterschiedlichen Position bei der Aufnahme (sitzend vs. liegend) ergeben, werden in Bezug auf die Konsonanten durch die Ergebnisse von Tiede, Masaki & Vatikiotis-Bateson (2000) beseitigt. In ihrer Arbeit wurde für die alveolaren Plosive sowie den dorsalen Approximanten /j/ mittels elektromagnetischer Artikulographie („Electromagnetic Midsagittal Articulography“, EMMA) eine weitgehende Konsistenz zwischen den Positionen festgestellt (jedoch nicht für labiale Konsonanten und Vokale). Aus diesem Grund wurde der eventuelle Effekt der unterschiedlichen Positionen im Folgenden vernachlässigt.

1.2.4 Verständlichkeit und Perzeption

Auf die detaillierte auditive Beurteilung der Produktion der untersuchten Segmente wird im Rahmen der akustischen Auswertung eingegangen. Ergänzend sollte jedoch die allgemeine Verständlichkeit der Patienten untersucht sowie eine Bewertung durch „unbefangene“, außenstehende Personen eingeholt werden. Zu diesem Zweck wurde das Münchner Verständlichkeitsprofil (MVP, Ziegler, Hartmann & Wiesner, 1992, und Ziegler & Hartmann, 1993) eingesetzt, das neben einem Wortidentifikationstest (mit vorgegebenen Entscheidungsmöglichkeiten, sog. ‚closed response list‘) Punktskalen zur Bewertung von Störungsgrad, Deutlichkeit und Tempo des Sprechens enthält und somit auf größere sprachliche Einheiten als die Einzellautproduktion (phonologische, morphologische und syntaktische Ebene) hindeutet. Um die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern, wird das Testverfahren in Kapitel 6, unmittelbar vor der Darstellung der Ergebnisse, detailliert besprochen.

Patient	Zeitpunkt der MVP-Aufnahme	Anzahl Hörerbewertungen
GL1	6 Monate nach Bestrahlungsende	6
GL2	8 Monate nach Operation	6
GL3	— ⁹	—
GL4	6 Monate nach Operation	6
GL5	18 Monate nach Bestrahlungsende	1
GL6	4 Wochen nach Operation	5
GL7	6 Wochen nach Operation	6
GL8	4 Wochen nach Operation	6

Tabelle 1-3: Aufnahmen MVP: Zeitpunkt der Aufnahme und Anzahl von Hörerbewertungen.

⁸ Da die Echtzeit-MRT in der Radiologie bisher nicht routinemäßig eingesetzt wird, wurden die Testwörter und die Zungenbewegungen zusätzlich mit dem röntgenkinematographischen Verfahren festgehalten (Durchleuchtungsaufnahmen auf Videoband, zeitliche Auflösung: 25 Bilder/s). Die Auswertung dieser Aufnahmen und der methodische Vergleich zwischen Röntgenkinematographie und Echtzeit-MRT mit dem gleichen Datenmaterial bildet den Gegenstand einer medizinischen Doktorarbeit am Institut für Radiologie, Klinikum rechts der Isar München.

⁹ Die Durchführung des MVP war bei diesem Patienten aus organisatorischen Gründen nicht möglich.

Im Idealfall werden die Patienten prä- und postoperativ aufgenommen und von je sechs Hörern beurteilt. Allerdings stand der Testplatz nicht gleich zu Projektbeginn zur Verfügung, so dass bei dem Großteil der Patienten nur eine postoperative Aufnahme möglich war, zwei Patienten (GL1 und GL5) konnten erst längere Zeit nach Bestrahlungsende aufgenommen werden, ein Patient (GL3) wurde mit dem MVP nicht erfasst. Das Testergebnis stellt somit keinen direkten Zusammenhang mit den akustischen und artikulatorischen Aufnahmen dar. Dennoch eignet es sich, um zu Erkenntnissen über die Fremdbeurteilung der Sprechfähigkeit der Patienten zu gelangen.

1.2.5 Surgical-Mapping-Protokoll

Um die postoperativen Ergebnisse möglichst genau beurteilen zu können, wurden alle Eingriffe im Anschluss an die Operation von einer Phonetikerin und dem Operateur gemeinsam protokolliert und in einer dafür geschaffenen Datenbank festgehalten. Während der Datensammelungsphase wurden zwei verschiedene Protokolle eingesetzt, um deren Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen. Beide Protokolle entstanden an Hochschuleinrichtungen in Schottland und wurden uns im Rahmen einer DAAD-geförderten Kooperation zur Verfügung gestellt.

Das erste Protokoll wurde in Mackenzie Beck et al. (1998) vorgestellt (s. Anhang, GL1, GL6, GL7, GL8). Vorteile dieses Protokolls sind die übersichtliche Struktur (ein Bild jeweils in der lateralen, koronalen und axialen Dimension, wobei Letzteres auf Oberkiefer- und Unterkiefer aufgeteilt wird) und die nachträglich integrierte Möglichkeit, die Rekonstruktion getrennt von der Resektion darzustellen (s. Bressmann et al., 2002). Die Idee der Entwickler, die Mundhöhle anhand des Protokolls in insgesamt 24 Sektoren aufzuteilen, wurde in dieser Arbeit nicht übernommen, da die geringe Patientenzahl eher eine Einzelfallbeschreibung als eine Übersichtsdarstellung nahe legte und ferner, da die Anzahl der Sektoren von Bressmann et al. nicht als relevanter Faktor für die postoperative Sprechfähigkeit nachgewiesen werden konnte.

Das Protokoll von Nicoletti et al. (1999)¹⁰, das in der plastischen Chirurgie des Canniesburn Hospital Glasgow eingesetzt wird, stellt die Mundhöhle aus vielen verschiedenen Blickwinkeln dar (s. Anhang, GL2 bis GL5). Es enthält Einzeldarstellungen der Gesichtsmuskulatur, der zungenintrinsicischen Muskulatur (Zunge in axialer und lateraler Sicht), der zungenextrinsicischen und der Mundbodenmuskulatur sowie des weichen Gaumens in insgesamt 14 Abbildungen. Im Anschluss an das Protokoll findet sich ein Fragebogen über vermutlich betroffene Nerven und Muskeln.

Die detaillierte Darstellung wurde von den Kieferchirurgen langfristig eher als störend empfunden. Zusätzlich war es in vielen Fällen nicht möglich, über das Ausmaß der Muskel- und Nervschädigungen genau Auskunft zu geben. Als nachteilig wurde ferner gewertet, dass das Protokoll keine gesonderte Abbildung der Rekonstruktion ermöglicht. Aus diesem Grund wurde ab der Hälfte der Datensammlung erneut das Protokoll von Mackenzie Beck et al. (1998) eingesetzt.

¹⁰ G. Nicoletti, J. M. MacDonald, M. Jackson, D. S. Soutar, A. G. Robertson, Canniesburn Hospital & Medical Illustration Services Glasgow Royal Infirmary. Unveröffentlicht.

2 Mundhöhle: Muskulatur, Tumoren und ihre Therapie

2.1 Orofaziale Muskulatur

Zu Beginn des folgenden Abschnitts soll eine kurze Übersicht über die anatomische Beschaffenheit der orofazialen Region beim Menschen stehen. Die Darstellung dient primär dem Zweck, eine Grundlage für die nachfolgende Prüfung funktioneller Einschränkungen zu bilden, sie fokussiert daher auf die Bereiche Zunge, Mundboden und Unterkiefer, die bei der hier vorgestellten Patientengruppe betroffen sind oder sein können. Dabei wird das Gewicht auf die Beschreibung der funktionellen Einheiten, insbesondere der Muskulatur für Sprechen, Kauen und Schlucken, gelegt. Auf anatomische Strukturen im Allgemeinen wird nur soweit eingegangen, wie es zum Verständnis der Myofunktion notwendig ist.

Die Muskeln des orofazialen Bereiches sind an folgenden Funktionen beteiligt: Mimik, Kauen, Schlucken, Artikulation, Phonation sowie Positionierung und Bewegung von Kopf, Unterkiefer und Lippen. Ihre Innervation erfolgt durch den N. trigeminus (V. Hirnnerv) bzw. seine Äste, den N. facialis (VII. Hirnnerv) sowie den N. hypoglossus (XII. Hirnnerv).

2.1.1 Kaumuskeln

Zu den Kaumuskeln gehören der M. temporalis, M. masseter, M. pterygoideus medialis und M. pterygoideus lateralis. Sie sind bilateral angelegt und setzen am hinteren Teil des Unterkiefers an. Ihre Innervation erfolgt durch den N. trigeminus. Je nach ihrer Lage sind sie für die Adduktion (Heranziehen), Protrusion (Vorwärtsziehen), Retrusion (Rückwärtsziehen), Laterotrusion (Seitwärtsziehen), Mediotrusion (in die Mitte ziehen) oder Abduktion (Herabziehen) des Unterkiefers verantwortlich (eine detaillierte Beschreibung findet sich in Schuhmacher, 1991, bzw. in Waldeyer & Mayet, 1986). Die enorme Kraft der Kaumuskulatur lässt sich an der Gesamtkaukraft verdeutlichen: nach theoretischen Berechnungen ist der Mensch zu einer Krafterweiterung von ca. 2000 Newton in der Lage, zwei Drittel fallen davon auf die Adduktion (für artikulatorische Bezüge der Unterkieferbewegungen s. u. a. Ostry & Vatikotis-Bateson, 1994, Ostry, Shiller & Laboisiere, 2001).

2.1.2 Gesichtsmuskeln

Die Gesichtsmuskulatur besteht aus Muskeln, die mit der Haut eine funktionelle Einheit bilden. Sie sind in erster Linie um die Augen, Ohren, Mund und Nase verteilt, finden sich jedoch auch am Schädeldach und am Hals. Von diesen Muskeln, die allesamt vom N. facialis innerviert werden, soll nur der Fazialmuskel des Halses, das Platysma hervorgehoben werden (s. Abbildung 2-1), da er vom chirurgischen Eingriff meistens betroffen ist und ferner für die Rekonstruktion von Oraltumoren eine wichtige Rolle spielt.

Das Platysma ist eine dünne Muskelplatte unmittelbar unter der Haut, das von oben medial nach unten lateral verläuft. Es entspringt von der Fascie des großen Brustmuskels (M. pectoralis major) und des Deltamuskels und setzt am Unterkiefertrand an. Seine Kontraktion führt zur Bildung von Längsfalten in der Halsregion und zum Herabziehen des Mundwinkels und des Unterkiefers. Ferner unterstützt es die Funktion der mimischen Muskulatur. Das Platysma ist beim Menschen stark zurückgebildet, während es bei zahlreichen Säugetieren eine wichtige Funktion erfüllt: seine Bewegung entlang des Rumpfes dient dem Wegscheuchen von Fliegen, wie es bei Pferden und Rindern bekannt ist.

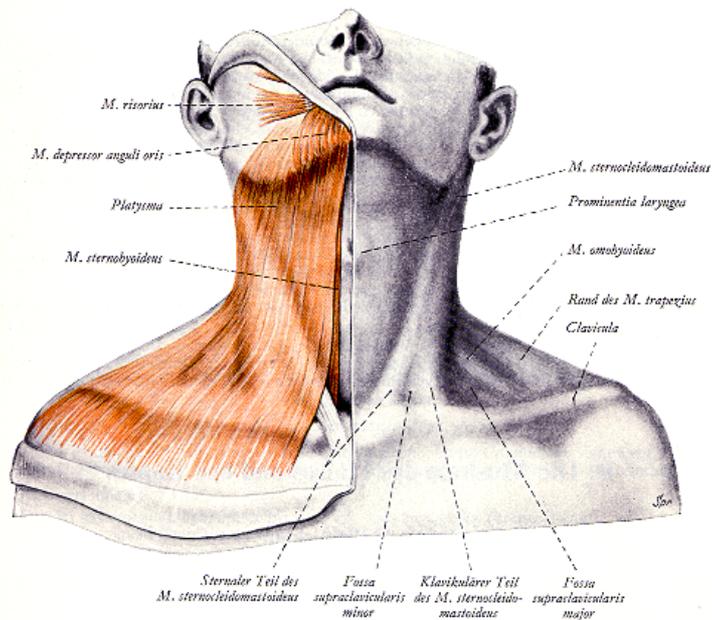


Abbildung 2-1: Lage des Halsmuskels Platysma. (Quelle: Waldeyer & Mayet, 1996: 76.)

2.1.3 Zungenbeinmuskeln

Die Muskeln des Zungenbeins und der Zunge dienen entwicklungsgeschichtlich gesehen primär dem Schlucken, sekundär der Artikulation und der Phonation.

Die oberen Zungenbeinmuskeln, die sog. Mm. suprahyoidei, bilden den muskulösen Mundboden. Der wichtigste Bestandteil des Mundbodens ist der M. mylohyoideus, der an der Innenseite des Unterkiefers entspringt, am Zungenbein ansetzt und vom N. mylohyoideus (Ast vom N. mandibularis, entstammt dem N. trigeminus) innerviert wird. Die Muskelfasern verlaufen transversal und horizontal und bilden ein enges, quer verlaufendes Gitter. Über diesem Muskel liegt der paarige M. geniohyoideus (Innervation: Zervikalnerven I und 2, streckenweise N. hypoglossus), der an der Innenseite des Kinns (Spina mentalis) entspringt und ebenfalls am Zungenbein ansetzt. Der M. digastricus entspringt unterhalb der M. mylohyoideus an der Innenseite des Unterkiefers und verläuft längs zum Zungenbein, an dem er durch eine Zwischensehne mit seinem hinteren Bauch verbunden ist, der wiederum vertikal nach hinten weiterläuft und an der Incisura mastoidea ansetzt. Der vordere Bauch wird vom N. mylohyoideus, der hintere vom N. facialis innerviert. Die Verbindungssehne ist eingefasst vom M. stylohyoideus (Innervation: N. facialis), der parallel zum hinteren Bauch des M. digastricus verläuft. Die Mm. geniohyoideus und der M. digastricus venter anterior unterstützen den M. mylohyoideus in seiner Wirkungsweise, eine Spannung der Mundbodenmuskulatur zu gewährleisten.

Die vorrangige Aufgabe des Mundbodens ist die Kieferöffnung. Der Mundboden ist ein Gitter von Muskeln; die Querverspannung ist durch den M. mylohyoideus, die Längsverspannung durch den M. geniohyoideus sowie den vorderen Bauch des M. digastricus (venter anterior) gewährleistet. Alle Muskeln sind paarig angelegt, s. Abbildung 2-2.

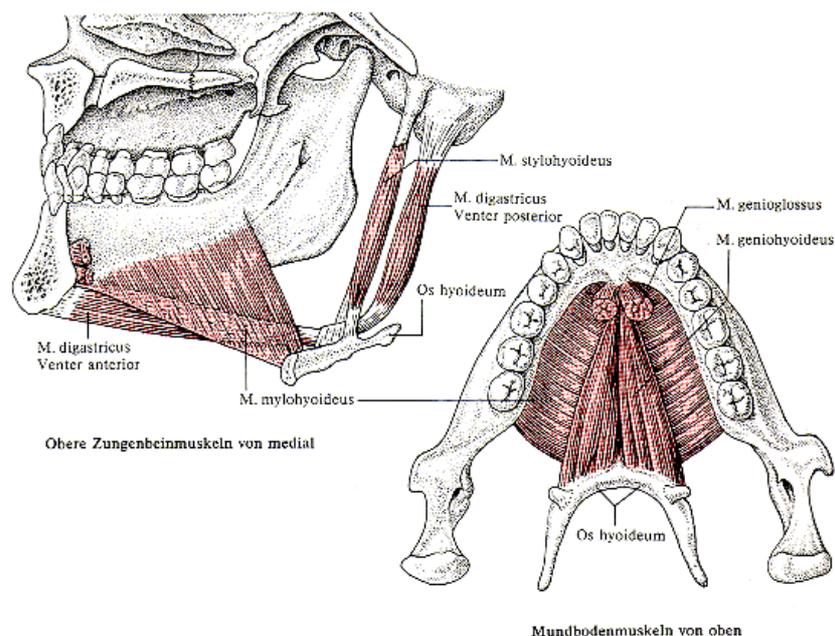


Abbildung 2-2a, b: Obere Zungenbeinmuskeln (a) im Sagittalschnitt und (b) von oben.
(Quelle: Schumacher, 1991: 313.)

Die oberen Zungenbeinmuskeln wirken beim Öffnen des Unterkiefers und beim Heben des Mundbodens mit. Zum Öffnen des Unterkiefers muss zuerst das Zungenbein durch den M. stylohyoideus und den vorderen Bauch des M. digastricus sowie die sog. unteren Zungenbeinmuskeln (Mm. sternohyoideus, sternothyroideus, thyrohyoideus und omohyoideus) fixiert werden, dann können die Mundbodenmuskeln den Unterkiefer herabziehen und die Lippen öffnen. Wird der Unterkiefer durch die Kaumuskeln fixiert, kann der Mundboden und dadurch die Zunge angehoben und an den Gaumen gepresst werden (orale Phase des Schluckens). Das Zungenbein muss für den Schluckvorgang nach vorn gezogen werden, was durch den M. geniohyoideus (nach einigen Beschreibungen durch die gesamte Mundbodenmuskulatur) erreicht wird, während das Hyoid bei der Phonation durch den M. stylohyoideus (evtl. ergänzt um den M. digastricus venter posterior) nach hinten gezogen wird.

2.1.4 Extrinsische und intrinsische Zungemuskeln

Die Zunge besteht vorwiegend aus Muskelfasern. Sie ist von Schleimhaut bedeckt und wird durch das Septum linguae in zwei Hälften geteilt. Die Zungenmuskeln lassen sich in extrinsische (äußere, Skelett-) und intrinsische (innere, Binnen-, Eigen-) Muskeln einteilen, wobei die extrinsischen Muskeln ihren Ursprung am Branchialskelett und die intrinsischen Muskeln ihren Ursprung und ihren Ansatz in der Zunge haben. Meist enden sie an der Zungenaponeurose (s. Abbildung 2-3). Alle Zungenmuskeln werden vom N. hypoglossus innerviert.

Zu den äußeren Zungenmuskeln gehören der M. genioglossus, der von unten vorn fächerförmig in die Zunge einstrahlt und unmittelbar über dem M. geniohyoideus liegt. Die Mm. hyoglossus und chondroglossus dringen von unten in die Zunge ein, während der M. styloglossus vom Processus styloideus her nach vorn über die rechte und linke Zungenseite bis zur Spitze läuft, wo sich die beiden Stränge verbinden (s. Schuhmacher, 1991, Waldeyer & Mayet, 1986, für artikulatorisch relevante Funktionen: Perkell, 1996, Perrier et al., 2003).

Die intrinsischen Muskeln der Zunge bilden ein enges Geflecht durch den gesamten Zungenkörper hindurch: der M. longitudinalis superior verläuft unterhalb der Aponeurose entlang der Zungenoberseite, der M. longitudinalis inferior entlang der Zungenunterseite, von der Zungenwurzel bis zur Zungenspitze. Der M. transversus linguae zieht quer durch die

Zunge, die meisten Stränge enden am Septum linguae, einige treten in die andere Zungenhälfte über. Der M. verticalis linguae verläuft von oben nach unten innerhalb des Zungenkörpers und setzt an der Aponeurose an (Takemoto, 2001, Schuhmacher, 1991, Waldeyer & Mayet, 1986).

Durch die enge Muskelvernetzung ist die Zunge extrem beweglich. Ihre Spitze kann fast jeden Punkt innerhalb der Mundhöhle erreichen. Die extrinsischen Zungenmuskeln beeinflussen die Lage der Zunge. Die Rückwärtsbewegung ist durch den M. styloglossus (oben) und den M. hyoglossus (unten) gewährleistet. Der fächerförmige M. genioglossus führt je nach Faserrichtung zu unterschiedlichen Bewegungen: die hinteren Fasern ziehen die Zungenwurzel nach vorn, die mittleren nach vorn unten, während die vorderen Fasern die Zungenspitze nach unten biegen und die Zungenmitte nach unten ziehen.

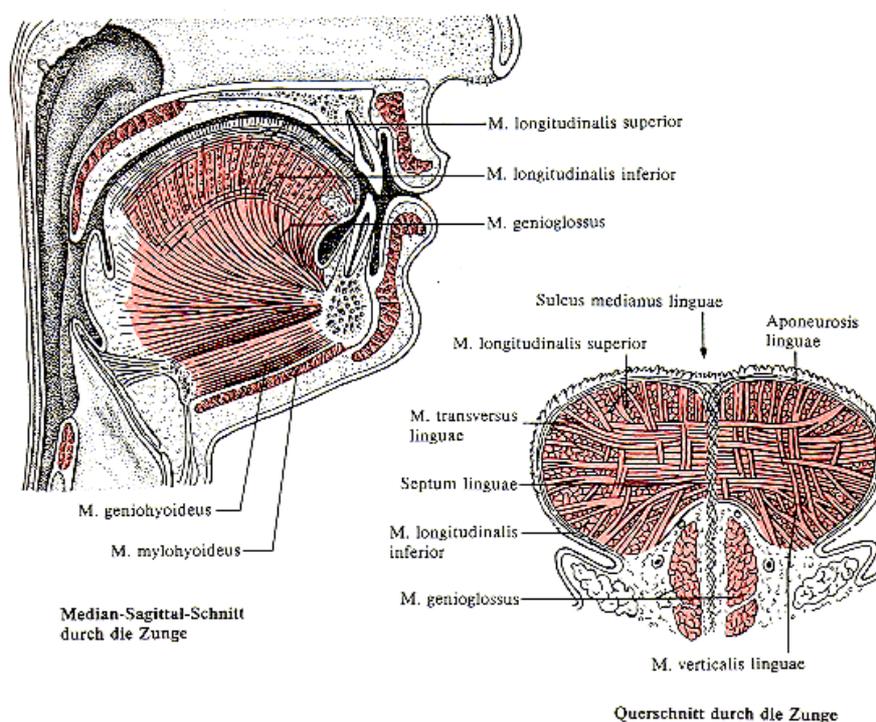


Abbildung 2-3a, b: (a) Extrinsische und intrinsische Zungenmuskulatur, (b) intrinsische Zungenmuskulatur im Querschnitt. (Quelle: Schumacher, 1991: 315.)

Für Formveränderungen der Zunge sind die intrinsischen Zungenmuskeln zuständig (Hellstrand, 1981, Schuhmacher, 1991, Waldeyer & Mayet, 1986). Die longitudinalen Muskeln (Mm. inferior und superior) können die Zunge zusammenziehen und verkürzen oder die Lage der Zungenspitze verändern. Die Kontraktion der vertikalen Muskelstränge trägt zum Flachwerden der Zunge bei, außerdem entsteht durch ihre partielle Kontraktion eine mittige Längsrinne. Durch die Aktivität der transversalen Muskeln verschmälert sich die Zunge. Sie können aber, gemeinsam mit dem M. verticalis, auch zum Strecken beitragen, nachdem die Zunge durch den M. genioglossus und das Zungenbein durch die Mundbodenmuskulatur nach vorn gezogen wurden.

Zu den orofazialen Muskeln gehören ferner die Gaumen- und Schlundbogenmuskeln, die zusammen die Muskelsehnenplatte des Velums, die Aponeurosis palatina, bilden. Zu dieser Muskelgruppe gehören das M. tensor veli palatini (spannt das Velum), M. levator veli palatini (hebt das Velum), M. uvulae (Zäpfchenmuskel) und der M. palatopharyngeus (Gaumen-

schlundmuskel). Ihre Aufgabe besteht darin, den Weg aus der Mundhöhle zur Nasenhöhle zu verschließen, was beim Schlucken und Sprechen eine wesentliche Rolle spielt hat.

Für die bessere Übersichtlichkeit wurden die wichtigsten Zungenbein- sowie Zungenmuskeln in Tabelle 2-1 noch einmal zusammengefasst.

Bezeichnung	Einteilung	allgemeine Funktion	spezielle Funktion
M. mylohyoideus	obere Zungenbeinmuskeln	Unterkiefer öffnen, Mundboden heben, Lippen öffnen, Zunge anheben	Querverspannung des Mundbodens, Hebung des Zungenbeins
M. geniohyoideus			Längsverspannung des Mundbodens, Vor- und Aufwärtsziehen des Zungenbeins, Weiten des Rachens
M. digastricus venter anterior			Längsverspannung des Mundbodens, Fixierung des Zungenbeins
M. stylohyoideus			Heben und Rückwärtsziehen des Zungenbeins, Verlängerung des Mundbodens
M. sternohyoideus	untere Zungenbeinmuskeln	Zungenbein fixieren	Senken des Zungenbeins
M. sternothyroideus			Senken von Zungenbein und Kehlkopf
M. thyrohyoideus			Senken von Zungenbein und Heben von Kehlkopf
M. omohyoideus			Rück- und Abwärtsziehen des Zungenbeins
M. genioglossus	zungenextrinsische Muskeln	Zungenlage verändern	vorn: Ziehen der Zungenspitze nach unten, mittig: Ziehen der Zungenwurzel nach vorn und unten, hinten: Ziehen der Zungenwurzel nach vorn
M. styloglossus			Ziehen der Zunge nach hinten und oben
M. chondroglossus			Ziehen der Zunge nach unten und hinten
M. hyoglossus			Ziehen der Zunge nach hinten und unten
M. longitudinalis superior	zungenintrinsische Muskeln	Zungenform verändern	Zusammenziehen und Verkürzen der Zunge
M. longitudinalis inferior			Zusammenziehen und Verkürzen der Zunge
M. verticalis			Verflachen und Strecken der Zunge, Längsvertiefung der Zungenmitte
M. transversus			Verschmälern und Strecken der Zunge

Tabelle 2-1: Übersicht über obere und untere Zungenbeinmuskeln sowie über die Zungenmuskulatur. (Quellen: Schuhmacher, 1991, Waldeyer & Mayet, 1986.)

2.2 Mundhöhlenkarzinome

Die Hauptrisikofaktoren für die Entstehung eines Mundhöhlenkarzinoms sind Nikotin- und/oder Alkoholkonsum. Die Kombination von beiden Giftstoffen erhöht das Erkrankungsrisiko auf ein 15faches (eine detaillierte Übersicht in Abhängigkeit des täglichen Alkohol- und Nikotinkonsums findet sich bei Engleder, Springer & Friedl, 1992: 7). Andere Krankheitsursachen können genetische Veranlagung, Lebensalter, Virusinfektionen, Fehl- und Mangelernährung, berufs- oder umweltbedingte Berührungen mit karzinogenen Schadstoffen,

schlechte Mundhygiene oder physikalische Ursachen wie Druckstellen von Prothesen sein. Dabei scheint die Wirksamkeit der Karzinogene auf die Mundschleimhaut etwas geringer ausgeprägt zu sein als auf die äußere Haut, was sich auch daran zeigt, dass die Lippen häufiger von Karzinomen befallen sind als die Mundhöhle. Als Erklärung wird meist die chemische und physikalische Schutzwirkung des Speichels genannt (Metelmann, 1998). Die Betroffenen sind in der überwiegenden Mehrheit Männer (Erkrankungshäufigkeit 7-mal so hoch wie bei Frauen), die meisten Patienten sind bei ihrer ersten Erkrankung zwischen 50 und 60 Jahre alt (ebda.).

Wie in der Einleitung erwähnt, ist die Überlebensrate bei den Kopf-Hals-Tumoren relativ hoch: die Zahl der Neuerkrankungen pro Jahr ist ca. doppelt so hoch wie die der krankheitsbedingten Todesfälle. Allerdings zeigt die Krankheitsstatistik eine steigende Tendenz, was meist mit dem allgemein steigenden Alkohol- und Nikotinkonsum erklärt wird.

2.2.1 Charakteristik und Klassifizierung der Plattenepithelkarzinome

Die häufigste Tumorart im orofazialen Bereich ist das Plattenepithelkarzinom (PECA). Diese Tumorart entsteht an der Schleimhaut in der Mundhöhle, ist hart und verursacht im Anfangsstadium keine Schmerzen, was eine Früherkennung erschwert. Die Stammzellen des Tumors sind in der Basalzellschicht der Haut lokalisiert und breiten sich von dort allmählich kugelförmig aus. Später wird die Hautdecke aufgerissen, die aus aktiven Tumorzellen bestehende Schicht wird sichtbar, mit einer Vertiefung (Ulkus) in der Mitte, bestehend aus abgestorbenen (nekrotischen) Tumorzellen. Durch den schnellen Anschluss an die Lymphgefäße ist eine frühe Metastasierung der Lymphwege charakteristisch: bereits bei den kleinsten Tumoren liegen in 14 % der Fälle Lymphknotenmetastasen vor; für die Gesamtheit der Tumoren beträgt der Anteil 35 %. Die Tumoren liegen zu 75 % in den vorderen zwei Dritteln der Zunge, Karzinome des Zungengrundes sind entsprechend etwas seltener. Die meisten Tumoren wachsen vom Zungenrand ausgehend, Tumorbildungen in der Mittellinie sind selten (Noltenius, 1987, Metelmann, 1998).

Zum Tumorstaging gehören eine Probeentnahme mit anschließender histologischer Untersuchung sowie die Diagnostik mittels bildgebender Verfahren (Computertomographie, Magnetresonanztomographie, Ultraschall). Nach der Befundung wird die Behandlung in einer interdisziplinären Tumorkonferenz festgelegt, unter Hinzuziehung von Radiologen, Nuklearmedizinern, Strahlentherapeuten, Internisten und evtl. Medizinern aus anderen Bereichen (Augenärzte o. ä.).

Primärtumoren (T) der Mundhöhle werden, entsprechend der Richtlinien der UICC (*Union International Contré le Cancer*), nach ihrer Größe in vier Klassen aufgeteilt:

T1:	≤ 2 cm
T2:	2–4 cm
T3:	> 4 cm
T4:	Tumor mit Ausdehnung in benachbarte Strukturen (z. B. Knochen, extrinsische Zungenmuskulatur, Kieferhöhle, Haut).

Zusätzlich zur Tumorgöße werden die Differenziertheit des Tumorgewebes (G1: ‚gut differenziert‘, G3: ‚schlecht differenziert‘), das Vorhandensein von Lymphknotenmetastasen je nachdem, ob sie ipsilateral oder kontralateral zum Tumor lokalisiert sind (N0–3), sowie eventuelle Fernmetastasen (M0–1) bestimmt. Die Klassifizierung wird postoperativ anhand der histopathologischen Befunde notfalls modifiziert. Nach einer chirurgischen Entfernung wird zudem der tumorfreie Rand, der so genannte Sicherheitsrand (R0–2), angegeben, die Kennzahl 0 steht dabei immer für ‚keine Beeinträchtigung‘.

Die Plattenepithelkarzinome werden anhand der TNM-Klassifizierung in folgende vier Stadien eingeteilt:

Stadium I:	T1, N0, M0
Stadium II:	T2–3, N0, M0
Stadium III:	T4, N0, M0 jedes T, N1, M0
Stadium IV:	jedes T, jedes N, M1

Traditionell wird die Prognose des einzelnen Patienten vom Tumorstadium abhängig gemacht: die 5-Jahres-Überlebensrate für das Stadium I beträgt 100 %, für das Stadium II nur noch 71 %, für Stadium III 35 % (Noltenius, 1987). Neuere Veröffentlichungen wie z. B. Metelmann (1998) betonen jedoch, dass diese Kategorisierung aufgrund der ungenügenden oder falschen Zuordnung der Karzinome prognostisch nicht aussagekräftig seien, vielmehr müssten noch weitere Faktoren wie Tumorlokalisierung, Behandlungsmethode, Alter und Geschlecht Berücksichtigung finden.

Das Tumorstadium beeinflusst die Therapieentscheidung (s. 2.2.2) wesentlich. Die Wahrscheinlichkeit einer Rezidivbildung ist in den ersten zwei Jahren am größten, nach zehn Jahren kommen praktisch keine Rezidive (wohl aber Zweittumoren) vor.

Beeinträchtigungen der Zungenmotorik können auch durch Karzinome (CA) des Mundbodens hervorgerufen werden, die etwas seltener als Zungentumoren vorkommen (Noltenius, 1987). Auch hier sind meistens Männer betroffen, und zwar meist im 6. und 7. Lebensjahrzehnt. Die Karzinome des Mundbodens entstehen im Gegensatz zu Zungentumoren meist um die vordere Mittellinie und können die Zunge, die Alveolen oder den Unterkiefer infiltrieren. Beim Mundboden-CA muss in ca. 50 % der Fälle mit Lymphknotenmetastasen gerechnet werden. Mundbodenkarzinome sind meist schlecht differenziert (G2–3) und haben daher eine schlechtere Prognose als gut differenzierte Tumorstrukturen.

Mundbodenkarzinome sind in ihrem Frühstadium nicht oder kaum bemerkbar, sie können höchstens in Form einer Verhärtung mit der Zunge getastet werden. Bei größerer Ausdehnung verursachen sie Halsschmerzen und evtl. Schluckbeschwerden. In manchen Fällen zeigen sie sich zuerst als Leukoplakie (weißer Belag im Mund), später sind sie rötlich gefärbt. Die Rezidivrate ist auch hier in den ersten zwei Jahren am größten, die 5-Jahres-Überlebenszeit beträgt nach Tumoren des Stadiums I und II 100 %, sonst 60 %.

2.2.2 Operation

Die wichtigste Aufgabe bei einer chirurgischen Therapie ist neben der vollständigen Tumorentfernung die Erhaltung oder Wiederherstellung der Funktionalität des Sprech- und Schluckapparats. Dabei muss der Operateur immer sorgfältig zwischen den Vorteilen und Risiken der jeweiligen Rekonstruktionsmethode abwägen: Rekonstruktionen mit freien Lappen, die der Hautfläche des Brustkorbs oder des Oberschenkels bzw. dem Dünndarm entnommen werden, führen oft zu Komplikationen oder gehen mit dem Schrumpfen oder Absterben des Lappens einher (Reuther, 1992, Wilk & Potter, 1997). Andererseits führen Methoden mit besseren chirurgischen Ergebnissen wie Defektdeckung durch die Zunge häufig zu unnötig großen funktionellen Beeinträchtigungen (s. weiter unten).

Bei Tumoren, die bereits im Frühstadium diagnostiziert werden, sind die Heilungschancen recht gut, daher wird bei ihrer Therapie radikal vorgegangen, um eine nach Möglichkeit vollständige Entfernung des Tumors zu erreichen. Bei großen Tumoren im Spätstadium werden meist nur noch Palliativmaßnahmen ergriffen (Bestrahlung und Schmerzlinderung), um die Funktionseinbußen, die sich aus der medizinischen Therapie ergeben, möglichst gering zu halten.

Bei Tumoren des Stadiums I und II stehen zwei Alternativen mit gleichermaßen guten Heilungschancen zur Verfügung: entweder wird eine Resektion mit Sofortrekonstruktion

angestrebt, oder es wird eine lokale Bestrahlung, evtl. in Kombination mit Chemotherapie, vorgeschlagen, was bei T1- und T2-Tumoren ebenfalls zum kompletten Rückgang des Tumorstadiums führen kann. Der Vorteil einer ausschließlichen Bestrahlung liegt in der Erhaltung der orofazialen Struktur und somit einer zunächst besseren Funktionalität. Nachteilig sind einerseits die schwer kontrollierbaren Spätfolgen der Bestrahlung (Entzündungen der Mundhöhle, Osteoradionekrose, Hauterkrankungen, Abtöten von Speicheldrüsen usw.), andererseits wird eine später eventuell notwendige Operation durch die vorausgegangene Bestrahlung deutlich erschwert, da vorbestrahltes Gewebe starke Strukturveränderungen nach sich zieht.

Bei einem chirurgischen Vorgehen ergeben sich zwei Möglichkeiten: entweder wird ein tumorfreier Rand von mindestens 10 mm an allen Seiten angestrebt, oder die Resektion wird auf den makroskopisch erkennbaren Tumor ohne Sicherheitsabstand minimiert, was in jedem Fall eine adjuvante Bestrahlung mit sich zieht. Eine Radiotherapie wird auch dann empfohlen, wenn im Resektat der tumorfreie Sicherheitsrand nicht mindestens 5 mm erreicht oder wenn in der postoperativen histologischen Untersuchung befallene Lymphknoten gefunden wurden.

Die Teilnehmer der hier vorgestellten Untersuchung wurden ausnahmslos chirurgisch versorgt, nach Möglichkeit unter Einhaltung der Forderung eines ausreichenden tumorfreien Sicherheitsabstandes. Zu diesem Zweck werden während der Operation sog. Schnellschnitte aus dem benachbarten Gewebe zum bereits entfernten Tumor präpariert, die während der Operation einer pathologischen Untersuchung unterzogen werden. Nur wenn sie vollständig tumorfrei sind, kann mit dem Verschluss der offenen Stellen und der Rekonstruktion begonnen werden.

Die Entfernung eines Mundhöhlenkarzinoms geht nahezu immer mit einer selektiven oder kompletten Lymphknotenausräumung (Neck dissection) einher, um die Ausbreitung noch nicht diagnostizierbarer Lymphknotenmetastasen einzuschränken (die Notwendigkeit einer prophylaktischen Neck dissection wird bei Cornelius, Ehrenfeld & Mast, 1991, diskutiert). Das Ausmaß der Neck dissection (Zugang über die Hautschicht der submandibulären Loge und der lateralen Halsregion) hängt vom vorläufig diagnostizierten Lymphknotenstatus und vom Befund der Lymphknoten-Schnellschnitte ab und kann vier Formen annehmen. Bei einer selektiven Ausräumung werden die Glandula submandibularis und die Lymphknoten innerhalb des submandibulären Dreiecks (suprahyoidale Neck dissection) oder oberhalb des Musculus omohyoideus (supraomohyoideale Neck dissection) entfernt, unter Erhaltung der umgebenden Muskeln (außer dem M. digastricus venter anterior), Nerven und Gefäße. Sind eine oder mehrere Lymphknoten von Metastasen befallen, ist eine modifizierte radikale oder radikale Neck dissection indiziert, dabei wird die Ausräumung in der gesamten Länge bis zu den Claviculae durchgeführt, wobei die radikale Neck dissection eine Entfernung der Vena jugularis, des Nervus accessorius und des M. sternocleidomastoideus (Halswendermuskel) nach sich zieht. In diesem Fall ist mit einer erheblichen Beeinträchtigung der Hals- und Schulterbeweglichkeit zu rechnen. Zum Teil wird bei der radikalen Neck dissection auch von der Entfernung des M. stylohyoideus ausgegangen (z. B. Engleder & Fries, 1992). Eine ausführliche Diskussion der modifizierten und radikalen Neck dissection ist bei Lydiatt & Lydiatt, 1997, zu finden. Eine auf die Funktionalität und Stimmqualität ausgerichtete Beschreibung findet sich bei Zimmermann (2003a).

2.2.3 Rekonstruktion

2.2.3.1 Rekonstruktionstechniken

Für die Primärrekonstruktion, die sich unmittelbar an die Tumorsektion anschließt, stehen zahlreiche Möglichkeiten zur Verfügung, die sich hinsichtlich Operationsaufwand, Heilungszeit und Funktionalität stark voneinander unterscheiden. Kleinere, besonders laterale De-

Defekte der Zunge können nach der Resektion in sich vernäht werden, wodurch das Zungenvolumen kleiner wird, die freie Beweglichkeit der Restzunge jedoch weitgehend erhalten bleibt.

Ein operativ gesehen einfaches, aber funktionell fragwürdiges Verfahren ist die Deckung von Defekten des Mundbodens oder der Zungenunterseite durch die teilweise Fixierung der Zunge am Mundboden. Dabei wird nach Möglichkeit die Zungenspitze frei gelassen, um die Artikulation koronaler Laute nicht zu beeinträchtigen. Dennoch lässt sich oftmals eine stark eingeschränkte Zungenmobilität beobachten.

Ein relativ komplikationsarmes Verfahren (s. Salvatori et al., 2000, Esclamado et al., 1994) ist die Rekonstruktion durch einen sog. gestielten Myokutanlappen (Platysma), der bei der Neck dissection nach unten freipräpariert, nach oben geklappt und hinter dem Unterkiefer durch den Mundboden gezogen wird und im Falle einer Zungenbeteiligung zusätzlich zur Rekonstruktion der Zungenunterseite verwendet werden kann. Wichtig ist, dass zwischen Zunge, Alveolen und Mundboden nach Möglichkeit ein Abstand gewahrt bleibt, um eine freie Beweglichkeit der Zunge sicherzustellen (Esclamado et al., 1994). Ein Vorteil dieser Technik ist, dass der vaskuläre Anschluss des Platysmalappens durch die Beibehaltung des oberen Anschlusses gewährleistet ist, wodurch die Gefahr einer Nekrose (Absterben des Transplantats) minimiert werden kann, ferner dass die Entnahme des Platysmas zu keiner wesentlichen funktionellen Einschränkung führt, da es beim Menschen ohnehin keine wichtige Funktion ausübt. Der Nachteil besteht in der anatomisch begrenzten Ausdehnung des Platysmas, weswegen es sich nur zur Deckung anteriorer Defekte eignet. Weitere lokale Lappen können dem M. temporalis oder sternocleidomastoideus entnommen werden. Als gestielte lokale Lappen werden auch der M. pectoralis major (an der Brust) und der M. latissimus dorsi (am Rücken) eingesetzt. Kleinere Defekte können mit Spalthaut (200–500 µm dicke Epidermistransplantate) aus der Wange oder dem Oberschenkel verschlossen werden.

Ferntransplantate aus dem Unterarm (Radialis), Dünndarm (Leerdarm, Jejunum), Rücken (Latissimus dorsi), Oberschenkel usw. werden mit mikrochirurgischen Verfahren oder durch spontane Mikrovaskularisierung (Entstehung von Kapillaren) dem erhaltenen Gewebe angeschlossen (eine Übersicht findet sich in Wilk & Potter, 1997). Hier ist allerdings das Risiko des Abstoßens durch immunologische Abwehrreaktionen, des Absterbens des Transplantats sowie von Wundheilungsstörungen an der Entnahmestelle erhöht. Die Lappen werden verwendet, um die Originalform der Zunge wieder herzustellen; fraglich ist jedoch, ob das wesentlich schwerere Hautgewebe von den Muskeln des erhaltenen Zungenteils effektiv mitbewegt werden und somit eine ausreichende motorische Kompensation erzielt werden kann. Weitere Akzeptanzprobleme durch den Patienten ergeben sich aus psychischen Gründen, wie etwa beim Dünndarmlappen oder auf Grund des Haarwuchses am Hautlappen.

Bei manchen Mundbodenkarzinomen erscheint es angebracht, aus Sicherheitsgründen einen Teil des Unterkiefers mit zu entfernen. Hierbei wird nach Möglichkeit eine sog. Kontinuitäts- oder Kastenresektion angestrebt, d. h. es wird keine vollständige Durchtrennung des Unterkiefers vorgenommen, die Kontinuität bleibt erhalten. Ist dies nicht möglich, muss eine Unterkieferteilresektion ohne Wahrung der Kieferkontinuität durchgeführt werden. Im Falle einer Kontinuitätsresektion wird die Kieferstabilität mittels einer Rekonstruktionsplatte verstärkt, bei größeren Resektionen wird ein Knochentransplantat aus Beckenkamm oder Fibula (Unterschenkelknochen) eingesetzt.

2.2.3.2 Probleme der funktionellen Evaluierung

Wie eingangs erwähnt, liegen über die Beziehung zwischen Rekonstruktionstechniken und die funktionellen Einbußen sehr wenig Erkenntnisse vor. Der Vorteil des Unterarmlappens wird von Brown (1999) in der Dünnhheit des transplantierten Hautlappens, seiner Fähigkeit

zur Innervation, der Risikoarmut und der Möglichkeit der gleichzeitigen Entnahme während der Operation gegenüber anderen Transplantaten gesehen. Ehrenfeld et al. (1992) stellen bei Rekonstruktionen mit gestielten und Fernlappen insgesamt überdurchschnittlich hohe Überlebenszeiten fest, verglichen mit der Gesamtheit der Mundhöhlentumorerkrankungen (Register des *Deutsch-Österreichisch-Schweizerischen Arbeitskreises für Tumoren im Kiefer- und Gesichtsbereich*, DÖSAK).

Die Komplexität der Bewertung der Zungenfunktion in Abhängigkeit von der Rekonstruktionsart wird in einer Untersuchung von Schliephake et al. (1998) deutlich. Die Autoren definierten Zungenmobilität als die Distanz zwischen der submentalen (= unterhalb des Kinns befindlichen) Hautschicht und der Zungenoberfläche bei der Hebung des Zungenkörpers während der Artikulation der Einzellaute /a/, /k/, /t/ und /i/. Ihre Ergebnisse zeigten die beste Funktionalität bei Patienten mit Dünndarmrekonstruktionen, während sie bei Rekonstruktionen mit Myokutanlappen etwas schlechter ausfielen und bei lokal rekonstruierten Patienten am schlechtesten waren (der Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant). Wurde die Auswertung nicht anhand der Zungenmobilität, sondern der Verständlichkeit (Bewertung durch Sprechtherapeuten) vollzogen, war das Verhältnis umgekehrt: Rekonstruktionen mit einem lokalen Defektverschluss führten zu weniger Beeinträchtigungen als Myokutanlappen oder Dünndarmtransplantate. Als Erklärung für diese Diskrepanz wird die ungleiche Verteilung von Tumorlokalisationen gegenüber Rekonstruktionstechniken in der Patientengruppe angeführt. Eine Wechselwirkung zwischen Rekonstruktionsart und Sprechbewertungsmethode wurde auch von Bressmann et al. (2002) dokumentiert: sie fanden bei lokalen Defektdeckungen eine geringere Verlangsamung des Sprechtempos, aber eine schlechtere Artikulation von konsonantischen Einzelsegmenten als bei Lappenrekonstruktionen.

In einer Studie von Jacobson et al. (1995) wurden Rekonstruktionen mit Radialislappen funktionell evaluiert. Hier zeigte sich ebenfalls ein recht komplexes Bild: während unilaterale Defekte der Zunge und einseitig betonte Resektionen des lateralen Mundbodens zu recht guten funktionellen Ergebnissen führten, waren Patienten mit beidseitigen anterioren Defekten und mit Zungengrundbeteiligung von den Operationsfolgen wesentlich stärker betroffen. Diese Ergebnisse sind im Einklang mit denen von Schliephake et al. (1998), die – unabhängig von der Rekonstruktionsart – schlechtere Sprechergebnisse feststellten, wenn der Zungengrund vom Tumor befallen war.

Neuere Arbeiten gelangten mehrfach zu der Schlussfolgerung, dass die Rekonstruktionsart einen weitaus größeren Einfluss auf die postoperative Sprechfähigkeit hat als die Resektionsgröße, wobei die Bewertung der einzelnen Methoden zum Teil recht unterschiedlich ausfiel und stets in Abhängigkeit von der Tumorgröße betrachtet werden musste. Konstantinović und Dimić (1998) fanden die besten sprechmotorischen Ergebnisse bei partiell und lokal verschlossenen Defekten (bezogen auf T2-, T3- und T4-Tumoren), während der Pectoralis-Major-Myokutanlappen zu den größten Beeinträchtigungen führte. Bezüglich der Tumorlokalisation war ihre im Vergleich zu anderen Arbeiten große Patientengruppe ($n = 60$) recht breit angelegt, sie umfasste Unterkiefer-, Mundboden- und/oder Zungenkarzinome. Anders die Patientengruppe von Chuanjun et al. (2002), in der nur relativ kleine (unilaterale) Tumoren der Zunge vorkamen, unter Ausschluss einer Beteiligung von benachbarten Gewebestrukturen wie Mundboden oder Unterkiefer. In dieser Patientengruppe war die postoperative Sprechfähigkeit von Patienten ohne Primärrekonstruktion den Rekonstruktionen mit einem Unterarmplatten deutlich überlegen.

Zu etwas anderen Ergebnissen gelangten McConnel, Teichgraber & Adler (1987), die bei Rekonstruktionen mit Spalthautlappen die besten sprechsprachlichen Ergebnisse ermitteln konnten, wobei Zungen- und Myokutanlappenrekonstruktionen zu weniger guten Leistungen führten. Die vorwiegend schlechte Funktionalität von Myokutanlappen könnte damit

zusammenhängen, dass diese im Lauf der Zeit schrumpfen und dadurch die Bewegungsfreiheit der Zunge nachträglich einschränken können.

Diese kurze Übersicht zeigt bereits, dass die Größe und die Lokalisierung der Resektion sowie die Untersuchungsart auf komplexe Weise miteinander verflochten sind, was nicht nur die Evaluation und Prognose, sondern die Therapieentscheidung insgesamt erschwert. Michi et al. (1989) hypothetisieren, dass für die postoperative Zungenmobilität nicht die Zungenmasse an sich, sondern der frei bewegliche Zungenanteil ausschlaggebend ist. Dies bedeutet gleichzeitig, dass die verschiedenen Rekonstruktionsmethoden bei dem jeweiligen Defekt vor diesem Hintergrund betrachtet werden müssen, wobei das Ergebnis stets durch die Faktoren Resektionsort und -größe sowie Rekonstruktionsart relativiert sein wird.

2.3 Operationsdokumentation der Patientengruppe

	TNM	T-Lokalisation	Resektion	Neck dissection	Rekonstruktion	Be- strah- lung
GL1	T2, N2b, G2, R0	Zunge anterior, rechtsbetont	Zunge anterior rechts, über Mittellinie	R: radikal, L: suprahyoidal	Primärverschluss und Fixierung am Mundboden	ja
GL2	T2, N0, G2, R0	Mundboden anterior, linksbetont	MB anterior links, über Mittellinie. Vorderer unterer Zungenanteil.	R + L: suprahyoidal	Zunge seitlich: Platysmalappen, vorn: Fixierung am MB	nein
GL3	T1, N0, G1, R0	Zunge lateral rechts	rechte Zungen- seite	R: suprahyoidal	Primärrekonstruktion	nein
GL4	T1, N0, G3, R0	Mundboden anterior medial	anteriorer Mundboden und Zungenunterseite, Unterkiefer mittig	R: modifiziert radikal, L: suprahyoidal	R: mit Platysma, L: Zunge am MB fixiert. UK-Spangenresektion mit Rekonstruktionsplatte.	nein
GL5	T2, N1, G2, R0	Mundboden links	MB linksbetont, Zungenunterseite beidseits, UK Kastenresektion	R: supraomohyoidal, L: radikal	R+L mit Platysmalappen, Zungenunterseite links am MB fixiert und nach vorn verlagert	ja
GL6	T1, N0, G2, R0	1: Mundboden anterior rechts, 2: Sulcus glossoalveolaris links	1: MB unterhalb der Zungenspitze rechts, 2: linker Zungenrand Regio 38	R+L: suprahyoidal	1: primär und Zungenfixierung, 2. primär	nein
GL7	T2, N1, G2, R0	Mundboden anterior rechts	MB anterior rechtsbetont, Zungenunterseite anterior, UK-Kastenresektion	R+L: supraomohyoidal	Platysmalappen beidseits, z. T. offen	ja
GL8	T2, N0, G2, R1	Zungenrand rechts	Zungenrand rechts, anterior über Mittellinie	R+L: suprahyoidal	Platysmalappen von rechts und links, Wangenspalhaut	ja

Tabelle 2-2: TNM-Status, Tumorlokalisierung und operatives Vorgehen. Abkürzungen: **MB**: Mundboden, **R**: rechts, **L**: links, **UK**: Unterkiefer.

Im Folgenden wird die chirurgische Therapie bei den acht Patienten der vorliegenden Studie vorgestellt. Der Beschreibung liegen die von den Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen erstellten Operationsberichte, eigene Beobachtungen während der Operation sowie die Surgical-Mapping-Protokolle (SMP) zugrunde, die im Anschluss an die Operation gemeinsam von Chirurgen und Phonetikerinnen ausgefüllt wurden. Eine Übersicht gibt Tabelle 2-2, die vollständigen Protokolle befinden sich im Anhang (Kapitel 9). Die Beschreibung der motorischen Funktionen basiert auf dem Untersuchungsbogen von Koppetsch (2003a).

	Betroffene Muskeln	Zähne	UK-Funktion	Lippenf.	Zungenf.
GL1	R+L: DA, R: OH, SCM, R+L: GG (ganz), GH (teilw.), alle ZGintr.	OK+UK: keine	eingeschränkt, schmerzhaft	Abweichung nach rechts, motorische Störung (Zittern)	R-L ca. 1,5 cm, Strecken etwas über Alveolen, vertikale Bewegung nicht möglich
GL2	R+L: DA, GG (ganz), L: GH (teilw.), ZGintr. (teilw.), außer LS	OK: Prothese, UK: keine Zähne	leichte Seitenabweichung nach rechts, Mundöffnung uneingeschränkt	Ruhestellung: leichte Seitenabweichung nach rechts, sonst normal	R-L 2-3 cm, vertikale Bewegung nicht möglich, Strecken etwas über Alveolen
GL3	R: DA, ZGintr. (teilw.) außer LI	normales Gebiss	nicht dokumentiert	nicht dokumentiert	Strecken: normal, Abwärtsbewegung normal, Aufwärtsb.: mit UK-Unterstützung
GL4	R+L: DA, GH, GG (ganz), evtl. HG, ZGintr. (teilw.)	unten vorn fehlen fünf Zähne	Bewegungen nach rechts eingeschränkt	Seitenabweichung nach rechts	lateral und vertikal gute Beweglichkeit, Strecken über untere Alveolen
GL5	R+L: DA, DP, R: OH, SCM, GG (ganz), ZGintr. (teilw.)	UK: keine, OK: keine	keine Beeinträchtigung der Mundöffnung	Seitenabweichung nach rechts, starke Einschränkung	Strecken: 1,5 cm, lateral und vertikal stark eingeschränkt
GL6	R+L: DA, R (+L?): GG (vorn), GH?, ZGintr. (geringfügig)	OK: eigene Zähne, UK: eigene Zähne außer vorderen fünf	nicht dokumentiert	nicht dokumentiert	Strecken: knapp über Alveolen, vertikale Bewegung stark eingeschränkt
GL7	R+L: DA, R (+L?): GG (vorn), GH?, ZGintr. (nur anterior)	OK: eigene Zähne, UK: eigene Zähne außer vorderen sieben	nicht dokumentiert	nicht dokumentiert	Strecken: knapp über Alveolen, vertikale Bewegung nicht möglich
GL8	R+L: DA, R: GG (teilw.), ZGintr. (teilw.)	OK: 2 Zähne, UK: 1 Zahn	Öffnung eingeschränkt	meist normal, teilw. leichte Seitenabweichung nach rechts	Strecken minimal, laterale und vertikale Bewegung nicht möglich

Tabelle 2-3: Entfernte oder betroffene Muskeln nach der Operation, Funktionsausfall bei Unterkiefer, Zunge und Lippen. Abkürzungen: **R**: rechts, **L**: links, **DA**: M. digastricus venter anterior, **OH**: M. omohyoideus, **SCM**: M. sternocleidomastoideus, **GG**: M. genioglossus, **GH**: M. geniohyoideus, **HG**: M. hyoglossus, **ZGintr**: zungenintrinsiche Muskulatur, **LS**: M. longitudinalis superior, **LI**: M. longitudinalis inferior, **OK**: Oberkiefer, **UK**: Unterkiefer. In den mit Fragezeichen versehenen Fällen lassen die SMP keine eindeutigen Aussagen zu.

2.3.1 GL1

Beim Patienten GL1 wurde ein Zungenrandkarzinom auf der rechten Seite diagnostiziert, mit einem maximalen Durchmesser von 3 cm (histologisch festgestellte Größe). Die Resektion reichte im vorderen Zungenteil über die Mittellinie hinaus und betraf den Zungenkörper in seiner gesamten vertikalen Ausdehnung. Auf der rechten Seite wurden zwei Lymphknotenmetastasen gefunden, daher wurde hier eine radikale Neck dissection und links eine suprahyoidale Ausräumung durchgeführt. Der rechte Zungenteil wurde am Mundboden fixiert, der verbleibende linke Teil nach unten geklappt und vernäht, so dass auf der linken Seite eine neue Zungenspitze entstand. Es wurde intraoperativ eine Totalsanierung (Entfernung aller Zähne) aufgrund des schlechten Zahnstatus durchgeführt.

Neben den intrinsischen Zungenmuskeln wurden der M. genioglossus und teilweise der M. geniohyoideus durchtrennt. Infolge der Neck dissection wurden der M. digastricus venter anterior beidseits, die Mm. sternocleidomastoideus und omohyoideus rechts entfernt (s. Tabelle 2-3). Durch die Lymphknotenmetastasen war eine adjuvante Bestrahlung indiziert, was zu einer langfristig anhaltenden Störung des Schluckvermögens führte.

Im Rahmen der motorischen Untersuchung wurde festgestellt, dass GL1 bei der seitlichen Bewegung des Unterkiefers postoperativ Schmerzen hatte. Die Mobilität war eingeschränkt, ebenfalls das Kreisen und das Öffnen des Unterkiefers. Leichte und weite Öffnung der Lippen, Bewegungen des Mundwinkels und das Lippenspitzen zeigten eine Seitenabweichung nach rechts. Das Zusammenpressen der Lippen war unauffällig. Bei den seitlichen Bewegungen des Mundwinkels waren unwillkürliche Bewegungen und ein durchgehendes Zittern zu beobachten. Die Zunge konnte rechts und links ca. 1,5 cm bewegt werden, das Herausstrecken gelang etwas über die unteren Alveolen hinaus. Das Ablecken der Lippen war oben wie unten nur median möglich. Die Zunge machte insgesamt einen kraftlosen Eindruck, was sich u. a. am Drücken gegen einen Spatel zeigte. Beim Drehen des Kopfes nach links spürte GL1 ein Ziehen (Folge der radikalen Neck dissection), nach rechts war die Bewegung normal. Auch in den Schultern zeigten sich bei Bewegungen rechts Schmerzen. Die Schluckfunktion war postoperativ zufrieden stellend, jedoch verschlechterte sie sich nach der adjuvanten Radiatio.

2.3.2 GL2

Bei dem zweiten Patienten war ein Plattenepithelkarzinom im linken anterioren Mundboden lokalisiert, das in seiner längsten Ausdehnung 2,5 cm groß war und daher histologisch als T2 klassifiziert wurde. Lymphknotenmetastasen oder Fernmetastasen wurden nicht festgestellt. Allerdings wurde nach der Operation ein Zweitumor in der Prostata diagnostiziert, der nicht jedoch mit dem Mundbodenkarzinom in Verbindung gebracht wurde.

Die Resektion betraf den seitlichen Anteil der linken Mundbodenhälfte (ohne mediale Beteiligung) sowie die vordere Mitte. Knochenstrukturen waren nicht befallen. Mit entfernt wurde der entsprechende untere Zungenanteil (links lateral sowie anterior medial), die Resektion reichte bis unter den M. longitudinalis superior. Die Zungenspitze war von der Resektion nicht betroffen, jedoch traten an ihr nach der Operation nekrotische Erscheinungen auf, so dass sie eventuell auch in Mitleidenschaft gezogen wurde. Da keine Lymphknotenmetastasen nachweisbar waren, wurde auf beiden Seiten eine suprahyoidale Ausräumung durchgeführt.

Der seitliche Defekt an Mundboden und Zunge wurde mittels eines Platysmalappens rekonstruiert, der vordere Anteil der Zungenunterseite (unterhalb der Zungenspitze) am Mundboden fixiert.

Im Rahmen der Neck dissection wurde der vordere Bauch des M. digastricus, bei der Mundbodenteilresektion der M. genioglossus beidseitig durchtrennt und teilweise entfernt,

während der M. geniohyoideus teilweise und nur auf der linken Seite von der Resektion betroffen war. Es ist davon auszugehen, dass der M. longitudinalis superior intakt geblieben ist, abgesehen von einer möglichen Beschädigung an der Zungenspitze.

Die Motorik zeigte insgesamt eine Asymmetrie, Unterkiefer und Lippen fielen leicht nach rechts. Die seitliche Unterkieferbewegung war unauffällig, ebenso das Öffnen des Mundes. Demgegenüber zeigten kreisende Bewegungen des Unterkiefers eine Einschränkung. Lippenbewegungen wie Spitzen, Breitziehen usw. waren unauffällig, die Rechtsbewegung des Mundwinkels konnte nur mit Einschränkungen durchgeführt werden. Die Seitenabweichung deutet darauf hin, dass bei der Neck dissection der marginale Ast (Ramus marginalis mandibulae) des Nervus facialis durchtrennt wurde. (Dies kann bei diesem dünnen Nerv trotz größter Vorsicht nicht immer vermieden werden.)

Der Patient GL2 konnte die Zunge knapp über den unteren Alveolarkamm hinaus strecken. Die laterale Bewegung war nach links etwas stärker eingeschränkt als nach rechts. Eine Aufwärtsbewegung war überhaupt nicht, eine Abwärtsbewegung eingeschränkt möglich. Der Patient erreichte mit der Zungenspitze bis auf die Mundwinkel alle Punkte der Ober- und Unterlippe. Kau- und Schluckvermögen waren leicht beeinträchtigt, d. h. der Patient konnte abgesehen von harter Kost (Schwarzbrot, Äpfel, Erdnüsse u. ä.) alles essen.

2.3.3 GL3

Beim Patienten GL3 wurde ein kleines Plattenepithelkarzinom am rechten Zungenrand diagnostiziert (maximaler Durchmesser: 0,6 cm), das eine gut differenzierte Struktur vorwies (Differenzierungsgrad: G1). Die Resektion beschränkte sich auf den rechten Zungenrand (ca. ein Drittel dieser Zungenseite) und betraf lediglich die obere Schicht. Die Zungenseite wurde in sich vernäht, weitere Rekonstruktionsmaßnahmen waren nicht notwendig.

Rechts wurde eine suprahyoidale Lymphknotenausräumung durchgeführt, wobei keine Lymphknotenmetastasen gefunden wurden. Betroffene Muskeln waren der M. digastricus venter anterior rechts sowie die entsprechenden zungenintrinsic Muskeln auf der rechten Seite, mit Ausnahme der longitudinalen Muskeln.

GL3 zeigte nach der Operation nur geringfügige motorische Einschränkungen, die einzige Auffälligkeit war die Einschränkung der Aufwärtsbewegung der gestreckten Zunge – hierzu wurde eine Unterstützung des Unterkiefers benötigt. In Ermangelung eines Motorik-Protokolls stützen sich diese Aussagen auf die röntgenkinematographischen Aufnahmen.

2.3.4 GL4

Der Patient GL4 hatte ein wenig differenziertes kleines Plattenepithelkarzinom am medianen anterioren Mundboden, das als T1 und G3 klassifiziert wurde. Die Resektion erfasste den vorderen mittleren Anteil des Mundbodens und der Zungenunterseite sowie einen Teil des Unterkiefers (UK-Spangenresektion), wobei die Kontinuität des Unterkiefers gewahrt blieb. Dabei wurden fünf untere mittlere Zähne (Prämolaren) gezogen. Zur zusätzlichen Befestigung und als Rekonstruktionsmaßnahme wurde eine Metallplatte verwendet.

Der Mundboden wurde rechts mit einem regional entnommenen Platysmalappen gedeckt, links wurde die Zungenunterseite am Mundboden fixiert und dadurch leicht nach vorn verlagert. Die Zungenspitze blieb erhalten. Rechts wurde eine modifiziert radikale, links eine suprahyoidale Neck dissection durchgeführt.

Als Folge der Neck dissection wurde der M. digastricus venter anterior beidseits entfernt, durch die Resektion waren die Mm. geniohyoideus und genioglossus ebenfalls betroffen. Unklar war der Status des M. hyoglossus. Im anterioren Zungenbereich waren alle zungenintrinsic Muskeln beschädigt.

In der Ruhestellung zeigten Unterkiefer und Lippen keine Auffälligkeit, bei leichter Öffnung war eine geringfügige Seitenabweichung nach rechts, bei willkürlichen Bewegungen

eine stärkere Einschränkung auf der rechten Seite zu beobachten. Wurde der linke Mundwinkel nach links gezogen, folgte die rechte Seite unwillkürlich nach. Dies könnte evtl. auch hier mit der Beschädigung des N. facialis begründet werden. Vertikale Lippenbewegungen waren unauffällig. Das Strecken der Zunge gelang knapp über die Alveolen, und auch die oberen Alveolen konnten mit der Zungenspitze erreicht werden. Vertikale Bewegungen der Zungenspitze (Richtung Nase und Kinn) gelangen ansatzweise. GL4 war in der Lage, alle Punkte an der Ober- und Unterlippe mit der Zungenspitze abzufahren, auch wenn er die Mundwinkel nur mit einiger Anstrengung erreichte.

2.3.5 GL5

Bei GL5 hatte sich ein Tumor am linken Mundboden entwickelt, der histologisch als mittelmäßig differenziertes Plattenepithelkarzinom (G2) der Größe T2 definiert wurde. Die Resektion erfasste den Mundboden bis zur Höhe des M. styloglossus, die linke Seite wurde vollständig, die rechte zur Hälfte entfernt, ebenso die Zungenunterseite über dem Defekt. Es wurde eine Unterkiefer-Kastenresektion vorgenommen. Aufgrund einer Lymphknotenmetastase auf der linken Seite wurde hier eine radikale Neck dissection, rechts eine supraomohyoidale Ausräumung durchgeführt. Intraoperativ (= während der Operation) wurden alle Zähne entfernt.

Zur vorderen Deckung des Mundbodens wurden zwei Platysmalappen freipräpariert, hinten wurde der Defekt durch die Fixierung der Zungenunterseite geschlossen. Die Zungenspitze blieb frei, die Zunge war aber insgesamt etwas zu weit nach vorn verlagert.

GL5 zeigte starke motorische Beeinträchtigungen im orofazialen Bereich. Er konnte zwar eine Kieferöffnung von 4,5 cm erreichen, doch die Bewegung war nach rechts (zur Seite der radikalen Neck dissection hin) asymmetrisch, was für die Ruhelage der Lippen sowie für fast alle Lippenbewegungen ebenfalls charakteristisch war (Mund spitzen, zusammendrücken, pusten, Unterlippe über die Oberlippe legen). Manche Bewegungen wie ‚den rechten Mundwinkel nach rechts ziehen‘ oder ‚Mundwinkel herunterziehen‘ konnten nicht durchgeführt werden. Beim leichten Öffnen der Lippen waren unwillkürliche Bewegungen zu beobachten. Der mittlere Bereich des Unterkiefers war von einem Sensibilitätsausfall betroffen.

Die Zungenbeweglichkeit zeigte ebenfalls schwere Beeinträchtigungen: Die Zunge wich insgesamt nach links ab, eine Rechtsbewegung konnte GL5 nicht durchführen. Die vertikalen Bewegungen waren stark eingeschränkt, ein Kontakt mit den oberen Alveolen konnte nicht hergestellt werden. Bei allen Bewegungen lag die Zunge weit vorn und berührte ständig die unteren Alveolen, die Zungenspitze war gefühllos. Der Patient konnte und durfte wegen der großen Aspirationsgefahr¹¹ nicht schlucken, er ernährte sich über eine Magensonde.

2.3.6 GL6

Bei dem sechsten Patienten wurde ein mäßig differenziertes (G2) kleines Plattenepithelkarzinom diagnostiziert, der seiner Größe nach als T1, teilweise in situ (d. h. im Entstehen begriffen) eingestuft wurde. Zugleich wurde ein Zweittumor des Sulcus glossoalveolaris in und hinter der Regio 38 (Höhe des Weisheitszahns auf der linken Unterkieferseite) gefunden, der im Rahmen einer Nachresektion acht Tage nach der Erstoperation entfernt wurde.

Die Mundbodenresektion betraf den vorderen rechten Teil des Mundbodens, ohne Zungen- und Unterkieferbeteiligung. Der Zungenkörper war nicht oder nur im geringen Maße betroffen. Die Entfernung des Zweittumors betraf den hinteren linken Zungenrand. Es wurde intraoperativ eine beidseitige suprahyoidale Ausräumung durchgeführt, der histolo-

¹¹ Aspiration: Verschlucken.

gisch keine Lymphknotenmetastasierung ergab. Es wurden im vorderen mittleren Unterkieferbereich fünf Zähne entfernt.

Der Verschluss des Mundbodens erfolgte im vorderen Zungenbereich primär, d. h. durch Zusammennähen des Zungengewebes, dahinter wurde die Zunge am Zahndamm fixiert und somit mit der unteren Wundfläche verbunden. Der im lateralen Zungenbereich entstandene Defekt wurde primär verschlossen.

Mit einer myofunktionellen Beeinträchtigung war beim M. digastricus venter anterior beidseits sowie beim M. genioglossus rechts und evtl. links zu rechnen, eine Beeinträchtigung des M. geniohyoideus war nicht auszuschließen. Im Rahmen der zweiten Resektion wurden intrinsische Zungenmuskeln entfernt.

Leider stehen zur Unterkiefer- und Lippenfunktion bei diesem Patienten keine Informationen zur Verfügung. In der Röntgenkinematographie war eine Einschränkung grober Zungenbewegungen erkennbar: das Strecken war nur knapp über die Alveolen hinaus möglich, eine Auf- und Abwärtsbewegung konnte nicht durchgeführt werden.

2.3.7 GL7

Der Tumor von GL7 war ähnlich wie bei GL6 lokalisiert: Mundbodenkarzinom anterior rechtsbetont, allerdings hatte er eine etwas größere Ausdehnung (T2), wobei eine Unterkieferinfiltration nicht ausgeschlossen werden konnte. Die Zungenteilresektion erfasste den vorderen mittleren und rechten Anteil samt unterer Zungenspitze, die Mundbodenteilresektion dehnte sich auf den Bereich zwischen Regio 32 (zweiter Zahn unten links) und 45 (fünfter Zahn unten rechts) aus, einschließlich der Entfernung der dazwischen liegenden sieben Zähne. Es wurde zusätzlich eine Unterkiefer-Kastenresektion durchgeführt, unter Erhaltung der Unterkieferkontinuität.

Die beidseitige suprahyoidale Neck dissection wurde aufgrund einer Lymphknotenmetastase auf der rechten Seite zu einer supraomohyoidalen Ausräumung beidseits erweitert.

Der Mundbodendefekt wurde auf beiden Seiten mittels je eines Platysmalappens rekonstruiert, die Zunge wurde offen gelassen. Die betroffenen Muskelgruppen decken sich weitgehend mit denen von GL6: M. digastricus venter anterior beidseits, M. genioglossus rechts und teilweise links sowie die entsprechenden zungenintrinsischen Muskeln. Ob die Resektion die Tiefe des M. geniohyoideus erreicht hat, ist unklar.

Eine ausführliche motorische Dokumentation steht uns zu diesem Patienten nicht zur Verfügung.

2.3.8 GL8

Bei GL8 wurde ein Plattenepithelkarzinom, Größe T2, am rechten Zungenrand diagnostiziert. Das Gebiss war im sanierungsbedürftigen Zustand. Die Resektion erfasste nahezu die gesamte rechte Zungenhälfte, unter Erhaltung der Zungenwurzel und des Zungengrundes. Die Zungenspitze konnte zunächst ebenfalls erhalten werden. Da jedoch kein ausreichender Sicherheitsabstand gegeben war, musste sieben Tage später eine Nachresektion durchgeführt werden, in deren Rahmen der vordere mittlere Teil der Zunge (leicht über die Mittellinie hinaus) mit entfernt wurde. Bei der Operation wurden nahezu alle Zähne saniert, drei wurden zwecks der späteren Prothetik erhalten.

Es erfolgte rechts und links eine suprahyoidale Lymphknotenausräumung. Die Zunge wurde mit je einem Platysmalappen rechts und links gedeckt. Nach der Nachresektion wurde in den Defekt ein Wangenspalthauttransplantat eingenäht.

Aufgrund der Neck dissection wurde auch hier der M. digastricus venter anterior entfernt. Die Zungenteilresektion beinhaltete den oberen Anteil des M. genioglossus auf der

rechten Seite sowie die entsprechenden intrinsischen Zungenmuskeln. Weitere Muskeln waren vermutlich nicht betroffen.

Der Unterkiefer und die Lippen waren in Ruhelage wie bei Bewegungen weitgehend unauffällig, lediglich bei der leichten Mundöffnung zeigte sich eine Asymmetrie nach rechts. Von der Zunge blieb nur das linke Drittel erhalten, die Zungenspitze lag bei Ruhestellung in der Regio 33, d. h. am 3. unteren linken Zahn. Bewegungen der Zungenspitze nach rechts und links waren nicht möglich, ebenso wenig eine Auf- oder Abwärtsbewegung. Das Strecken gelang bis zum Zahndamm. Das Kreisen auf den Lippen oder im Mund war nicht möglich. Der Patient berichtete von einem Sensibilitätsausfall an der neu gebildeten Zungenspitze. Als Folge der Neck dissection zeigten sich Verspannungen am Hals, der Kopf konnte nur mit Mühe nach oben bewegt werden.

2.3.9 Vorhersagen über die Einzellautartikulation

Um über den möglichen Einfluss von Tumorgröße und -lokalisierung sowie Rekonstruktionstechnik im Anschluss an die Evaluation der Lautproduktion Aussagen treffen zu können, werden nun einige potentielle Einflussfaktoren für die Konsonantenproduktion genannt.

Kategorie	Gruppen
Tumorgröße	T1: 3, 4, 6 T2: 1, 2, 5, 7, 8
Tumorlokalisierung	Zunge: 1, 3, 6, 8 Mundboden: 2, 4, 5, 6, 7
Durchtrennung M. genioglossus	ja: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 nein: 3
Entfernung von Oberkieferzähnen (frontal)	ja: 1, 2, 5, 8 nein: 3, 4, 6, 7
Entfernung von Unterkieferzähnen (frontal)	ja: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 nein: 3
Zungenfixierung	ja: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 nein: 3
Rekonstruktion mit Platysma	ja: 2, 4, 5, 7, 8 nein: 1, 3, 6
Einschränkung der Unterkieferfunktion	ja: 1, 8 nein: 2, 4, 5
Seitenabweichung Lippen	ja: 1, 2, 4, 5, 8*
Einschränkung vertikaler Zungenbewegungen	ja: 1, 2, 5, 6, 7, 8 nein: 3, 4

Tabelle 2-4: Kategorisierung der Patientengruppe entlang von Faktoren wie Tumorgröße und -lokalisierung, Resektion, Rekonstruktion sowie Funktionsausfall. * GL3, GL6 und GL7 konnten nicht erfasst werden.

Es wird zu prüfen sein, ob die Tumorgröße (T1 vs. T2) bei der Lautproduktion sowie bei der Verständlichkeit eine Rolle spielt. Ferner kann eine grobe Unterscheidung zwischen Mundboden- und Zungentumoren vorgenommen werden, je nachdem, ob die Zunge deutlich an Masse verloren hat oder in ihrer Bewegung lediglich eingeschränkt war. Wenig sinnvoll erscheint eine Kategorisierung der Rekonstruktionsarten, da die Zunge bei allen Patienten (mit Ausnahme von GL3) fixiert wurde, lediglich die Rekonstruktion mit oder ohne Platysma

könnte als Unterscheidungsmerkmal verwendet werden. Dabei wäre zu erwarten, dass die Verwendung der Platysmalappen der Zunge eine größere Bewegungsfreiheit sichert und zu einer relativ besseren allgemeinen Verständlichkeit führt als eine direkte Deckung. Möglich ist ferner, dass die Einschränkung der Unterkieferbeweglichkeit die Verständlichkeit beeinträchtigt. Eine Gegenüberstellung von unilateralen und bilateralen Resektionen ist bei dieser Patientengruppe nicht angebracht, da der Defekt bei allen Patienten (außer GL3) über die Mittellinie hinausging.

Anhand dieser Kriterien lassen sich die acht Patienten in Gruppen einteilen, deren Gültigkeit im Anschluss an die Auswertung zu prüfen sein wird.

Der mögliche Einfluss dieser Faktoren auf die Einzellauteproduktion wird am Schluss des nächsten Kapitels diskutiert, in dem artikulatorische Merkmale der Konsonanten /s/, /ʃ/, /l/ und /x/ dargestellt und ihre akustischen Korrelate beschrieben werden.

3 Konsonanten im Überblick

Für die detaillierte Analyse wurden der alveolare /s/, postalveolare /ʃ/ und velare /x/ Frikativ sowie der alveolare Lateral // herangezogen. Wie einleitend bereits gesagt, ist die Auswahl in der guten artikulatorischen Kontrastierbarkeit dieser Laute sowie in dem umfangreichen akustischen Beschreibungsapparat, etwa im Vergleich zu den Plosiven, begründet. Die alveolaren und postalveolaren Frikative /s/ und /ʃ/ weisen eine minimale Abweichung in ihrer Artikulationsstelle auf und erfordern gleichzeitig eine präzise Artikulation mit einer genau gesteuerten Engebildung. Anders die Friktion bei /x/, der zum einen eine größere Varianz des Öffnungsgrades und zum anderen eine velare Artikulationsstelle eigen sind. Die Artikulation des alveolaren Laterals // unterscheidet sich von dem alveolaren Frikativ insofern, dass er im Deutschen eher apikal als laminal gebildet wird und somit im stärkeren Maße an eine kleinflächige Kontaktbildung mit der Zungenspitze gekoppelt ist. Durch die Überrepräsentierung der koronalen (mit der Zungenspitze gebildeten) Konsonanten wird ihrem frequenten Vorkommen in den meisten Sprachen der Welt Rechnung getragen. Wie Lindblad & Lundquist (1999) anmerken, birgt die Kombination der alveolaren Artikulationsstelle und koronalen Bildung eine einzigartige Vielfalt von Lautbildungsmöglichkeiten, die für andere Kombinationen so nicht beobachtet werden kann. Im Deutschen machen die koronalen Konsonanten, die immerhin alle an einer Fläche von insgesamt ca. 15 mm (zwischen oberer Zahnreihe und hartem Gaumen) gebildet werden, ein Drittel aller Konsonantenphoneme aus.

In diesem Kapitel soll eine theoretische Basis für die akustische (Kapitel 4) und artikulatorische (Kapitel 5) Auswertung des Datenmaterials gelegt werden. Dabei werden die wichtigsten Eigenschaften der nichtlabialen Frikative und des alveolaren Laterals vorgestellt und eine Übersicht über relevante Forschungsergebnisse geboten.

3.1 Frikative

3.1.1 Artikulatorische Eigenschaften der Frikative

Die Frikativproduktion geht im Allgemeinen mit einem starken turbulenten Luftstrom in der Mundhöhle einher und erfordert eine große artikulatorische Präzision, wobei der Abstand zwischen den Artikulatoren meist wenig variiert und die Form des Ansatzrohres sich nicht verändern darf (Ladefoged & Maddieson, 1996). Demzufolge zeigt beispielsweise das alveolare¹² /s/ in verschiedenen phonetischen Kontexten ein eher konstantes Verhalten im Vergleich zu den alveolaren Plosiven oder dem Nasal.

Innerhalb der Gruppe der Frikative wird meist eine Subkategorisierung vorgenommen, die auf artikulatorischen oder akustischen Unterscheidungen beruht. Den Kategorien Sibilant, ‚obstacle fricatives‘ (artikulatorisch) oder ‚strident‘, Zischlaut (akustisch) liegt die Eigenschaft mancher koronaler Frikative zugrunde, dass das Friktionsgeräusch nicht allein aus der Engebildung zwischen den primären Artikulatoren Zunge und Unterlippe/Alveolen/Gaumen/Rachen resultiert, sondern es wird durch das Aufprallen an einem Hindernis, meist an den Zähnen, verstärkt. Dieser Aufprall geht mit etwas höheren und geräuschartigen Frequenzen einher. Perkell, Boyce & Stevens (1979) geben an, dass der sublinguale Hohlraum bei /s/ ca. 1 cm³, bei /ʃ/ ca. 4 cm³ beträgt.

¹² Der Laut /s/ wird gelegentlich auch als dental oder dentalalveolar bezeichnet. Wir verwenden den Begriff alveolar zwecks Generalisierung, wohl wissend, dass eine dentale oder dental-alveolare Produktion ebenfalls möglich sind.

Die große Mehrheit der koronalen Frikative, außer den interdentalen /θ, ð/ sowie den Retroflexlauten /ʂ, ʐ/ wird zu den Sibilanten gezählt (Ladefoged & Maddieson, 1996). Bei nichtkoronalen Frikativen kann die für die Konzentrierung des Luftstroms erforderliche Rillenbildung im vorderen Teil der Zunge nicht erfolgen, da für diese Kategorie die Nähe der Artikulationsstelle und des zusätzlichen Hindernisses vorausgesetzt wird; daher können diese Laute auch keinen sibilantischen Charakter annehmen. So entsteht der velare Frikativ /x/ ausschließlich durch die Engnbildung von Dorsum und Velum, ohne zusätzliches Hindernis. Die Sibilanten unterscheiden sich von den sonstigen Frikativen zudem durch die kleine Mundöffnung und den geringen Abstand zwischen den Zahnreihen; auch der Abstand zwischen den Hauptartikulatoren (Zunge und Alveolen) ist kleiner als bei den sonstigen Frikativen (s. u. a. Kent & Moll, 1972, für das Englische; Lee et al., 1994, für das Arabische und Französische).

3.1.1.1 /s/

Der Sibilant /s/ kann apikal oder laminal gebildet werden, wobei hier für das Englische eine starke individuelle Varianz beobachtet wurde, die sich für die Lautbildung nicht als relevant erweist (Dart, 1991, Narayanan, Alwan & Haker, 1995, Ladefoged & Maddieson, 1996). Von dieser Varianz berichtet auch das Grundwerk *Atlas deutscher Sprachlaute* (Wängler, 1974), bildet aber als Ausgangsform die laminal ab. Kohler (1995) nennt für das Deutsche die apikale, für das Englische die laminal Artikulation charakteristisch, was jedoch der gängigen Auffassung in der artikulatorischen Phonetik widerspricht. Entsprechend einer Untersuchung von Dart (1991) lässt sich die Verteilung der apikalen und laminalen Artikulation ebenfalls ausschließlich sprachenabhängig und lediglich in Form von statistischen Aussagen bestimmen. Sie fand im Amerikanischen weit mehr apikale Artikulation als im Französischen (Englisch: 42,5 %, Französisch: 31,6 %). Die Konstriktionslänge war im Französischen für die laminal Artikulation etwas länger (7,63 mm gegenüber 6,43 mm), im Englischen jedoch kürzer (6,82 mm gegenüber 8,68 mm).

Generalisierbar für /s/ ist die Zungenform, die sich im frontalen Bereich beidseitig quer zur Mitte hin senkt, so dass im zentralen Bereich eine Längsrille entsteht, durch die die Luft nach vorn strömt. Der unterschiedliche Konturverlauf der Zungenseiten und der Zungenmitte werden in Abbildung 3-1 dargestellt.



Abbildung 3-1: Röntgenaufnahme von /s/ in eng. saw in lateraler Sicht. Die Zungenseite ist durch die graue, die Zungenmitte durch die schwarze Linie markiert, die Artikulation ist laminal. Rechts ist ein koronarer Schnitt durch die mit dem Pfeil indizierte Stelle abgebildet. (Quelle: Ladefoged & Maddieson, 1996: 147.)

Die Rille beginnt direkt hinter der alveolaren Kontaktstelle und verläuft ca. 5–10 mm lang nach hinten, gefolgt von einer Delle, die sich lateral in die Breite zieht. Die Tiefe kann unterschiedlich ausfallen, die Angaben variieren zwischen 6 und 17 mm. Nach Angaben von Narayanan, Alwan & Haker (1995) unterscheiden sich stimmhafte von stimmlosen alveolaren

Frikativen insofern, dass die Zungenmitte bei /z/ hinter der Verengungsstelle noch tiefer liegt als bei /s/, sowie dass der hintere Zungenrücken etwas angehoben ist, vermutlich als Folge der vorgezogenen Lage der Zungenwurzel ('tongue-root advancement', vgl. die Abbildungen in Narayanan, Alwan & Haker, 1995: 1334f.).

3.1.1.2 /ʃ/

Der postalveolare Frikativ /ʃ/ wird am hinteren Ende der Alveolen gebildet, am Übergang zum harten Gaumen, was auch zu Bezeichnungen wie palato-alveolar führt. Anders als bei /s/ kommt es bei der /ʃ/-Artikulation nicht zu einer tieferen Position der Zungenmitte (vgl. Abbildung 3-2). Die Mittellinie und die Kontur der Zungenränder zeigen eine minimale Differenz: hinter der Artikulationsstelle wird die gesamte Zungenmasse gewölbt, so dass sich die Zungenmitte etwas hervorhebt im Vergleich zum Zungenrand. Durch die Wölbung entsteht der perzeptive Eindruck einer leichten Palatalisierung.



Abbildung 3-2: Röntgenaufnahme von in engl. *shaw* in lateraler Sicht. Die Zungenseite ist durch die graue, die Zungenmitte durch die schwarze Linie markiert, die Artikulation ist laminal. Rechts ist ein koronarer Schnitt durch die mit dem Pfeil indizierte Stelle abgebildet. (Quelle: Ladefoged & Maddieson, 1996: 149.)

Ladefoged & Maddieson (1996) beobachteten bei Sprechern des Californian English gleich viele apikale und laminalen /ʃ/-Realisierungen, wobei der Unterschied für Sprachen redundant zu sein scheint, in denen dieses Merkmal nicht distinktiv ist. Narayanan, Alwan & Haker (1995) fanden für /ʃ/ ausschließlich laminalen Realisierungen. Im Gegensatz zu den meisten Beschreibungen gibt Kohler (1995) an, dass sich /ʃ/ von /s/ nicht notwendigerweise durch die weiter hinten liegende Artikulationsstelle unterscheidet, vielmehr sei das distinktive artikulatorische Merkmal für /ʃ/ das Vorhandensein einer breiten Rille zusätzlich zum vorderen engen Luftstromkanal (S. 58). Dies erscheint gegensätzlich zu der oben zitierten Beschreibung von /s/ mit genau dieser Angabe (Vertiefung hinter der Rille, vgl. Ladefoged & Maddieson, 1996: 146). Die anhand von dreidimensionalen MRT-Aufnahmen erstellten Modelle der alveolaren und postalveolaren Sibilanten (Narayanan, Alwan & Haker, 1995) verdeutlichen, dass die mediane Rillenbildung bei /s/ und /z/ direkt hinter der Konstriktionsstelle beginnt und zu einer konkaven Zungenform führt, während die Zungenform bei /ʃ/ und /ʒ/ im vorderen Anteil eine minimale oder keine Rillenbildung vorweist, eine konkave Querschnittsform ist erst im hinteren Zungenkörper erkennbar.

Die Dreidimensionalität der Zungendarstellung wird in zahlreichen Untersuchungen mittels Elektropalatographie (EPG) gewährleistet. Mit diesem Verfahren konnte die für die Sibilanten charakteristische Rille nachgewiesen und eingehender untersucht werden. So wurde mehrfach festgestellt (Ladefoged, 1957, Fletcher, 1980, Hoole et al., 1989,), dass die Enge bei /ʃ/ breiter ist als bei /s/, was Ladefoged in der geringeren Aufprallenergie des Luftstroms an der Zahnreihe begründet sieht. Dies und die für das Englische und Deutsche charakteristische Lippenrundung, bzw. die damit verbundene Verlängerung des Ansatzrohrs,

resultieren in einer Absenkung der Untergrenze des Energieschwerpunktes („centre of gravity“) vom Spektrum im Vergleich zu /s/.

Entsprechend den Untersuchungen von Hoole et al. (1989) löst sich der Kontakt zwischen Zunge und Gaumen vom alveolaren zum palatalen Bereich hin bei /s/ weiter vorn als bei /ʃ/. Dies stimmt mit den sagittalen Konturen der Röntgendarstellungen überein, die bei /ʃ/ eine Wölbung zeigen, bei /s/ hingegen eine Delle für die mittlere Region und eine gerade Kontur für die lateralen Zungenbereiche. Hoole und Kollegen konnten außerdem mittels elektromagnetischer (EMMA-) Daten zeigen, dass sich die Rille bei /ʃ/ bis weiter hinten nachweisen lässt (Hoole, Nguyen-Trong & Hardcastle, 1993). Ähnlich folgern Vatikiotis-Bateson et al. (1991) aus ihren EPG-Daten, dass bei /ʃ/ eine stärker laminale Bildung (tiefere Zungenspitzenposition und/oder weiter nach hinten gezogene Zunge) vorliegt als bei /s/.

Im Sprachmaterial von Hoole et al. (1989) wurden die Frikative /s, ʃ/, die vokalische Umgebung /i_a/ sowie die Konsonantenposition initial vs. medial variiert. Die Untersuchung basierte auf zwei Sprechern. Die mit Hilfe von Elektropalatographie erfasste Artikulation wurde entlang vier Parameter festgehalten: Position der Engebildung, transversale Ausdehnung der Enge sowie vordere und hintere Neigung des Zungenrückens hinter der Enge. Die Autoren machten eine interessante Beobachtung beim artikulatorischen Vergleich zwischen /s/ und /ʃ/ mittels EPG: Die Stelle der Engebildung ist nur intraindividuell eindeutig distinktiv; interindividuell ist der Unterschied zwischen alveolarer und postalveolarer Artikulationsstelle nicht scharf differenziert. Die Neigung der vorderen Zungenkontur hingegen scheint sprecherunabhängig zu sein: hier ist die Differenzierbarkeit auch zwischen den Sprechern eindeutig. Die Gültigkeit dieser Feststellungen muss allerdings hinsichtlich der geringen Sprecherzahl ($n = 2$) mit Vorsicht interpretiert werden.

Allgemein wird die Invarianz von /s/ gegenüber den anderen koronalen Lauten betont (s. u. a. Ladefoged & Maddieson, 1996, Geumann et al., 1999, Hoole et al., 1989, Hoole, Nguyen-Trong & Hardcastle, 1993, Lindblad & Lundqvist, 1999, Lundqvist & Lindblad, 1999). Dies gilt gleichermaßen für Faktoren wie Koartikulation, Lautstärke (Geumann et al., 1999) und für Sprechstil, exemplifiziert an der Artikulation in isolierten Wörtern und in Phrasen (Lundqvist & Lindblad, 1999).

3.1.1.3 /x/

Beim velaren Frikativ /x/ wird der Kontakt zwischen Zungenrücken und dem gehobenen Velum gebildet, der vordere Zungenanteil wird nach hinten gezogen und befindet sich im unteren Bereich der Mundhöhle (s. Abbildung 3-3). Je nach phonetischem Kontext kann der Kieferwinkel kleiner oder größer sein, je nach vokalischer Umgebung kann die Konstriktionsstelle am Gaumen um ca. 1 cm variieren, während die beteiligte Zungenstelle in etwa unverändert bleibt (Kent & Moll, 1972).



Abbildung 3-3: Sagittalschnitt des velaren Frikativs /x/. (Quelle: Wängler, 1974: 85.)

Der koartikulatorische Einfluss ist im Falle der velaren Konsonanten etwas komplexer als zunächst erwartet, da die Zunge während der Artikulation bei ihrer Bildung statt einer linearen Hin- und Rückwärtsbewegung eine elliptische Bewegung vollzieht, die unter dem Begriff ‚loop‘ bekannt ist (Kent & Moll, 1972, Mooshammer et al., 1995). Charakteristisch für die Ellipse ist eine Vorwärtsbewegung der Zunge während der Verschlussbildung nach einer anfänglichen Rückwärtsbewegung während des vorangehenden Vokals, und zwar unabhängig von der horizontalen Verteilung der benachbarten Vokale. Die Ausprägung ist in der Kombination /ugV/, d. h. nach /u/ und vor einem beliebigen Vokal, am stärksten und nach /i/ kaum oder gar nicht vorhanden. Dieses Phänomen konnte bisher nicht befriedigend erklärt werden. Vermutlich ist es auf ein Zusammenspiel von physikalischen Auswirkungen des Luftdrucks, der Funktion des M. genioglossus beim Lösen des Verschlusses und dem artikulatorischen Charakter des kognitiv zugrunde liegenden Ziellautes zurückzuführen, der u. U. näher an der palatalen als der velaren Artikulationsstelle lokalisiert ist (Mooshammer et al., 1995).

Diese zeitliche Varianz muss auch bei der artikulatorischen Analyse von /x/ bedacht werden, allerdings weicht das Muster bei Frikativen von dem oben geschilderten Muster etwas ab. Grundsätzlich gilt, dass die Enge um ca. 5 mm größer ausfällt als bei /g, k, ŋ/, besonders nach /u/. Die für Plosive charakteristische Rückwärtsbewegung während des ersten Vokals fällt weg, die Vorwärtsbewegung während der Verschlussbildung wird bei der Mitte abrupt abgebrochen, folglich ist die Differenz der Zungenposition zwischen Beginn und Ende der Konsonantenartikulation weniger stark ausgeprägt als bei den Plosiven und dem Nasal.

Für die Produktion des velaren Frikativs ist eine relativ große Variabilität charakteristisch. Dafür spricht erstens die im Deutschen je nach lautlicher Umgebung gegebene Allophonie, d. h. die komplementäre Distribution von palatalem [ç] und velarem [x], sowie die von der vokalischen Umgebung abhängige Variabilität der Artikulationsstellen von /x/ (uvular nach /a/ und /ɔ/, velar nach /o/ und /u/, vgl. Kohler, 1995). Zweitens ist /x/ im deutschen Phonemsystem der einzige stimmlose hintere Frikativ, folglich besteht perzeptiv keine Verwechslungsgefahr, die Erhaltung einer phonologischen Opposition zu phonetisch ähnlichen Lauten ist also nicht erforderlich.¹³

3.1.2 Akustische Eigenschaften der Frikative

Es wird immer wieder betont, dass Frikative starke interindividuelle Unterschiede vorweisen und sich am besten spektral, im intraindividuellen Vergleich voneinander differenzieren lassen (Ladefoged & Maddieson, 1996, Hoole et al., 1989, Mooshammer et al., 1995). Allgemein gilt: Je weiter hinten die Artikulationsstelle, desto niedriger die Frequenz des ersten Gipfels im Spektrum.

Die stimmlose Ausprägung der Frikative ist weitaus häufiger in den Sprachen der Welt vertreten als ihre stimmhafte Entsprechung. Aus dem Blickwinkel der Akustik lässt sich als Erklärung anbringen, dass das hochfrequente Friktionsgeräusch von der aus der Stimmhaftigkeit resultierenden konzentrierten Energie in den niederen Frequenzbereichen überlagert wird, was die Perzeption des frikativischen Charakters erschwert. Artikulatorisch gesehen stellt die adduzierte Glottis für den freien Fluss des starken Luftstroms ein Hindernis dar und schränkt somit ökonomisch das Vorkommen der stimmhaften Frikative ein. Dieses Phänomen wurde von Ohala (1983) als ‚Aerodynamic voicing constraint‘ bezeichnet: der für die Schwingung der Stimmlippen notwendige Luftstrom wird durch die bei Obstruenten per

¹³ Manche allophonische Realisierungen von können velar und stimmlos und somit mit /x/ verwechselbar sein. Allerdings unterscheiden sich die Distributionen von /x/ und recht stark voneinander, so dass eine Überschneidung praktisch nur in intervokalischer Position denkbar ist, in der eine stimmlose-Produktion unwahrscheinlich ist.

definitionem gegebenen Hindernisbildung blockiert, somit steigt der Luftdruck zwischen Kontaktstelle und Glottis allmählich. Wenn die Differenz zwischen subglottalem und supra-glottalem Luftdruck einen bestimmten Schwellenwert unterschreitet, hören die Stimmlippen auf zu vibrieren, die Anforderung an die Stimmhaftigkeit ist somit nicht mehr gegeben (Ohala, 1983, Ohala, 1997).

Als Richtwert wird für /s/ normalerweise ein prominenter Gipfel im hohen Frequenzbereich, d. h. über 4 kHz angegeben (Ladefoged & Maddieson, 1996; Shadle, 1990; Neppert & Pétursson, 1992). Dieser Wert unterliegt neben interindividuellen Unterschieden auch einer koartikulatorischen Varianz: der Gipfel verschiebt sich vor /i/ in die höhere Bereiche und kann sogar um 6 kHz liegen. Ein deutlicher Intensitätsabfall erfolgt erst um 8 kHz oder höher. Es wird ferner ein Formant um 350 Hz sowie einer zweiter um 1800 Hz angegeben (Stevens, 2000, Neppert & Pétursson, 1992).

Die akustische Charakteristik des alveolaren Frikativs hängt ferner vom Artikulationsmodus apikal vs. laminal ab. Dart (1991) ermittelte für die laminalen Artikulation niedrigere F1-Werte und führte dies auf die größere pharyngale Öffnung bei diesem Modus zurück. Allerdings ließ sich keine einheitliche Tendenz bezüglich der F2-Veränderungen feststellen: im amerikanischen Englischen gingen mit der laminalen Artikulation höhere, im Französischen meist niedrigere Werte einher. Die in Verbindung mit der apikalen Artikulation aufgrund des größeren sublingualen Hohlraums erwartete Absenkung von F3 und F4 (s. auch weiter unten) konnte für das Französische erwartungsgemäß, für das Englische nur teilweise nachgewiesen werden. Das Spektrum der laminalen Realisierungen war flacher, das vom apikalen /s/ wies einen prägnanten Gipfel mit hoher Intensität um 4 kHz vor.

Für /ʃ/ ist ein meist breitbandiger Gipfel um 2,5–3 kHz charakteristisch, er kann zwischen 2 und 4 kHz eine fast unveränderte Intensität haben, während der erste Gipfel von /s/ sich meist auf einen engeren Frequenzbereich konzentriert. Insgesamt sind große Intensitäten bei /ʃ/ eher in den niederfrequenten Bereichen zu finden, während die Intensitätskurve von /s/ zu den höheren Frequenzbereichen hin (bis ca. 10 kHz) hoch bleibt. Der erste Formant liegt bei ca. 400 Hz, der zweite um 1700 Hz (Stevens, 2000, Neppert & Pétursson, 1992).

Das Spektrum von /x/ enthält einen Gipfel um 1,5 kHz, danach können 1–2 weitere Gipfel folgen, was auf eine formantenähnliche Struktur hindeutet. Formantenbereiche um 1,5, 3,5 und 5,5 kHz lassen sich auch im Sonagramm erkennen. Bei manchen Personen wurde für /ʃ/ eine etwas höhere Gesamtintensität als für /s/ beobachtet (vgl. Shadle, 1990; Hoole, 1989), dies ist jedoch keine allgemeingültige Angabe. /x/ hat in jedem Fall eine deutlich geringere Intensität als die Sibilanten.

Die große Differenz zwischen dem ersten Gipfel von /s/ und /ʃ/ leiten Perkell, Boyce & Stevens (1979) von der unterschiedlichen Größe des sublingualen Hohlraums bei diesen Sibilanten ab. Um dies nachzuweisen, führten sie eine Aufnahme von artikulatorischen Bewegungen mittels Elektroden durch, um den lingualen Kontakt mit den unteren Alveolen bzw. den Schneidezähnen festzuhalten, gleichzeitig wurden akustische Aufnahmen von /s/ und /ʃ/ (1) in sinnlosen Wörtern, (2) an Wortübergängen wie *this ship* und *fish sandwich*, (3) in Wörtern als Einzelkonsonant eingebettet sowie (4) als kontinuierlicher Übergang von /s/ zu /ʃ/ vorgenommen.

Am Übergang von /s/ zu /ʃ/ zeigt sich ein abrupter Abfall des ersten Gipfels von 5–6 kHz zu 2,5 kHz. Der Ausgangs- und Endpunkt des Transienten fällt mit dem Lösen des lingual-alveolaren Kontakts zusammen. Dass es hier keine kontinuierliche Transientenbewegung gibt, obwohl sich die Kontaktstelle an den oberen Alveolen von /s/ zu /ʃ/ lediglich um einige Millimeter nach hinten verschiebt, kann nach der Argumentation von Perkell et al. (1979) nur an der Verstärkung der natürlichen Resonanzen der anterioren Mundhöhle durch die sekundäre Kontaktstelle zwischen Zunge und unteren Schneidezähnen liegen. Johnson

(1997) führt das Phänomen einfach auf die Verlängerung des Resonanzraums bei /ʃ/ durch den zusätzlichen sublingualen Hohlraums zurück.

Zwar entsprechen die Daten von den kontextuell eingebetteten /s/-/ʃ/-Übergängen grob diesem Muster, die Frequenzveränderungen fallen jedoch nicht so abrupt aus, zudem gibt es in manchen Fällen Divergenzen zwischen Frequenz und Kontaktenge. So z. B. im Ausdruck *this ship*, wo es zwar innerhalb der Sibilantengruppe eine Verengung des Kontakts gab, was jedoch nicht von einer sichtbaren Transition begleitet wurde. Bezüglich der Sibilantenartikulation in den sinnlosen Wörtern wurde festgestellt, dass die Enge des Kontakts für /s/ bei allen Sprechern ($n = 4$) vorhanden war, während sie für /ʃ/ unterschiedlich, als ‚mäßig‘ bis ‚nicht vorhanden‘ beurteilt wurde.

Beruhend auf den unterschiedlichen assimilatorischen Prozessen bei /s-ʃ/ vs. /ʃ-s/ folgern Perkell et al. (1979), dass die Bildung von /s/ einen geringeren artikulatorischen Aufwand erfordert und seine Bildung den Übergang zu /ʃ/ begünstigt. Sie vermuten, dass die zusätzliche Schwierigkeit bei /ʃ/ in der genauen Positionierung der Zunge im Abstand zu den unteren Schneidezähnen besteht, und weisen in diesem Zusammenhang auf die Tatsache hin, dass /ʃ/ oftmals in einem späteren Stadium des Lauterwerbs als /s/ erscheint.

Auch Shadle (1990) kommt zu dem Schluss, dass die Hauptcharakteristika der einzelnen Frikative nicht so sehr von der primären Engebildung, sondern eher von der Distanz zwischen Enge und Hindernis und dessen physikalischen Eigenschaften abzuleiten sind. In ihren Experimenten war dies dann der Fall, wenn das Ansatzrohrmodell eine Verengung und ein Hindernis enthielt. War eine Verengung, aber kein Hindernis vorhanden, erschien die Lokalisierung der Verengung wiederum ausschlaggebend für das spektrale Bild des Luftstroms. So wurde für /s/ ein Spektrum modelliert, das einen Gipfel um 4,5 kHz hatte und bis ca. 10 kHz nicht wesentlich an Intensität verlor. Das Modell für /ʃ/ zeigte ein Spektrum, in dem der erste Gipfel um 2,5 kHz lag und im Vergleich zu /s/ eine etwas höhere Intensität hatte. Shadle vermutet, dass das für die Bildung von /ʃ/ erforderliche Hindernis eher durch die unteren Schneidezähne gegeben ist, während sie das Hindernis für /s/, abweichend von Perkell et al. (1979), an den oberen Schneidezähnen vermutet.

Ein dritter Ansatz wird von Narayanan, Alwan & Haker (1995) angedacht: aufgrund der gewölbten Form des vorderen Zungenanteils bei /ʃ/ verläuft der Luftstrom im oberen Teil der Mundhöhle, entlang des harten Gaumens, er trifft daher weiter oben auf die oberen Schneidezähne als der mediale Luftstrom bei /s/, die das Hindernis bilden.

Für /ç/ und /x/ wurde die beste spektrale Annäherung mit einem Modell erreicht, in dem die einzige, kleinflächige Öffnung im oberen Teil des Rohrs lokalisiert war, so dass der Luftstrom an der Wand des Rohrs entlang führen musste (Shadle, 1990). Hier zeigte sich eine starke Abhängigkeit von der Lokalisierung der Enge innerhalb des Rohrs – für /x/ war eine Distanz von 4 cm vom Ende des Rohrs erforderlich.

Hoole et al. (1989) versuchten in ihrem oben erwähnten Experiment, einen Zusammenhang zwischen artikulatorischen und akustischen Parametern bezüglich der Frikative /s/ und /ʃ/ herzustellen. Sie konnten, wie bereits gesagt, für die artikulatorischen Merkmale ‚Position der Enge‘ und ‚vordere Neigung hinter Engebildung‘ eine signifikante Rolle bei der Differenzierung von /s/ und /ʃ/ nachweisen. Die akustische Parametrisierung beruhte auf 22 spektralen Messpunkten im Abstand von je einem Bark.

Bei der ersten Gegenüberstellung der Artikulation und der Akustik zeigte sich ein überraschendes Ergebnis: während die artikulatorischen Parameter eine gute Differenzierung zwischen den zwei Sibilanten einerseits und den untersuchten zwei Sprechern andererseits ermöglichten, ließen sich die beiden Sprecher anhand der akustischen Parameter in Bezug auf /ʃ/, nicht jedoch bezüglich /s/ unterscheiden. Dies ist umso interessanter, da sich die Lokalisationen der Engebildung der Sprecher eindeutig voneinander unterschieden. Dies kann u. U. sogar bedeuten, dass die genaue Position der Zungenspitze bei /s/ das gewünschte akustische Ergebnis nicht direkt beeinflusst, d. h. eine gewisse Varianz dieses Faktors führt

nicht unbedingt zu hörbaren oder spektral nachweisbaren Veränderungen. Dies gilt nicht für /ʃ/: hier führte eine Rückverlagerung der Artikulation zu einer Verschiebung des Spektrums in niedrigere Frequenzbereiche.

Hoole, Nguyen-Trong & Hardcastle (1993) untersuchten Centre of Gravity (CoG) und Dispersion bei /s/ und /ʃ/ (eine detaillierte Beschreibung der beiden Begriffe findet sich in 4.1.1). Sie erhielten bei /s/ höhere Werte für beide Kennzahlen. Anschließend wurde das Spektrum der Frikative so manipuliert, dass entweder der niedrigere (10–16 Bark = 1278–3163 Hz) oder der höhere Frequenzbereich (16–22 Bark = 3163–7516 Hz) eine Übergewichtung erhielt. Sie gaben an, dass /s/ in den hohen Frequenzbereichen (16–22 Bark = 3163–7516 Hz) einen höheren CoG und eine kleinere Dispersion hatte als /ʃ/ – dies galt für alle vokalischen Umgebungen (/i, u, a/) und Sprachen (Englisch, Französisch, Deutsch). Erklärt wurde dies mit einer höheren Konzentration der hochfrequenten Energie, resultierend aus dem kurzen Abstand zwischen Lippen und Engebildung. Genau umgekehrt war das Verhältnis im niedrigen Frequenzbereich: hier hatte /ʃ/ höhere CoG- und niedrigere Dispersionswerte. Die Ursache sahen Hoole, Nguyen-Trong & Hardcastle (1993) einerseits in der Position des Gipfels von /ʃ/, der sich auch auf den niederfrequenten Bereich auswirken könne, andererseits machten sie den F2 der benachbarten Vokale dafür verantwortlich, deren Einfluss bei /s/ in niedrigeren Gipfeln resultiere als bei /ʃ/. Die akustischen Parameter zeigten bei den Sprechern des Deutschen und des Englischen für /s/ und /ʃ/ eine deutliche Differenzierung bezüglich der spektralen Energie, und sie enthielten keine Überschneidungen.¹⁴

3.2 Der Lateral //

3.2.1 Artikulatorische Eigenschaften des Laterals

Die Bildung der Laterale ist dem Artikulationsmechanismus der Sibilanten entgegengesetzt: während bei den Zischlauten der Luftstrom zwischen zwei symmetrisch gebildeten Hindernissen (sprich: zwischen den Rillenwänden) hindurchströmt, wird das Hindernis bei den Lateralen midsagittal gebildet, und die Luft strömt rechts und links an der Kontaktstelle vorbei. Ladefoged & Maddieson (1996) formulieren dies so: bei der Bildung der Laterale wird die Zunge zusammengezogen, so dass die Luft an einer oder an beiden Seiten stärker strömen kann als in der Mitte. Narayanan, Alwan & Haker (1997) fanden in ihren dreidimensionalen MRT-Untersuchungen ebenfalls zur Mitte hin eingezogene Zungenseiten. Ferner stellten sie bei manchen Sprechern bei // eine anteriore Längsrille fest, die sich im Gegensatz zu den Sibilanten auf den vorderen Zungenbereich beschränkte und daher nicht als entscheidend für den Luftstrom angesehen, sondern eher auf die lateral eingezogene Zungenform zurückgeführt wird.

Laterale sind in der überwiegenden Zahl stimmhafte Laute mit einem ausgeprägt sonoren Klang. Der häufigste Laut unter den Lateralen ist das dental oder alveolar gebildete //, das im Deutschen meist eine apikale Artikulation vorweist, während Narayanan, Alwan & Haker (1997) eine apikal-laminale Varianz bei ihren amerikanischen Testpersonen feststellen.

EPG-Untersuchungen zeigten, dass sich die Kontaktfläche auf den vorderen alveolaren Bereich beschränkt und die Region der Molaren nicht erreicht. Die Zungenkontur ist bei apikaler Artikulation hinter dem Kontakt flach, so dass die Luft bis zur palatalen Region seitlich frei strömen kann (s. Abbildung 3-4). Der Kieferwinkel ist größer als bei den Sibilanten (Mooshammer et al., 2003, Geumann et al., 1999, Lindblad & Lundqvist, 1999, Ladefoged

¹⁴ Dies galt jedoch nicht für die französischen Sprecher, was sich mit ihren EPG-Mustern deckt: im hinteren oralen Bereich, beginnend mit der postalveolaren Region, zeigten sie identische Zungenverläufe für die beiden Frikative, während die Zunge der englischen und deutschen Testpersonen bei /s/ in diesem Bereich tiefer lag.

& Maddieson, 1996, Vatikiotis-Bateson et al., 1991). In manchen Fällen, wie z. B. in Konsonantengruppen wie /sl/, wird // ohne mittleren Kontakt gebildet, was die Perzeption als Lateral dennoch nicht beeinträchtigt.



Abbildung 3-4: Artikulation des apikalen alveolaren Laterals /l/. (Quelle: Wängler, 1974: 86.)

Laterale mit einer postalveolaren oder palato-alveolaren Artikulationsstelle wie das sog. „weiche“ // im Russischen (vor palatalen Vokalen) zeigen oft eine größere Kontaktfläche und eine laminalen Artikulation. Charakteristisch ist eine geringe Distanz zum harten und weichen Gaumen (d. h. keine tiefe Zungenkontur wie beim apikalen alveolaren //) und, sofern eine zusätzliche Velarisierung vorhanden ist, eine sekundäre pharyngale Verengung (Giles & Moll, 1975, Ladefoged & Maddieson, 1996, Narayanan, Alwan & Haker, 1997). Allerdings scheinen diesen Beschreibungen laminalen Realisierungen mit einer sekundären Velarisierung zugrunde zu liegen.

Besteht die Distinktivität ausschließlich im Merkmal apikal und laminal, so ist bei apikaler Artikulation eine tiefere Position des Zungenkörpers und eine Verengung im pharyngalen Raum zu beobachten (Dart, 1991).

Der Lateral // unterliegt zahlreichen koartikulatorischen Effekten, nicht zuletzt wegen seinen vokalnahen akustischen Eigenschaften. Dies trifft besonders für die im Deutschen charakteristische apikale // -Artikulation zu. Die Artikulationsstelle kann je nach vokalischer Umgebung dental oder alveolar ausfallen, wie Lindblad & Lundqvist (1999) in einer EPG-Untersuchung mit zehn Sprechern des Schwedischen feststellen (eine eindeutige Zuordnung der dentalen Artikulation zu vorderen Vokalen konnten sie jedoch nicht zeigen). Die für // charakteristische Artikulation mit fehlendem lateralem Kontakt am Gaumen war bei neun von zehn Probanden nicht vorhanden – stattdessen hatten sie ein hufeisenförmiges EPG-Muster, ähnlich wie bei /s/. Die Autoren stellen die relativ große Kieferwinkelöffnung in direkten Zusammenhang mit der vorwiegend apikalen Artikulation des Laterals: aufgrund der tieferen Kiefer- und Zungenposition müsse der vordere Zungenanteil weiter angehoben werden, um den dentalen/alveolaren Kontakt zustande zu bringen. Diese artikulatorische Geste („gesture“) sei leichter mit der Apex durchzuführen als mit laminaler Beteiligung. Das Gegenteil gelte für /s/: der kleine Kieferwinkel bedinge die laminalen Artikulation durch die Zungenhebung, die aufgrund der hohen Unterkieferstellung notwendigerweise klein ausfällt.

Wahrscheinlicher ist jedoch eine umgekehrte Kausalität: die apikale Artikulation bei // und die bei der Lateralproduktion charakteristische Absenkung der Zungenränder werden durch die tiefere Kieferposition begünstigt. Andersherum ist für die Produktion von /s/ die zentrale Rolle der Schneidezähne als Hindernis anzunehmen: Um einen möglichst starken Luftaufprall an den Zähnen zu bewirken, wird laminal artikuliert, was in einer hohen Kieferposition resultiert. Interessant in diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse von Vatikiotis-

Bateson et al. (1991), die für // wesentlich geringere horizontale Unterkieferbewegungen zeigen als für /s/.

Die relativ große Variabilität der //-Produktion wurde auch in einer EMMA-Untersuchung von Geumann et al. (1999) konstatiert. Dies wurde nicht nur in Hinsicht auf die vokalische Umgebung (symmetrische /i-e-a/-Verteilung), sondern auch auf die Lautstärke deutlich: Während die am Unterkiefer und an der Zunge befestigten Sensoren für /s/ weder koartikulatorische noch lautstärkebedingte Einflüsse zeigten, war die Varianz für // erheblich größer. Soweit auf der veröffentlichten Abbildung (Abbildung 1, S. 399) erkennbar, gruppieren sich die Werte vom Sprecher RS zunächst entsprechend der Zungenstellung bzw. Kieferwinkelöffnung der benachbarten Vokale in der Reihenfolge /i-e-a/, innerhalb der Gruppen werden den normal gesprochenen Lauten jeweils höhere Positionen zugeordnet. Am deutlichsten lässt sich der Unterschied an der Varianz der Sensoren an der Unterkiefer-Innenseite und an der Zungenspitze (ca. 1 cm hinter der Spitze) erfassen.

Generalisiert stellen Geumann et al. (1999) fest, dass die kontext- und lautstärkenabhängige Variabilität von Unterkiefer- und Zungenposition in der Reihenfolge (1) Frikativ, (2) Plosiv, (3) Lateral/Nasal zunimmt. Sie bestätigen somit eine frühere Studie von Kühnert et al. (1991), die eine starke Korrelation zwischen Kieferöffnung und intrinsische Zungenhöhe für deutsche Alveolarlaute zeigen konnten. Dies stimmt mit einer zweiten Untersuchung von Geumann (2001) überein, in der sie einen deutlichen Einfluss der Lautstärke auf die Vokalarthikulation nachweist. Vor dem Hintergrund des sonoren Charakters von // ist eine Ähnlichkeit mit den Vokalen nicht verwunderlich.

3.2.2 Akustische Eigenschaften des alveolaren Laterals

Laterale lassen sich durch eine klare Formantenstruktur charakterisieren. Dabei fällt der erste Formant (F1) meist auf ca. 400 Hz für männliche Sprecher. Aufgrund der engen Konstriktion und dem damit verbundenen Resonanzverlust ist der erste Formant erwartungsgemäß relativ breit (~ 80 Hz) und hat eine geringe Intensität (Stevens, 2000). Die Höhe des zweiten Formanten (F2) hängt stark von der Engebildung und der jeweiligen Zungenform ab. Der dritte Formant (F3) hat meist eine höhere Intensität. Das Spektrum kann auch noch weitere Formanten enthalten. Die durch Modellierung errechneten Formanten von Fant (1960) betragen 531 Hz, 1594 Hz und 2656 Hz, die durchschnittliche Differenz zwischen den einzelnen Formanten wird mit ca. 1000 Hz angegeben. Stevens gibt insgesamt sechs Pole bis 5 kHz an (360 Hz, 1,1 kHz, 2,8 kHz, 3,5 kHz, 3,9 kHz und 4,5 kHz).

Charakteristisch ist ferner das Vorhandensein eines stark ausgeprägten Antiformanten zwischen F2 und F3 (Johnson, 1997). Stevens (2000) setzt diesen auf 3,4 kHz. Narayanan, Byrd & Kaun (1999) geben für das dentale und in seiner auslautenden Position pharyngalisierte // in Tamil folgende Werte an: F1: 400–450 Hz, F2: 1200 Hz, F3: ~ 2400 Hz, F4: ~ 3850 Hz. Sie setzen die spektrale Nullstelle auf ca. 3500 Hz.

Bei apikaler Artikulation wird in intervokalischer Position oft ein abrupter Übergang zwischen Vokal- und Lateralformanten beobachtet, sowohl am VC-Übergang (Verschlussbildung) als auch am CV-Übergang (Verschlusslösung). Dies lässt sich mit der schnellen Beweglichkeit der Zungenspitze begründen. Laminal artikulierte Laterale zeigen oft langsamere Transitionen. Der Lokus (entsprechend dem zweiten Formanten) wird auf ca. 1500 Hz gesetzt (Subosits, 1984). Die Transitionen sind demzufolge bei F2 am stärksten, während sie sich bei F3 und F4 nur geringfügig bemerkbar machen. Der Lateral lässt sich von den ebenfalls formantenreichen Approximanten ohne Verschlusslösung durch die kürzeren Transitionsdauern abgrenzen (Neppert & Pétursson, 1992).¹⁵

¹⁵ In den meisten Beschreibungen geschieht die Kategorisierung zwischen Liquiden (Lateralen und Vibranten) einerseits, Approximanten andererseits. Dies steht gewissermaßen in Widerspruch zur Kategorienbildung des IPA (Approximanten vs. laterale Approximanten).

Die Angaben zum Zusammenhang zwischen F2 und der Form des Zungenrückens sind kontrovers. Auf der einen Seite berichten Ladefoged & Maddieson (1996), dass Verengungen hinter der Artikulationsstelle zu höheren F2-Werten führen, etwa in den Sprachen Kaititj und Alyawarra. Auf der anderen Seite zitieren sie russische, bulgarische und albanische Beispiele, bei denen für velarisierte Laterale deutlich niedrigere F2-Werte gemessen wurden, mit anderen Worten führte die Verengung hier zu einer *Senkung* statt zu einem Anstieg der Formanten. Narayanan, Alwan & Haker (1997) führen für das englische velarisierte // („dark l“) ebenfalls niedrigere F2-Werte als für die nicht velarisierte Entsprechung an (eigene Angaben sowie basierend auf Lehiste, 1964, Espy-Wilson, 1992).

Die bei der laminalen Artikulation beobachtete höhere Zungenkörperposition führt zu einem höheren F2, der weitere Pharynx zu einem niedrigeren F1 und zu geringeren F2-F3-Differenzen. Bei der Vergrößerung der Konstriktionslänge ist wiederum ein Anstieg von F1 zu erwarten (Fant, 1960), so dass die Tendenz von F1 für die laminalen Artikulation nicht eindeutig vorhersagbar ist. Ladefoged & Maddieson (1996) führen Ergebnisse aus dem Bulgarischen und dem Bretonischen vor, die der früheren Annahme, F1 würde von der Querschnittsgröße der Engebildung abhängen und folglich bei apikaler Artikulation niedriger ausfallen, widersprechen. In beiden Sprachen wurden für die laminalen Artikulation F1-Werte gemessen, die um ca. 100–150 Hz niedriger als beim apikalen // lagen.

3.3 Zusammenfassung und Vorhersagen

Vor der Analyse der akustischen und artikulatorischen Daten sollen noch einmal die Aussagen zusammengefasst werden, die bei der Interpretation der Ergebnisse besondere Beachtung verdienen, in Hinblick auf die zu erwartende Sprechstörung relevant sein könnten oder in der Literatur kontrovers beschrieben wurden. Auf dieser Basis werden anschließend einige Vermutungen bezüglich der Einzellautartikulation der in Kapitel 2 vorgestellten Patienten formuliert.

- /s/ und /ʃ/ unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Zungenkontur hinter der Kontaktstelle. /ʃ/ wird stärker laminal gebildet als /s/.
- Die Artikulationsstelle ist zwischen /s/ und /ʃ/ nicht notwendigerweise distinktiv.
- /s/ hat einen höheren CoG und eine kleinere Dispersion als /ʃ/.
- Die /x/-Artikulation ist nach /u/ eher velar als uvular, die Variabilität ist groß.
- Bei apikaler Artikulation ist der Zungenrücken flach, bei laminaler Bildung gewölbt.
- Apikale und laminalen // -Artikulation lassen sich anhand der F2-Werte, an der Distanz zwischen F2 und F3 sowie an abrupten vs. kontinuierlichen Transitionen differenzieren.
- Die Variabilität der Zungenposition und der Kieferöffnung nimmt in der Reihenfolge (1) Frikativ, (2) Lateral zu.

Schließlich werden einige zu erwartende Zusammenhänge zwischen der Resektion bestimmter Regionen sowie ihren möglichen Auswirkungen formuliert.

Bei der Hälfte der Patienten musste aufgrund der bevorstehenden Bestrahlung oder mangelnder Mundhygiene die obere Zahnreihe teilweise oder ganz saniert werden (eine Übersicht befindet sich in Tabelle 2-4). Es ist zu vermuten, dass dies die Produktion der dental-alveolaren Konsonanten /z/, /ʃ/ und // beeinflussen wird. Bei allen Patienten außer GL3 fehlen die unteren mittleren Schneidezähne (Prämolaren). Es ist zu erwarten, dass dies in den spektralen Eigenschaften der Sibilanten, bei denen die untere Zahnreihe eine sekundäre Artikulationsstelle bilden soll (s. Abschnitt 3.1) zu Veränderungen führen wird, sowohl nach dem Ansatz von Perkell, Boyce & Stevens (1979) als auch nach Shadle (1990).

Eine eingeschränkte Unterkieferfunktion kann zu veränderten Kieferwinkelöffnungen bei den einzelnen Konsonanten sowie zur Einschränkung der Verständlichkeit führen, ferner kann der zwischen den koronalen Sibilanten und dem Lateral bezüglich der Kieferöffnung bestehende Unterschied neutralisiert oder reduziert werden. Eine Seitenabweichung der Lippen wirft die Möglichkeit einer Beeinträchtigung der labialen Konsonantenproduktion auf. Einbußen in der vertikalen Zungenbewegung können Hinweise auf die problematische Produktion koronaler Laute liefern.

Wesentlich komplexer sind Zusammenhänge zwischen einzelnen Muskeln und der Konsonantenproduktion. Wie die Untersuchung von Mackenzie Beck et al. (1998) zeigte, gelingt es kaum, anhand der Operationsprotokolle verlässliche Prognosen über die Einzelaufbildung aufzustellen. Daher werden lediglich einige vorsichtige Hypothesen formuliert.

Eine elektromyographische Untersuchung von Bole & Lessler (1966) belegt, dass die Aktivität des M. genioglossus bei dem alveolaren Plosiv /t/, dem Nasal /n/ sowie dem dentalen Frikativ /θ/, jedoch nicht beim alveolaren Frikativ /s/ und dem labiodentalen /f/ beobachtet werden kann.¹⁶ Demnach ist bei einer Beschädigung oder Entfernung des hinteren Genioglossusmuskels eine Beeinträchtigung bei der Produktion des apikalen Laterals /l/, nicht jedoch der Sibilanten /z/ und /ʃ/ zu erwarten. Andererseits wird vermutet, dass der M. genioglossus nebst dem Verticalis bei der Bildung der mittsagittalen Rille in den Sibilanten eine Rolle spielen könnte (s. Narayanan, Alwan & Haker, 1995, Mackenzie Beck et al., 1998). Der Ausfall des vorderen Genioglossus, der beim Abwärtsziehen der Zungenspitze mitwirkt, könnte zu Einschränkungen in der velaren Artikulation führen. Beeinträchtigungen des M. verticalis können die Rillenbildung erschweren und somit zu Störungen in der Sibilantenproduktion führen, eine Schädigung des M. longitudinalis superior könnte sich hindernd auf die koronale Lautbildung, des M. longitudinalis inferior auf die velare Lautproduktion auswirken.

¹⁶ Gemeint ist vermutlich der hintere Genioglossus-Anteil, der die Zungenwurzel nach unten zieht und somit die Vertiefung des Zungenrückens bewirkt.

4 Akustische Analyse

Abweichend von der Struktur der allgemeinen phonetischen Beschreibung in Kapitel 3 wird die Reihenfolge nun umgekehrt und die prä- und postoperative Sprechfähigkeit der Patientengruppe zunächst von der akustischen Seite betrachtet. Dieses Vorgehen lässt sich damit begründen, dass die Akustik ein etabliertes Werkzeug in der Evaluierung von Sprechstörungen ist, die Echtzeit-MRT jedoch bisher nicht.

An dieser Stelle muss wiederholt darauf hingewiesen werden, dass die Anzahl von glossektomiebezogenen Arbeiten, die sich (zumindest teilweise) der Konsonantenproduktion widmen, recht gering ist. Relativ gut beschrieben ist die Akustik des koronalen Frikativs /s/ im Bereich der Sprechstörungen, der aufgrund seiner besonderen Störanfälligkeit als verlässliches Signal für eventuelle motorische Störungen der Zunge behandelt wird (Daniloff, Wilcox & Stevens, 1980, Lee et al., 2002, Karlsson et al., 2002). Für die gestörte Produktion von /ʃ/, /x/ und // existieren bislang keine sprechfunktionellen Veröffentlichungen, daher werden akustische Parameter des unbeeinträchtigten Segments herangezogen.

Bei der Suche nach den geeigneten Größen der Beschreibung muss vor Augen gehalten werden, dass für die Analyse eine für experimentalphonetische Arbeiten unzulässig kleine Datenmenge zur Verfügung stand. Die Entscheidung, die Gesamtdauer der Aufnahmen möglichst gering zu halten und mit drei Realisierungen pro Ziellaut auszukommen, wurde bewusst, unter realistischer Einschätzung der Belastbarkeit der Patienten gefällt. Dieser Kompromiss, der als Schutz für die Patienten gedacht war, führte zu Einschränkungen, was die Wahl der statistischen Methoden betrifft.

Die nicht streng parametrische Vorgehensweise ist neben der geringen Anzahl von Wiederholungen auch aufgrund der nicht durchgehend einheitlichen und ausreichenden Aufnahmebedingungen erforderlich. So stand für die Sprachaufnahmen beispielsweise kein schallisolierter Raum zur Verfügung, so dass unerwünschte Umgebungsgeräusche wie Straßelärm z. T. nicht eliminiert werden konnten. Ein weiteres Problem war, dass nicht alle Aufnahmen in einer ausreichenden Qualität vorhanden sind: zum Teil wurde eine Abtastrate von 11 kHz verwendet, also fehlen die hohen Frequenzbereiche, die für die Analyse der Sibilanten notwendig wären. Dies muss bei der Analyse selbstverständlich berücksichtigt werden.

4.1 Die Sibilanten /z/ und /ʃ/

4.1.1 Methoden

Ladefoged & Maddieson (1996) empfehlen für die Analyse von Sibilanten die Ermittlung der gesamten Intensität, Frequenz der unteren Grenze des Friktionsbereichs („lower cut-off point“), Centre of gravity (CoG) und Dispersion der spektralen Komponenten.

In einer Studie von Daniloff, Wilcox & Stephens (1980) und darauf aufbauend bei Lee et al. (2002), wird die /s/-Produktion bei Kindern und Erwachsenen mit Sigmatismus untersucht, wobei die Arbeit von Lee et al. die funktionelle Evaluierung vor und nach orthognatischen, d. h. zwecks der Schaffung eines regelrechten Bisses durchgeführten, Operationen zum Ziel hatte. Ihre Patientengruppe wies Malokklusionen des Ober- und Unterkiefers auf, wodurch die präzise Regulierung des Luftstroms im sublingualen Raum, die für die Bildung von /s/ von zentraler Bedeutung ist (s. Kapitel 3), erschwert wird. Daniloff et al. (1980) stellten fest, dass sich die Spektren je nach Fehlerart unterscheiden: während sie bei der normalen /s/-Artikulation ein kompaktes Spektrum mit Intensitätshöchstwerten zwischen 5 und 11 kHz und zwei scharfe Gipfel um 6 und 10 kHz beobachteten, verschob sich der Bereich mit hoher Intensität bei interdentaler Artikulation auf 6–12 kHz, und die Gipfel fielen kleiner

aus. Bei lateraler Artikulation fiel der Bereich mit hoher Intensität auf 4–10 kHz, die Gipfel waren zahlreicher, hatten aber eine geringere Intensität.

Zur Erfassung der Friktionsbandbreite wurde daher ein Verfahren vorgeschlagen, indem die Frequenzbreite desjenigen Bereichs gemessen wird, der 12 dB niedriger als die maximale Intensität des Gipfels G1 liegt. Dieses Merkmal zeigte in der Studie von Lee et al. (2000) eine hohe Sensibilität für gestörte gegenüber normaler Lautproduktion. In ihrer Analyse wurde zusätzlich der Gipfel mit der zweitgrößten Intensität berücksichtigt, der in der Kontrollgruppe durchschnittlich um 550 Hz höher lag als G1 und sich für die untersuchte Dysgnathiegruppe teilweise als signifikant erwies.

Karlsson et al. (2002) machten in ihrer Untersuchung zum Sigmatismus von dem ersten zentralen Moment (= Centre of Gravity, CoG) und dem zweiten zentralen Moment des Spektrums, der Dispersion (Dis), Gebrauch. Laut ihrer Ergebnisse zeigten CoG und Dis im Onset und Offset des Ziellautes weit weniger Sensibilität gegenüber kategorialen Differenzen als im temporalen Mittelpunkt des Lautes.

Unter Berücksichtigung der obigen Aspekte erfasste die Analyse die folgenden akustischen Merkmale: (1) Gesamtdauer des Segments (ohne Transienten und eventuelle Übergänge, s. Fußnote 17), (2) Intensität des mittleren Segmentbereichs (50 ms) (3) Frequenz des Gipfels mit der höchsten Intensität (G1) und (4) dessen Bandbreite (BB, basierend auf Daniloff, Wilcox & Stephens, 1980, und Lee et al., 2002) sowie (5) Centre of Gravity (CoG) und (6) Dispersion (Dis), mit anderen Worten die Standardabweichung der spektralen Leistungsverteilung, gerechnet aus dem zweiten zentralen Moment des Spektrums. Außer (1) beziehen sich alle Werte auf die mittlere 50 ms¹⁷ des segmentierten Frikativs.

Die Segmentierung der Sibilanten erfolgte manuell im Breitbandsonagramm (Bandbreite: 260 Hz) mit Praat Version 4.1. Die Dauer von /z/ im Wort *Rosi* wurde vom Aussetzen des zweiten Formanten des vorangehenden Vokals bis zum Einsetzen des F2 des nachfolgenden Vokals gemessen. Falls F2 über die Dauer des Konsonanten (bei postoperativen Realisierungen) sichtbar blieb, wurden die konsonantischen Endpunkte der Transitionen (zwischen den sog. ‚slopes‘) als Grenzsignal gewertet (‚steady-state‘ des Frikativs, s. Shadle et al., 1992). In manchen Fällen war eine Friktionspause zwischen dem Sibilanten und dem Folgevokal zu beobachten (etwa einer Aspiration gleich). Diese Pausen wurden nicht zur Frikativedauer gerechnet. /ʃ/ kam im Wort *Schädel* initial vor, so dass hier ab dem Einsetzen des Friktionsgeräusches bis zum Einsetzen der Vokalformanten und des sog. Stimmbalkens (breiter dunkler Streifen im Sonagramm im untersten Frequenzbereich) segmentiert wurde, unter eventueller Berücksichtigung der nachfolgenden Pause. Eine zusätzliche Orientierung bot das Oszillogramm. In jedem Fall wurde versucht, nur Bereiche mit einem geräuschreichem Charakter ohne harmonische Struktur zu erfassen, sofern ein solches Segment vorhanden war.

Die spektrale Analyse schließt im Falle der Sibilanten den Bereich unter 1000 Hz aus, und zwar aus zwei Gründen: erstens kann dadurch die Stimmhaft-stimmlos-Unterscheidung neutralisiert werden, der nicht nur zwischen /z/ und /ʃ/, sondern z. T. auch zwischen den einzelnen /z/-Realisierungen besteht. Zweitens werden die Ergebnisse durch eventuelle Störgeräusche, die meist im niedrigen Frequenzbereich auftreten, nicht verfärbt. Somit wurde der Bereich 0–1000 Hz bei allen Spektren von /z/ und /ʃ/ herausgefiltert. Informationen, die durch das Filtern eventuell verloren gehen, wurden in der qualitativen Einzelanalyse der Segmente berücksichtigt.

Schließlich bedürfen noch die Begriffe CoG und Dis einer kurzen Erläuterung. Das spektrale Centre of Gravity (zu Deutsch: Schwerpunkt) charakterisiert die Verteilung der

¹⁷ Bei manchen /ʃ/-Segmenten war im Oszillogramm ein Bereich mit deutlich geringerer Amplitude zur Wortgrenze hin beobachtet, d. h. die mittleren 50 ms hätten einen Bereich mit erfasst, der als Artefakt der initialen bzw. finalen Position des Segments zu werten ist. In diesen Fällen wurde ein Teilbereich von 50 ms aus dem Oszillogramm herausgeschnitten, der einen gleichmäßigen Verlauf mit hoher Intensität zeigte.

Frequenzen hinsichtlich ihrer Leistung im ermittelten Spektrum, mit anderen Worten deutet er auf den Bereich hin, in dem die Intensität der Frequenzen im Allgemeinen am höchsten ist. Die Ermittlung von CoG ist natürlich nur bei Segmenten sinnvoll, deren Hauptcharakteristikum nicht das Vorhandensein einer Formantstruktur ist und die nur einen oder zwei prägnante Gipfel aufweisen. Da sich die Sibilanten am besten durch die Prominenz bestimmter – größerer – Frequenzbereiche beschreiben lassen, sind sie die idealen Kandidaten für die Ermittlung des spektralen Schwerpunktes. Die Dispersion der Frequenzen im Intensitätsbereich der Schwerpunktfrequenz wird aus der Varianz berechnet. Sie liefert einen Hinweis auf die Form der Hüllkurve bzw. auf die Ausdehnung des Schwerpunktbereichs. Das Centre of Gravity wird auch als erstes spektrales Moment, die Varianz als zweites spektrales Moment bezeichnet. Um die Varianz relativ zum Centre of Gravity betrachten zu können, wird ein Normierungsverfahren angewendet.

Dies sei kurz am Beispiel eines mit Fast Fourier Transformation (fft) erstellten Spektrums der Segmente /z/ und /ʃ/ verdeutlicht (s. Abbildung 5). Der rote Pfeil gibt jeweils die Position der Centre of Gravity (5686 Hz für /z/, 3739 Hz für /ʃ/) an. Der durch den blauen Pfeil gekennzeichnete Bereich (2000 Hz für /z/, 1444 Hz für /ʃ/) markiert die Dispersion.

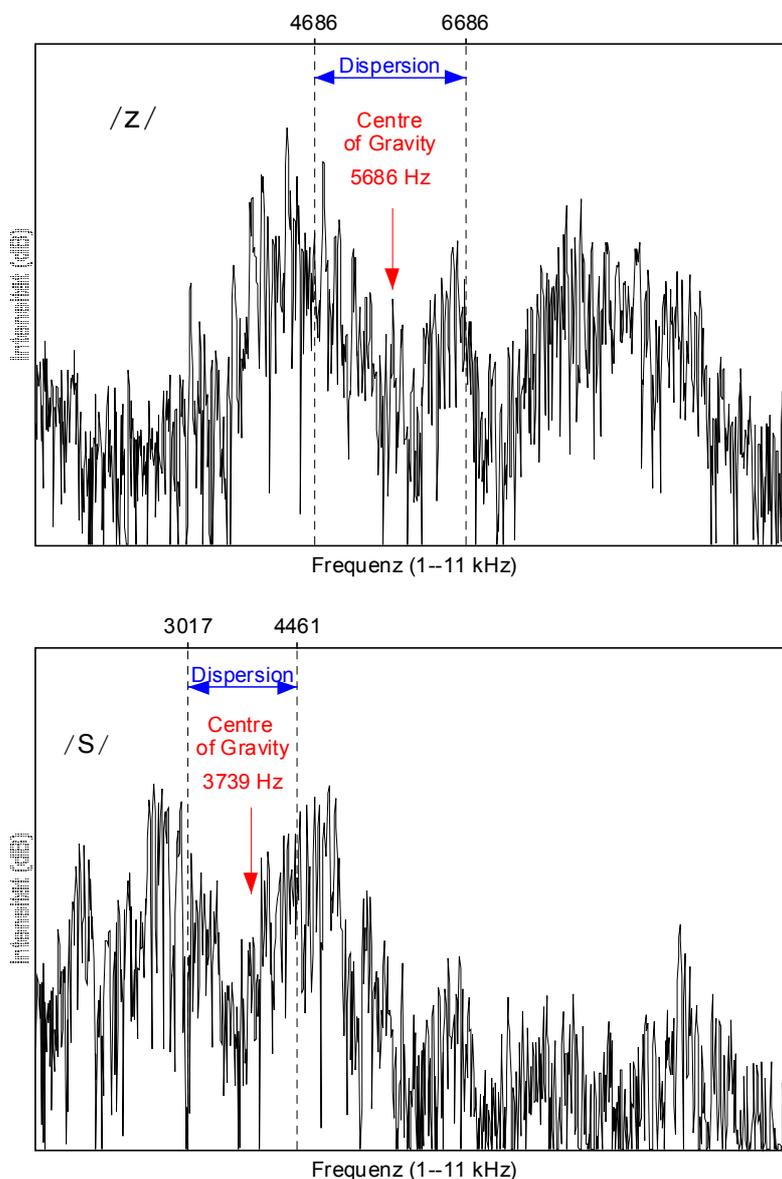


Abbildung 5a, b: Centre of Gravity und Dispersion von a: /z/, b: /ʃ/.

Der spektrale Schwerpunkt fällt in beiden hier abgebildeten Spektren in einen Bereich, der durch eine – im Vergleich zu den Gipfeln – relativ geringe Intensität gekennzeichnet ist. Dennoch lässt die Frequenzangabe auf die spektrale Verteilung der Frequenzen im Allgemeinen folgern: der Einfluss der höheren Frequenzbereiche mit großer Intensität manifestiert sich in einem höheren CoG-Wert, während der Centre of Gravity bei f_c , wo die Intensität oberhalb von 5 kHz deutlich geringer ist, um fast 2 kHz kleiner ausfällt. Die Tatsache, dass der Frequenzbereich mit großer Intensität bei f_c insgesamt etwas kleiner als bei f_c ist, wird durch den kleineren Dispersionswert zum Ausdruck gebracht.

Im Folgenden wird kurz skizziert, wie das Centre of Gravity bzw. die Dispersion des Spektrums errechnet werden. Die Notation lehnt sich an die von Praat an, die Formeln folgen den Konventionen der deskriptiven Statistik.

Die Berechnung von CoG basiert auf dem aus dem Zeitsignal mittels FFT (Fast Fourier Transformation) erstellten Leistungsspektrum, dessen x-Achse die Frequenz (in Hertz) und y-Achse die aus dem Schalldruck errechnete Intensität (dB) abbildet. Die y-Achse lässt sich auch als $S(f)^2$ (S steht für ‚Spektrum‘, f für Frequenz) definieren, wobei dieser Wert immer proportional zur spektralen Leistungsdichte ist und die Leistung pro Frequenzintervall (bei den hier verwendeten Fenstern $\Delta f = 10,77$ Hz) angibt.

Um die Leistung aller Frequenzintervalle, d. h. die angenäherte Fläche A der Hüllkurve, zu erhalten, müssen die Leistungen für jedes einzelne Frequenzintervall (repräsentiert durch die jeweilige Untergrenze f_i) addiert werden, also

$$A = \sum_{i=1}^n S(f_i)^2$$

Die Größe der Fläche wird benötigt, um die Leistung der Frequenzintervalle im Verhältnis zur Fläche normieren zu können. Die Summe der normierten Leistungen ist 1.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{S(f_i)^2}{A} \right) = 1$$

Der „Mittelwert“ des Spektrums, der Schwerpunkt f_c , wird gewichtet, in Abhängigkeit von Leistung und der dazugehörigen Frequenz, berechnet und ebenfalls auf A normiert.

$$f_c = \frac{\sum_{i=1}^n (S(f_i)^2 \times f_i)}{A}$$

Dies ist das erste spektrale Moment, d. h. das Centre of Gravity. Aus ihm kann nun das zweite spektrale Moment berechnet werden, das der Varianz V des Spektrums entspricht. Es basiert auf der bezüglich A normierten Summe der Leistungen, in Abhängigkeit von der Entfernung der jeweiligen Frequenz vom Centre of Gravity. Somit lässt sich die Varianz durch den spektralen Schwerpunkt relativieren. Die Dispersion (Dis), eigentlich Standardabweichung, entspricht ihrer Definition nach der Wurzel der Varianz.

$$Dis^2 = V = \frac{\sum_{i=1}^n S(f_i)^2 (f_i - f_c)^2}{A}$$

Die so errechnete Summe ist das zweite zentrale spektrale Moment, das um das erste spektrale Moment zentriert ist, d. h. die Dispersion.

4.1.2 Ergebnisse

Entsprechend der Beobachtung, /s/ und /ʃ/ zeigten oft ausgeprägte intraindividuell, aber nicht unbedingt interindividuell erfassbare Unterschiede, werden diese beiden Sibilanten im Vergleich diskutiert. Zu Beginn werden die präoperativen Ergebnisse für die Gesamtheit der Patienten dargestellt. Im zweiten Schritt folgt dann eine Beschreibung der prä- und postoperativen Realisierungen bei den einzelnen Patienten, unter quantitativen wie unter qualitativen Gesichtspunkten. Dabei wird auch auf den auditiven Eindruck eingegangen. Abschließend wird die Gültigkeit der für die Analyse verwendeten Messparameter überprüft.

4.1.2.1 Präoperative Realisierungen

4.1.2.1.1 Dauer

Die Dauerangabe bezieht sich sinngemäß auf die Dauer des gesamten Sibilanten. Wie aus Tabelle 4-1 ersichtlich, wurde /ʃ/ signifikant¹⁸ länger produziert als /z/: $\bar{x}_d(z) = 107,63$ ms; $\bar{x}_d(ʃ) = 152,96$ ms. Vermutlich liegt die Differenz einerseits in den unterschiedlichen Positionen (medial vs. initial), andererseits im Merkmal Stimmhaftigkeit begründet. Die Annahme der Positionsabhängigkeit wird später am Lateral überprüft, der in den Wörtern *lang* und *Juli* vorkommt.

Abbildung 4-6 zeigt, dass die Dauer von /ʃ/ je nach initialer bzw. finaler Realisierung stark schwankt: es wird in finaler Position deutlich länger realisiert, hier ist die Differenz zu /z/ am größten. /ʃ/ in initialer Position weist zwar meist ebenfalls längere Dauern vor als /z/, doch gilt dies hier nicht absolut, sondern relativ für die beiden Sibilanten, ferner ist das Verhältnis nur bei zwei Patienten (GL6 und GL7) tatsächlich konstant. Es ist auch ein Einfluss der Stimmhaftigkeit und des damit behafteten Fortis-Lenis-Charakters anzunehmen, indem stimmhafte Konsonanten mit einer kürzeren Dauer behaftet sind (vgl. 3.1.2).

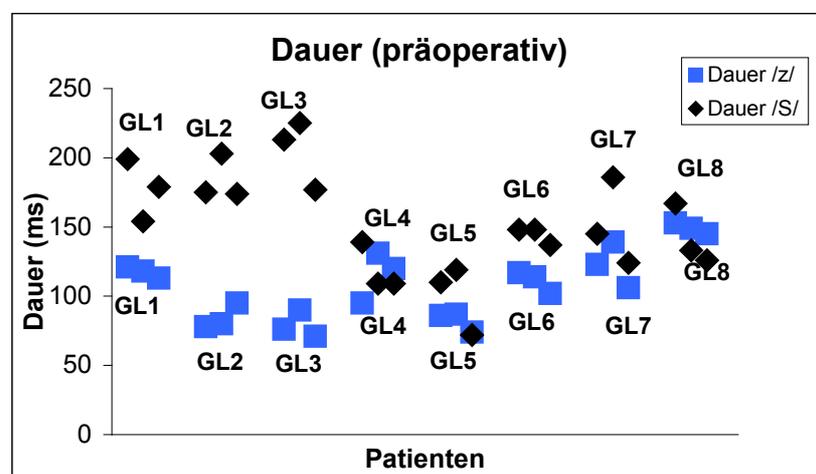


Abbildung 4-6: Sibilanten präoperativ: Dauer der Realisierungen von /z/ in *Rosi* und /ʃ/ in *jüdisch* (GL1 bis GL3) bzw. *Schädel* (GL4 bis GL8).

¹⁸ Die Angabe ‚signifikant‘ bezieht sich im Folgenden auf das Niveau $p \leq 0,05$ bei einem zweiseitigen t-Test mit abhängigen Variablen.

Pat.	#	/z/								/ʃ/							
		Dauer (ms)	Intensität (dB)	G1 (Hz)	BB (Hz)	CoG (Hz)	Dis (Hz)	CoG <5500 (Hz)	Dis <5500 (Hz)	Dauer (ms)	Intensität (dB)	G1 (Hz)	BB (Hz)	CoG (Hz)	Dis (Hz)	CoG <5500 (Hz)	Dis <5500 (Hz)
GL1	1	121	59,68	3268	3000			3194	966	199	59,88	2601	2486			2701	538
	2	118	59,66	3839	3161			3138	990	154	59,64	2490	423			2513	483
	3	113	59,62	3335	3110			2976	1071	179	59,64	2575	2324			2706	736
GL2	1	78	63,15	2541	x			2841	1032	175	61,30	1882	1099			2177	460
	2	80	61,46	2541	x			2548	1031	203	60,84	1898	1538			2151	537
	3	95	60,91	3935	x			2651	1157	174	60,87	1805	1183			2179	524
GL3	1	76	60,84	3631	x			3190	1162	213	60,84	2287	3330			2624	781
	2	90	60,95	3631	x			2609	1210	225	60,87	2338	1707			2487	739
	3	71	60,94	3369	x			2806	1209	177	60,74	2355	2096			2414	807
GL4	1	95	59,34	4321	5189	5695	1991	4305	565	139	58,89	2563	2972	3745	1439	3550	1125
	2	131	58,80	4067	6321	5577	2051	4152	599	109	58,76	2664	4412	3436	1536	3179	1191
	3	120	59,48	4032	6254	5837	2065	4224	593	109	58,72	2664	4310	3373	1528	3099	1145
GL5	1	86	63,97	3804	1396			3371	975	110	63,45	2042	2180			2448	617
	2	87	62,97	3667	1286			3393	975	119	61,91	1682	2375			2421	708
	3	74	63,91	3582	1481			3106	1178	72	61,29	1915	1809			2333	656
GL6	1	117	62,90	4459	x			3566	1100	148	61,78	2566	2755			2944	690
	2	114	64,86	4140	x	4343		3300	1179	148	61,41	2566	2916			3044	721
	3	102	62,51	3744	2742			3641	866	137	61,43	2270	3304			2851	823
GL7	1	123	61,85	5427	4598	4217	1363	3833	801	145	79,56	2241	3211	2715	970	2665	865
	2	139	73,08	3230	5160	4484	1365	3840	861	186	70,48	2208	3752	2983	1150	2920	1049
	3	106	71,27	3050	3457	3943	1255	3434	724	124	69,12	2208	3566	2795	1004	2743	901
GL8	1	153	71,75	6722	4206	6165	1377	3824	1213	167	72,72	2107	3955	2917	1431	2583	956
	2	149	69,48	6603	5155	6484	1470	3937	1133	133	71,14	2056	4699	4015	1904	2926	1114
	3	145	68,91	8073	7099	6406	1686	3501	1049	126	68,09	1938	4902	3946	1915	2760	908
MW		107,6	63,43	4125	3976	5315	1625	3391	984,9	153,0	63,47	2247	2804	3325	536,5	2684	795
Dis		24,9	4,29	1328	1815	971,2	330,0	512	203,5	37,78	5,40	297,9	1194	498,6	344,9	343,6	219,4

Tabelle 4-1: Sibilanten /z/ und /ʃ/ präoperativ: Gesamtdauer des Segments, Intensität, Frequenz des Gipfels mit der höchsten Intensität (G1), Bandbreite (BB), ‚centre of gravity‘ (CoG), Dispersion um das CoG (Dis), CoG für das Spektrum unterhalb von 5400 Hz und die dazugehörige Dispersion. G1 wurde für die Patienten GL4, GL7 und GL8 zwischen 1 und 11 kHz, für alle anderen zwischen 1 und 5,5 kHz ermittelt. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

4.1.2.1.2 Gesamtintensität

Aufgrund der Fortis-Lenis-Unterscheidung zwischen /z/ und /ʃ/ wäre zu erwarten, dass /ʃ/ eine höhere Intensität als /z/ verfügt, da /z/ selbst bei stimmloser Realisierung seinen Lenischarakter bewahrt (Neppert & Pétursson, 1992: 192, Kohler, 1995: 60, Machelett, 1996).

Die Daten in Tabelle 4-1 und Abbildung 4-7 zeigen jedoch, dass die Intensitätswerte für /z/ und /ʃ/ nicht differenzierbar sind und nicht signifikant voneinander abweichen ($\bar{x}_i(z) = 63,43$ dB vs. $\bar{x}_i(\text{ʃ}) = 63,47$ dB), wobei die Standardabweichung s für /ʃ/ etwas größer ausfällt ($s_i(z) = 4,29$ dB, $s_i(\text{ʃ}) = 5,40$ dB). Die Berechnung der Intensität der Segmente über den gesamten Friktionsbereich brachte kein anderes Ergebnis.

Angesichts dieser Datenlage lässt sich die Intensität normal produzierter Segmente nicht als differenzierendes Merkmal zwischen dem zugrundeliegend stimmhaften /z/ und dem stimmlosen /ʃ/ verwenden. Auffällig ist jedoch die fallende Tendenz der Intensität vom ersten

zum dritten Segment hin, die sich für /z/ bei GL1, GL5, GL6 und GL8, für /ʒ/ bei GL4, GL6 und GL8 beobachten lässt.

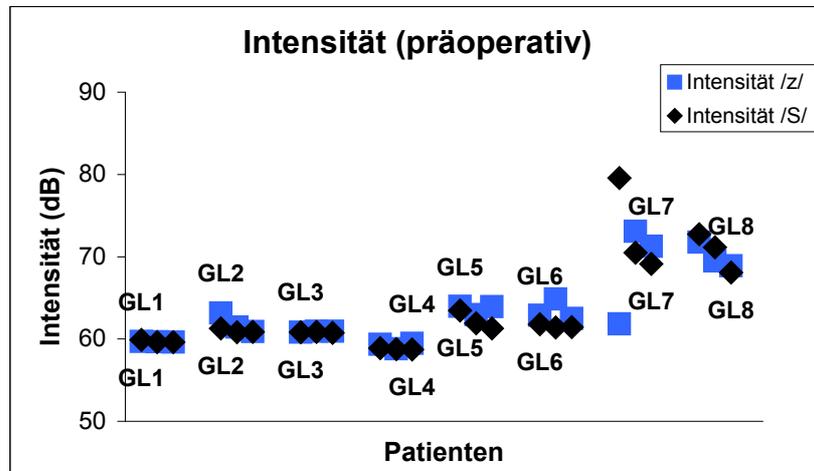


Abbildung 4-7: Intensität präoperativ: Intensität von /z/ und /ʒ/ für die mittleren 50 ms des Segments.

Die Intensität ist im Allgemeinen kein zuverlässiges Merkmal, da sie von vielen Faktoren wie Lautstärke, Nähe zum Mikrophon, Aussteuerung usw. abhängt. Allerdings ist hier davon auszugehen, dass zwischen den Testwörtern keine entsprechende Veränderung stattfinden konnte. Um die Werte dennoch zu relativieren, wäre ein Vergleich gemessen an einer konstanten Größe, wie an der Intensität des hauptbetonungstragenden Vokals, denkbar.

4.1.2.1.3 Gipfel mit höchster Intensität (GI)

Der Gipfel mit der höchsten Intensität wird für /s/ meist um 4 kHz oder höher angegeben: Stevens (2000): ~ 4,5 kHz (Darstellung nur bis 5 kHz!), Neppert & Pétursson (1992): ~ 4 kHz und 7,5 kHz für laminale, ~ 3,5 kHz für apikale Artikulation, Lee et al., 2002: 7,36 kHz. Für /ʒ/ geben Neppert & Pétursson (1992) drei gleich hohe Gipfel zwischen 2–4 kHz an, in Stevens (2000) werden für /ʒ/ zwei gleich hohe Gipfel bei 2,5 kHz und 3,2 kHz genannt.

Aufgrund der Dominanz der höheren Frequenzbereiche bei /z/ ist nur die Auswertung des Datenmaterials vollwertig, das mit einer Abtastrate von 22 kHz aufgenommen wurde und entsprechend bis 11 kHz für die Analyse zugänglich ist. Daher wird bei den spektralen Parametern im Folgenden zunächst das vollständige Datenmaterial (über 1 kHz) analysiert, das bei den Patienten GL4, GL7 und GL8 zur Verfügung steht. Um eine Vergleichbarkeit mit den restlichen fünf Patienten zu gewährleisten, werden im Anschluss die jeweiligen Parameter anhand der gefilterten Daten für alle Patienten einheitlich ermittelt.

Bei den Segmenten, die mit einer ausreichenden Abtastrate gespeichert waren, fanden sich für /z/ GI-Werte zwischen 3050 und 8073 Hz, für /ʒ/ betrug GI 1938–2664 Hz (Abbildung 4-8). Bei GL8 ist die Differenz zwischen den spektralen Gipfeln für /z/ und /ʒ/ stark ausgeprägt, vielmehr, seine GI-Werte für /z/ entsprechen den erwarteten Werten vor /i/ um 6 kHz und den recht hohen Werten von Lee et al. (2002). Die restlichen Gipfel liegen um 3,5–4 kHz, bis auf den ersten Wert von GL7 (5427 Hz).

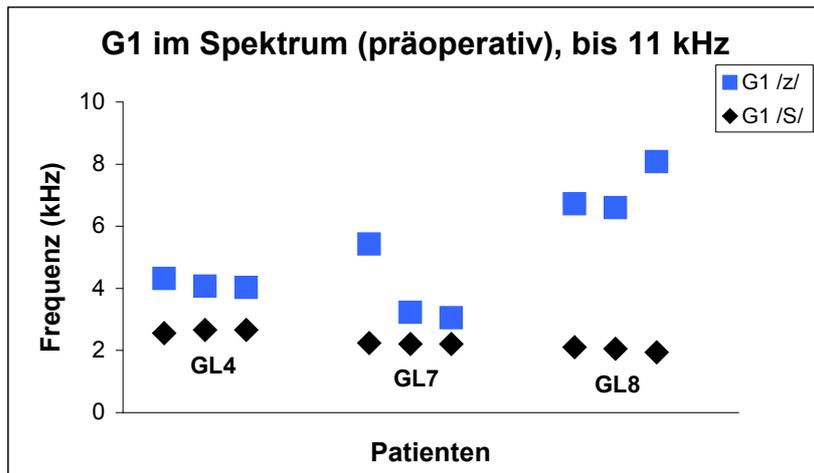


Abbildung 4-8: Gipfel mit höchster Intensität präoperativ, oberhalb von 1 kHz.

Abbildung 4-9 zeigt die Gipfel mit höchster Intensität bei den gleichen Patienten, wenn nur der Bereich bis 5,5 kHz berücksichtigt wird. Dieser Abschnitt reicht bereits aus, das Spektrum von /z/ und /s/ grob voneinander abzugrenzen: gegenüber den unveränderten Werten für /s/ (bis maximal 2664 Hz) reichen die Werte für /z/ von 3050 Hz bis maximal 4896 Hz. Es gibt also weder relativ, sprich intraindividuell, noch absolut gesehen, d. h. zwischen verschiedenen Patienten, Überlappungen zwischen /z/ und /s/ in den GI-Werten.

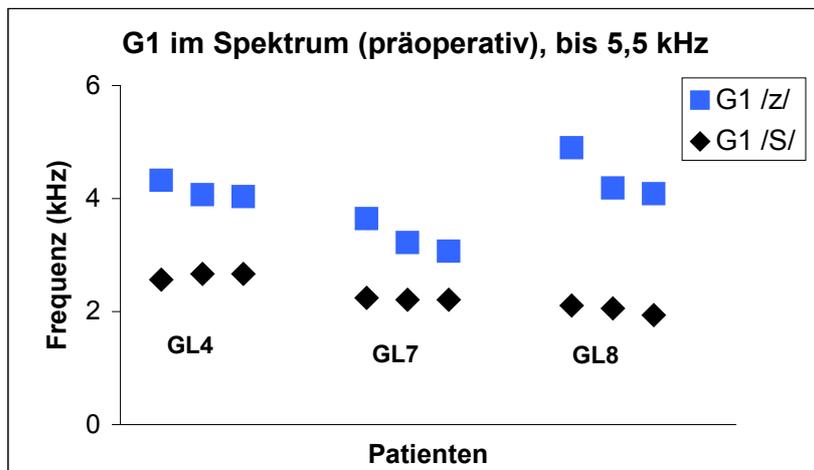


Abbildung 4-9: Gipfel mit höchster Intensität präoperativ, gemessen zwischen 1 bis 5,5 kHz.

Um eine interindividuelle Vergleichbarkeit zu schaffen, wurden die GI-Werte für alle Patienten im Spektrum, gefiltert auf den Bereich 1–5,5 kHz, ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-2 zusammengefasst.

Patient	#	G1 /z/	BB /z/	G1 /ʃ/	BB /ʃ/	Patient	#	G1 /z/	BB /z/	G1 /ʃ/	BB /ʃ/
GL1	1	3268	3000	2601	2486	GL5	1	3804	1396	2042	2180
	2	3839	3161	2490	423		2	3667	1286	1682	2375
	3	3335	3110	2575	2324		3	3582	1481	1915	1809
GL2	1	2541		1882	1099	GL6	1	4459		2566	2755
	2	2541		1898	1538		2	4140		2566	2916
	3	3935		1805	1183		3	3744	2742	2270	3304
GL3	1	3631		2287	3330	GL7	1	3645	2958	2241	3211
	2	3631		2338	1707		2	3222	2941	2208	3752
	3	3369		2355	2096		3	3070	2789	2208	3566
GL4	1	4320	5189	2563	2972	GL8	1	4896	3685	2107	3955
	2	4067	6321	2664	4412		2	4186	3870	2056	4699
	3	4032	6254	2664	4310		3	4084	3651	1938	4902

Tabelle 4-2: Gipfel mit höchster Intensität (G1) und Bandbreite (BB) im Spektrum von /z/ und /ʃ/, präoperative Aufnahmen, gefiltert auf 1–5,5 kHz.

Die G1-Werte in den gefilterten Spektren waren für /z/ zwischen 2541 Hz und 4896 Hz verteilt (diff = 2355 Hz), die Werte für /ʃ/ lagen zwischen 1938 Hz und 2664 Hz (diff = 726 Hz). Die G1-Werte für /z/ fielen durchschnittlich um 1461,96 Hz höher als für /ʃ/ aus ($\bar{x}_{G1}(zprä) = 3708,67$ Hz, $\bar{x}_{G1}(ʃprä) = 2246,71$ Hz), der Unterschied ist nicht signifikant. Die Standardabweichung war bei /z/ etwas höher als bei /ʃ/ ($s_{G1}(zprä) = 554,33$ Hz, $s_{G1}(ʃprä) = 297,94$ Hz).

Die Differenzierung zwischen /z/ und /ʃ/ hinsichtlich der G1-Werte ist intraindividuell gut möglich. Eine strikte Trennung zwischen der Gesamtheit der Werte ist anhand dieses Parameters aufgrund einer Überlappung dennoch nicht möglich: G1 für /z/ fällt bei GL2 (2541 Hz) niedriger aus als der höchste Wert für /ʃ/ bei GL4 (2664 Hz). Dies wird möglicherweise durch die unterschiedlichen Abtastraten bei GL2 (11 kHz) und GK4 (22 kHz) verursacht.

Dieser Artefakt führt uns die eingeschränkte Gültigkeit der akustischen Analyse bei einer Abtastrate von 11 kHz noch einmal vor Augen. Dennoch kann für die postoperative Analyse festgehalten werden: G1 wird bei normaler /z/-Artikulation mit großer Wahrscheinlichkeit höher als 3 kHz ausfallen, während G1 für /ʃ/ mit großer Wahrscheinlichkeit um 2 kHz angesiedelt ist. Diese Tendenz verdeutlicht die Abbildung 4-10.

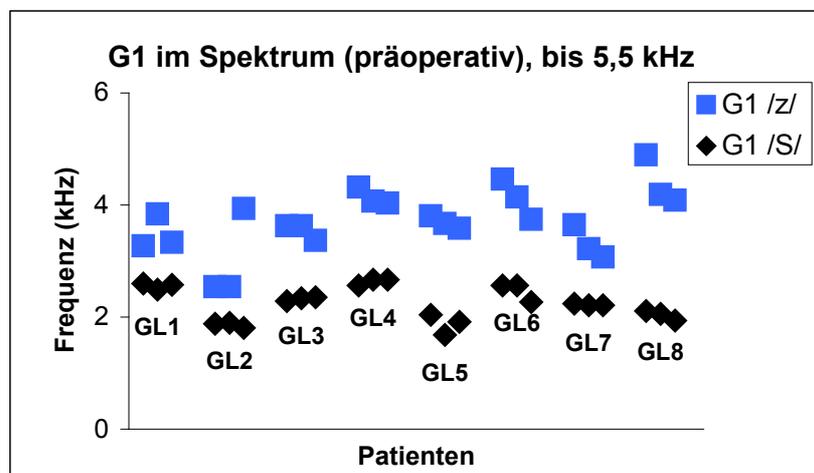


Abbildung 4-10: Gipfel mit höchster Intensität für alle Patienten, präoperativ. Spektrum wurde auf 1–5,5 kHz gefiltert.

4.1.2.1.4 Friktionsbandbreite

Die Ermittlung der Bandbreite (BB), wie sie oben beschrieben wurde, gehört nicht standardmäßig zur akustischen Analyse der Frikative. Da sie sich in den referierten Arbeiten als ein sensibles Maß für normabweichende Artikulationen von /s/ erwiesen hat, wurde sie dennoch in die Analyse aufgenommen. Lee et al. (2002) geben für normale Sprecher eine durchschnittliche BB von 5,35 kHz an, für die normabweichende Produktion liegt sie zwischen 7,01 und 7,26 kHz. Es ist wichtig anzumerken, dass die Friktionsbandbreite nicht etwa die Ausdehnung des größten Gipfels angibt wie etwa die Dispersion um das CoG herum, sondern sie gibt den Bereich an, in dem einzelne Frequenzbereiche eine relativ hohe Intensität haben.

Die genaue Ermittlung zeigte sich in der Analyse gelegentlich problematisch: bei manchen prä- und postoperativen Realisierungen hob sich G1 um weniger als 12 dB vom restlichen Spektrum ab, so dass die Bandbreite nicht ermittelt werden konnte. Dies war der Fall bei GL2, GL3 und GL6, bei denen die Hüllkurve für den niedrigen Frequenzbereich relativ hohe Intensitätswerte zeigte. Mit anderen Worten hatten die Frequenzen unterhalb von G1 mehrheitlich eine Intensitätsdifferenz kleiner als 12 dB zum Gipfel. Dies betraf immer Segmente, die mit 11 kHz aufgenommen wurden und somit nicht das gesamte frikativrelevante Spektrum erfassen.

Ähnlich dem bei G1 verwendeten Aufbau werden zunächst die BB-Werte für GL4, GL7 und GL8 dargestellt (Abbildung 4-11). Sie liegen für /z/ im Bereich 4206–7099 Hz, für /ʃ/ zwischen 2972 und 4902 Hz. Wie die Abbildung verdeutlicht, lassen sich angesichts der Tendenz bei dieser Anzahl von Daten keine allgemein gültigen Aussagen machen: BB für /z/ ist entweder größer oder gleich groß wie für /ʃ/.

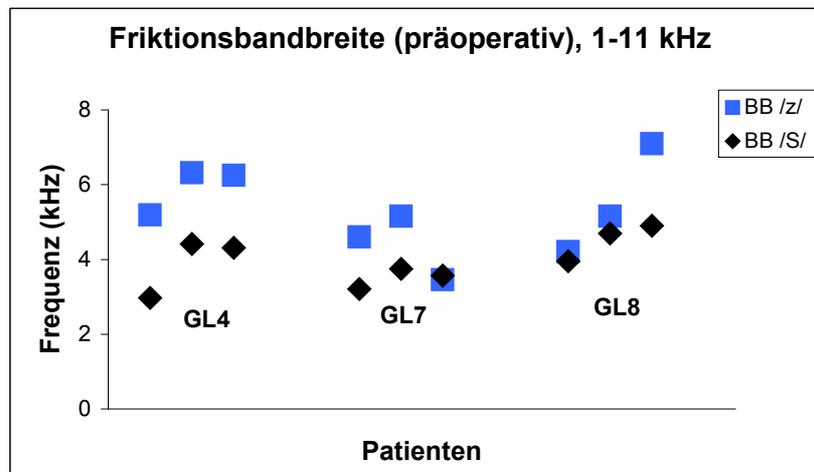


Abbildung 4-11: Bandbreite vom Gipfel mit der höchsten Intensität, präoperativ. Frequenzbereich bis 1 kHz wurde abgeschnitten.

Die Werte für die auf 1–5,5 kHz gefilterten Spektren zeigen keine eindeutigen Tendenzen. Während BB bei GL5, GL7 und GL8 für /ʃ/ leicht größer ausfällt, zeigen GL1 und GL4 eine gegenläufige Tendenz. (Aufgrund der spektralen Verteilungsform konnten für GL2 und GL3 z. T. keine Werte ermittelt werden, daher wurde auf die Ermittlung der Mittelwerte verzichtet.)

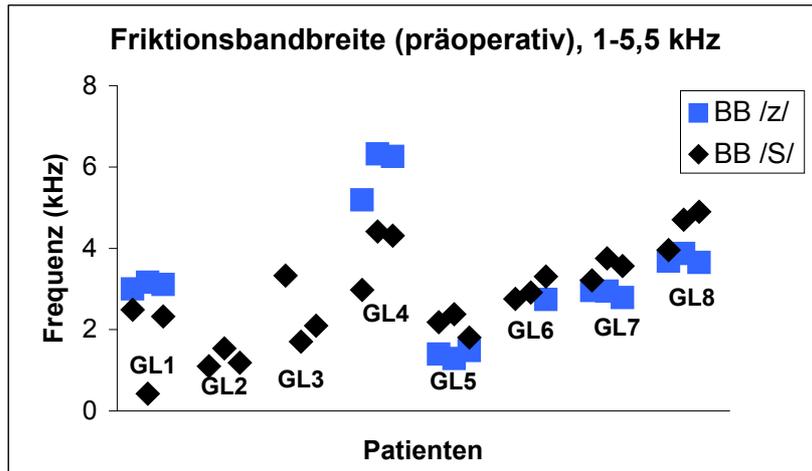


Abbildung 4-12: Friktionsbandbreite präoperativ, im Spektrum zwischen 1–5,5 kHz gemessen.

4.1.2.1.5 Centre of gravity

Das Centre of gravity erlaubt einen Rückschluss auf die prominenten Frequenzbereiche im Spektrum. Anders als beim durch ‚Peak picking‘ ermittelten GI wird hier der gesamte spektrale Bereich (oberhalb von 1 kHz) berücksichtigt. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der geringen Sensitivität gegenüber den Verschiebungen der Intensitätsverhältnisse (wie z. B. von F2).

In Abbildung 4-13 sind die über das gesamte Spektrum (1–11 kHz) ermittelten Werte für GL4, GL7 und GL8 dargestellt. Wie bereits bei GI festgestellt, ergibt sich auch hier eine gute intraindividuelle Differenzierbarkeit für /z/ und /ʃ/ anhand der Kennzahl CoG, die für /z/ höher ausfällt. Die Werte für /z/ liegen zwischen 3943 Hz und 6484 Hz, für /ʃ/ zwischen 2715 Hz und 4015 Hz. Zwischen den interindividuellen Grenzwerten besteht eine leichte Überlappung, die Mittelwerte zeigen jedoch im Allgemeinen eine deutliche Differenz, die jedoch statistisch nicht signifikant ist ($\bar{x}_{CoG}(z) = 5315$ Hz, $\bar{x}_{CoG}(ʃ) = 3325$ Hz, $x_{CoG}(diff) = 2098$ Hz).

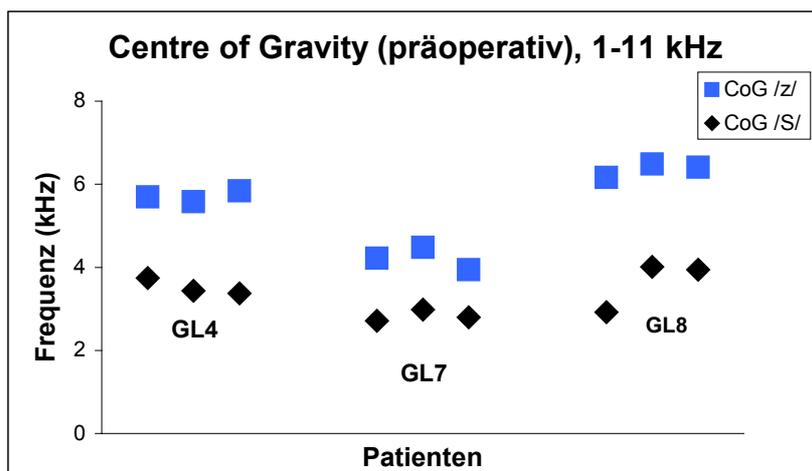


Abbildung 4-13: Centre of gravity präoperativ, Werte für den Bereich 1–11 kHz.

Die gleiche Tendenz lässt sich in den gefilterten Spektren erkennen. Die CoG-Werte für /z/ fallen im Allgemeinen höher aus, was sich sowohl anhand der Mittelwerte als auch im intraindividuellen Vergleich nachweisen lässt ($\bar{x}_{CoG}(z) = 3390$ Hz, $\bar{x}_{CoG}(ʃ) = 2684$ Hz, $x_{CoG}(diff) = 706$ Hz). Die Standardabweichung beträgt $s_{CoG}(z) = 511,52$ Hz und

$s_{CoG}(\text{J}) = 343,63 \text{ Hz}$. Lediglich bei GL3 wurden wenig differenzierte bzw. überlappende CoG-Werte beobachtet.

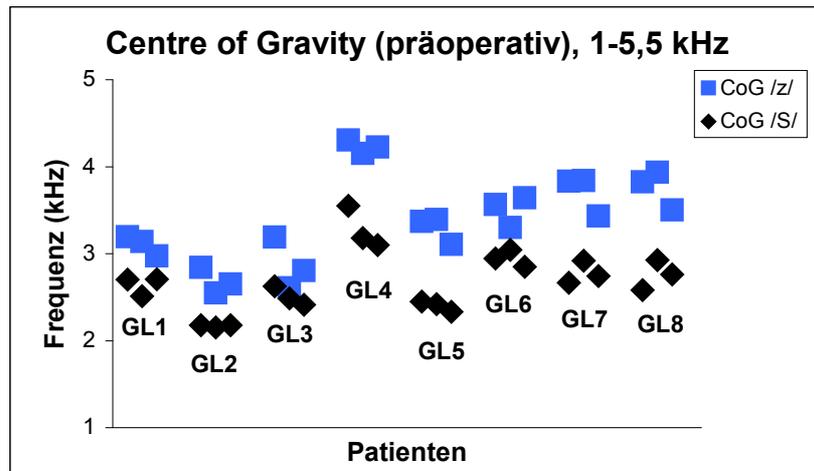


Abbildung 4-14: Werte für ‚Centre of Gravity‘ präoperativ, basierend auf gefilterten Spektren auf 1–5,5 kHz.

Ähnlich wie GI zeigt sich auch hier eine gute Differenzierbarkeit anhand des Mittelwertes, der für /z/ höher als für /s/ ausfällt, die Standardabweichung ist bei beiden Kennzahlen für /z/ größer, und es ist eine eindeutige intraindividuelle Unterscheidung der beiden Frikative gegeben.

Dieser Zusammenhang liegt auf der Hand, da beide Kennzahlen über den Bereich etwas aussagen, in dem die Intensität der ermittelten Frequenzintervalle (bins) besonders groß ausfällt. Dennoch sind sie nicht direkt vergleichbar, da GI die Lage des höchsten Gipfels angibt, während der Wert für CoG die Gewichtung *aller* Frequenzbereiche mit berücksichtigt. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass der Zusammenhang zwischen GI und CoG statistisch nicht nachweisbar ist: der Pearson-Korrelationskoeffizient beträgt für die gefilterten Spektren jeweils $r(z) = 0,45$ und $r(s) = 0,69$.

4.1.2.1.6 Dispersion

Die Dispersion (Dis), d. h. die Wurzel des zweiten zentralen spektralen Moments, gibt die Standardabweichung des ersten spektralen Moments, des CoG an. Ähnlich wie die Friktionsbandbreite dient sie dazu, die Intensitätsverteilung um den Schwerpunkt herum zu erfassen. Aufgrund der spektralen Erscheinung des laminalen /z/ (langer und flacher Intensitätsbereich ab ca. 4 bis 8 kHz) sind für /z/ höhere Dis-Werte zu erwarten als für /s/, für das ein breiter Gipfel zwischen 2 und 4 kHz charakteristisch ist.

Die über das gesamte Spektrum (oberhalb von 1 kHz) ermittelte Dispersion zeigt nur zum Teil das erwartete Muster: die Dispersion für /z/ fällt bei zwei Patienten höher, bei GL8 niedriger als für /s/ aus. Für /z/ nimmt sie Werte zwischen 1255 und 2065 Hz, für /s/ zwischen 970 und 1904 Hz ein. Es lässt sich bei dieser geringen Datenmenge nicht klären, ob das abweichende Muster bei GL8 mit dem recht hohen GI oder CoG für diesen Patienten zusammenhängt.

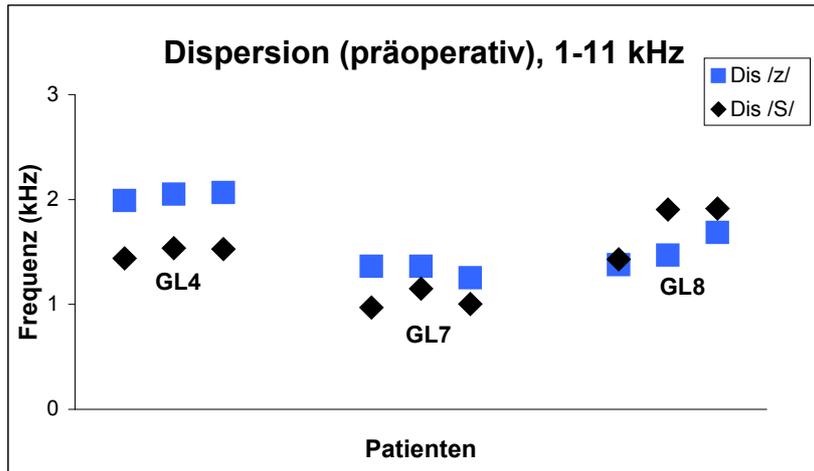


Abbildung 4-15: Dispersion für das gesamte Spektrum ab 1 kHz, präoperativ.

\bar{Dis} für /z/ fällt bei den gefilterten Daten etwas größer aus ($\bar{x}_{Dis}(z) = 984$ Hz, $\bar{x}_{Dis}(ʃ) = 794$ Hz, $x_{Dis}(\text{diff}) = 190$ Hz), die Differenz ist jedoch nicht signifikant. Die Standardabweichungen unterscheiden sich nur geringfügig ($s_{Dis}(z) = 203$ Hz und $s_{Dis}(ʃ) = 219$ Hz). Bei GL1, GL2, GL3, GL5 und GL6 ist Dis für /z/ deutlich größer als für /ʃ/, diese Tendenz ist GL4 umgekehrt und bei GL7 und GL8 nicht vorhanden.

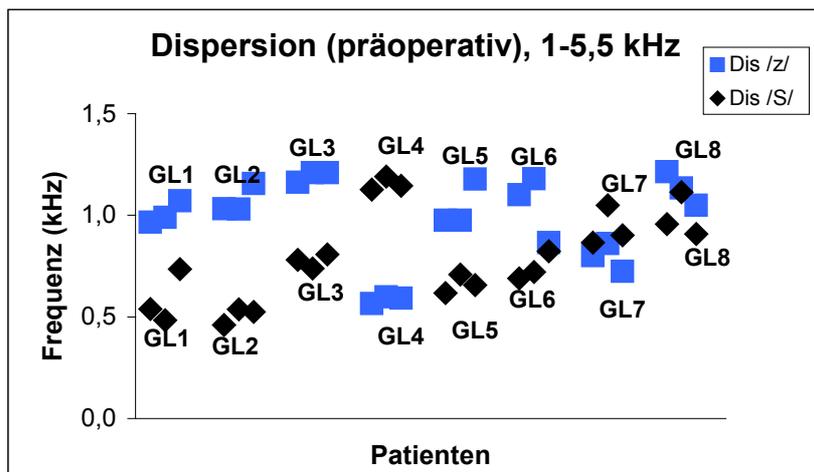


Abbildung 4-16: Dispersion präoperativ, 1-5,5 kHz.

4.1.2.2 Qualitativer Vergleich prä- und postoperativer Segmente

Bisher sind keine standardisierten Kriterien zur akustischen Analyse normabweichender Frikative herausgearbeitet worden. Aus diesem Grund wurde im vorangehenden Abschnitt versucht, ausgehend von den normal realisierten Segmenten relevante akustische Eigenschaften für /z/ und /ʃ/ zu ermitteln. Die Parameter GI und CoG führten in der präoperativen Analyse zu einer guten Differenzierbarkeit der Sibilanten. Zwar erwiesen sich Dauer, Intensität und Dispersion bei der Konsonantendifferenzierung als weniger nützlich, dennoch erscheint es zu Testzwecken angebracht, sie für Zwecke der Kontrastierung auch postoperativ zu untersuchen.

Bei normabweichenden Realisierungen liefern Vokaltransitionen eventuell ebenfalls nützliche Informationen, auch wenn sie bei Frikativen nicht so stark ausgeprägt sind wie bei Plosiven. Die Transitionen, die in der Literatur an zahlreichen Stellen beschrieben und diskutiert worden sind (erstmalig bei Delattre et al., 1954), können als Bewegung der ersten drei Vokalformanten zu den (u. U. unsichtbaren) Formanten eines benachbarten Konsonanten

bezeichnet werden. Laut der ursprünglichen Hypothese sollten Transitionen aus der Konfiguration des Ansatzrohrs je nach Artikulationsstelle des jeweiligen Konsonanten resultieren. Der Zusammenhang zwischen der konsonantischen Artikulationsstelle und der Transientenbewegungen scheint jedoch etwas komplizierterer Natur zu sein (s. u. a. Neppert & Pétursson, 1992, Machelett, 1996), da sich die Einflüsse nicht nur zwischen benachbarten Segmenten, sondern auch zwischen Vokalen einer VCV-Folge nachweisen lassen. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Transitionen der Vokalformanten Informationen über die Artikulationsstelle des vorhergehenden oder nachfolgenden Konsonanten enthalten.

Für die alveolare Artikulation ist ein Lokus (charakteristischer Frequenzbereich, zu dem sich die Vokalformanten hin bewegen) von 1800 Hz charakteristisch, darüber hinaus wird in der Umgebung von Alveolarkonsonanten die parallele Bewegung von F2 und F3 des Vokals beobachtet. Sofern /z/ stimmhaft produziert wird, kann der für die dental-alveolare Artikulationsstelle charakteristische F2 von 1800 Hz auch im Konsonanten erkennbar sein.

Das spektrale Bild lässt sich durch relative Maxima, sog. Pole, und relative Minima (Nullstellen) beschreiben. Sie sind maßgeblich an der Zusammensetzung der Klangqualität eines Frikativs beteiligt. Zum lautspezifischen Klang tragen auch sog. Untermaxima bei, die zuweilen ähnlich den Vokalen als Formanten bezeichnet werden. Alle drei Kategorien zeigen jedoch eine relativ große Variabilität.

Für das laminale /s/ geben Neppert & Pétursson (1992) folgende Werte an: drei Maxima bei 3,5–4,5 kHz, 5,3–6,5 kHz und 6,8–8,5 kHz, vier Formanten bei 0,3 kHz, 1,8 kHz, 2,8 kHz und 3,8 kHz. Für /ʃ/ sind zwei bis drei Pole bei 2–3,5 kHz und bei 5–6,5/7,5 kHz, evtl. auch bei 7–8 kHz erkennbar, die Formantwerte betragen 0,4 kHz, 1,7 kHz, 2,3 kHz, 2,8 kHz und 3,6 kHz. In der Praxis zeigt sich aber, dass eine so feinstufige Differenzierung, gerade zwischen den Maxima und Formanten, die sich laut Neppert & Pétursson anhand ihrer Bandbreite unterscheiden lassen sollen, kaum möglich ist. Die Beschreibung von Stevens (2000) konzentriert in erster Linie auf die Beschreibung von F1- und F2-Positionen, die für /s/ um 0,5 und 1,6 kHz, /ʃ/ um 0,4 und 1,7 kHz charakteristisch sind.

Die prä- und postoperative Beschreibung ist folgendermaßen aufgebaut: zunächst wird eine ohrenphonetische Charakterisierung des Lautes gegeben. Anschließend werden die Laute anhand des Sonagramms beschrieben, und schließlich wird auf die FFT-Spektren eingegangen. Letztere werden für jeden Patienten abgebildet.

Eventuellen Veränderungen in der Intensität der Sibilanten wurde dadurch Rechnung getragen, dass die postoperativen Intensitätswerte an die präoperativen angepasst worden sind.

Als Grundlage für die postoperative Untersuchung von /z/ und /ʃ/ dienen die für die unbeeinträchtigte präoperative Akustik ermittelten Werte für den jeweiligen Patienten. Die Charakterisierung wird durch eine Beschreibung des subjektiven auditiven Eindrucks ergänzt. Entsprechend dem bisherigen Vorgehen werden zuerst diejenigen Patienten besprochen, bei denen prä- und postoperative Daten in ausreichender Qualität vorhanden sind.

4.1.2.2.1 GL4

/z/

Präoperativ ist /z/ in allen drei Realisierungen entsonorisiert, die F2-Bewegung von /o:/ zu /i:/ zeigt sich schwach durch den gesamten Frikativ, der F2 von /z/ liegt um 1,6 kHz. Die Transienten sind in /o:/ mäßig ausgeprägt, in /i/ kaum oder gar nicht vorhanden. Im Sonagramm beginnt der Grautonbereich bei ca. 3 kHz und reicht bis 11 kHz. Bei 6 und 7,2 kHz ist ein Intensitätsabfall erkennbar.

Das Spektrum hat drei Gipfel bei 4,3 kHz, 6,5 kHz und 8,2 kHz, wobei die Intensität des mittleren Gipfels etwas kleiner ist. Entsprechend dem Sonagramm sind zwei Minima bei 6 und 7,2 kHz erkennbar. Der erste steile Anstieg beginnt bei ca. 2,5 kHz. Es zeigen sich zahlreiche Gipfel, am ausgeprägtesten sind sie bei 350 und um 3000 Hz.

/z/ ist bei GL4 postoperativ nicht beeinträchtigt und ebenfalls durchgehend entsonorisiert. Der untere Grenzwert für den Frikationsbereich liegt bei 3,2 kHz, der Lokus bei 1,8 kHz. Die Transienten sind im Frikativ deutlicher ausgeprägt als im präoperativen Sonagramm. Es ist ein Minimum bei 7,2 kHz erkennbar.

Im Spektrum lassen sich drei Gipfel erkennen, die Intensität des ersten Gipfels um 3,6 kHz ist deutlich größer als die der beiden anderen um 6 und 8,5 kHz, d. h. das Spektrum besteht im Wesentlichen aus zwei Gipfeln. Es ist bei jeder Realisierung ein Minimum um 7 kHz zu sehen, die Verteilung der weiteren (zahlreichen) Minima ist variabel. Der erste Anstieg beginnt bei 2 kHz. Es sind Formanten bei 0,3 kHz, 1,6 kHz und 2,4 kHz erkennbar.

Trotz des unveränderten auditiven Eindrucks zeigen sich im postoperativen Spektrum leichte Veränderungen gegenüber der präoperativen Akustik. Am auffälligsten ist die Abschwächung der Gipfel im hochfrequenten Bereich, die verwaschene Struktur sowie die Senkung des ersten Maximums um ca. 700 Hz. Die Position der schmalbandigen Maxima ist mit Ausnahme von F1 bei 300 Hz ebenfalls verändert.

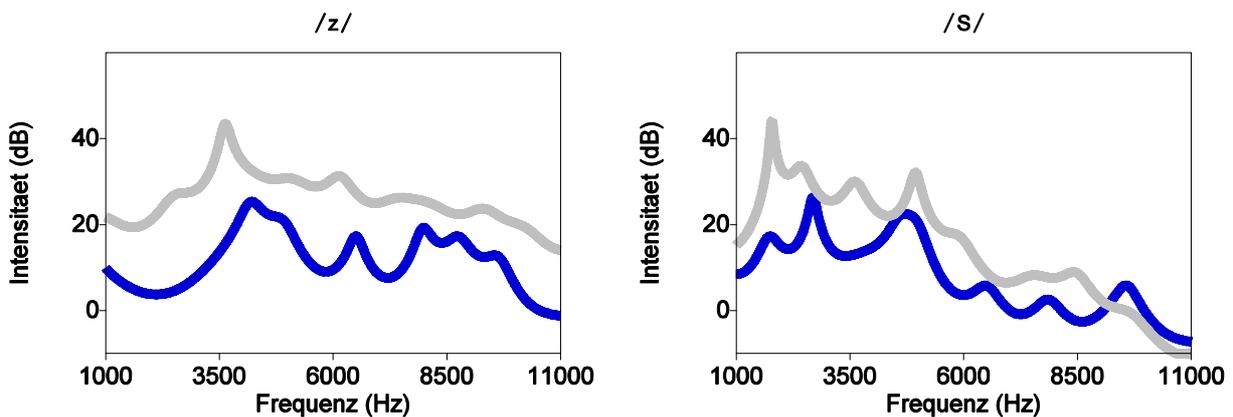


Abbildung 4-17a, b: GL4, prä- und postoperative Hüllkurve von (a) /z/, (b) /s/. Blau (dunkel): präoperativ, grau (hell): postoperativ.¹⁹

/ʃ/

Der Graubereich von /ʃ/ beginnt um 1,3 kHz und reicht bis 11 kHz. Minima sind bei 3,6 und 6 kHz erkennbar. Ein formantähnlicher Bereich zeigt sich um 1,6 kHz, Transitionen zum nachfolgenden /e:/²⁰ hin sind nur geringfügig erkennbar. Zwischen Sibilanten und Folgevokal ist eine „Pause“ erkennbar, die auf Schwierigkeiten bei der /ʃ/-Produktion hindeutet.

Die spektralen Gipfel liegen bei 2,8 und 4,7 kHz, die Minima entsprechen den im Sonagramm erkennbaren. Nach 5,5–6,5 kHz folgen einzelne kleine Gipfel mit geringer Intensität. Der steile Anstieg fängt bei ca. 2 kHz an. Deutlich erkennbar ist der Formant um 1,6 kHz sowie ein Untermaximum um 9,5 kHz bei der ersten Realisierung.

Das postoperative /ʃ/ zeigt auditiv keine Abweichung vom präoperativen Laut, es klingt, wie bereits präoperativ, leicht lateralisiert. Das Bild im Sonagramm entspricht dem oben beschriebenen Muster, mit dem Unterschied, dass keine einheitlichen Minima bestimmt werden können.

¹⁹ Dargestellt sind LPC-Kurven mit zehn Gipfeln. Um die Intensitätsverhältnisse darstellen zu können, wurde die Intensität der postoperativen Kurve an die der präoperativen angeglichen.

²⁰ GL4 und GL7 sprechen *Schädel* entsprechend dem norddeutschen Standard und realisieren den Vokal als /e:/ statt als /ɛ:/.

Die postoperativen Spektren lassen sich durch einen sehr steilen und abrupten Anstieg ab 1 kHz bis zum ersten Gipfel bei 1,8 kHz charakterisieren. Die weiteren Gipfel bei 3,7 kHz, 5 kHz und 8 kHz sind weniger stark ausgeprägt, die Hüllkurve fällt von 5 kHz an langsam bis zum Ende ab. Es sind zahlreiche Minima vorhanden, die bei den drei Realisierungen unterschiedlich verteilt sind.

Hier zeigen sich Veränderungen, auch wenn sie auditiv nicht direkt erfassbar sind. Das Bild im Sonogramm ist nach der Operation nicht wesentlich verändert, im Spektrum sind die markanten Gipfel jedoch anders lokalisiert: das tiefere breitbandige Maximum ist in die Richtung des höheren, kaum veränderten Gipfels bei 5 kHz verschoben, und die Intensitätsverhältnisse sind zugunsten der niedrigeren Frequenzen leicht verändert. Das postoperative Spektrum von /ʃ/ unterscheidet sich von /z/ in der höheren Gewichtung der niedrigen Frequenzen sowie durch den früheren Abfall der Hüllkurve.

4.1.2.2.2 GL7

/z/

Präoperativ sind die ersten zwei Laute stimmlos, der dritte teilweise entsonorisiert. In den vokalischen Segmenten sind die Transienten, die zu 1800 Hz hin tendieren, deutlich sichtbar, diese verschwinden auch während der konsonantischen Phase nicht. Der Friktionsbereich ist zwischen 3 und 8 kHz am stärksten, aber der Graubereich dauert bis 11 kHz an. Minima sind bei 4,5 kHz, 6,5 kHz und 8 kHz erkennbar.

Das Spektrum zeigt vier prägnante Gipfel mit recht großer Intensität: bei 3–3,5 kHz, 5,5 kHz, 7 kHz und 9,5 kHz. Der Anstieg der Hüllkurve beginnt bei 2 kHz, der recht langsame Abfall bei dem zweiten Gipfel. Die Minima entsprechen den im Sonogramm festgestellten. Formanten sind bei 300, 1600 und 2400 Hz zu beobachten.

Die Stimmhaftigkeit ist auch bei den postoperativen Segmenten variabel: die ersten zwei Segmente sind stimmhaft, das dritte stimmlos. Die Lautbildung ist mittelschwer gestört, es entsteht der Eindruck eines postalatalen bzw. prädorsalen Approximanten. Im Sonogramm lässt sich keine eindeutige Friktion feststellen, stattdessen sind ausgeprägte Formanten bei 1,8 und 2,4 kHz zu sehen, ergänzt durch schwächere Formanten bei 5,7 und 7,5 kHz. Die Transitionen der umgebenden Vokale zeigen zu 1800 Hz hin.

Das Spektrum zeigt eine Struktur mit zwei ausgeprägten Formanten bei 1,8 und 2,4 kHz, was für den schwachen Geräuschanteil spricht. Der Anstieg beginnt bei 1,5 kHz, nach dem zweiten Gipfel folgt ein steiler Abfall der Hüllkurve, in den höheren Frequenzbereichen heben sich einzelne Gipfel bei 4,3 kHz, 5,8 kHz und 7,5 kHz hervor. Erkennbar ist ferner ein Gipfel bei 300 Hz.

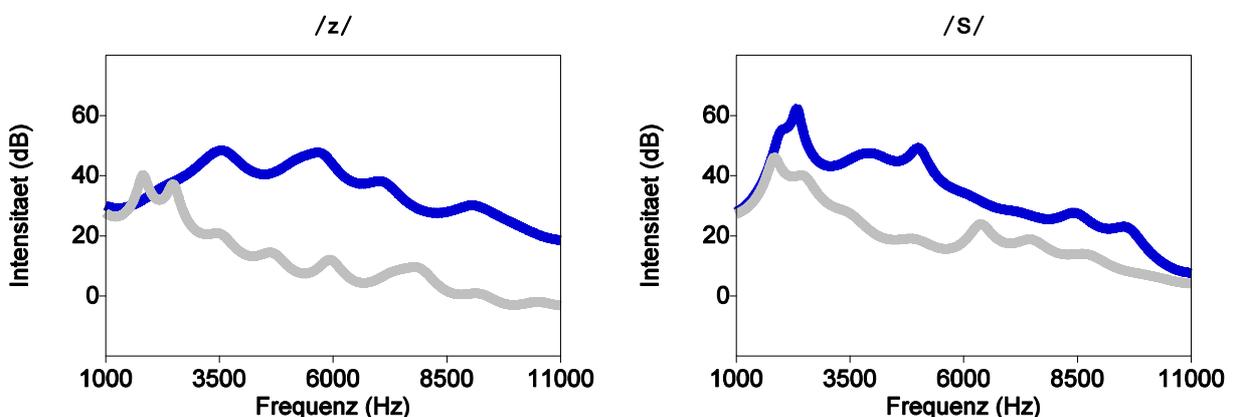


Abbildung 4-18a, b: GL7, prä- und postoperative Hüllkurve von (a) /z/, (b) /ʃ/. Blau (dunkel): präoperativ, grau (hell): postoperativ.

Die postoperative Dominanz der präoperativ beobachteten Formanten belegt den subjektiven Eindruck eines Approximanten. Das Fehlen der hohen Frequenzen deutet ebenfalls auf einen geräuscharmen, approximantenähnlichen Charakter hin.

/ʃ/

Bei der präoperativen Produktion beginnt die Friktion im Sonagramm bei ca. 1,6 kHz und endet bei der zweiten und dritten Realisierung bei ca. 10 kHz gegenüber der durchgehenden Friktion des ersten ʃ-Segments. Im Frikativ ist ein schwacher Formant bei 1,6 kHz und ein stärker ausgeprägter bei 2,3 kHz erkennbar. Die Vokaltransitionen sind schwach ausgeprägt und tendieren eher zum höheren Frikativformanten als zu 1600 Hz. Außerdem fällt ein dunklerer Bereich bei 5 kHz auf.

Der auffälligste Gipfel im Spektrum befindet sich um 2,3 kHz, Formanten sind bei 300–500 Hz und 1,6 kHz zu beobachten. Alle Spektren erreichen ein Minimum bei 6,5 kHz nach einem Anstieg um 1 kHz und einem steilen Abfall bei 5 kHz.

Postoperativ klingt /ʃ/ leicht lateralisiert und stellt somit eine Veränderung gegenüber dem unauffälligen präoperativen Eindruck dar. Der Friktionsbereich beginnt auch hier bei 1,6 kHz und bleibt bis 11 kHz erhalten. Auch hier sind im Frikativ zwei Formanten bei 1,6 und 2,3 kHz sichtbar, jedoch sind sie gleich stark ausgeprägt. Die Transienten des Folgevokals tendieren eher in die Richtung des Formanten bei 1,6 kHz. Ferner ist ein Bereich mit großer Intensität bei 6 kHz zu sehen.

Nach einem Anstieg ab 1 kHz gibt es im Spektrum einen einzigen breitbandigen Gipfel mit großer Intensität bei 2,3–2,5 kHz. Nach ihm folgt ein steiler Abfall, zu den höheren Frequenzbereichen hin sind zwei kleinere breitbandige Maxima bei 4–5 und 6–8 kHz zu sehen, ihre Verteilung ist jedoch je nach Realisierung unterschiedlich. Es lassen sich Formanten um 500 Hz sowie bei 1,6 kHz und 2 kHz beobachten.

Die spektralen Bilder stimmen bei dem prä- und postoperativen Segment weitgehend überein. Auffällig ist bei beiden die Dominanz des Bereichs um 2,4 kHz. Die niedrigere Intensität der höheren Frequenzen im postoperativen Spektrum scheint den auditiven Eindruck nur eingeschränkt zu beeinflussen.

4.1.2.2.3 GL8

/z/

Der Laut ist durchgehend stimmlos. Der dunkelste Bereich im Sonagramm reicht von 5 bis 10 kHz, der untere Cutoff-Wert liegt bei ca. 4 kHz. Die Transitionen sind in den umgebenden Vokalen gut, im Frikativ nur mäßig bis schwach sichtbar. Sie tendieren zum F2 um 1800 Hz, den man im Frikativsegment teilweise gut erkennen kann. Teilformanten von /i:/ führen zu 4,5 kHz.

Das Spektrum unterscheidet sich deutlich von den bisher gesehenen. Frequenzen mit der größten Intensität (Anstieg ab 2,6 kHz) finden sich in der oberen Hälfte des Spektrums, der deutlichste Gipfel befindet sich um 6,2 kHz herum, der Abfall setzt erst nach dem letzten Maximum um 8 kHz ein. Es zeigt sich ein breitbandiger Gipfel um 2 kHz und ein schmalerer Gipfel um 4,2 kHz. Zudem ist F1 bei ca. 300 Hz zu sehen. Minima finden sich bei 2–3 kHz und 5 kHz.

Es bereitet einige Schwierigkeiten, den postoperativen Lauteindruck genau zu beschreiben. Zwar klingt der durchgehend stimmlose Frikativ nach seiner Artikulationsstelle und -art nicht beeinträchtigt, abgesehen von einer leichten Palatalisierung, dennoch scheinen sich die stark veränderten Resonanzräume (NB: GL8 hatte die größte Zungenteilresektion in der untersuchten Patientengruppe) auf den Klang auszuwirken. Der Laut klingt etwas dumpf, möglicherweise weil er sich bei diesem Patienten präoperativ auditiv durch eine ungewöhnliche „Helligkeit“ und akustisch durch die Dominanz hoher Frequenzen auszeichnete. Im So-

nagramm ist der Graubereich bereits ab 3 kHz erkennbar. Deutlich ausgeprägt ist der Formant um 1,6 kHz und die Transienten der umgebenden Vokale zu diesem Bereich hin.

Im Spektrum liegt der Anstieg um 2,2 kHz, der größte Gipfel bei 3,2 kHz, d. h. um 3 kHz tiefer als präoperativ. Weitere Maxima sind bei 6 und 7,5 kHz zu finden, die Hüllkurve fällt ab 6 kHz allmählich ab. Deutlich ausgeprägt ist F2 bei 1,6 kHz. Der erste Formant ist der präoperativen Lage gegenüber um 200–300 Hz nach oben hin verschoben.

Drei akustische Merkmale unterstützen hierbei den Eindruck einer Palatalisierung, wengleich diese sehr viel geringer ausgeprägt ist als bei GL7: der zweite Formant liegt, ähnlich wie für /ʃ/, bei 1600 Hz, der wichtigste Gipfel ist unterhalb des für /z/ charakteristischen Bereichs, und der F1 des Sibilanten ist eher im Bereich von /ʃ/ als von /z/. Es ist nicht direkt einleuchtend, warum sich diese Tendenzen trotz einer stärkeren Störung bei GL7 nicht gezeigt haben.

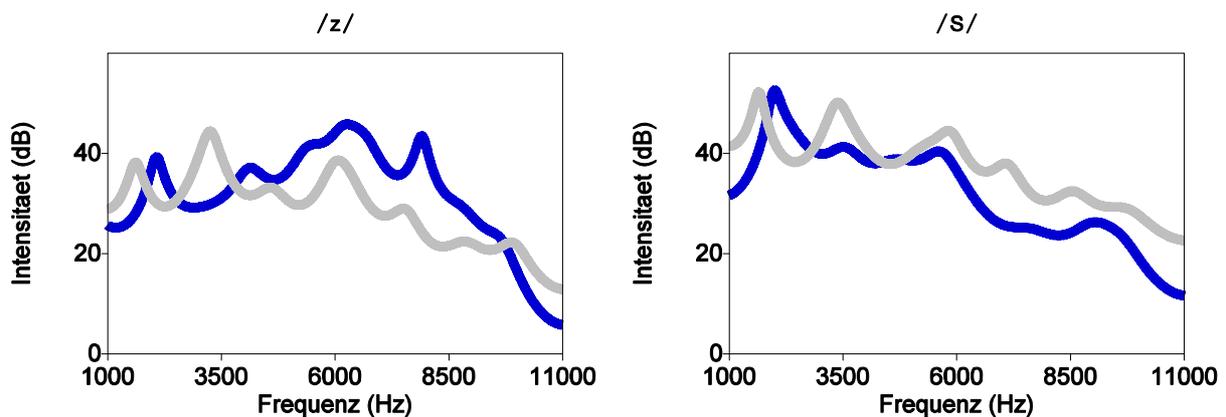


Abbildung 4-19a, b: GL8, prä- und postoperative Hüllkurve von (a) /z/, (b) /ʃ/. Blau (dunkel): präoperativ, grau (hell): postoperativ.

/ʃ/

Das sonographische Bild von /ʃ/ erweckt den Eindruck einer geringfügigen Aspiration: zwischen Friktionsende und F2-Einsatz liegt bei allen präoperativen Realisierungen eine Pause von ca. 15 ms. Der untere Cutoff-Wert für den Graubereich ist 1,7 kHz. Die Transitionen des nachfolgenden /ɛ:/ sind nicht ganz eindeutig, sie scheinen aber zu 1800 Hz hin zu tendieren.

Nach einem Anstieg ab 1 kHz liegt das erste Maximum bei 2,1 kHz, die Hüllkurve erreicht ihr Minimum um 4,3 kHz. Es folgt ein zweites Maximum bei 5,5 kHz, danach fällt die Intensität rasch ab und gipfelt noch einmal bei 9 kHz. F1 ist bei 400–500 Hz zu sehen, F2 ist nicht zu erkennen, möglicherweise wird er vom ersten Gipfel überlagert.

/ʃ/ klingt postoperativ etwas lateralisiert. Im Sonagramm zeigen sich Formanten um 1,7 kHz und um 2,4 kHz, der dunklere Bereich beginnt bei 3 kHz. Die Transienten im Vokal sind sehr undeutlich und können nicht näher beschrieben werden.

In den postoperativen Realisierungen ist die spektrale Verteilung auffällig invariabel, es gibt kaum Abweichungen zwischen den Spektren der drei Realisierungen. Der größte Gipfel liegt bei 3,5 kHz, gefolgt von einem Minimum bei 4,3 kHz. Ein zweiter Gipfel findet sich bei 6 kHz, ab dem der Abfall der Hüllkurve beginnt, gefolgt von einer leichten Steigung bei 9 kHz. F1 liegt bei 500 Hz, F2 bei 1,7 kHz. Der Anstieg der Hüllkurve lässt sich nicht ohne weiteres definieren, da sie aus mehreren, etwa gleich breiten, Gipfeln besteht. Der Anstieg vor F2 beginnt ab 1,2 kHz.

Die Formen der prä- und postoperativen Hüllkurven unterscheiden sich in der etwas höheren Position der postoperativen Gipfel, allerdings liegen sie um das gleiche Minimum

herum verteilt. Es ist unklar, warum der zweite Formant im präoperativen Spektrum gänzlich ausfällt, zumal er im postoperativen Spektrum sichtbar ist.

Laut	Pat.	präoperativ						postoperativ					
		Anstieg	Pole	Min.	F	Abfall	aud. Eindruck	Anstieg	Pole	Min.	F	Abfall	aud. Eindruck
/z/	GL4	2,5	4,3 6,5 8,2	6,0 7,2	0,3 3,0	10,0	entstimmt	2,0	3,6 6,0 8,5	7,0	0,3 1,6 2,4	10,0	wie präoperativ
	GL7	2,0	3,5 5,5 7,0 9,5	4,5 6,5 8,0	0,3 1,6 2,4	5,5	Stimmhaftigkeit variabel	1,4	4,3 5,8 7,5	x	0,3 1,8 2,4	2,4	Stimmhaftigkeit variabel, palatalisierter Approximant
	GL8	2,6	4,2 6,2	2,5 5,0	0,3 1,6 2,4	8,0	stimmlos	2,2	3,2 6,0 7,5	2,3 5,5	0,5 1,6	6,0	leicht palatalisiert, etwas dumpf
/ʃ/	GL4	1,2	2,8 4,7 9,5	3,6 6,0	1,6	4,7	leicht lateralisiert	1,0	3,7 5,0 8,0	variabel	1,8	5,0	wie präoperativ
	GL7	0,7	2,3 5,0 7,0 9,0	6,5	0,4 1,6	5	unauffällig	1,0	2,3 4,5 7,0	4,8	0,5 1,6 2,0	2,7	leicht lateralisiert
	GL8	1,0	2,1 5,5 9,0	4,3	0,5	5,5	hell	1,2	3,5 6,0 9	4,3	0,5 1,7	6,0	leicht lateralisiert

Tabelle 4-3: Quantitativ erfasste Merkmale der prä- und postoperativen Sibilantenproduktion: Beginn des steilen Intensitätsanstiegs, Pole, Minima, Formanten, Beginn der Intensitätsabfall im Spektrum, auditiver Eindruck der Autorin vom Laut. Alle Angaben sind in kHz.

In Tabelle 4-3 wurden die obigen Angaben noch einmal kurz zusammengefasst, um eine Übersicht über die bisher präsentierten Daten zu erhalten. Der untere Cutoff-Wert für den Bereich mit hoher Intensität liegt für /z/ oberhalb von 2 kHz, für /ʃ/ um 1 kHz. Die Werte für /z/ verschieben sich postoperativ nach unten, dennoch fallen sie höher aus als bei /ʃ/.

Die Verteilung der Pole ist bei den präoperativen Aufnahmen zu unterschiedlich, als dass hier eine allgemein gültige Aussage möglich wäre. Es entsteht aber der Eindruck, dass der erste Pol (meist identisch mit G1) postoperativ, selbst bei einer nicht hörbar beeinträchtigten Produktion, bei /z/ insgesamt niedriger ausfällt, ausgenommen den Laut bei GL7, in dem der sibilantische Charakter weitgehend fehlt. Die Minima scheinen selbst bei veränderten Gipfelverteilungen größtenteils konstant zu bleiben, wie es auch bei GL8 der Fall war.

Der erste Formant des Sibilanten zeigt einen engen Zusammenhang mit dessen Qualität: bei unbeeinträchtigter Produktion liegt er bei /z/ um 300 Hz, die leichte Palatalisierung bei GL8 bewirkt einen Anstieg in die Richtung des F1 für /ʃ/, der sich bei 500 Hz befindet. Diese Veränderung konnte bei GL7 jedoch nicht beobachtet werden, da F1 nicht in jedem Spektrum zu erkennen war.

Es ist überraschend, dass /z/ und /ʃ/ sich nicht anhand der F2-(Lokus)-Werte unterscheiden lassen. F2 liegt präoperativ für /z/ wie für /ʃ/ meist bei 1,6 kHz, postoperativ befindet er sich bei 1,6–1,8 kHz, eine distinktive Funktion dieses Merkmals bezüglich Artikulationsstelle oder Störungsgrad lässt sich anhand dieser Daten nicht erkennen.

In den postoperativen Spektren zeigt sich insgesamt eine Verlagerung zu den niedrigeren Frequenzen hin, was man u. a. auch am früher einsetzenden Intensitätsabfall erkennen kann. Ferner fällt bei der Betrachtung der postoperativen Hüllkurven auf, dass die Gipfel weniger ausgeprägt und z. T. schlecht erkennbar sind. Diese Formveränderungen können u. U. zu unveränderten oberen Cutoff-Werten führen und eine nach hinten eher flach

ausfallende Kurve verdecken, z. B. wenn die höheren Gipfel eine deutlich geringere Intensität als G1 aufweisen.

Bei den restlichen fünf Patienten standen für die Analyse nur begrenzte Möglichkeiten zur Verfügung. Es lässt sich etwas über die untere Grenze des sonographischen Frequenzbereichs und über F1 und F2 des Sibilanten sagen, eventuell ist G1 zu erfassen.

4.1.2.2.4 GLI

/z/

Der Laut ist präoperativ entsonorisiert. Das Frikativrauschen beginnt im Sonogramm bei ca. 3000 Hz. Transitionen sind nur in den Vokalen zu erkennen, im Frikativ sind sie sehr schwach ausgeprägt und liegen um 1600 Hz.

Im Spektrum ist nach dem Anstieg bei 2,2 kHz ein Gipfel bei 3,5 kHz erkennbar, um 5,5 kHz erreicht die Kurve ihr Minimum. Der erste Formant um 300–400 Hz ist gut sichtbar, ein weiterer bei 2,4 kHz mäßig, F2 dagegen nicht.

Die ersten beiden postoperativen Realisierungen sind entsonorisiert, die dritte ist teilweise stimmhaft. Der Sibilant klingt palatalisiert, lateralisiert und zeichnet sich durch ein geringes Frikationsgeräusch aus, das im Sonogramm etwa ab 1,8 kHz sichtbar ist. Das zweite und dritte Segment zeigten eine Formantstruktur und keine Frikation. Die Transitionen, die im Frikativ ebenfalls gut sichtbar sind, tendieren zu 1700 Hz.

Das postoperative Spektrum ist flach mit einem Maximum um 2,5 kHz, der schwache und wenig ausgeprägte Anstieg beginnt bei 1,9 kHz. F1 liegt um 3–500 Hz, F2 bei 1,6–1,7 kHz.

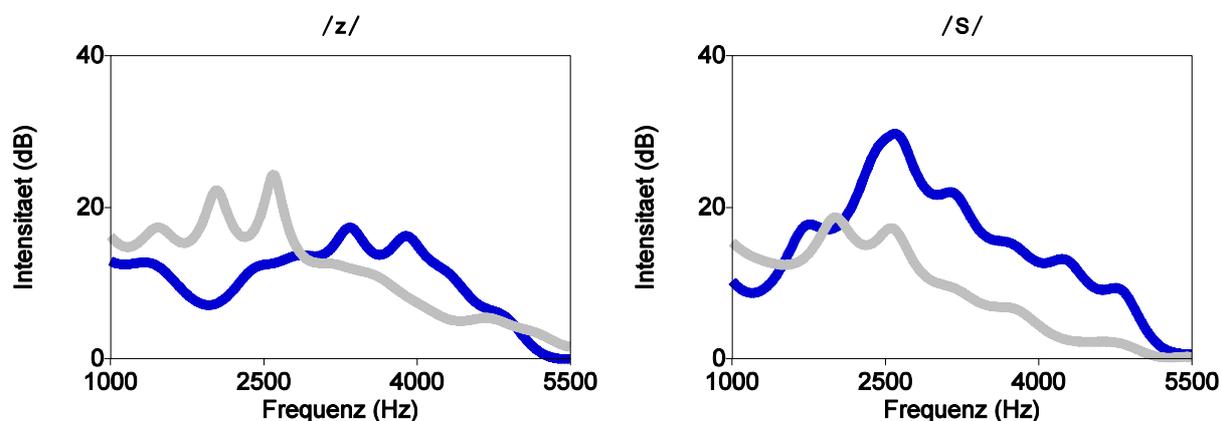


Abbildung 4-20a, b: GL1, prä- und postoperative Hüllkurve von (a) /z/, (b) /ʒ/. Blau (dunkel): präoperativ, grau (hell): postoperativ.

/ʒ/

Das Testwort bei diesem Patienten, der als erster aufgenommen wurde, lautete *jüdisch*, d. h. der Ziellaut ist in finaler Position. Er klingt präoperativ leicht lateralisiert. Die Frikation ist ab 2 kHz sichtbar, die Transienten bewegen sich zu ca. 1,7 kHz.

Im Spektrum ist nach einem Anstieg ab 1,5 kHz ein stark ausgeprägter Gipfel bei 2,5 kHz erkennbar, sowie zwei Formanten um 500 und 1750 Hz.

Dem auditiven Eindruck nach wurde das postoperative Segment mit einem inkompletten Verschluss gebildet, der Laut erscheint gehaucht und stark lateralisiert. Im Sonogramm ist ein dunkler Bereich um 2 kHz erkennbar, ansonsten ist die Frikation nicht deutlich ausgeprägt. Eine schwache Frikation ist ab 1,8 kHz vorhanden. Es sind keine eindeutigen Transitionen zu sehen.

Das postoperative Spektrum hat einen flachen Gipfel um 2 kHz und einen bei 2,5 kHz, der Anstieg vor dem ersten Gipfel beginnt um ca. 1,5 kHz. F1 liegt bei 400–650 Hz, der zweite Formant ist um 1800 Hz erkennbar.

4.1.2.2.5 GL2

/z/

GL2 realisiert das Segment durchgehend stimmhaft. Dennoch ist F2 in /z/ nicht oder kaum erkennbar, die Vokaltransitionen sind jedoch deutlich. Der Graubereich ist ab 3,3 kHz im Sonogramm sichtbar.

Die Hüllkurve steigt ab ca. 2 kHz an und hat einen schwachen Pol bei 3,7 kHz. Die Formanten bei 300, 1600 und 2500 Hz sind deutlicher ausgeprägt.

Das postoperative Segment klingt leicht affriziert, d. h. zusätzlich zu /z/ ist ein plosivischer /d/-Anteil zu hören. Dementsprechend ist der frikativische Anteil recht kurz. Der dunkle Bereich ist zwischen 2,4 und 4 kHz im Sonogramm sichtbar, ab 6 kHz ist die Intensität wieder höher. Die Transitionsbewegungen sind nicht eindeutig und fehlen zum Teil, sie tendieren grob zu 1800 Hz.

Im postoperativen Spektrum, der bei diesem Patienten bis 11 kHz reicht, zeigt sich zwischen 4 und 6 kHz ein Nullbereich. Davor liegt ein Gipfel um 3 kHz (ohne einen eindeutig zu differenzierenden vorangehenden Anstieg) und ein zweiter bei 6,7 kHz. Bei der ersten Realisierung folgt noch ein letzter Gipfel um 9,5 kHz, in den zwei anderen Spektren ist die Intensität ab 4 kHz insgesamt sehr gering. Formanten sind um 300, 800 und 1800 Hz sichtbar.

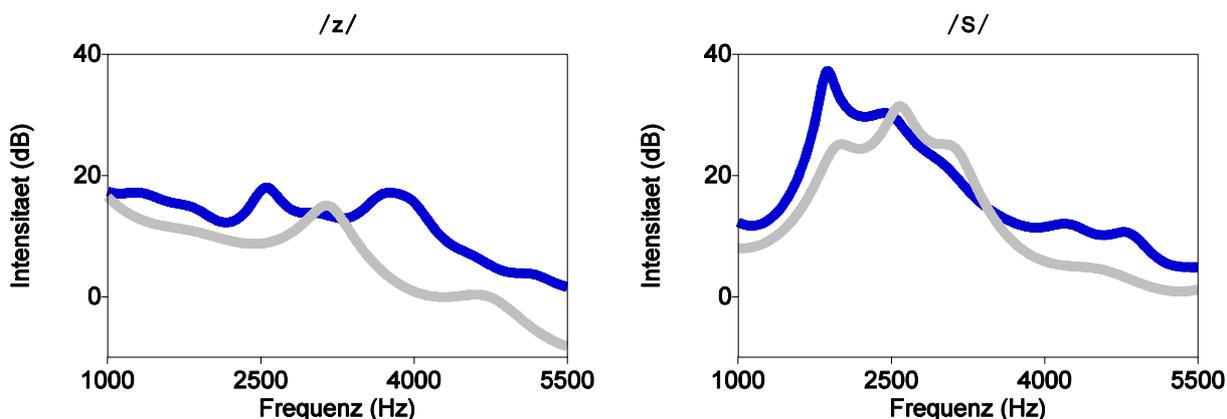


Abbildung 4-21a, b: GL2, prä- und postoperative Hüllkurve von (a) /z/, (b) /ʒ/. Blau (dunkel): präoperativ, grau (hell): postoperativ.

/ʒ/

Im präoperativen Sonogramm zeigt sich der graue Bereich zwischen 1,6 und 3,3 kHz, darüber ist die Frikation schwächer ausgeprägt. Es sind keine Vokaltransitionen vorhanden. Das einzige eindeutige Charakteristikum des Spektrums ist ein Anstieg ab 1,5 kHz und ein Maximum um 1,9 kHz, der recht breit ausfällt und bis ca. 2,3 kHz reicht. F1 kann nicht eindeutig identifiziert werden.

Das postoperative Segment ist affriziert, was besonders bei der zweiten und dritten Realisierung auffällt. Das erste Segment zeigt Spuren einer Lateralisierung. Transienten sind im Sonogramm nicht erkennbar. Die Frikation beginnt ab ca. 1,9 kHz, im ersten, nicht affrizierten Segment ist der oben beschriebene Nullbereich zwischen 4 und 6 kHz sichtbar.

Im Spektrum ist ein Anstieg bei 1,5 kHz, Maxima bei 2,6 und 6,7 kHz, Minima bei 5,3 und 8 kHz vorhanden. F1 liegt bei 400 bzw. 600 Hz, bei einer Realisierung fehlt sie gänzlich, F2 kann nicht bestimmt werden.

Die postoperativen Spektren für /z/ und /ʒ/ unterscheiden sich insofern, dass das /ʒ/-Spektrum wesentlich größere Gipfel hat und klarer strukturiert ist. Die markanten Frequenzbereiche sind ähnlich und deuten aufgrund der Dominanz der niedrigeren Frequenzen eher zu /ʒ/ hin.

4.1.2.2.6 GL3

/z/

Das Segment wird präoperativ durchgehend stimmhaft realisiert. Die Friktion beginnt bei 3,3 kHz. Die Transitionen sind eindeutig und auch im Frikativ sichtbar; sie tendieren zu 1,6 kHz. Das Spektrum hat einen Gipfel bei 3,6 kHz und in zwei Realisierungen einen Formanten bei 1,6 kHz. F1 bei 200–300 Hz ist schwach.

Die postoperativen Laute sind ebenfalls stimmhaft und zeigen auditiv keine Beeinträchtigung. Transitionen sind kaum erkennbar. Sie tendieren zu 1,7 kHz, die Friktion beginnt bei 3,3 kHz. Es sind zwei Maxima bei 2,4 und 4 kHz zu sehen; F1 um 0,3 kHz ist deutlich ausgeprägt, F2 bei 1,6 kHz ist nur in einer der drei Realisierungen vorhanden. Während der Anstieg der Hüllkurve präoperativ um 3 kHz beginnt, ist er postoperativ durch einen kleineren Gipfel auf 2,2 kHz vorverlagert.

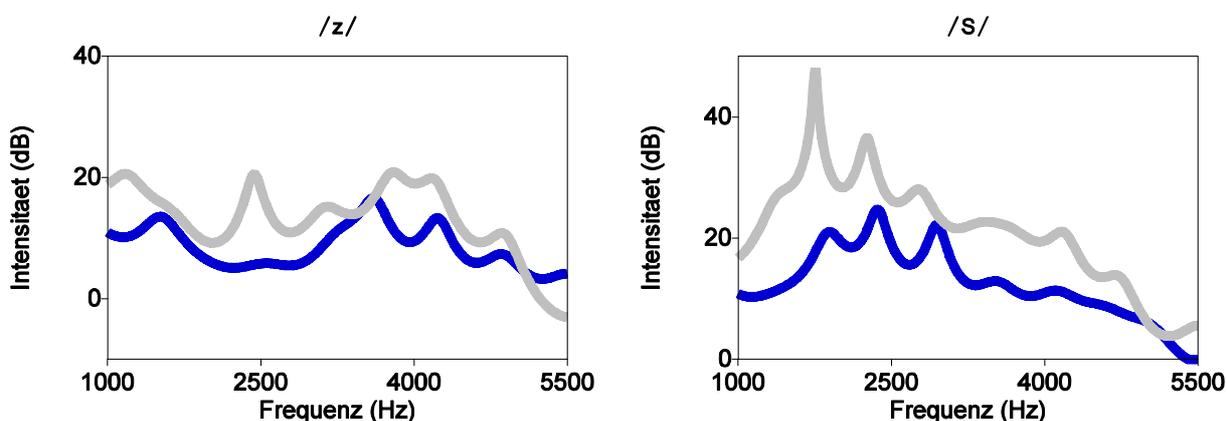


Abbildung 4-22a, b: GL3, prä- und postoperative Hüllkurve von (a) /z/, (b) /ʒ/. Blau (dunkel): präoperativ, grau (hell): postoperativ.

/ʒ/

Transitionen sind nicht erkennbar, der dunkle Bereich im Sonogramm beginnt bei 1,5 kHz, ebenfalls der im Spektrum sichtbare Kurvenanstieg. Im Spektrum lassen sich zwei Gipfel bei 2,3 und 3 erkennen. Das Maximum um 2 kHz wird vermutlich als Formant zu interpretieren sein, daher findet im vorangehenden /ɪ/ in *jüdisch* keine Formantbewegung statt, da dessen F2 sich mit dem hier beobachteten Maximum /ʒ/ deckt. Diese Interpretation bleibt jedoch spekulativ, da bei den bisherigen Patienten präoperativ keinen F2 in dieser Lage gesehen haben.

Der postoperative auditive Eindruck deckt sich mit dem präoperativen, es ist keine Beeinträchtigung erkennbar. Im Sonogramm sind leichte Transitionen zu 1,7 kHz hin erkennbar. Der dunkle Bereich beginnt bei 1,5 kHz, jedoch ist der Anstieg der Hüllkurve im Spektrum bereits ab 1 kHz erkennbar. Es zeigt sich ein Gipfel bei 2,3 kHz, F1 liegt bei 300 Hz, F2 bei 1,7 kHz. Die Struktur der Spektren ist prä- und postoperativ weitgehend identisch, bei /ʒ/ werden etwas höhere Intensitäten des Maximums beobachtet.

4.1.2.2.7 GL5

/z/

Die Segmente sind teilweise entsonorisiert, d. h. der Stimmbalken ist im Segment nur teilweise sichtbar. Die Vokaltransitionen tendieren zu 1,7 kHz, Formanten sind im Frikativ nicht

erkennbar. Der Graubereich beginnt bei 3,4 kHz. Im Spektrum ist ein Gipfel bei 3,7 kHz sichtbar, es ist ein Formant bei 0,3 und bei 1,3 kHz zu sehen.

Das postoperative Segment ist stark beeinträchtigt, es ist nicht als Sibilant oder gar als /z/ identifizierbar. Es entsteht der Eindruck eines stimmhaften labialen Frikativs. Im Sonagramm ist keine Friktion, aber ein F1 um 400 und F2 bei 1300 Hz. Das Spektrum zeigt das entsprechende Bild: nach einem F1 bei 300–400 Hz folgt ein F2 bei 1300 Hz, die sich auch im Spektrum nachweisen lassen. Danach ist das Spektrum extrem flach.

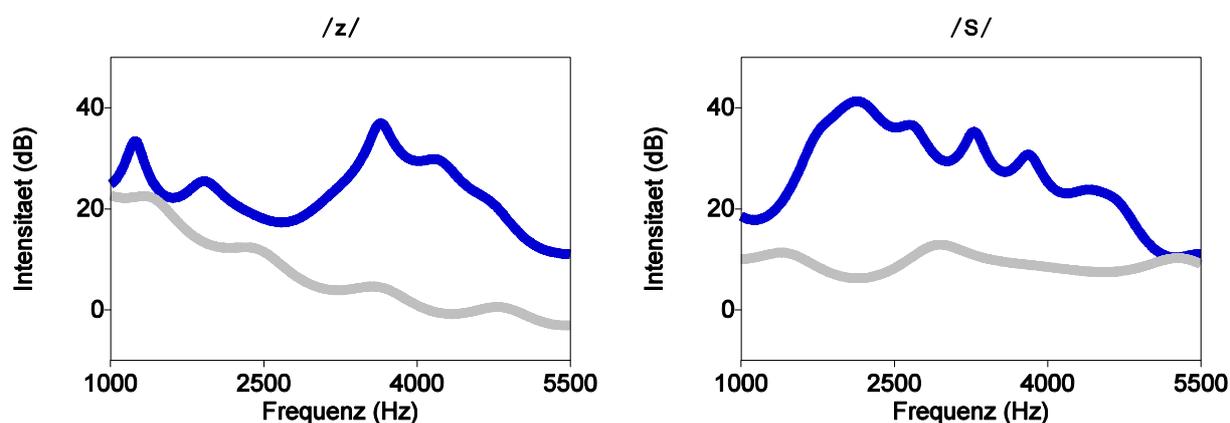


Abbildung 4-23a, b: GL5, prä- und postoperative Hüllkurve von (a) /z/, (b) /ʒ/. Blau (dunkel): präoperativ, grau (hell): postoperativ.

/ʃ/

Das erste Segment ist unauffällig, die beiden anderen klingen leicht lateralisiert. Im nachfolgenden /e:/ von *Schädel* sind keine Transitionen erkennbar. Das Spektrum zeigt einen Gipfel bei 2,1 und 3,2 kHz und einen Formanten zwischen 600 und 700 Hz.

Das postoperative /ʃ/ ist ebenfalls stark gestört. Beim ersten Segment ist im Sonagramm vorwiegend weißes Rauschen zu sehen, die beiden anderen Segmenten wurden nicht realisiert, d. h. sie unterscheiden sich auditiv kaum von der vorangehenden Pause. Im Spektrum des ersten Segments gibt es einen Bereich mit relativ hoher Intensität zwischen 2,5 und 6,2 kHz, ohne erkennbare Maxima. Die beiden anderen Spektren (s. Abbildung 4-23d) sind im Sinne eines Frikativs nicht auszuwerten. Sie haben eine von 0 bis 7 kHz abfallende, unstrukturierte Hüllkurve.

4.1.2.2.8 GL6

/z/

Das Segment ist teilweise entsonorisiert. Die Vokaltransienten sind gut sichtbar und laufen auf ca. 1,6 kHz zu. Der Friktionsbereich beginnt bei 3,4 kHz. Die Hüllkurve steigt ab ca. 3 kHz an und hat einen Gipfel bei 4,5 kHz (in der dritten Realisierung bei 3,8 kHz) sowie zwei Formanten bei 385 und 1800 Hz.

Das postoperative Sonagramm des auditiv unveränderten Segments zeigt im Bereich unter 4 kHz keine klare Struktur, lediglich die Transitionen zu 1,7 kHz hin sind identifizierbar. Der Friktionsbereich beginnt bei 4 kHz oder höher. Das postoperative Spektrum hat nach einem Anstieg ab ca. 2,5 kHz mehrere Maxima, und zwar bei 4,2 kHz, 5,5 kHz, 6,4 kHz sowie 8 kHz, bei der zweiten Realisierung sind diese nur bei 4,2 und 7,5 kHz sichtbar. Die Kurve fällt langsam ab, mit jedem Gipfel wird sie eine Stufe tiefer. Gut erkennbar sind die Formanten um 0,3 und 1,7 kHz.

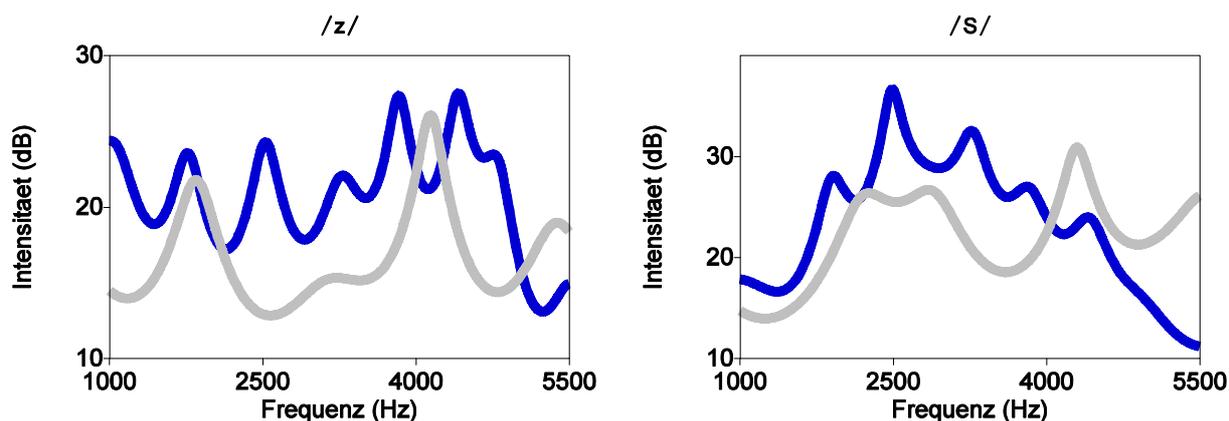


Abbildung 4-24a, b: GL6, prä- und postoperative Hüllkurve von (a) /z/, (b) /ʃ/. Blau (dunkel): präoperativ, grau (hell): postoperativ.

/ʃ/

Die Friktion beginnt bei 1,4 kHz, Transienten sind im Sonogramm nicht erkennbar. Das Spektrum hat nach einem Anstieg ab 1,4 kHz ein Maximum bei 2,5 kHz und drei Formanten bei 0,3 kHz, 1,2 kHz und 1,9 kHz.

Der postoperative Laut ist lateralisiert. Die Friktion beginnt bei 1,7 kHz, Transitionen sind auch hier nicht erkennbar. Das Spektrum wird durch ein Minimum bei ca. 6,5 kHz in zwei „Buckel“ geteilt, von denen der zweite eine deutlich geringere Intensität hat. Im ersten „Buckel“ sind, nach einem Anstieg ab 1,2 kHz, nicht sehr deutlich ausgeprägte Gipfel bei 2,2 kHz, 2,9 kHz, 4,4 kHz und 5,5 kHz erkennbar. Formanten konnten nur in einem der Spektren, bei 1,4 kHz, identifiziert werden.

Anders als bei den meisten Patienten mit einer auditiven Beeinträchtigung hat GL6 eine gestörte Produktion bei /ʃ/, aber nicht bei /z/. Dies spiegelt sich auch in den Spektren wieder, die sich postoperativ deutlich in der Intensitätsverteilung unterscheiden: das /z/-Spektrum zeigt keine ausgeprägten Maxima, und die Intensität fällt nur allmählich ab, während das /ʃ/-Spektrum deutlich höhere Intensitäten im unteren Frequenzbereich sowie einen abrupten Abfall ab 6 kHz aufweist.

4.1.2.2.9 Allgemeine Tendenzen

Im Rahmen des qualitativen Vergleichs wurde versucht, Veränderungen im Sonogramm und im spektralen Bild der sibilantischen Segmente aufzudecken. Hierbei deutet das Fehlen des Friktionsbereiches auf eine schwere Produktionsstörung hin, wie es sich in Extremform bei GL5 und in abgeschwächter Form beim /z/ von GL7 zeigte. Leichte Störungen von /z/ (meistens eine Palatalisierung, in einem Fall Affrizierung) sind am niedrigeren Grenzwert für die Friktion erkennbar (GL1, GL2, GL8). Die am häufigsten beobachtete Störung von /ʃ/, die Lateralisierung, kann mit Hilfe des Sonogramms nicht ohne weiteres erfasst werden. Zwar zeigen sich z. T. Schwankungen vom F2, dies gilt jedoch auch präoperativ zwischen /z/ und /ʃ/, so dass sich den beiden Lauten kein eindeutiger F2-Wert zuordnen lässt. Somit können Veränderungen um ca. 200 Hz nicht unbedingt als Veränderung der Artikulationsstelle interpretiert werden.

Beim Betrachten der Spektren fällt insgesamt eine verwaschene Struktur auf, und zwar unabhängig von der auditiven Beurteilung des Lautes: die postoperativen Gipfel fallen kleiner aus, die Struktur ist weniger eindeutig. Bei /z/ ist bei allen Patienten eine Verschiebung des ersten Gipfels zum niedrigeren Frequenzbereich hin zu beobachten. Bei den Patienten GL1, GL2, GL4, GL7 und GL8, die eine leichte bis mittelschwere Lateralisierung bei /ʃ/

aufweisen, zeigt sich keine einheitliche Tendenz für die Gipfelverschiebung: bei GL2, GL4²¹ und GL8 ist G1 postoperativ höher, bei GL1 niedriger, bei GL7 ist er mit dem präoperativen identisch.

Laut	Pat.	präoperativ				postoperativ					
		Anstieg	Pole	F	perz. Eindruck	Anstieg	Pole	Min.	F	Abfall	perz. Eindruck
/z/	GL1	2,2	3,5	0,4 2,4	entstimmt	1,9	2,5		0,3-0,5 1,6		entstimmt, palatalisiert, schwache Friktion
	GL2	2,0	3,7	0,3 1,6 2,5	stimmhaft	1,5-2,0	3,0 6,7 9,5	4,0-6,0	0,3 0,8 1,8	4,0	stimmhaft, affriziert, leicht palatalisiert
	GL3	3,0	3,6	0,3 1,6	stimmhaft	2,2	2,4 4,0		0,3 1,6		wie präoperativ
	GL5	3,0	3,7	0,4 1,3	teilw. entstimmt	x	x	x	0,4 1,3	x	schwer gestört, labiale Bildung, keine Friktion, stimmhaft
	GL6	3,0	4,5	0,4 1,8	teilw. entstimmt	2,5	4,2 5,5 6,4 8,0	5,8	0,3 1,7	8,0	wie präoperativ
/ʃ/	GL1	1,5	2,5	0,5	leicht lateralisiert	1,5	2,0 2,5		0,4-0,6 1,8		lateralisiert, palatalisiert, schwache Friktion
	GL2	1,5	1,9-2,3		unauffällig	1,5	2,6 6,7	5,3 8,0	0,4-0,7	9,0	affriziert, teilw. lateralisiert
	GL3	1,5	2,3 3,0	2,0	unauffällig	1,0	2,3		0,3 1,7		wie präoperativ
	GL5	1,0	2,1 3,2	0,7	leicht lateralisiert	x	x	x	x	x	Rauschen ohne Struktur
	GL6	1,4	2,5	0,3 1,2 1,9	unauffällig	1,7	2,2 2,9 4,4 5,5	6,5	1,4	5,4	leicht lateralisiert

Tabelle 4-4: Quantitativ erfasste Merkmale der prä- und postoperativen Sibilantenproduktion. Untere Grenze des steilen Anstiegs, Pole, Minima, Formanten, Beginn des Intensitätsabfalls im Spektrum, auditiver Eindruck vom Laut. Die Angaben sind in kHz. Die präoperativen Spektren verstehen sich bis 5,5 kHz, die postoperativen (mit Ausnahme von GL1 und GL3) bis 11 kHz. x: Wert konnte nicht ermittelt werden, leerer Kasten: Bereich wurde nicht erfasst.

Die Nullbereiche sind für den prä- und postoperativen Vergleich wenig aufschlussreich, da sie sich bei großen postoperativen Veränderungen nicht ermitteln lassen. Bei leichter Palatalisierung und Lateralisierung stimmen sie meist mit den präoperativen Minima überein (GL8), wobei bei den meisten Patienten der prä- und postoperative Vergleich aufgrund der fehlenden hohen Frequenzen nicht möglich war.

Als sehr robust haben sich der F1 und F2 der Sibilanten erwiesen, selbst bei deutlich hörbaren Produktionsstörungen bleiben sie nahezu bei jedem Spektrum unverändert, sofern sie ermittelt werden konnten. Dies ist wenig überraschend, da die alveolare Artikulationsstelle selbst nach einer leichten Palatalisierung bei /z/ bzw. Lateralisierung bei /ʃ/ erhalten

²¹ GL4 ist die Lateralisierung nicht durch die Operation bedingt, da sie bereits präoperativ in gleichem Maße vorhanden war.

bleibt. Die alveolare und postalveolare Artikulation scheinen sich durch diese Merkmale nicht in ausreichendem Maße differenzieren zu lassen.

Der Frequenzbereich, ab dem die Hüllkurve steil nach unten fällt, konnte nur bei drei Patienten prä- und postoperativ verglichen werden. Hier zeigt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem auditiven Eindruck und der akustischen Veränderung.

4.2 Postoperative Realisierungen

In diesem Abschnitt wird die klinische Validität der akustischen Kriterien bewertet, die zu Beginn dieses Kapitels als Differenzierungsmerkmal zwischen /z/ und /ʃ/ gedient haben. Dabei werden die Patienten anhand der auditiven Bewertung in folgende Gruppen aufgeteilt:

/z/: (1) normal: GL3, GL4, GL6, (2) leicht verändert, affriziert: GL2²², (3) mittelschwer verändert und palatalisiert: GL1, GL7, GL8 und (4) schwer beeinträchtigt: GL5;

/ʃ/: (1) normal: GL3, GL4, GL6, (2) leicht bis mittelschwer beeinträchtigt und lateralisiert:²³ GL1, GL2, GL7, GL8; (3) schwer beeinträchtigt: GL5.

Die Gruppen 2 und 3 bei /z/ wurden in der weiteren Analyse zusammengefasst, um eine Parallelität zu /ʃ/ herzustellen.

Die Gruppenbildung beruht auf subjektiven Eindrücken der Autorin. Auch wenn die Korrelation zwischen den Urteilen verschiedener Personen in den meisten Untersuchungen als recht hoch angegeben wird (92 % bei Skelly et al., 1972, 95 % bei Rentschler, Arbor & Mann, 1980, 64 % bei Imai & Michi, 1992 usw.), wurde die methodisch ungesicherte Gruppenbildung in der Auswertung nicht als eigenständiger Faktor (im Sinne von Variablen) berücksichtigt. Sie sollte lediglich der Auswertung eine gewisse Struktur verleihen, ohne sie direkt zu beeinflussen. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, die Patienten in den einzelnen Gruppen in eine anhand von auditiven Kriterien bestimmte Reihenfolge zu stellen, aber auch, weil die Produktionen sich nicht ohne weiteres qualitativ differenzieren lassen. Von den Patienten, die /z/ mit einer gewissen Palatalisierung sprachen, war der Höreindruck bei GL2 und 8 etwas weniger, bei GL1 und GL7 etwa gleich schwer gestört. Hinsichtlich der /ʃ/-Produktion war bei GL7 die geringste Störung wahrzunehmen, bei GL2 und GL8 mutete sie etwa gleich schwer an, während GL1 die stärkste Lateralisierung zeigte.

Um eine Vergleichbarkeit über das Merkmal [\pm stimmhaft] zu schaffen, wurden die unteren 1000 Hz in den sibilantischen Segmenten gefiltert. Das auditive Ergebnis war überraschend: in Gruppe 2 konnten die gefilterten Segmente anhand der Artikulationsstelle auditiv nicht unterschieden werden: alle Sibilanten hatten einen /ʃ/-ähnlichen, lateralisierten Klang.

²² GL2 hatte zum Zeitpunkt der postoperativen Aufnahme eine herausnehmbare Prothese. Auf den Aufnahmen, bei denen er keine Prothese trug, war eine Affrizierung wahrzunehmen, die bei der Artikulation mit Prothese verschwunden war. Da die Kernspintomographie ohne Prothese (aufgrund des Metallgehalts) erfolgen musste, wurde die /z/-Produktion von GL2 als leicht beeinträchtigt eingestuft, um eine Vergleichbarkeit der Analysen herzustellen.

²³ Sofern die Lateralisierung eine Veränderung gegenüber dem präoperativen Zustand darstellt.

Patient	#	/z/ präoperativ								/z/ postoperativ							
		Dauer (ms)	Intensität	G1 (Hz)	BB (Hz)	CoG (Hz)	Dis (Hz)	CoG <5500	Dis <5500	Dauer (ms)	Intensität	G1 (Hz)	BB (Hz)	CoG (Hz)	Dis (Hz)	CoG <5500	Dis <5500
GL3	1	76	60,84	3631	x			3190	1162	68	69,16	3775	2577			3169	1109
	2	90	60,95	3631	x			2609	1210	71	69,47	3850	2924			2972	1109
	3	71	60,94	3369	x			2806	1209	60	63,47	3758	2839			3172	1025
GL4	1	95	59,34	4321	5189	5695	1991	4305	565	107	75,95	3459	4530	4566	1676	3784	586
	2	131	58,80	4067	6321	5577	2051	4152	599	106	75,08	3775	1822	4279	1413	3787	464
	3	120	59,48	4032	6254	5837	2065	4224	593	106	72,49	3724	3337	4120	1380	3654	485
GL6	1	117	62,90	4459	x			3566	1100	92	64,14	4099	5313	4299	1797	3500	1163
	2	114	64,86	4140	x			3300	1179	90	63,59	4150	x	4288	2101	3242	1178
	3	102	62,51	3744	2742			3641	866	93	65,09	1647	x	4563	2285	3186	1217
GL2	1	78	63,15	2541	x			2841	1032	76	68,64	3002	x	3207	1990	2478	872
	2	80	61,46	2541	x			2548	1031	80	64,95	3194	1690	3149	1681	2680	857
	3	95	60,91	3935	x			2651	1157	80	66,02	2732	1588	2957	1052	2819	670
GL1	1	121	59,68	3268	3000			3194	966	142	59,70	2575	x			2425	794
	2	118	59,66	3839	3161			3138	990	119	63,65	1704	x			2342	987
	3	113	59,62	3335	3110			2976	1071	98	60,96	1552	x			2191	736
GL7	1	123	61,85	5427	4598	4217	1363	3833	801	135	71,65	1800	834	2121	623	2086	446
	2	139	73,08	3230	5160	4484	1365	3840	861	141	66,80	1919	1022	2410	1007	2239	512
	3	106	71,27	3050	3457	3943	1255	3434	724	138	61,60	2668	1192	2623	730	2558	499
GL8	1	153	71,75	6722	4206	6165	1377	3824	1213	137	72,12	3341	5087	4142	1754	3178	845
	2	149	69,48	6603	5155	6484	1470	3937	1133	138	71,55	3256	5088	3872	1660	3156	866
	3	145	68,91	8073	7099	6406	1686	3501	1049	132	70,91	3188	4411	3496	1375	3082	767
GL5	1	86	63,97	3804	1396			3371	975	128	66,96	1289	x	1650	1104	1512	584
	2	87	62,97	3667	1286			3393	975	110	62,42	1255	x	1527	941	1432	528
	3	74	63,91	3582	1481			3106	1178	100	65,73	1170	x	2145	1689	1780	830
MW		107,6	63,43	4125	3976	5423	1625	3391	984,9	106,1	67,17	2787	2950	3301	1459	2768	797,0
SD		24,85	4,29	1328	1815	964,3	330,0	511,5	203,5	25,9	4,50	996,2	1596	1025	471,4	673,3	250,1

Tabelle 4-5: /z/ prä- und postoperativ: Gesamtdauer des Segments, Intensität, Frequenz des Gipfels mit der höchsten Intensität (G1), Bandbreite (BB), 'centre of gravity' (CoG), Dispersion um das CoG (Dis), CoG für das Spektrum unterhalb von 5400 Hz und die dazugehörige Dispersion. G1 wurde für die Patienten GL4, GL7 und GL8 zwischen 1 und 11 kHz, für alle anderen zwischen 1 und 5,5 kHz ermittelt. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

4.2.3.1.1 Dauer

Die absolute Dauer von /z/ zeigte prä- und postoperativ keine deutliche Veränderung, auch die Mittelwerte unterschieden sich nicht signifikant ($\bar{x}_d(zprä) = 107,58$ ms, $\bar{x}_d(zpost) = 105,73$ ms, $s_d(zprä) = 24,82$ ms, $s_d(zpost) = 26,53$ ms). Um eine Vergleichbarkeit zwischen der prä- und postoperativen Dauer zu schaffen, wurde die Dauer des Frikativs in Abhängigkeit von der gesamten Wortlänge normiert, indem die Segmentdauer durch die Gesamtdauer dividiert wurde. Für die Gesamtheit der Daten ergab sich kein wesentlicher Unterschied: ($\bar{x}_{rd}(zprä) = 0,17$, $\bar{x}_{rd}(zpost) = 0,16$, $s_{rd}(zprä) = 0,04$, $s_{rd}(zpost) = 0,03$). Abbildung 4-25 zeigt die Werte für die einzelnen Patienten. Eine postoperative Verkürzung der relativen Dauer lässt sich bei GL3, GL1, GL8 und teilweise GL4 und GL6 feststellen, während sie bei GL5 kurz ansteigt. Auffällig ist, dass /z/ von allen Patienten der Gruppe 1 relativ kürzer produziert wird, ebenfalls von den Patienten in Gruppe 2 (GL1 und GL8), die eine ausgeprägte Sprechanstrengung zeigen. Es ist nicht auszuschließen, dass dies auf eine interne phonotaktische Umstrukturierung zurückgeführt werden

kann, indem die schwieriger zu produzierenden Obstruenten zugunsten der Vokale verkürzt werden.

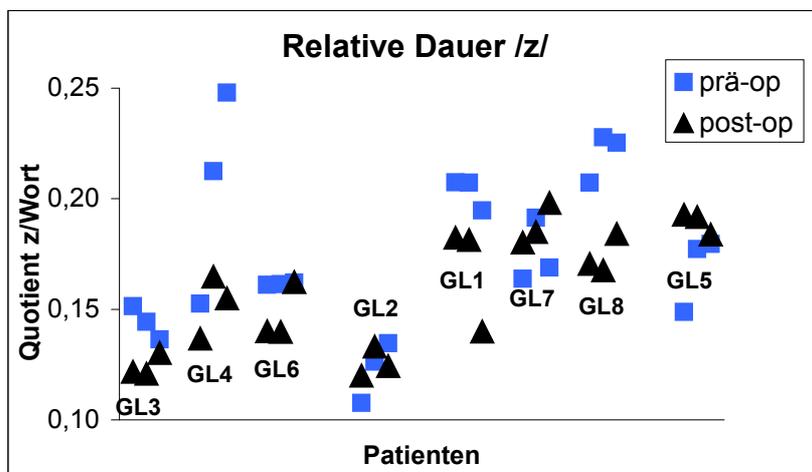


Abbildung 4-25: Relative Dauer /z/, prä- und postoperativ (Quotient von Segmentdauer und Wortdauer).

Um diese Annahme zu testen, wurde der Quotient des Zielkonsonanten und des betonungstragenden Vokals (in diesem Fall /o:/) berechnet (s. Abbildung 4-26). Dabei zeigte sich, dass sich das Verhältnis von Vokal- und Konsonantendauer von /o:/ und /z/ lediglich bei GL4 und GL8 verändert hat. Bei den anderen Patienten kann nicht von einer temporalen Umstrukturierung ausgegangen werden. Vielmehr müssen andere Faktoren wie z. B. ein erhöhtes Sprechtempo bzw. eine verlängerte „Vorbereitungsphase“ zur Erklärung herangezogen werden. Letztere äußert sich in einem Anlauf auf den initialen Konsonanten, der nicht eindeutig die akustischen Eigenschaften der eigentlichen Segmentrealisierung aufweist, zum Beispiel ist hier z. T. noch keine Friktion erkennbar.

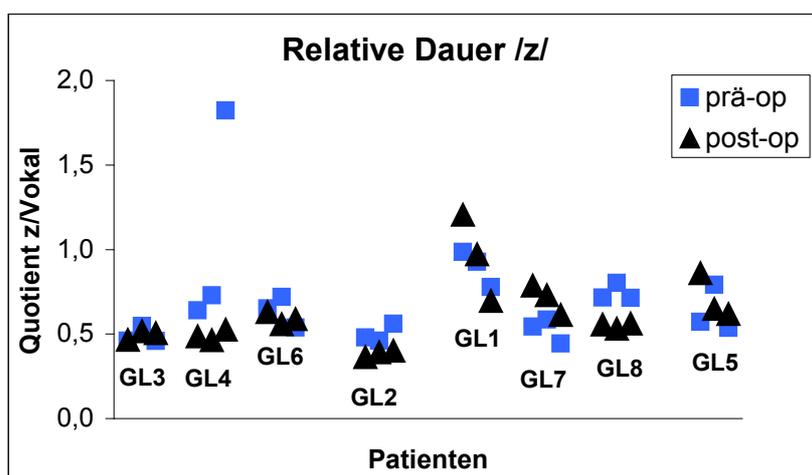


Abbildung 4-26: Dauer von /z/ in Abhängigkeit von der Dauer des betonungstragenden Vokals im Wort Rosi.

Gemessen an der absoluten Dauer zeigt /s/ postoperativ eine weitaus größere Streuung als vor der Operation, die durchschnittliche Segmentdauer ist wesentlich, jedoch nicht signifikant, verlängert ($x_d(\text{prä}) = 100,56 \text{ ms}$, $x_d(\text{post}) = 193,33 \text{ ms}$, $s_d(\text{prä}) = 24,94 \text{ ms}$, $s_d(\text{post}) = 100,78 \text{ ms}$). Dies spiegelt sich auch in der längeren postoperativen relativen Dauer und der dazu gehörigen großen Streuung wider ($x_{rd}(\text{prä}) = 0,18$, $x_{rd}(\text{post}) = 0,25$,

$s_{rd}(\text{prä}) = 0,01$, $s_{rd}(\text{post}) = 0,13$). Abbildung 4-27 zeigt jedoch, dass sich die prä- und postoperativen Werte bei jedem Patienten²⁴ überlappen, wobei eine schwache Tendenz zu kürzeren postoperativen relativen Dauern besteht. Da die Streuung bei GL5 extrem groß ist, wurden der Mittelwert und die Standardabweichung ohne seine Werte erneut berechnet. Die so ermittelten, unter Ausschluss von GL5 berechneten absoluten und relativen Dauern unterscheiden sich kaum prä- und postoperativ (absolut: $\bar{x}_{d'}(\text{prä}) = 146,66$ ms, $\bar{x}_{d'}(\text{post}) = 144,015$ ms, $s_{d'}(\text{prä}) = 26,40$ ms, $s_{d'}(\text{post}) = 43,67$ ms, relativ: $\bar{x}_{rd'}(\text{prä}) = 0,22$, $\bar{x}_{rd'}(\text{post}) = 0,19$, $s_{rd'}(\text{prä}) = 0,04$, $s_{rd'}(\text{post}) = 0,06$). Somit zeigt die /s/-Dauer eine relativ hohe Konstanz gegenüber postoperativen Veränderungen, jedoch eine geringere als die /z/-Dauer.

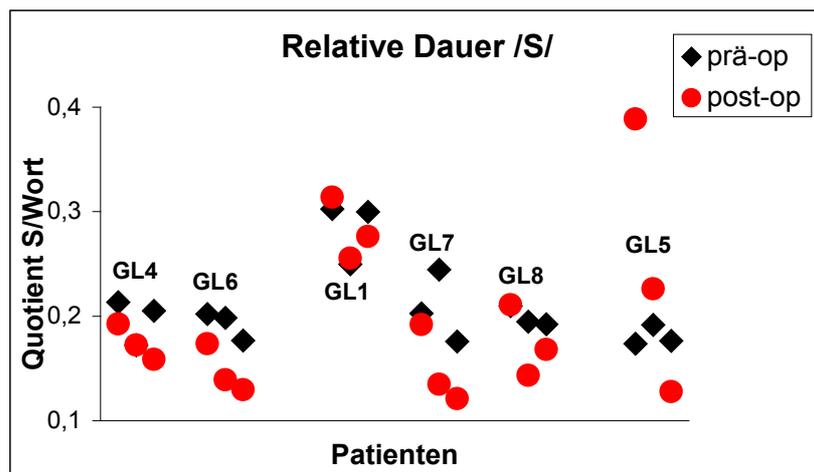


Abbildung 4-27: Dauer /s/, prä- und postoperativ.

Die Unterschiede der relativen Segmentdauer im Verhältnis zur Vokaldauer werden bei nahezu allen Patienten neutralisiert, lediglich bei GL6 fällt der Quotient postoperativ durchgehend kleiner aus. Die Werte von GL5 fügen sich bei diesem Quotienten in das Gesamtbild der restlichen fünf Patienten ein.

4.2.3.1.2 Intensität

Die Intensitätsangabe ist ein relativer Wert, der von äußeren Faktoren der Aufnahme (Entfernung vom Mikrophon, Aussteuerung usw.) abhängt, daher war es hier notwendig, eine Vergleichsgröße zu definieren. Dafür kommen die Vokale in Frage, die im Zielwort die Hauptbetonung tragen. Dabei sind nur Vergleiche in der prä- und postoperativen Dimension sinnvoll, wenn die Patienten den Ziellaut prä- und postoperativ in identischen phonologischen Umgebungen produzierten.

²⁴ GL2 und GL3, die prä- und postoperativ unterschiedliche Zielwörter sprachen (*jüdisch* bzw. *Schädel*), wurden hier nicht berücksichtigt.

Patient	#	/ʃ/ präoperativ								/ʃ/ postoperativ							
		Dauer (ms)	Intensität (dB)	G1 (Hz)	BB (Hz)	CoG (Hz)	SD (Hz)	CoG <5500	SD <5500	Dauer (ms)	Intensität (dB)	G1 (Hz)	BB (Hz)	CoG (Hz)	SD (Hz)	CoG <5500	SD <5500
GL3	1	213	60,84	2287	3330			2624	781	130	64,06	1755	617			1976	510
	2	225	60,87	2338	1707			2487	739	143	63,08	1670	980			2111	531
	3	177	60,74	2355	2096			2414	807	115	62,24	1822	2206			2199	598
GL4	1	139	58,89	2563	2972	3745	1439	3550	1125	146	68,33	1735	3296	2514	1122	2460	1025
	2	109	58,76	2664	4412	3436	1536	3179	1191	146	65,59	1735	2164	2276	915	2245	827
	3	109	58,72	2664	4310	3373	1528	3099	1145	116	63,78	1819	3752	2871	1133	2814	1028
GL6	1	148	61,78	2566	2755			2944	690	132	63,86	2308	3888	2999	1357	3600	1048
	2	148	61,41	2566	2916			3044	721	118	62,83	5081	4243	4213	1308	3863	999
	3	137	61,43	2270	3304			2851	823	95	63,35	4270	3651	3613	1290	3389	1032
GL1	1	199	59,88	2601	2486			2701	538	238	59,70	2025	x			2377	836
	2	154	59,64	2490	423			2513	483	217	59,46	2067	1944			2235	688
	3	179	59,64	2575	2324			2706	736	202	59,45	2000	x			2158	628
GL2	1	175	61,30	1882	1099			2177	460	140	62,84	2614	1555	2776	1025	2570	392
	2	203	60,84	1898	1538			2151	537	98	63,05	2817	2485	2989	1142	2761	575
	3	174	60,87	1805	1183			2179	524	85	61,44	2901	3448	3379	1330	3113	829
GL7	1	145	79,56	2241	3211	2715	970	2665	865	146	63,61	1921	1166	2177	813	2088	453
	2	186	70,48	2208	3752	2983	1150	2920	1049	114	64,41	1921	659	2047	464	2020	285
	3	124	69,12	2208	3566	2795	1004	2743	901	88	61,94	2614	1014	2552	789	2459	438
GL8	1	167	72,72	2107	3955	2917	1431	2583	956	160	80,73	1633	5916	3579	1878	2828	1122
	2	133	71,14	2056	4699	4015	1904	2926	1114	122	77,91	1700	4564	3502	1708	2873	997
	3	126	68,09	1938	4902	3946	1915	2760	908	123	77,29	1667	6085	3420	1744	2780	1003
GL5	1	110	63,45	2042	2180			2448	617	295	61,11	3577	5155	3610	1618	3188	1240
	2	119	61,91	1682	2375			2421	708	192	61,00	1498	3516	2766	1985	2219	1041
	3	72	61,29	1915	1809			2333	656	93	60,81	1532	2502	2669	1820	2193	947
MW		153,0	63,47	2247	2804	3325	1431	2684	794,8	143,9	64,66	2278	2993	2997	1302	2605	794,7
SD		37,78	5,40	297,9	1194	498,6	344,9	343,6	219,4	51,55	5,78	904,1	1665	589,3	423,4	523,4	271,2

Tabelle 4-6: /ʃ/ prä- und postoperativ Gesamtdauer des Segments, Intensität, Frequenz des Gipfels mit der höchsten Intensität (G1), Bandbreite (BB), Centre of Gravity (CoG), Dispersion um das CoG (Dis), CoG für das Spektrum unterhalb von 5400 Hz und die dazugehörige Dispersion. G1 wurde präoperativ für die Patienten GL4, GL7 und GL8 und postoperativ für alle Patienten außer GL1 und GL3 zwischen 1 und 11 kHz, für die anderen zwischen 1 und 5,5 kHz ermittelt. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

Wie aus Tabelle 4-7 ersichtlich, sind die absoluten Intensitätswerte für /z/ und den Vokal postoperativ etwas höher, bei etwa gleich bleibender Standardabweichung. Der gemittelte Quotient zeigt ebenfalls keine wesentliche Veränderung.

	prä-op			post-op		
	Intensität /z/ (dB)	Intensität V (dB)	Q (z/V)	Intensität /z/ (dB)	Intensität V (dB)	Q (z/V)
\bar{x}	63,87	71,83	0,89	67,17	76,98	0,88
s	4,80	6,25	0,03	4,50	7,12	0,07

Tabelle 4-7: Intensität des Konsonanten /z/ und des Vokals /o:/ im Wort *Rosi* sowie deren Quotient, prä- und postoperativ.

Aus der Einzeldarstellung in Abbildung 4-28 ist ersichtlich, dass Veränderungen der relativen Intensität nicht direkt mit dem Störungsgrad in Verbindung stehen: ein Abfall der relativen

Konsonantenintensität lässt sich bei schwer (GL5), mittelschwer (GL8) und leicht (GL2) gestörter sowie ungestörter (GL6) Produktion gleichermaßen beobachten. Umgekehrt kann ein Anstieg der postoperativen Intensität bei normaler (GL4) wie mittelschwer gestörter (GL1) Artikulation festgestellt werden. Es lässt sich an dieser Stelle somit keine Aussage bezüglich der Auswirkung von Veränderungen der relativen Intensität auf die Perception formulieren.

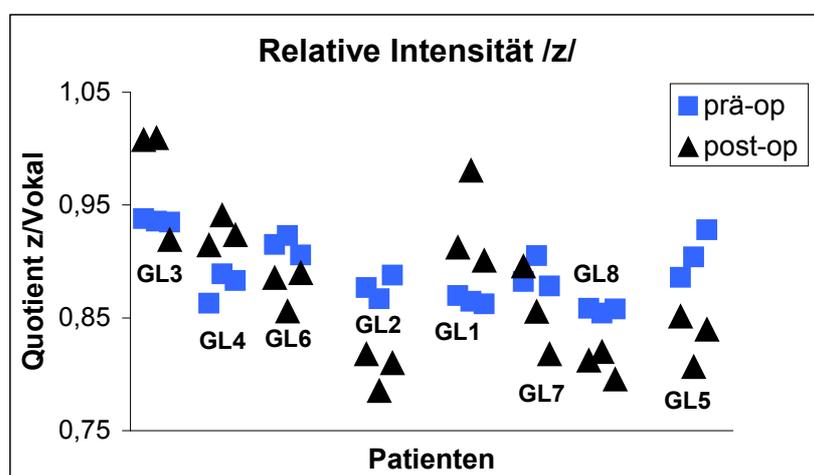


Abbildung 4-28: Intensität von /z/ relativ zum Vokal, prä- und postoperativ.

Die Übersicht in Tabelle 4-8 von /ʃ/ zeigt ein ähnliches Bild wie bei /z/: postoperativ ist im Mittelwert für den Konsonanten und den Vokal jeweils eine leichte Erhöhung der Intensität zu verzeichnen, wobei die Streuung in etwa gleich bleibt. Der Quotient fällt postoperativ geringfügig niedriger aus.

	prä-op			post-op		
	Intensität /ʃ/ (dB)	Intensität V (dB)	Q (ʃ/V)	Intensität /ʃ/ (dB)	Intensität V (dB)	Q (ʃ/V)
\bar{x}	64,76	74,08	0,88	66,15	77,67	0,85
s	6,55	7,30	0,05	6,91	8,37	0,02

Tabelle 4-8: Intensität des Konsonanten /ʃ/ und des Vokals /y:/ in *jüdisch* bzw. /ɛ:/ oder /e:/ in *Schädel* sowie deren Quotient, prä- und postoperativ.

Die oben beobachtete Tendenz bleibt bei /ʃ/ nur für GL5 und teilweise GL6 erhalten, eine höhere postoperative Intensität zeigt keiner der Patienten.

Es ist nicht verwunderlich, dass die Konsonantenproduktion bei GL5, bei dem der sibilantische Charakter von /z/ und /ʃ/ postoperativ nicht mehr erkennbar ist, eine niedrigere Intensität aufweist. Allerdings ist es aufgrund der vorhandenen Datenlage nicht ohne weiteres zu erklären, warum die Intensität bei Patienten mit recht gut erhaltener Artikulation z. T. ebenfalls abfällt.

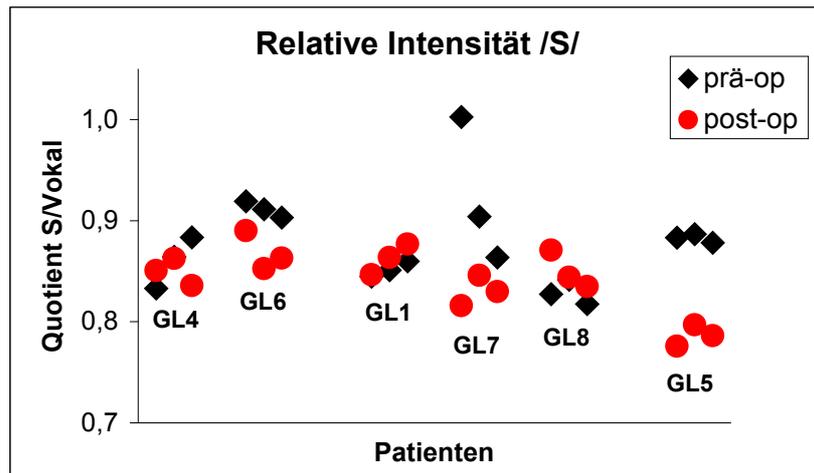


Abbildung 4-29: Intensität von /z/ relativ zum Vokal, prä- und postoperativ.

4.2.3.1.3 Gipfel mit höchster Intensität

Die Position des Maximums mit der größten Intensität hat sich für die /z/-/ʃ/-Diskriminierung als nützlich herausgestellt, selbst bei einer Spektrumbreite zwischen 1 und 5,5 kHz. Dementsprechend ist zu erwarten, dass sich Abweichungen von der als Norm geltenden Artikulation in diesem Merkmal ebenfalls niederschlagen. Abweichend von der präoperativen Analyse wird hier nicht zwischen Spektren bis 11 und 5,5 kHz getrennt, da die postoperativen G1-Werte mit Ausnahme von GL8 ohnehin nicht über 5 kHz reichen.

Wie Tabelle 4-5 zu entnehmen ist, fällt der postoperative Mittelwert für G1 deutlich geringer aus (2787 Hz gegenüber 4125 Hz präoperativ). Beim Betrachten der einzelnen Werte zeigt sich ein sehr klares Bild (Abbildung 4-30): bei Patienten mit mittelschweren bis schweren Störungen ist G1 postoperativ deutlich abgesenkt, bei Gruppe I und GL2 bleibt er unverändert. Der niedrige Wert in der dritten postoperativen Realisierung von GL6 ist etwas irreführend: in diesem Spektrum hatte F2 die höchste Intensität. Dies gilt auch für GL5 und teilweise für GL1 und GL7: vergleicht man diese Werte mit den Gipfeln und Formanten in Tabelle 4-3 und Tabelle 4-4, so zeigt sich postoperativ eine Alternation zwischen G1 (ab 2,5 kHz) und den nahe gelegenen Formanten (1,6–2,4 kHz). Während der niedrigste Gipfel präoperativ immer durch eine höhere Intensität als die Formanten ausgezeichnet ist, stimmt dieses Verhältnis bei deutlich von der Norm abweichender Produktion nicht mehr in jedem Fall.

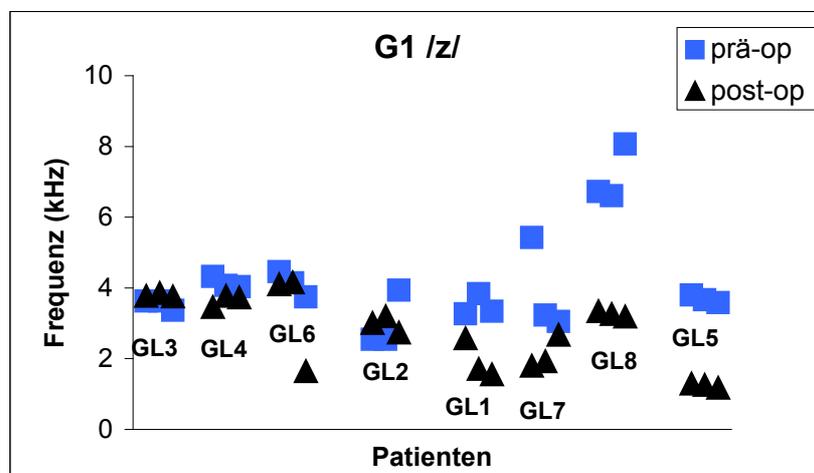


Abbildung 4-30: Gipfel mit höchster Intensität /z/ prä- und postoperativ.

Beim Vergleich der prä- und postoperativen G1-Werte für /s/ ist die obige Tendenz nicht erkennbar. Abgesehen von den Ausreißerwerten bei GL6 und GL5 zeigt sich im Vergleich zu /z/ ein recht homogenes Bild für die postoperativen Werte: gegenüber der präoperativen Standardabweichung von $s_{G1}(f_{prä}) = 297,9$ Hz beträgt sie postoperativ ohne Ausreißer $s_{G1}(f_{post}) = 419,7$ Hz. Es könnte daher sein, dass die Produktion von /s/ weniger sensitiv gegenüber postoperativer Beeinträchtigungen ist als /z/.

Beim näheren Hinsehen zeigt sich, dass die niedrigeren postoperativen G1-Werte von GL3, GL4, GL7 und GL8 mit den oben ermittelten F2- und F3-Werten übereinstimmen. Insofern muss die vorgefundene Homogenität prä- wie postoperativ mit Vorsicht betrachtet werden.

Nach der Einzelanalyse der Sibilantenspektren wurde bereits formuliert, die Spektren wären in ihren Ausprägungen postoperativ insgesamt schwieriger zu interpretieren, da die Charakteristika der Frikative teilweise fehlten. Zum Teil war es schwierig, einzelne Gipfel zu definieren, da sie sich nur geringfügig von den restlichen Frequenzbereichen unterschieden. Diese Erkenntnis schränkt die Gültigkeit des Parameters G1 weiter ein.

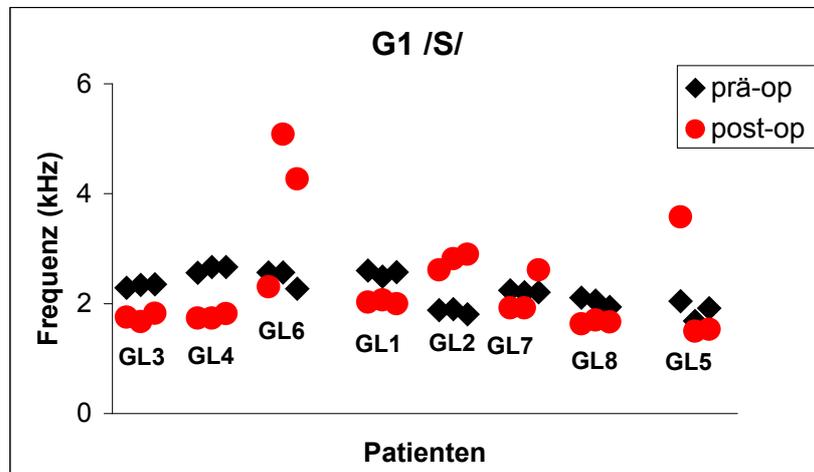


Abbildung 4-31: Gipfel mit höchster Intensität im Spektrum von /s/, prä- und postoperativ.

4.2.3.1.4 Friktionsbandbreite

Wie bereits beim präoperativen Vergleich von /z/ und /s/ gesehen, hat die Friktionsbandbreite, die bei manchen Spektren aufgrund der Hüllkurvenform nicht ermittelt werden konnte, auch im prä- und postoperativen Vergleich keinen Aussagewert. Es ist zu beachten, dass – außer bei den präoperativen Werten – die Standardabweichung für /s/ stets um die 50 % des Mittelwerts beträgt. Dies weist darauf hin, dass das Ausmaß der Bandbreite allein aufgrund ihrer starken Streuung schwer zu interpretieren wäre. Hinzu kommt, dass zwischen prä- und postoperativen Verteilungen bei den einzelnen Lauten kein eindeutiges Muster erkennbar ist.

4.2.3.1.5 Centre of gravity

Der CoG-Wert für /z/ ist postoperativ durchschnittlich um ca. 1,5 kHz niedriger als präoperativ, wobei die Streuung in etwa gleich bleibt. Dies ist im Einklang mit dem im Abschnitt 4.1.2.2 Gesagten, wonach die Hüllkurve in den hohen Frequenzbereichen postoperativ meist flach ausfällt und die hochfrequenten Maxima oft an Intensität verlieren. Dies und die festgestellte Verlagerung von G1 zu den niedrigeren Frequenzen hin führen zu dem in Abbildung 4-32 sichtbaren recht klaren Muster: die CoG-Werte lassen sich bei diesen drei Patienten intraindividuell gut unterscheiden, da die postoperativen Werte immer niedriger ausfallen.

Die Gegenüberstellung der vollständigen Spektren (1–11 kHz) mit den auf 5,5 kHz gefilterten zeigt ein überraschendes Ergebnis. Während die gefilterten Daten postoperativ mit dem Störungsgrad korrelieren (GL1, GL7 und GL5 mit einer gut hörbaren Beeinträchtigung haben postoperativ deutlich niedrigere CoG-Werte, bei Gruppe I sowie GL2 und GL8 bleiben sie nahezu unverändert), zeigen die ungefilterten Spektren in jedem Fall eine Verlagerung des CoG um ca. 2 kHz nach unten. Daher lässt sich die Vermutung äußern, dass Veränderungen im Frequenzbereich oberhalb von 5,5 kHz zwar ein Indiz für die Veränderung der Ansatzrohrresonanzen sein können, jedoch nicht notwendig eine Veränderung des auditiven Eindrucks bezüglich des einzelnen Segments mit sich bringen.

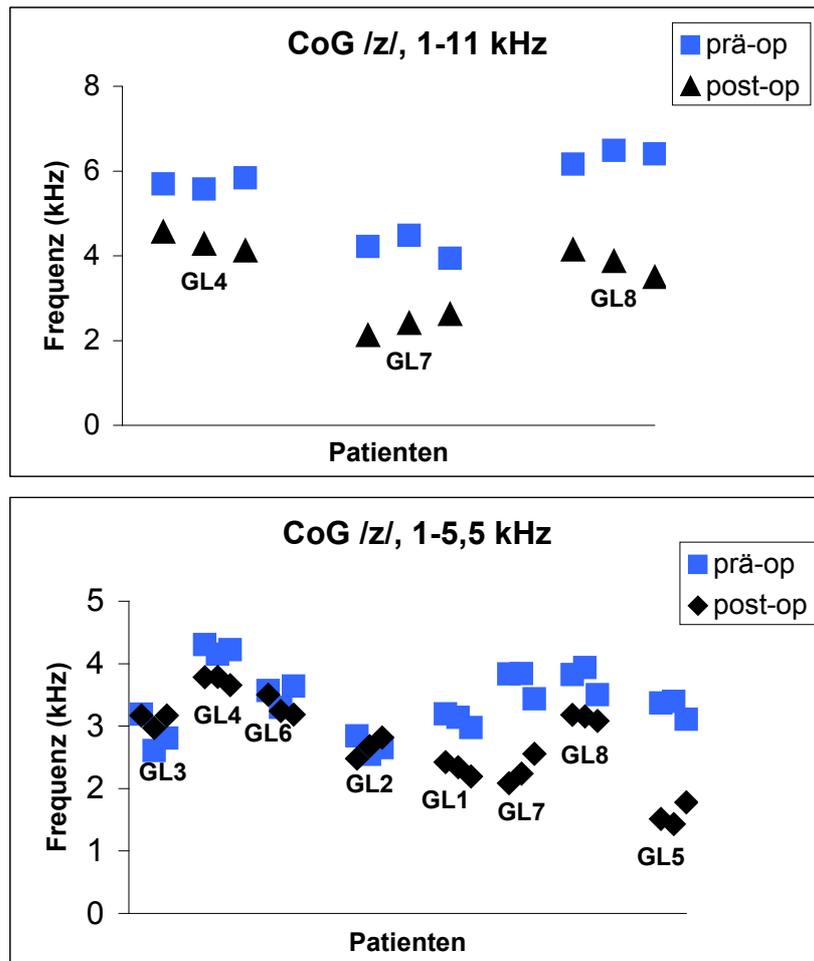


Abbildung 4-32a, b: Centre of Gravity für /z/, prä- und postoperativ, (a) 1–11 kHz, (b) 1–5,5 kHz.

Bei /ʃ/ zeigt sich für die gefilterten Spektren eine leichte Verlagerung der CoG-Werte nach unten, meist ist die bei /z/ so klare intraindividuelle Differenzierbarkeit jedoch nicht festzustellen. Auch das Diagramm über die gefilterten Daten kann nicht auf eine Tendenz hin interpretiert werden, da das CoG bei vier Patienten leicht nach unten (GL3, GL4, GL1, GL7) und bei zwei nach oben (GL6, GL2) verlagert wurde, während er bei GL5 und GL8 gleich bleibt. Ein Zusammenhang zwischen den Gruppen und CoG ist nicht gegeben.

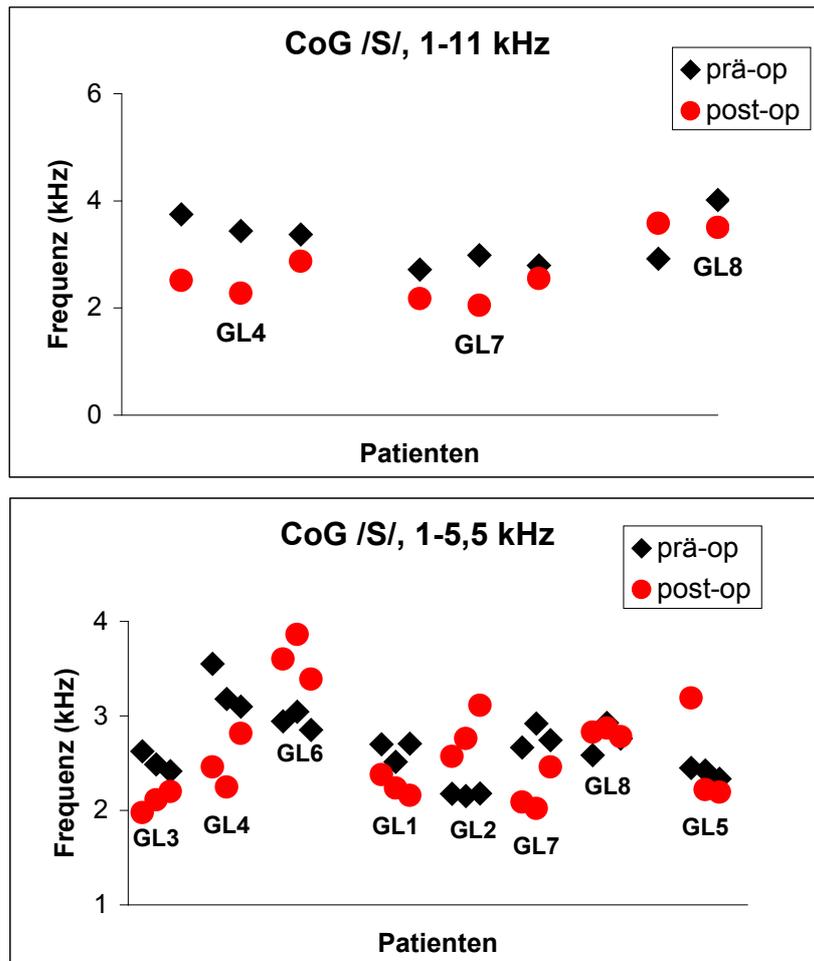


Abbildung 4-33a, b: Centre of gravity /s/, ungefilterte und gefilterte Spektren, prä- und postoperativ, (a) 1–11 kHz, (b) 1–5,5 kHz.

4.2.3.1.6 Dispersion

Die für die spektrale Leistungsverteilung charakteristische Dispersion lässt sich bei den ungefilterten Spektren nicht eindeutig zur Differenzierung der Lautproduktion einsetzen, da sich die beeinträchtigte Produktion von GL7 und GL8 nicht gegenüber GL4 abhebt. Für die gefilterten Spektren zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Centre of Gravity: die auditiv unveränderten Segmente von GL3, GL4 und GL6 zeigen keine Abweichung von der präoperativen SD, bei allen anderen Patienten ist postoperativ eine geringere Dispersion vorhanden. Dies bestätigt den im Rahmen der qualitativen Analyse formulierten Eindruck, dass die postoperativen Spektren insgesamt flacher und weniger strukturiert ausfallen.

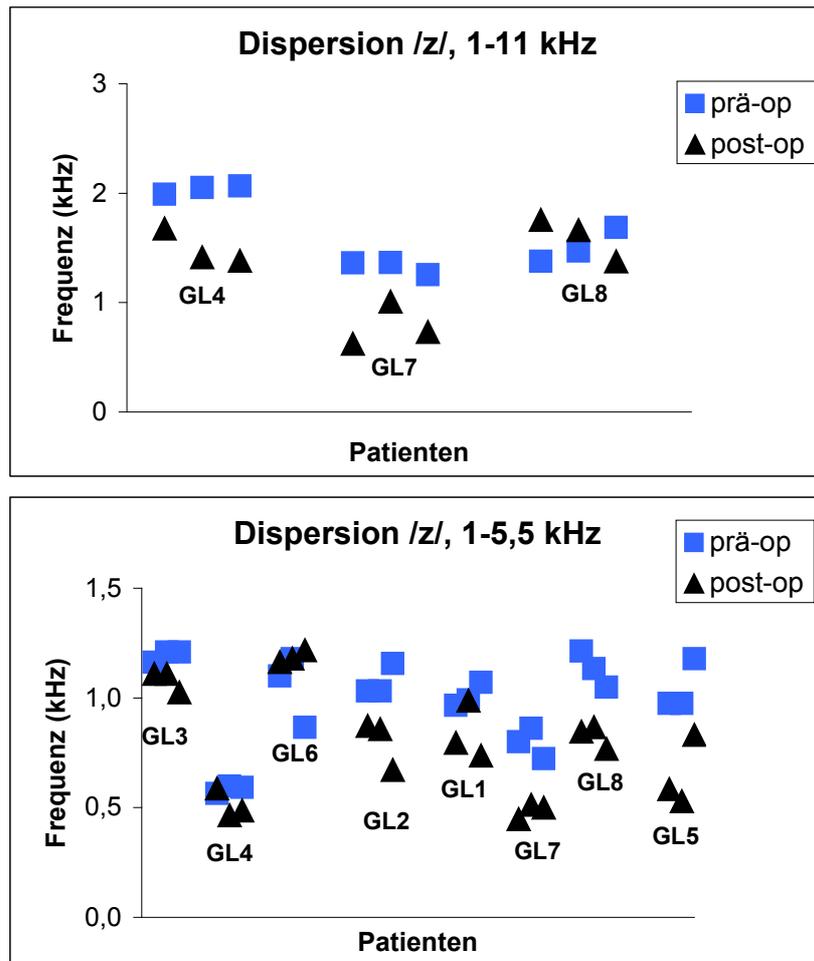


Abbildung 4-34a, b: Dispersion des Spektrums /z/, prä- und postoperativ, (a) 1–11 kHz, (b) 1–5,5 kHz.

Die Struktur der Dis-Werte für /ʃ/ zeigt ein ähnliches Muster wie das des Centre of Gravity: die Werte ohne Filterung für GL4 und GL7 sind etwas niedriger, bei GL8 zeigt sich keine Veränderung. Betrachtet man nur den Bereich bis 5,5 kHz, zeigt sich durch die Gruppen kein einheitliches Bild, da die postoperativen Werte für GL3, GL4 und GL7 niedriger, für GL1, GL6 und GL5 höher und für GL2 und GL8 etwa gleich ausfallen.

Die kontrastive akustische Analyse zwischen den Segmenten /z/ und /ʃ/ einerseits und prä- und postoperativen Realisierungen andererseits hat gezeigt, dass die Gültigkeit normalsprachlicher akustischer Parameter im pathologischen Bereich eingeschränkt ist. Als Beispiel dafür soll das Merkmal G1 genannt werden, der in der normalsprachlichen Diskriminierung zwar hilfreich war, sich für die gestörte Sprache jedoch nicht ohne weiteres eignete, da es gegenüber Strukturveränderungen im Spektrum (stärkere Formantintensitäten, schwächere Gipfel) nicht sensitiv genug ist. Das Centre of Gravity erwies sich präoperativ als robustes Merkmal, jedoch war er bei der Unterscheidung von gestörter und ungestörter Produktion von /ʃ/ wenig hilfreich. Entsprechendes gilt für das Verhältnis der Dispersionswerte: in Gruppe 1 bleibt die Distinktion mehr oder weniger gut erhalten, allerdings nur, wenn das gesamte relevante Spektrum bis 11 kHz zur Verfügung steht. Die Werte in der Gruppen 2 und 3 sind weitgehend neutralisiert (Abbildung 4-36, Abbildung 4-37).

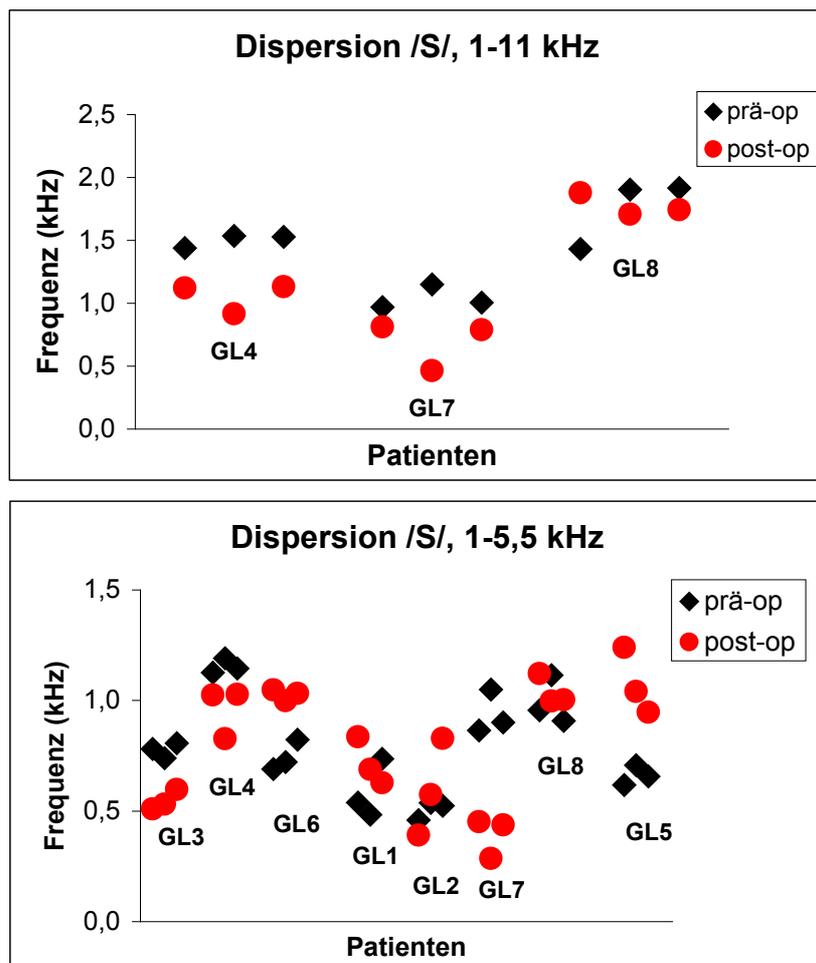


Abbildung 38a, b: Dispersion des Spektrums /s/, prä- und postoperativ, (a) 1-11 kHz, (b) 1-5,5 kHz.

Die postoperative Produktion von GL5 war bei beiden Segmenten schwer gestört, was zu gravierenden Veränderungen in der spektralen Struktur geführt hat. Dennoch konnte dieser Umstand mit den quantitativen spektralen Parametern nicht erfasst werden. Diese kamen lediglich bei der Beschreibung des sonographischen Bildes zum Tragen, da dort keine Friktion sichtbar war, sowie bei der manuellen Erfassung der Gipfel und Minima, die in einem unstrukturierten Spektrum nicht zu ermitteln waren. Dies zeigt, dass die Einzelanalyse von Sonagrammen und Spektren für die Analyse von gestörten Frikativen in jedem Fall sinnvoll ist.

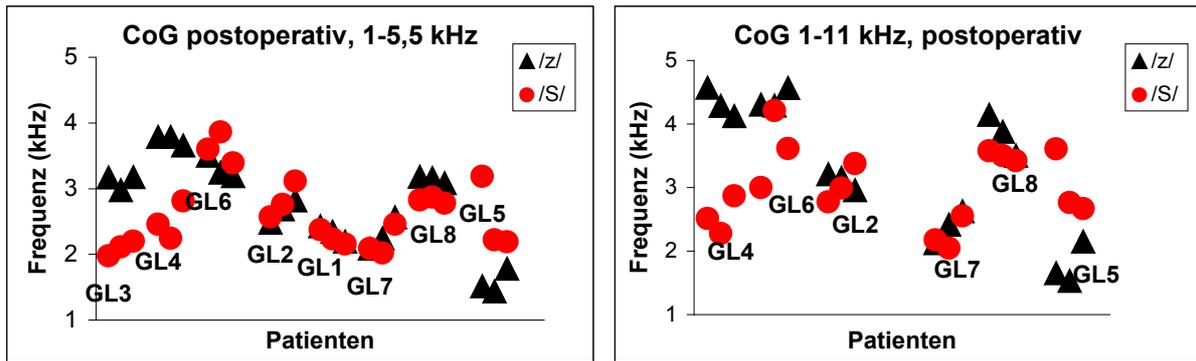


Abbildung 4-36a, b: Centre of Gravity (a) /z/ und (b) /ʒ/, postoperativ, (a) 1-5,5 kHz, (b) 1-11 kHz.

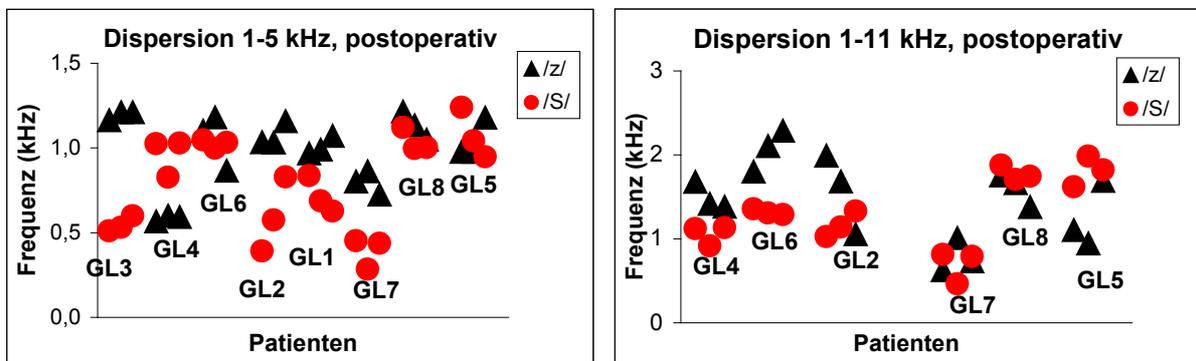


Abbildung 4-37a, b: Dispersion (a) /z/ und (b) /ʒ/, postoperativ, (a) 1-5,5 kHz, (b) 1-11 kHz.

4.3 Der Lateral //

Beim alveolaren Lateral können operationsbedingt dreierlei Veränderungen auftreten: (1) wenn die Zungenspitze nicht frei beweglich ist, wird die erwartungsgemäß apikale Artikulation postoperativ durch eine laminaler ersetzt; (2) bei einer Einschränkung der Mobilität des vorderen Zungenanteils kann sich die alveolare Artikulationsstelle verändern und (3) die laterale Verschlussbildung und -lösung kann bei schwereren Mobilitätsstörungen wegfallen und der laterale Charakter somit verschwinden.

Betrifft die Veränderung lediglich den apikalen vs. laminalen Artikulationsmodus, so ist bei laminaler Artikulation erstens mit einem höheren F2 und damit mit dessen geringerer Distanz zu F3 sowie mit langsameren Transitionen zu rechnen. Eine Palatalisierung lässt sich durch einen Anstieg von F2 sowie durch die Veränderung der Transitionsrichtungen (Lokusverschiebung) erfassen. Wird der Lateral durch einen Approximanten ohne Verschlusslösung ersetzt, ist eine Verlangsamung bzw. ein Ausfall der Transitionen sowie die Veränderung der Formantstruktur zu den angrenzenden Vokalen hin zu erwarten.

4.3.1 Methoden

Der Analyse lag der Initiallaut im Wort *lang* zugrunde. Die Segmentierung erfolgte im Breitbandsonagramm (Bandbreite: 260 Hz), als Grenzsinal zwischen // und /a/ wurden die Verstärkung der Formanten und das Erscheinen höherer Frequenzen gewertet. Sofern das Sonagramm kein eindeutiges Bild bot, wurde die Segmentierung auditiv und unter Hinzuziehung des Oszillogramms vollzogen. Wie bei den Sibilanten, galt auch hier das Prinzip, dass undeutliche Grenzbereiche im Zweifelsfall nicht zum Konsonanten gezählt wurden. Für die akusti-

sche Analyse wurden – mit Ausnahme der Dauer – die mittleren 50 ms des Segments verwendet.

In der Wortliste von GL4 bis GL8 kam // zusätzlich im Zielwort *Juli* vor. Das intervokalische Segment wurde herangezogen, um die in Bezug auf die Sibilanten gestellten Frage zu beantworten, ob die Differenz in der Dauer auf die unterschiedliche Position von /z/ und /ʒ/ zurückgeführt werden kann. Des Weiterem sollten die unterschiedlichen vokalischen Umgebungen in den beiden Zielwörtern eine präzisere Auskunft über das Verhalten von Transitionsmustern geben.

Das gesamte Segment wurde in Hinblick auf die Formantübergänge betrachtet und durch die Ermittlung der Dauer ergänzt. Der mittlere Anteil des Segments war Objekt der Intensitätsermittlung. Am mittleren Segmentausschnitt wurden ferner F1–F4 ermittelt, mit einer Abtastrate von 10 ms und einer Fensterbreite von 25 ms. Auf die Bestimmung der spektralen Nullstelle wurde aufgrund der starken individuellen Varianz und z. T. mehrdeutiger postoperativer Spektren verzichtet, ebenso auf die sonographische Erfassung des Lokus, der mit F2 identisch ist.

4.3.2 Ergebnisse

Die postoperative Realisierung von // gelang lediglich dem Patienten GL3 ohne hörbare Veränderung. Die Patienten GL2, GL6, GL4 und GL1 realisierten den Laut mit einem erkennbaren lateralen Charakter, wobei die Störung bei GL2 am geringsten war und sich eher in einer verwaschen Artikulation zeigte, während bei den anderen drei Realisierungen eine leichte Palatalisierung zu hören war (die Reihenfolge der Aufzählung und der Darstellungen entspricht dem Grad der Störung). Patienten GL7, GL8 und GL5 konnten // nicht oder nur teilweise als lateral artikulieren: GL7 hatte eine palatalisierte Realisierung mit lateralem und zwei mit approximantischem Charakter ohne Verschlusslösung, bei GL8 deutete der Klang auf eine postalveolar-präpalatale Artikulationsstelle, ohne lateralen Charakter. Bei GL5 war // nur schwer segmentierbar und erweckte eher den Eindruck eines vokalischen Segments, wobei eine nähere Bestimmung kaum möglich war.

Die Patienten wurden je nach postoperativer Realisierung in drei Gruppen aufgeteilt: Gruppe 1 besteht aus GL3, zu Gruppe 2 gehören GL2, GL6, GL4 und GL1, Gruppe 3 umfasst GL7, GL8 und GL5.

4.3.2.1 Dauer

Die präoperativen Dauerangaben verteilen sich zwischen 62 ms (GL5) und 137 ms (GL7), die postoperativen Werte befinden sich zwischen 50 ms (GL7) und 150 ms (GL4). Die gemittelte absolute Dauer des Konsonanten ist postoperativ kürzer, die des Wortes und des Vokals länger (s. Tabelle 4-9). Die Quotienten (// dividiert durch Wortlänge bzw. Vokallänge) deuten auf eine postoperative Verkürzung der Konsonantendauer hin, wobei die Streuung etwas größer ausfällt.

	prä-op			post-op			prä-op			post-op		
	Dauer // (ms)	Dauer /ang (ms)	Q //ang	Dauer // (ms)	Dauer /ang (ms)	Q //ang	Dauer // (ms)	Dauer V (ms)	Q //V	Dauer // (ms)	Dauer V (ms)	Q //V
\bar{x}	103,93	439,74	0,24	96,02	461,45	0,20	103,93	115,88	0,92	96,02	129,42	0,75
s	17,98	60,49	0,04	33,23	74,83	0,05	17,98	18,60	0,21	33,23	24,40	0,26

Tabelle 4-9: Dauer von /l/ in lang, relativ zur Wortdauer /lang/ und Vokaldauer /a/, prä- und postoperativ.

Eine Tendenz zur postoperativen Verkürzung der relativen Dauer lässt sich bei GL3, GL2, GL7 und GL5 erkennen (die absoluten // - Dauern fallen bei GL3, GL2 und GL5 postoperativ ebenfalls kürzer aus).

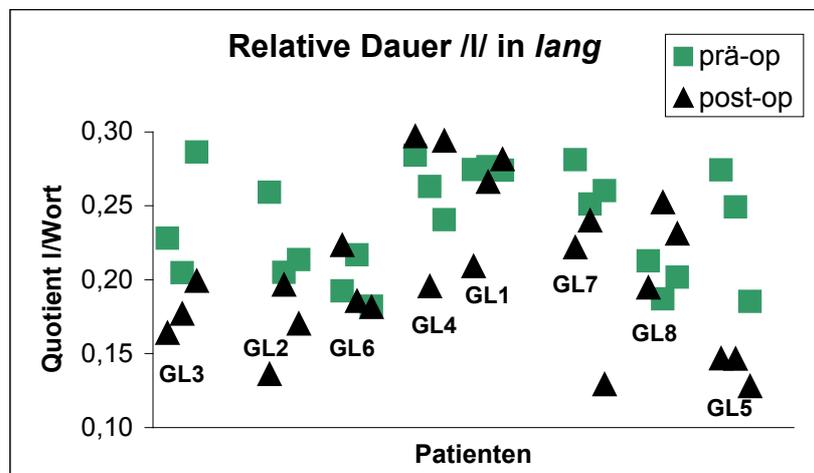


Abbildung 4-41: Relative Dauer von /l/ in lang, gemessen an der Wortdauer, prä- und postoperativ.

Ähnlich wie bei /ʃ/ ist die Varianz der absoluten und teilweise auch der relativen Dauern bei /z/ prä- und postoperativ etwa gleich, während sie bei // und /ʃ/ postoperativ deutlich größer ausfällt. Diese Beobachtung bestätigt die im Kapitel 3 mehrfach zitierte Feststellung, /s/ zeige gegenüber koartikulatorischen und positionellen Einflüssen eine ausgeprägte Resistenz. Was den zeitlichen Aspekt angeht, scheint hier selbst bei gestörter Artikulation eine gut erhaltene temporale Organisation vorhanden zu sein.

Es ist anhand der Daten nicht unmittelbar einleuchtend, warum es eine allgemeine Tendenz zur postoperativen Segmentverkürzung gibt und warum sie je nach Segment bei unterschiedlichen Patienten auftritt. Nur ein Patient, GL3, zeigt die Verkürzungstendenz bei allen drei Realisierungen und fast allen Maßen, d. h. (1) absolut, gemessen an (2) Wort- bzw. (3) Vokallänge. Das Sprechtempo war bei GL3 postoperativ höher, die postoperativen Wortlängen kürzer, allerdings scheint er darüber hinaus die Konsonanten relativ kürzer zu produzieren (außer /z/, gemessen an der Vokallänge). Es könnte spekuliert werden, dies als Teil eines erfolgreichen Kompensierungsprozesses zu werten, bei dem die Vokale, die weniger artikulatorischen Aufwand erfordern, zugunsten der Konsonanten einen größeren zeitlichen Anteil in der Lautproduktionskette erhalten. Tatsache ist, dass die Verkürzungstendenz bei den Sibilanten teilweise auch für Patienten mit einer Sprechanstrengung gilt. Bei ihnen ist die Tendenz jedoch nicht so stark ausgeprägt und nicht einheitlich.

Im Abschnitt 4.1.2.1.1 ist die Frage offen geblieben, ob die kürzeren Dauern von /z/ gegenüber /ʃ/ mit ihrer unterschiedlichen Position im Wort oder in der Fortis-Lenis-Unter-

scheidung begründet sind. Abbildung 4-42 zeigt, dass die // -Dauer im Wort *Juli* immer kürzer ausfiel als in der initialen Position in *lang*. Die Stimmhaftigkeit kann dennoch zusätzlich auf die Segmentdauer einwirken.

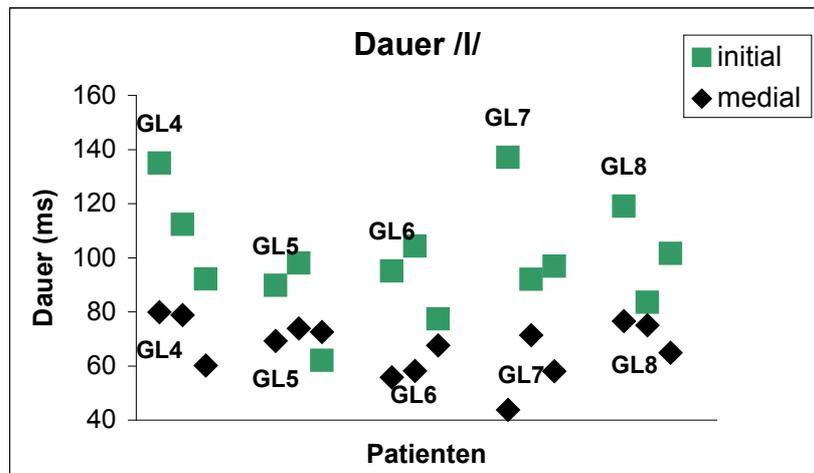


Abbildung 4-42: Dauer von // in *lang* und *Juli*.

4.3.2.2 Intensität

Die postoperativen Intensitätswerte zeigen für // wie für /a/ einen leichten Anstieg, während die gemittelten Quotienten sowie die dazugehörigen Standardabweichungen vor und nach der Operation nahezu identisch sind.

	prä-op			post-op		
	Intensität // (dB)	Intensität V (dB)	Q I/V	Intensität // (dB)	Intensität V (dB)	Q I/V
\bar{x}	69,07	71,48	0,97	72,90	76,26	0,96
s	6,98	8,08	0,03	8,33	8,22	0,03

Tabelle 4-10: Intensität von // und /a/ in *lang* und deren Quotient.

Bei der Mehrheit der Patienten zeigt sich kein Unterschied zwischen den prä- und postoperativen Quotienten (Abbildung 4-43). Eine eindeutige Differenzierbarkeit ist bei GL2 und GL3 durch die niedrigere postoperative sowie bei GL8 durch die höhere postoperative Intensität gegeben. Dieses diffuse Bild bietet keine eindeutige Interpretationsmöglichkeit.

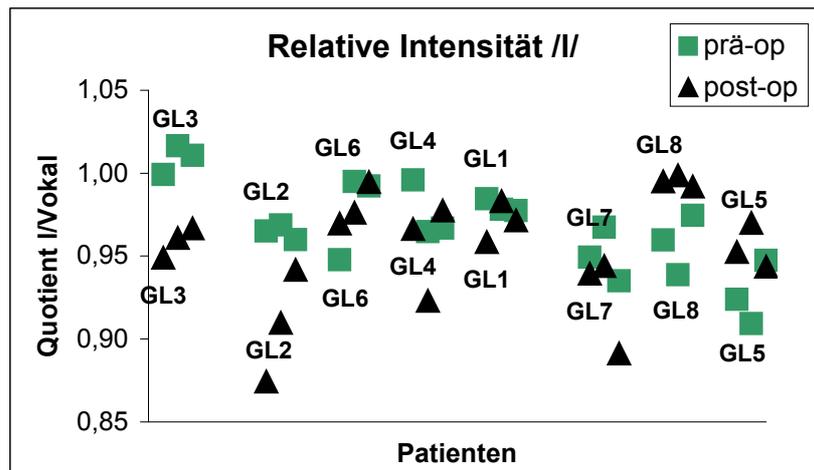


Abbildung 4-43: Intensität von /l/ in *lang*, Quotient von /l/-Intensität dividiert durch /a/-Intensität.

4.3.2.3 Formantstruktur

Als Grundlage für die Formantermittlung diente die in Praat verfügbare, automatische Funktion für Formanerkennung. Für etwa die Hälfte der Realisierungen ließ sich F5 nicht ermitteln und wurde daher in der Analyse nicht berücksichtigt.

Die hier festgestellten präoperativen Formantwerte entsprechen grob den aus der Literatur bekannten Angaben im Abschnitt 3.2.1, wobei F1 etwas niedriger als 400 Hz liegt. Gut erkennbar ist die Differenz zwischen den einzelnen Formanten (etwa 1000 Hz, s. Tabelle 4-11).

	prä-op				post-op			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
\bar{x}	314,72	1448,50	2541,87	3708,89	331,48	1620,67	2489,07	3468,34
<i>s</i>	51,03	194,86	200,87	373,65	84,60	183,84	323,99	416,56

Tabelle 4-11: Gemittelte Formanten 1 bis 4 von /l/ in *lang*.

Die Einzeldarstellung der Formanten zeigt, dass die durch die Mittelwerte erfasste Struktur für nahezu jeden Patienten eine Gültigkeit hat. Lediglich bei GL7 zeigt sich eine Annäherung von F2 und F3, aufgrund des niedrigen F3-Wertes. Die entsprechenden Formanten liegen bei allen Patienten (bis auf F4 bei GL4) dicht beieinander, und zwischen den Formantwerten gibt es keine Überschneidungen. Die Werte für die einzelnen Formanten überlappen sich nicht, ihre Verteilung lässt sich klar eingrenzen: F1: 221–390 Hz, F2: 1100–1827 Hz, F3: 2097–3032 Hz, F4: 3135–4377 Hz.

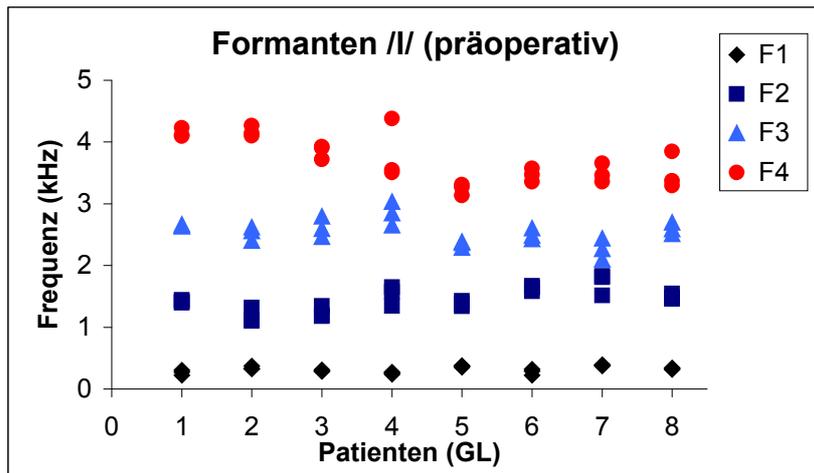


Abbildung 4-44: Formanten 1–4 für /l/ in *lang*. Die Zahlen auf der x-Achse verweisen auf die Patienten GL1 bis GL8.

Bei den postoperativen Formantwerten fällt in erster Linie die größere Standardabweichung für F1, F3 und F4 auf. F1 und 2 fallen etwas höher, F3 und 4 niedriger aus. Betrachtet man den Verteilungsbereich der einzelnen Formanten, so wird deutlich, dass die automatische Formantermittlung hier nicht in jedem Fall erfolgreich war. Dabei ergeben sich folgende Bereiche: F1: 107–458 Hz, F2: 1391–2226 Hz, F3: 1601–3138 Hz, F4: 2802–4252 Hz. Zwischen F2 und F3 sowie F3 und F4 besteht jeweils eine Überlappung. Strukturen mit auffällig von der Norm abweichenden Werten werden im Folgenden zu prüfen sein.

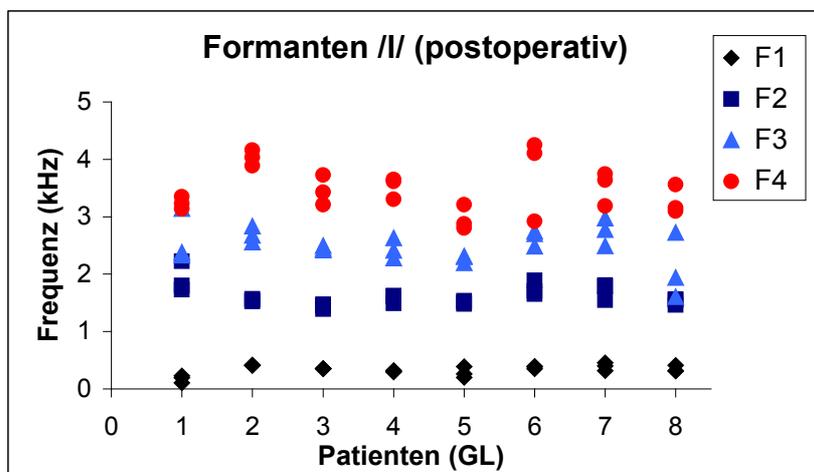


Abbildung 4-45: Formanten 1–4 für /l/ in *lang*. Die Zahlen auf der x-Achse verweisen auf die Patienten GL1 bis GL8.

Die postoperative Formantstruktur von GL1 und GL8 weicht stark, die von GL4, GL5, GL6 und GL7 leicht von der präoperativen Struktur ab. Zur Erinnerung: die postoperative /l/-Produktion von GL7, GL8 und GL5 wurde auditiv als mittelschwer bis schwer, die von GL2, GL6, GL4 und GL1 leicht bis mittelschwer eingestuft, während GL3 keine hörbare Beeinträchtigung zeigte. Bereits dieser erste Überblick, der nicht notwendigerweise über die tatsächliche Formantstruktur, sondern über ihre automatische Ermittlung Auskunft gibt, trägt der auditiven Einteilung Rechnung: lediglich GL3 und GL2, deren Realisierungen nicht oder am geringsten gestört waren, weisen eine mit der präoperativen übereinstimmende Formantstruktur auf.

Die manuelle Überprüfung der veränderten Formantstrukturen erfolgte im FFT-Spektrum anhand des mittleren Segmentanteils und des gesamten //-Segments. Gründe für falsch detektierte Formanten waren der Zusammenfall von F0 und F1, eine zu geringe Distanz zwischen F2 und F3 sowie F3 und F4. Zum Teil war die gesuchte Information im vollständigen Segment, aber nicht im mittleren Anteil enthalten. Des Weiteren wurde die Analyse durch viele kleine, undefinierbare Maxima erschwert.

Nach der manuellen Korrektur ergaben sich für F1 und F2 folgende Werte.

	prä-op		post-op	
	F1	F2	F1	F2
\bar{x}	315,9	1428,2	337,26	1531,03
s	33,13	128,5	52,37	138,72

Tabelle 4-12: Korrigierte Werte für F1 und F2.

Die wichtigste Veränderung gegenüber den automatisch generierten Werten (Tabelle 4-11) besteht in den geringeren Standardabweichungen sowie in einem etwas kleineren postoperativen F2-Wert. Eindeutig ist der Anstieg von F1 und F2 gegenüber der Normalartikulation.

4.3.2.4 F1

In Kapitel 3 wurden unterschiedliche, sich z. T. widersprechende Annahmen zum Zusammenhang zwischen F1-Höhe und Artikulationsmodus zitiert: laut der ursprünglichen Auffassung würde der F1 des Laterals von der Querschnittsgröße der Engebildung abhängen, somit würde eine apikale Artikulation in einem niedrigeren F1 als bei laminarer Produktion resultieren. Demgegenüber verwiesen Ladefoged & Maddieson (1996) auf Untersuchungen, die auf niedrigere F1-Werte bei laminarer Artikulation hindeuteten.

Die allgemeine Tendenz ist in der Gruppe 2 bei GL2, GL6 und teilweise GL4 erkennbar, während sie bei GL1 in die andere Richtung zeigt. In der Gruppe 3 ist keine Homogenität der Formantverschiebungen gegeben, GL3 zeigt keine Veränderung der Formantposition.

Betrachtet man den F1 nicht absolut, sondern im Vergleich zum F1 des benachbarten /a/, so ist postoperativ kein Anstieg zu beobachten, im Gegenteil, bei GL3, GL2 und GL8 fällt die Differenz zwischen // und /a/ etwas geringer aus.

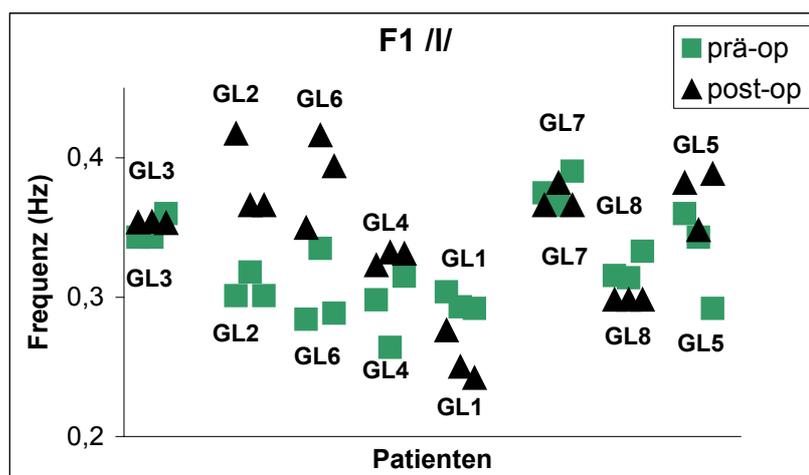


Abbildung 4-46: F1 für // in lang.

4.3.2.5 F2

Der Lokus entspricht im Wesentlichen der Position von einem tatsächlichen oder virtuellen F2. Während der für die Alveolaren charakteristische Lokus um 1500–1800 Hz liegt, ist er bei Palatalen zwischen 3000 und 4000 Hz zu finden. Ein postoperativ höherer F2 könnte

demzufolge als Indiz für eine Palatalisierung gewertet werden, die auditiv bei den Patienten GL6, GL4, GL1 und GL7 festgestellt wurde.

Höhere F2-Werte lassen sich bei GL4, GL1 und GL7 beobachten, jedoch auch bei GL2, dessen /l/-Produktion als verwaschen, aber nicht eindeutig palatalisiert erscheint. Die Werte von GL6 sind stark gestreut, ohne jedoch eine Verschiebung von F2 nach oben anzuzeigen.

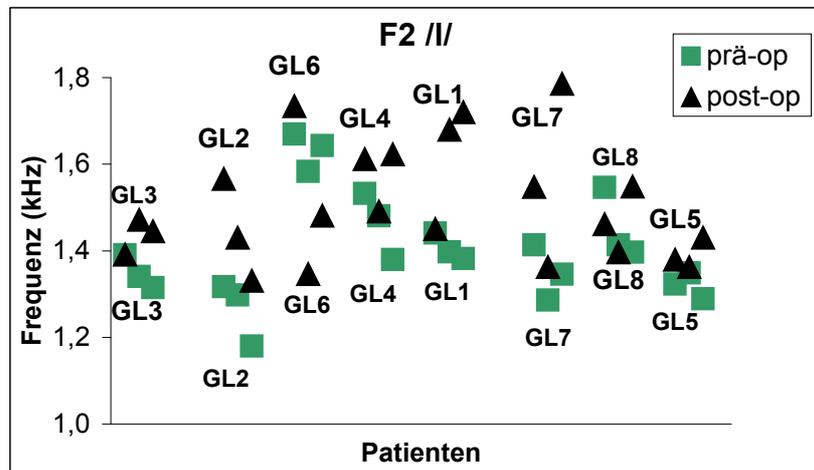


Abbildung 4-47: F2 von /l/ in lang.

Um den eventuellen Effekt einer allgemeinen F2-Erhöhung (vgl. Zimmermann, 2003a) zu neutralisieren, wurden die F2-Werte in Abhängigkeit vom F2 des benachbarten /a/ berechnet. Wie in der unten stehenden Abbildung erkennbar, wird die obige Tendenz des F2-Anstiegs dadurch noch deutlicher. Von der Veränderung sind fünf Patienten betroffen, GL3, GL6 und GL5 zeigen keinen prä- und postoperativen Unterschied.

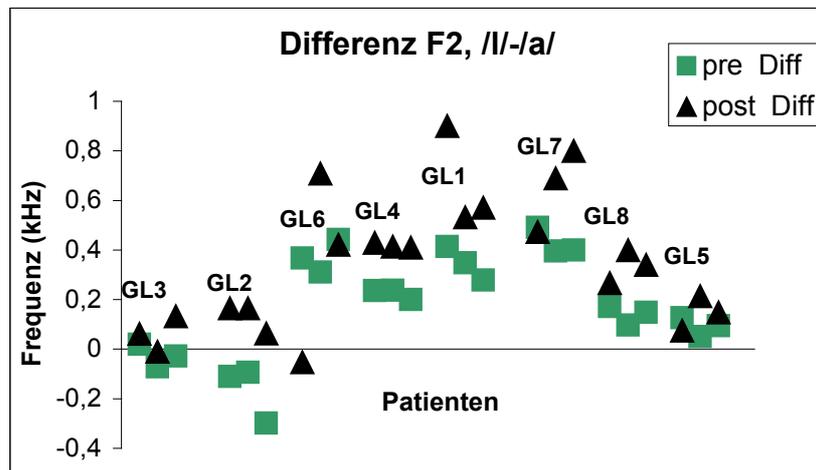


Abbildung 4-48: F2-Differenz von /l/ und /a/, prä- und postoperativ.

4.3.2.6 Differenz F2-F3

Wie Abbildung 4-49 zeigt, besteht postoperativ eine starke Tendenz zu einer geringeren F2-F3-Differenz, und zwar über alle drei Gruppen. Eine Ausnahme stellen GL6 und GL7 dar, die die entgegengesetzte Tendenz zeigen. Die Tendenz zur geringeren Differenzierung scheint mit der Palatalisierung nicht zusammenzuhängen, da sie zwar einheitlich auftritt, doch ist sie bei zwei von vier Patienten mit einer ausgeprägten Palatalisierung nicht zu beobachten.

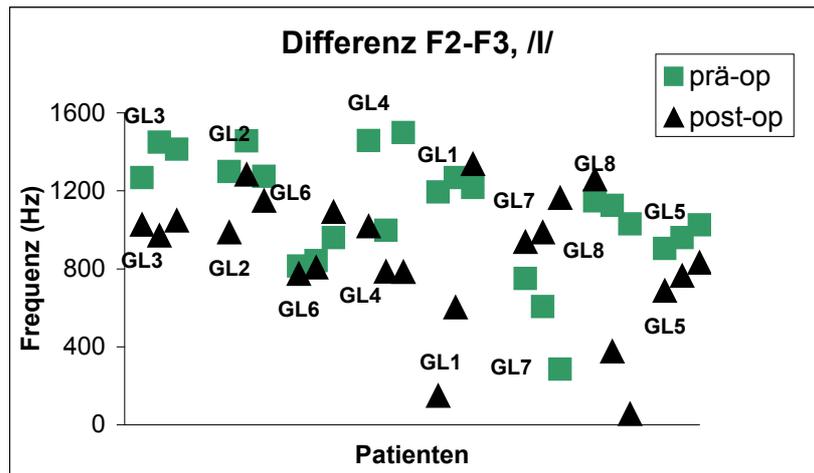


Abbildung 4-49: Differenz zwischen F2 und F3, prä- und postoperativ.

4.3.2.7 Allgemeine Tendenzen

Die eingeschränkte Gültigkeit der vorausgegangenen Annahmen ist nicht überraschend, vielmehr spiegelt sie ein allgemeines Problem der akustischen Analyse von pathologischem Sprechen wider. Während beim normalen Sprechen Phänomene wie Palatalisierung eine „willkürliche“, anders gesagt mental organisierte Steuerung zugrunde liegt, d. h. die Palatalisierung wird konsequent, durch den bewussten Einsatz der Sprechorgane ausgeführt, hängt das Produktionsergebnis bei Patienten mit starken Zungenmobilitätsstörungen von der erhaltenen Zungenmobilität, der Kompensationsfähigkeit und von weiteren, nicht parametrisierbaren Faktoren ab. Im konkreten Fall bedeutet es, dass die Palatalisierung nicht einfach eine Verlagerung der Enge, sondern die Folge einer nicht genau durchgeführten Engebildung ist. Dabei fällt die Konstriktionsfläche meist größer aus, und es entsteht der auditive Eindruck einer Palatalisierung. Dies muss sich akustisch jedoch nicht notwendigerweise mit dem Muster der ungestörten Palatalisierung decken.

Schließlich sei auf die Komplexität der die Formanten beeinflussenden Faktoren (die sog. Resonanzverschieber, Tillmann & Mansell, 1980) verwiesen. Das Modell zeigt, dass die Verengung bestimmter Stellen im Ansatzrohr je nach Lokalisierung zum Anstieg oder Abfall des Formanten führt. Während die Struktur mit zwei Abschnitten bei F1 recht übersichtlich ist, erscheint die Zuordnung bestimmter Ansatzrohrbereiche zum Modell bereits in Verbindung mit F2 und noch mehr bei F3 sehr schwierig. Daher ist es nicht verwunderlich, dass bei unterschiedlich veränderten anatomischen Strukturen keine einheitlichen Veränderungen in den Formanten beobachtet wurden. Ferner ist die Gültigkeit dieses primär für Plosive entwickelten Modells für andere Konsonantengruppen insgesamt fraglich.

4.4 Der velare Frikativ /x/

Bei der auditiven Analyse von /x/ zeigten sich zwei Auffälligkeiten: erstens variierten die /x/-Realisierungen selbst in identischer vokalischer Umgebung stark und zeigten nicht notwendigerweise eine Friktion, zweitens war bei keinem der Patienten eine deutlich hörbare postoperative Beeinträchtigung des Lautes wahrzunehmen. Dies lässt sich mit dem erwarteten artikulatorischen Reichtum und der damit verbundenen auditiven Toleranz gut begründen.

Um der breiten Produktionsvarianz Rechnung zu tragen, werden die /x/-Realisierungen zunächst qualitativ beschrieben, um zu prüfen, ob eine vereinheitlichte akustische Erfassung sinnvoll erscheint. Die Analyse stützt sich auf die in Verbindung mit den koronalen Frikativen beschriebenen Methoden.

	prä-op		post-op	
	auditiv	akustisch	auditiv	akustisch
GL1	[H]	schwacher Formant bei 3 kHz, in /u/ keine Transitionen	wie prä-op	wie prä-op
GL2	1.: [x], 2.-3.: [H]	1. Realisierung: Formanten bei 0,8 kHz und 4,5 kHz, 2.-3.: schwacher Formant bei 800 Hz	etwas stärkere Friktion als prä-op	wie prä-op, 1. Realisierung
GL3	[H]	schwacher Formant bei 3 kHz, in /u/ keine Transitionen	wie prä-op	wie prä-op
GL4	1.: [x], 2.-3.: [H]	1. Realisierung: Formanten bei 0,8 kHz, 2,5 kHz und 3,6 kHz, 2.-3.: schwacher Formant bei 800 Hz	[x]	wie prä-op, 1. Realisierung
GL5	[H]	Transitionen in /u/ zu 2500 Hz	[h], sehr schwache Friktion	Formantstruktur von /u/ wird beibehalten
GL6	[H]	Formanten um 1 kHz und 3,5 kHz	etwas mehr Friktion	Formant um 800 Hz
GL7	[x]	Formanten bei 1,2 kHz und 3,2 kHz	wie prä-op, Friktion etwas geringer	wie prä-op
GL8	[x]	Formanten bei 1,1 kHz und 4,5 kHz	sehr starke Friktion	Formanten bei 1,1 kHz und 3,5 kHz

Tabelle 4-13: Auditive und akustische Bewertung von /x/ in *Tuch*. [] bezeichnet einen velaren Laut mit starkem Luftstrom, jedoch ohne Friktion.

In Tabelle 4-13 sind die allophonischen Realisierungen und der aus dem Sonogramm gewonnene Eindruck beschrieben. Dabei fällt das häufige Fehlen einer echten Friktion in prä- und postoperativen Realisierungen auf, der Eindruck deutet eher auf ein „starkes“ /h/ hin, etwa wie im Tschechischen. Der Laut lässt sich kaum mit einem IPA-Zeichen erfassen: das pharyngale [ħ] und das epiglottale [ħ] werden weiter hinten gebildet als der gesuchte velare Laut. Denkbar ist auch eine Interpretation dieses Lautes als stimmloser Vokal.

Die Ermittlung der relativen Intensität (Quotient von Konsonant und Vokal) ergab, dass die friktionsreichen Realisierungen mit einer etwas geringeren Intensität einhergehen. Die Differenz ist jedoch nicht groß genug, um als Unterscheidungsmerkmal für die Friktion zu dienen.

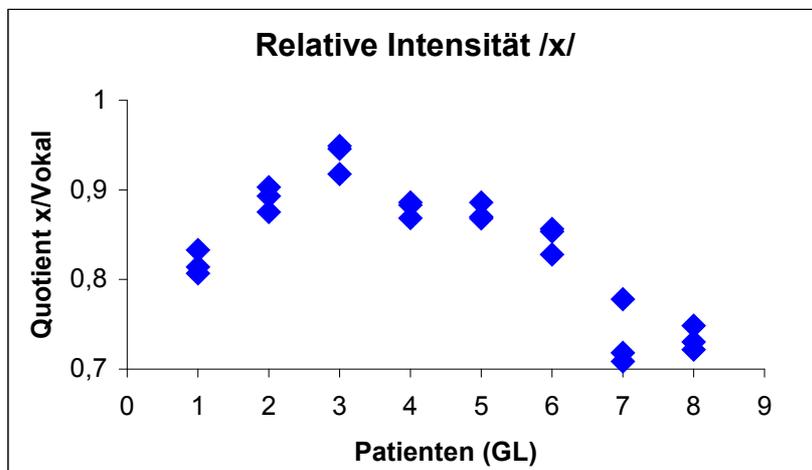


Abbildung 4-50: Relative Intensität von /x/ in *Tuch* (absolute Intensität geteilt durch Intensität von /u:/).

Anders als bei den bisher diskutierten Alveolaren besteht die Schwierigkeit bei /x/ also nicht in der prä- und postoperativen Unterscheidung, sondern darin, entsprechende Korrelate für das Vorhandensein oder Fehlen der Friktion zu finden. Die Tabelle 4-13 lässt vermuten, dass das Fehlen des Formanten über 3 kHz ein Indiz für die fehlende Friktion sein könnte. Aus diesem Grunde wurden die Segmente auf ihre im Spektrum sichtbare Formantstruktur hin untersucht.

Anhand der auditiven und spektographischen Beurteilung wurden die Realisierungen in zwei Gruppen geteilt: GL7 und GL8 produzierten /x/ mit einer hör- und sichtbaren Friktion, ebenfalls war in der ersten präoperativen Realisierung von GL2 und GL4 eine Friktion vorhanden. Alle anderen Realisierungen wurden als „/h/ mit velarer Verengung“ eingestuft.

Im Spektrum zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den zwei Realisierungen. Während die friktionsreiche Variante eine klare Formantstruktur aufweist, ist die friktionslose Variante nach einem Gipfel um 800 Hz durch einen abrupten Abfall gekennzeichnet (s. Abbildung 4-51 a & b).

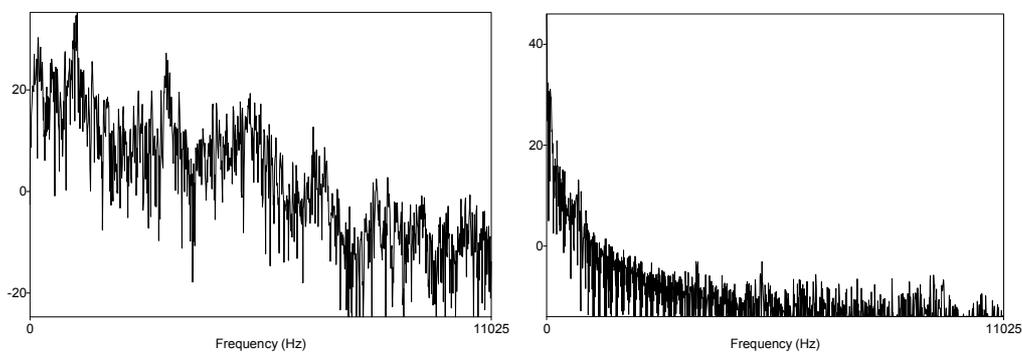


Abbildung 4-51a, b: /x/-Realisierung (a) mit Friktion (GL7, präoperativ) und (b) ohne Friktion (GL4, präoperativ).

Die Abbildungen machen deutlich, dass die gewünschte Unterscheidung durch eine automatische Formantanalyse nicht erreicht werden kann, da auch das flache Spektrum von GL4 Formanten aufweist, auch wenn sie wesentlich geringer ausfallen.

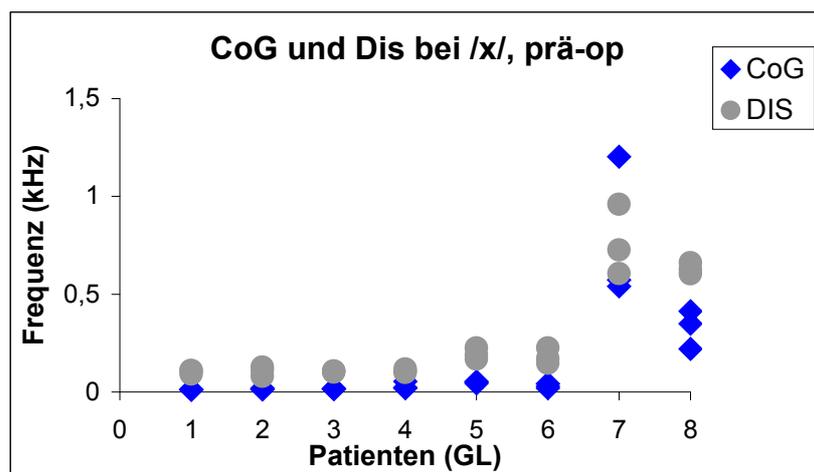


Abbildung 4-52: Centre of Gravity und Dispersion in /x/, präoperativ.

Die recht unterschiedlichen Kurvenformen in Abbildung 4-51 lassen sich zuverlässig über das CoG und die Dispersion abbilden. Dabei wurden die Spektren bis 5 kHz gefiltert, um den unterschiedlichen Abtastraten Rechnung zu tragen. Ein Filter im unteren Bereich (etwa 0–500 Hz) erwies sich nicht als sinnvoll, da durch ihn die Charakteristik des abrupten Abfalls

verloren ging. In Abbildung 4-52 können die friktionsreichen Realisierungen von GL7 und GL8 deutlich von den restlichen Patienten abgegrenzt werden.

Wie bereits oben (s. Tabelle 4-13) erwähnt, waren die /x/-Realisierungen postoperativ bei fünf Patienten verändert: GL2, GL4, GL6 und GL8 produzierten den Laut mit einer stärkeren, GL7 und GL5 mit einer geringeren Friktion. Die Abbildung der CoG-Werte zeigt diese Veränderung deutlich für GL4, GL7 und teilweise GL6 und GL8. Die Dispersionswerte bei GL2, GL4, GL6, GL7 und GL8 bestätigen ebenfalls die oben formulierte Annahme. Wie bei den Sibilanten, gelingt es lediglich bei GL5 nicht, eine postoperative Veränderung akustisch nachzuweisen.

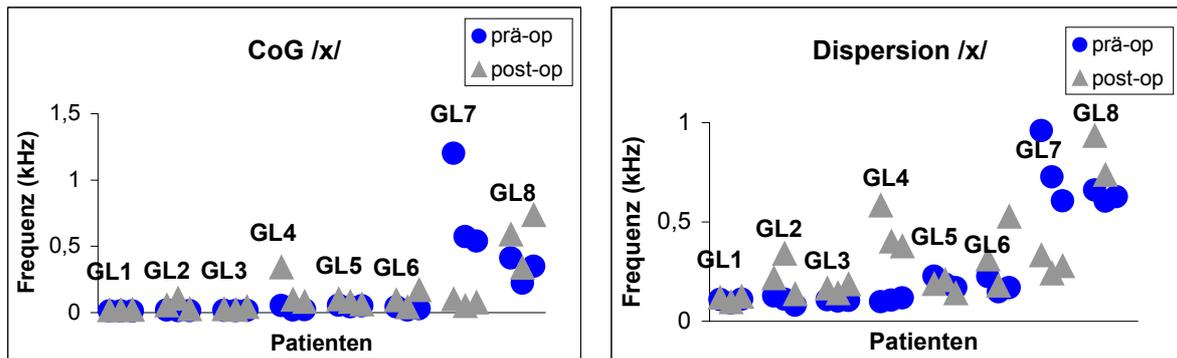


Abbildung 4-53a, b: (a) Centre of Gravity und (b) Dispersion von /x/, prä- und postoperativ.

5 Artikulatorische Analyse mittels Echtzeit-MRT

5.1 Analyseverfahren

Die Analyse der Zungenposition beruhte auf der Distanzermittlung zwischen Zunge und Alveolen, Gaumen bzw. Rachen, entlang eines Halbkreises. Eine solche Darstellung wurde bereits bei Maeda (1990) für Röntgenbilder, Narayanan et al. (passim) für statische MRT und Demolin, Metens & Soquet (2000) für dynamische (Echtzeit-) MRT benutzt, die für die Untersuchung von Glossektomierten jedoch modifiziert werden musste. Die zitierten Studien beruhen nämlich auf einer einzigen Aufnahmesitzung, während in der vorliegenden Untersuchung die intraindividuelle Vergleichbarkeit bei zwei Untersuchungsterminen gewährleistet werden musste. Narayanan, Alwan & Haker (1995, 1997) ermittelten die Arealfunktionen ausgehend von der Unter- und Oberlippe. Nach einer Glossektomie kann jedoch aufgrund von Beeinträchtigungen des Unterkiefers und der Lippen nicht von einer unveränderten Funktion der Unterlippe ausgegangen werden.

Aus diesem Grunde mussten zunächst zwei Fixpunkte in der Mundhöhle definiert werden, deren Position auch nach einer Zungen-, Mundboden- oder Unterkieferresection unverändert bleibt. Als vorderer Fixpunkt bot sich die untere Spitze der oberen Alveolen an, da sie von operativen Eingriffen in der hier untersuchten Patientengruppe immer verschont blieb (selbst im Falle einer eventuellen Sanierung der oberen Vorderzähne, etwa aufgrund einer bevorstehenden adjuvanten Bestrahlung, blieb die Ausprägung des Zahndamms nahezu unverändert). Als hinterer Fixpunkt diente die untere vordere Ecke des 3. Halswirbels (s. Abbildung 5-1). So entstand ein semipolares Koordinatensystem, dessen Nullpunkt auf den Halbpunkt der die beiden Fixpunkte verbindenden Geraden fiel. Im Koordinatensystem wurde ein semipolares Gitter von den vom Nullpunkt ausgehenden Radien erstellt, entlang derer die Distanz zwischen Zunge und Gaumen/Velum/hinterer Rachenwand gemessen wurde.

Die einzelnen Schritte werden in Abbildung 5-1 verdeutlicht. Ausgehend von einem einzelnen Scan wurden die Zungen- und Gaumenkonturen mit Hilfe eines Matlab-Programms erstellt.²⁵ Im zweiten Schritt wurden die Konturen dargestellt und ein semipolares Gitter darüber gelegt. Entlang der Achsen wurden im letzten Schritt die Distanzen zwischen Zunge einerseits und Alveole-Gaumen-Rachenwand andererseits ermittelt. Anders als in der Darstellung hier flossen in die spätere Analyse nur noch die einzelnen Punkte, nicht jedoch die gesamte interpolierte Kurve ein. Dabei ließ sich der Winkelabstand beliebig verringern, so dass die jeweils günstigste Auflösung gewählt werden konnte.²⁶

Auf die quantitative Erfassung der Faktoren Lippenrundung und Kieferöffnung wurde bewusst verzichtet, und zwar aufgrund der abweichenden phonetischen Umgebungen /o:zi:/, /ʃɛ:/, /u:x/ und /la/. Auf diese Faktoren wird im Rahmen der detaillierten Einzelanalyse eingegangen.

²⁵ Autor des Programms ist Philip Hoole., Institut für Phonetik, LMU München.

²⁶ Herzlichen Dank an Olaf Metzner, der das Matlab-Programm Constrict für diese Anwendung entwickelt hat.

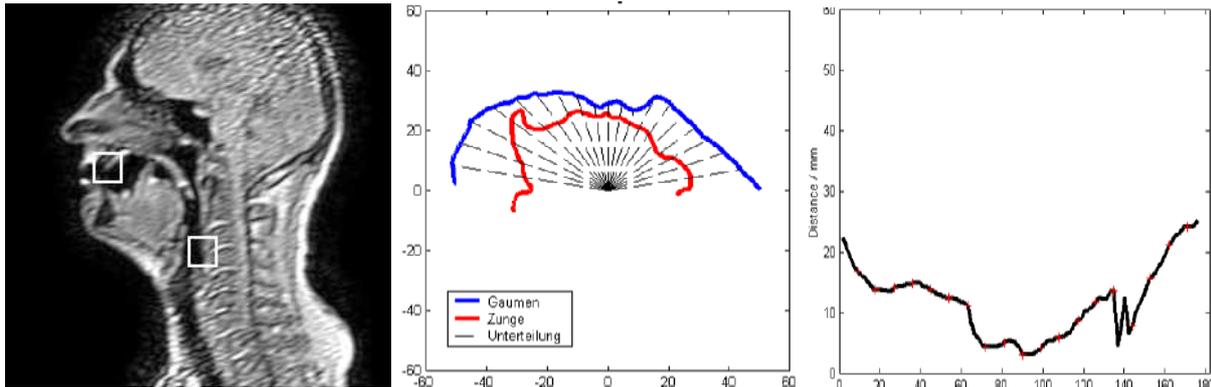


Abbildung 5-1a-c: (a) Vorderer und hinterer Fixpunkt des polaren Koordinatensystems (im Mittelpunkt des Quadrats), (b) Darstellung im semipolaren Koordinatensystem (links: vorn) und (c) Distanzermittlung (links: hinten). Der Winkelabstand beträgt 9° , die Konturen entstanden durch Spline-Interpolation der ermittelten Punkte.

Ausgehend von Maeda, der für die Bestimmung der Ansatzrohrkonfiguration insgesamt 30 Segmente für notwendig hält, von denen die oberen 20 die Zunge mit erfassen (Maeda, 1990), wurde zunächst eine Auflösung von 9° gewählt, wodurch der Halbkreis in 20 Segmente geteilt wurde. Allerdings war es nicht möglich, mit dem Programm die Distanz bei 0° und 180° zu erfassen, was zur Folge hatte, dass der alveolare Bereich bei manchen Patienten in dem unvollständigen Halbkreis (über 162°) nicht enthalten war. Aus diesem Grund wurde eine Auflösung von 1° gewählt, womit der Bereich $1-179^\circ$ in die Analyse einging. Um der phonetischen Konvention zu entsprechen und den vorderen Mundhöhlenbereich links abzubilden, wurden 0° und 180° vertauscht.

Anfangs wurde erwogen, die ermittelten Distanzen entsprechend einem Normierungsfaktor zu transferieren, um die anatomisch gegebenen Größenunterschiede zwischen den einzelnen Patienten auszugleichen. Dadurch sollten Unterschiede in den Distanzmessungen, die nur relativ, aber nicht absolut einen Unterschied darstellten, neutralisiert werden.

Es zeigte sich jedoch, dass eine Normierung auf diese Art nicht sinnvoll war, da die für die Konsonantenbildung (insbesondere bei den Alveolarkonsonanten) irrelevanten Bereiche (vor allem der velare Raum) einen weitaus größeren Einfluss auf den Normierungsfaktor hatten als die relevanten Stellen im Bereich der vorderen Mundhöhle. Dadurch wurden die Distanzkurven verzerrt, was sich durch den postoperativen Gewebeverlust noch verstärkte.

Dies veranschaulichen die für die Gesamtheit der präoperativen Aufnahmen erstellten Balkendiagramme (s. Abbildung 5-2): während die Streuung im vorderen Mundraum (jeweils rechts) absolut gesehen bei den Originaldaten wesentlich kleiner ausfällt als im velopharyngealen Raum (jeweils links), scheinen die Standardabweichungen im hinteren und vorderen Bereich (verdeutlicht durch die Balkenlänge) nahezu ausgewogen zu sein. Die relativ gesehen geringe anteriore Streuung in den Originaldaten deutet darauf hin, dass dort eine stärkere Präzision erforderlich ist, als im velopharyngealen Bereich.

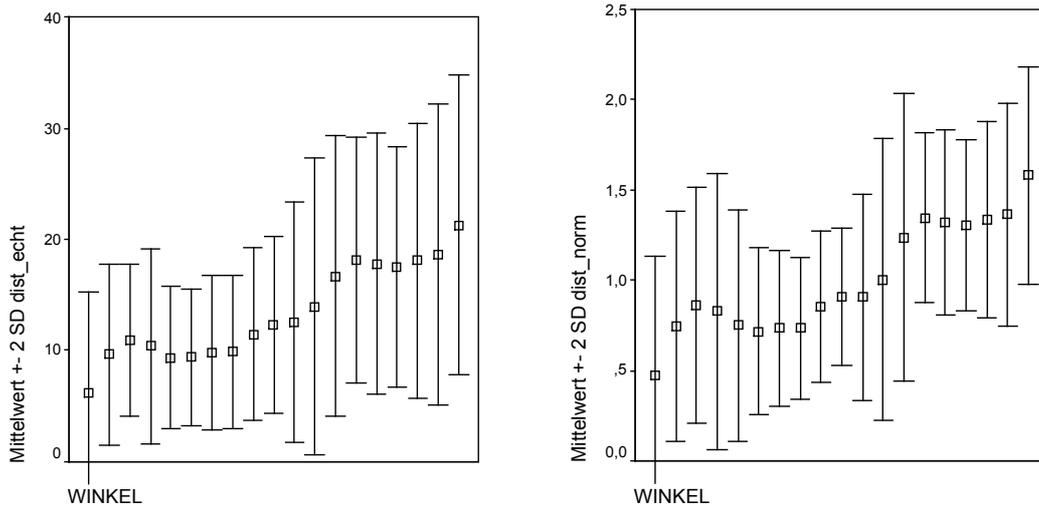


Abbildung 5-2a, b: Standardabweichungen ($\pm 2\sigma$) für präoperative Distanzen /z/ (Auflösung hier 9°), (a) Distanz in mm, (b) Distanz normalisiert (links = vorn, rechts = hinten).

Ähnlich der Vorgehensweise im vorigen Kapitel wird es zunächst darum gehen, zuverlässige Kategorien für die Beschreibung der normalen Artikulation bei den Konsonanten /z/, /ʃ/, /l/ und /x/ zu finden. Als Grundlage dienen dabei die Zungen-Alveolen-Gaumen-Rachen-(ZAGR)-Distanz-Kurven sowie Kurven, die ihren Verlauf darstellen, sog. Steigungskurven. Danach wird eine qualitative Analyse der prä- und postoperativen Bilder folgen, ergänzt um die abstrahierte Darstellung mittels der ZAGR-Distanz-Kurven. Durch diese Abstraktionsstufe, die für die einzelnen Patienten angewendet wird, sollen die präoperativ erarbeiteten Kriterien überprüft und mit dem akustischen Ergebnis verglichen werden.

5.2 Die Sibilanten /z/ und /ʃ/

5.2.1 Normale Artikulation: Methodik und Ergebnisse

Die Analyse der Artikulation stützt sich vorwiegend auf die gemittelten ZAGR-Distanz-Kurven sowie auf die aus ihnen ermittelten Steigungskurven (s. Abbildung 5-3). Die Steigungskurve bildet die Differenz D zwischen den ZAGR-Distanz-Werten d für zwei aufeinander folgende Winkel (w_i, w_{i+1}) ab, wobei der Wert für den niedrigeren Winkel von dem des höheren subtrahiert wird, etwa $D_{(d)} = d_{i+1} - d_i$. Ein positiver Differenzwert zeigt, dass die ZAGR-Distanz am zweiten Messpunkt größer ist, eine negative Differenz deutet auf eine Verengung vom ersten zum zweiten Winkelpunkt hin. Zur Null-Linie hin tendierende, aber positive Werte deuten auf eine flache Steigung der Distanzkurve hin. Die Steigungskurve verdeutlicht den Kurvenverlauf, gleichzeitig wird durch sie eine Normierung der Distanzkurven durchgeführt, da der Verlauf der Steigungskurve die durch die Größenunterschiede gegebenen Unterschiede in den Distanzkurven nur eingeschränkt (in der Auslenkung) berücksichtigt.

5.2.1.1 Methoden

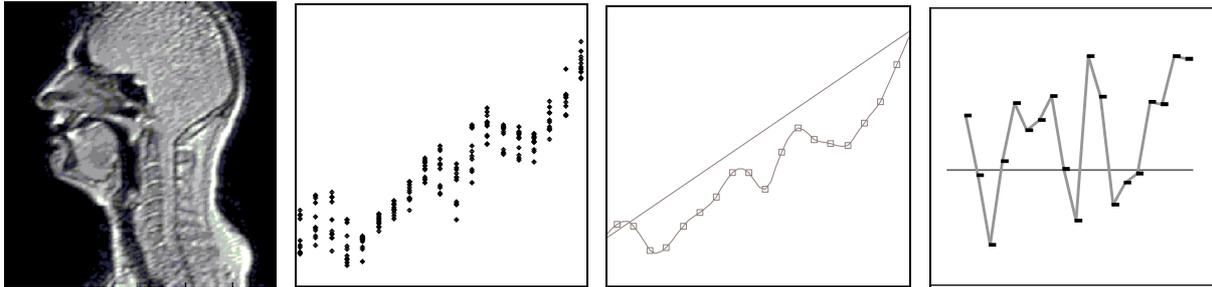


Abbildung 5-3a-c: Schritte vom Einzelbild zur gemittelten ZAGR-Distanz-Kurve am Beispiel von /z/ in Rosi bei GL8: (a) Einzelner Scan, (b) Streudiagramm von allen Realisierungen, (c) gemittelte Distanzkurve, (d) Steigungskurve um Null-Linie. Links: vorn, rechts: hinten.

Zunächst gilt es, die im Kapitel 3 zitierten Aussagen von /z/ und /ʒ/ zu überprüfen, insbesondere wenn zu ihnen widersprüchliche Angaben gemacht wurden. Diese waren:

- (1) /z/ kann gleichermaßen apikal und laminal artikuliert werden;
- (2) die Kontaktfläche von Zunge und Alveolen ist bei /ʒ/ ausgedehnter als bei /z/;
- (3) auf der sagittalen Ebene folgt nach der Artikulationsstelle bei /z/ ein steiler Abfall des Zungenrückens, bei /ʒ/ eine Wölbung;
- (4) die Artikulationsstellen von /z/ und /ʒ/ lassen sich intraindividuell, aber nicht interindividuell unterscheiden;
- (5) das Spektrum von /ʒ/ wird von tieferen Frequenzen dominiert als bei /z/, was auf den größeren sublingualen Hohlraum bei seiner Bildung zurückgeführt werden kann.

Für eine Entscheidung in den ersten drei Fragen bietet es sich an, einen Blick auf die Originalbilder zu werfen (s. Abbildung 5-4). Dabei zeigt sich, dass eine apikale /z/-Artikulation nur bei GL2 vorkommt. Eine weiter ausgedehnte Kontaktfläche für /ʒ/ ist bei GL1, GL2, GL5, GL6 und GL8 erkennbar, in den übrigen Fällen ist eine eindeutige Entscheidung rein visuell nicht möglich. Die unterschiedlichen Zungenformen hinter der Artikulationsstelle (flach für /z/, gewölbt für /ʒ/) sind bei sechs Patienten eindeutig erkennbar. Lediglich bei GL4 sind sie weniger stark ausgeprägt und bei GL7 nicht vorhanden.²⁷ Beim letzteren Patienten fehlen alle Unterscheidungsmerkmale, nur ein Merkmal ist vorhanden: die Vorverlagerung des Zungenkörpers im Vergleich zu /z/.²⁸ Dieses Phänomen zeigt sich eindeutig bei fünf Patienten (GL1, GL4, GL5, GL7, GL8). Somit weicht die hier beobachtete charakteristische Zungenform für /ʒ/ von den Abbildungen 3-1 und 3-2 ab.

²⁷ Die präoperativen Aufnahmen von GL7 sind ein Beispiel für eine schlecht gelungene Lokalisierung: die Höhle oberhalb des harten Gaumens, die auffällig dicke Schicht des weichen Gaumens, die fehlende Trachea sowie die nicht erfassten Kontaktflächen bei den Sibilanten deuten darauf hin, dass eine laterale statt der midsagittalen Ebene aufgenommen wurde.

²⁸ Dieses Merkmal wird in der Literatur nicht diskutiert, es kann jedoch als Korrelat des Gewölbt-Flach-Kontrasts angesehen werden.

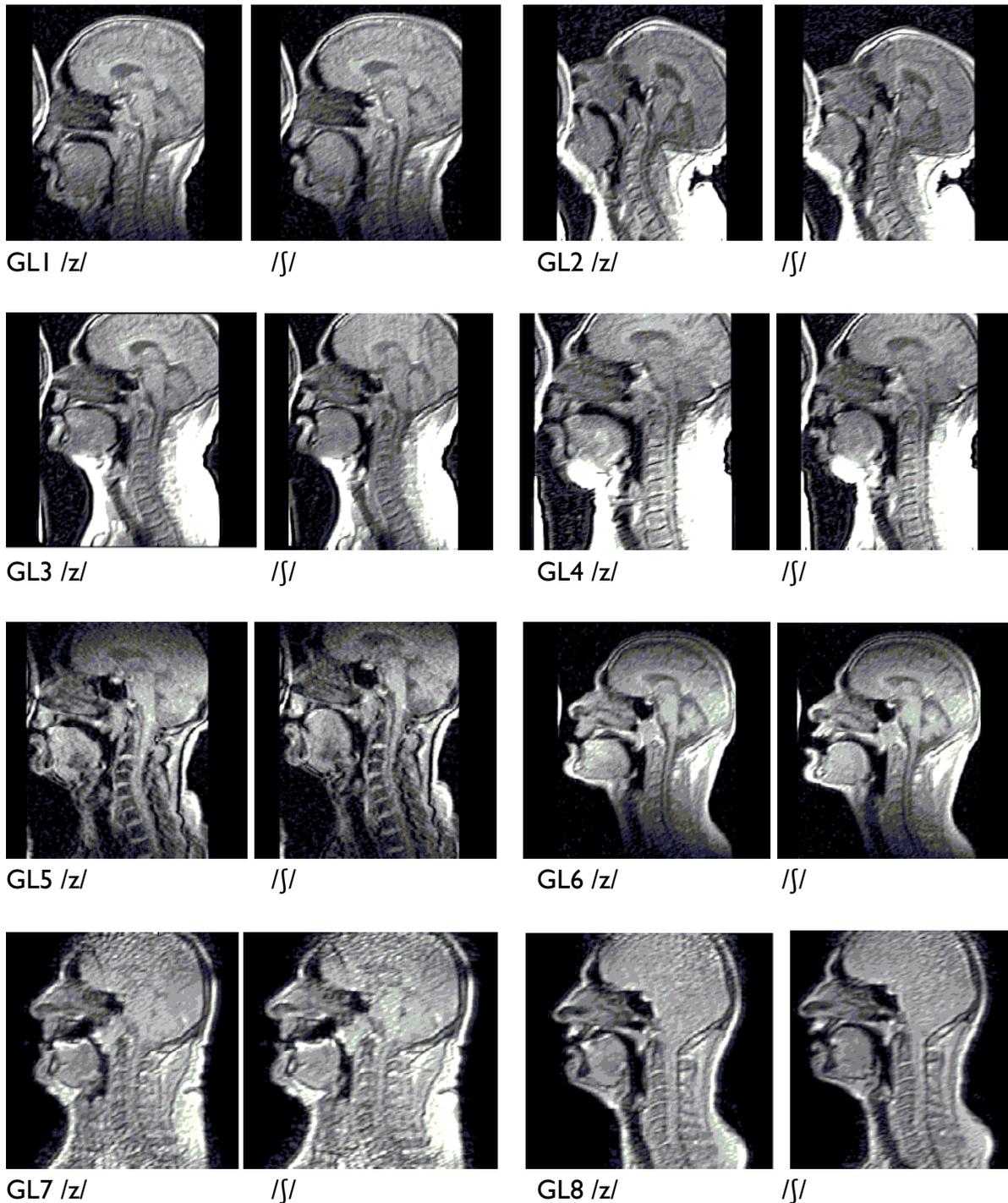


Abbildung 5-4a-p: GL1 bis GL8 präoperativ. Rechts ist jeweils der MRI-Scan von /z/ in *Rosi*, links von /ʃ/ in *jüdisch* (GL1, GL2) bzw. *Schädel* (GL3 bis GL8) für jeden Patienten abgebildet. Die Darstellung ist von links nach rechts und von oben nach unten zu deuten.

Die gemittelten Kurven in Abbildung 5-5a, b bestätigen die oben beschriebenen und beobachteten unterschiedlichen Zungenformen hinter der Artikulationsstelle. Während die Distanz bei /z/ hinter der Verengung gleich ansteigt, ist bei /ʃ/ ein langsamer Anstieg zu sehen, d. h. die Zunge bleibt nahe am Gaumen. Die obige Feststellung, nach der bei /ʃ/ der Abstand zwischen Zungenrücken und Rachenwand größer sei, ist für einzelne Patienten, jedoch nicht für die Gesamtheit gültig.

In Abbildung 5-5c, d sind Balkendiagramme für /z/ und /ʒ/ dargestellt, die mit einer Auflösung von 1° ermittelt wurden. Dabei zeigt sich für den vorderen Bereich ein recht einheitliches Muster: nach dem Minimum folgt ein abrupter Anstieg der Distanzkurve bei /z/, ein längeres Verweilen im Minimumbereich. Ein darauf folgender leichter Anstieg und geringere Distanzwerte zeichnen wiederum /ʒ/ aus. Die Beobachtung, der hintere Zungenrücken sei bei /ʒ/ insgesamt nach vorn verlagert, lässt sich dahingehend bestätigen, dass der Mindestabstand im hinteren Bereich (am rechten Ende der Kurve) deutlich größer, die Streuung kleiner als bei /z/ ausfällt.

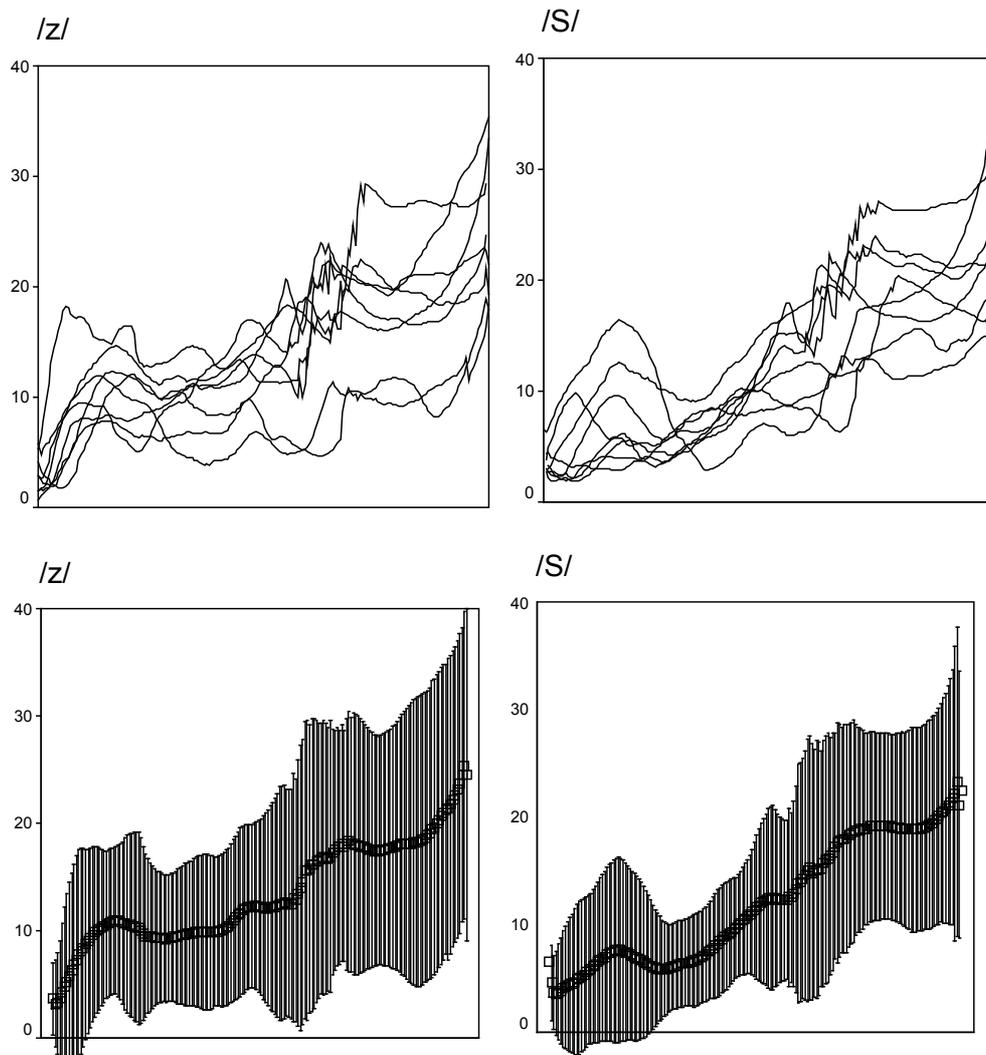


Abbildung 5-5a-d: (a, b) Mittellinien und (c, d) Balkendiagramme ($\pm 2\sigma$) /z/ und /ʒ/, präoperativ (x-Achse: Winkel 0–180°, Auflösung 1°, y-Achse: Distanz, 0–40 mm). Links: vorn, rechts: hinten.

5.2.1.2 Distanz- und Steigungskurven

Um die Analyse zu vereinfachen, wurden für /z/ und /ʒ/ folgende Variablen bestimmt: (1) Beginn des Anstiegs hinter der Konstriktionsstelle, (2) Länge der Konstriktionsstelle, (3) Minimum und (4) Maximum der ZAGR-Distanz im vorderen Mundhöhlenbereich sowie (5) deren Differenz. Mit der ersten Variable lässt sich überprüfen, ob die Konstriktionsstelle, die mit dem plötzlichen Anstieg der Distanz endet, für die Bildung von /z/ und /ʒ/ distinktiv ist. Variable 2 gibt die Länge des Zungen-Alveolen-Kontakts an. Die Variablen 3–5 stellen eine vereinfachte Modellierung der Zungenform (flach vs. gewölbt) dar. Die Einheiten „Anzahl Winkelpunkt“ sowie Entfernung sind unterschiedliche Maße: das gesamte Ansatzrohr hat eine

Länge von ca. 17 cm, der hier erfasste Bereich ist jedoch kleiner. Daher wird der Abstand zwischen zwei Winkelpunkten etwas weniger als einen Millimeter betragen.

Die Lokalisierung und Länge der Konstriktion wurden mit Hilfe der Steigungskurven ermittelt. Sofern die ZAGR-Distanz-Kurve zu Beginn eine fallende Tendenz zeigte, wurde der Anstieg mit dem ersten positiven Wert gleichgesetzt. In Abbildung 5-6 ist dieser Punkt bei 5°. ²⁹ Ging dem Anstieg kein Abfall und auch keine Stagnation voraus, so wurde der Beginn des Anstiegs auf 1° gesetzt.

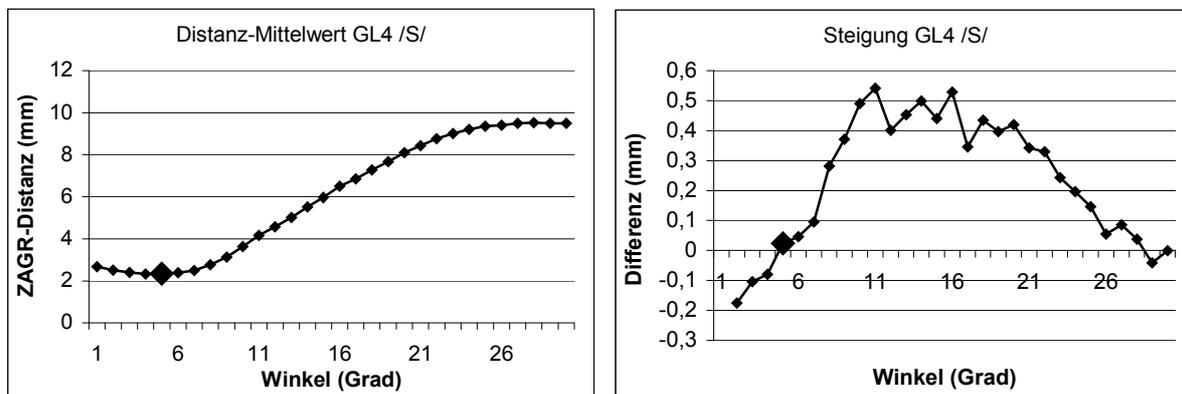


Abbildung 5-6a, b: (a) Distanzkurve und (b) Steigungskurve (1–30°) von GL4, /s/, präoperativ. Der vergrößerte Punkt ist der Messwert bei 5°.

Die Länge der Verengung wurde als eine Quasi-Stagnation der Steigungskurve aufgefasst, die zwischen $-0,1$ mm und $+0,1$ mm um das Minimum festgesetzt wurde. Dies ist ein willkürlich festgesetzter Schwellenwert, der dem intuitiven Eindruck am besten entsprach.

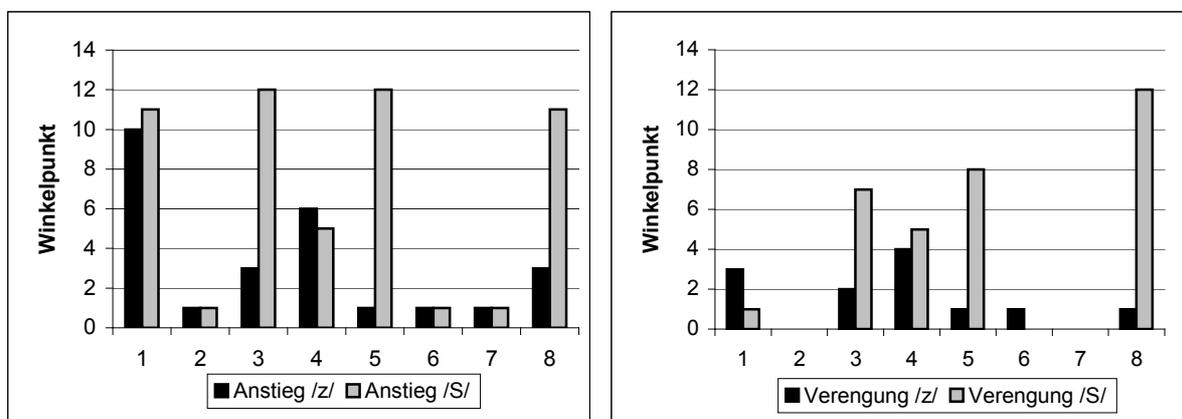


Abbildung 5-7a, b: (a) Letzter Punkt der Verengung (in Grad), (b) Länge der Verengung bei /z/ und /s/, präoperativ.

Der Punkt, ab dem die Distanzkurve steil nach oben verlief, nahm recht unterschiedliche Positionen ein, es ist jedoch eine Tendenz erkennbar, nach der die /z/-Artikulation etwas weiter vorn stattfindet (Mittelwert /z/: $3,25^\circ$, /s/: $6,75^\circ$, s. Abbildung 5-7a). Diese Tendenz wurde bei vier Patienten beobachtet (GL1, GL2, GL5 und GL8), bei GL4 war das Verhältnis umgekehrt. Die Quasi-Stagnation der Steigungskurve dauerte bei den meisten Patienten, bei denen eine Stagnation erkennbar war, für /s/ länger an, außer bei GL1. Bei GL2, GL6 und GL7 begann der Anstieg bei 1°, somit war eine Engebildung in den Kurven nicht festzustellen.

²⁹ Es ist zu beachten, dass sich der erste Punkt der Steigungskurve auf den Winkel bei 2° und nicht bei 1° bezieht, da er die Differenz zwischen der Distanz bei 2° und 1° ausdrückt.

(Diese Patienten hatten bei der Aufnahme eine leicht nach hinten gekippte Kopfposition bei der MRT-Aufnahme.)

Etwas eindeutiger sind die Tendenzen in den Variablen zur Erfassung der Zungenform: die kleinste ZAGR-Distanz (= die Verengung) ist bei /z/ mehrheitlich geringer als bei /ʃ/ (Mittelwert /z/: 2,64 mm, /ʃ/: 3,22 mm), die größte Distanz im präuvularen Bereich (1–90°) für /z/ größer (11,84 mm vs. 8,37 mm). Die Differenz zwischen Minimum und Maximum fällt bei allen Patienten (bis auf GL7) für /z/ größer aus (Mittelwert /z/: 9,20 mm, /ʃ/: 5,15).

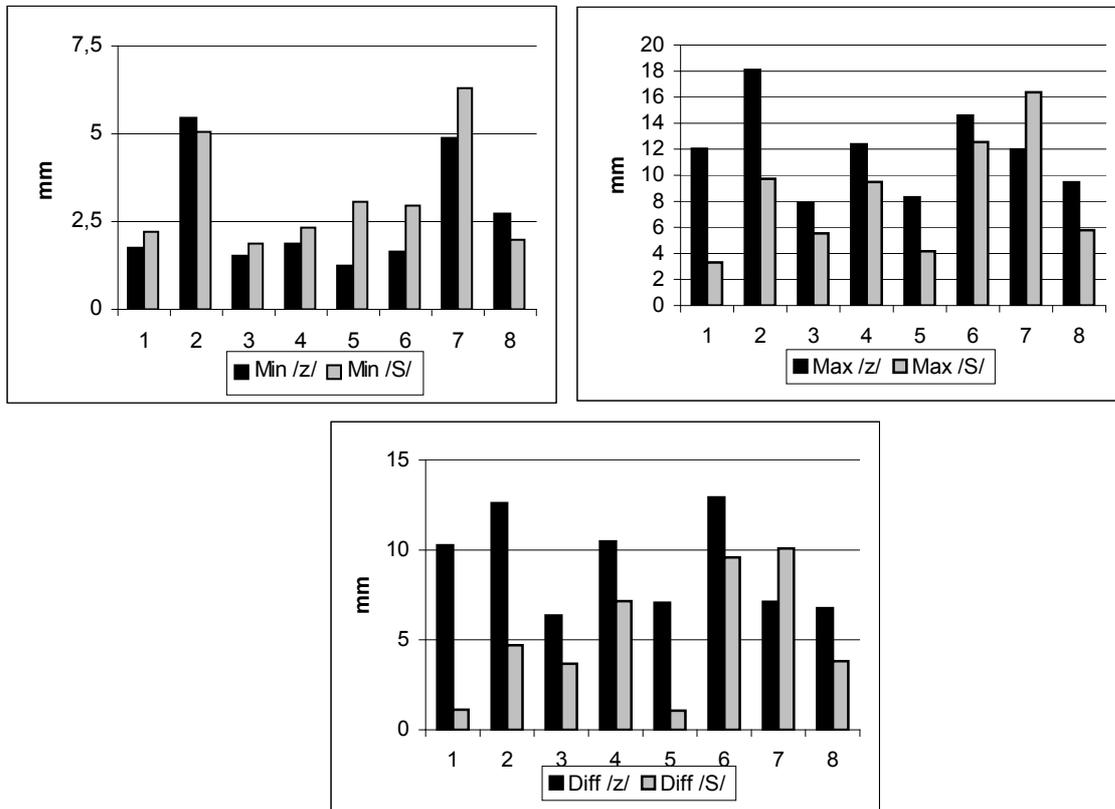


Abbildung 5-8a-c: (a) Niedrigster Distanzwert, (b) höchster Distanzwert und (c) deren Differenz für /z/ und /ʃ/, 1–45°, präoperativ.

Die hier geschilderten Ergebnisse lassen darauf schließen, dass in der Differenzierung von /z/ und /ʃ/ der Zungenform eine wichtigere Rolle zukommt als der Artikulationsstelle oder der Verengungslänge, deren Distinktivität bei dem alveolaren und postalveolaren Sibilanten anhand dieser Daten weder interindividuell noch intraindividuell nachgewiesen werden konnte.

5.2.2 Gestörte Artikulation

Die Beschreibung basiert auf exemplarisch ausgewählten Scans und den jeweiligen gemittelten Distanzkurven. Dabei wird auch auf die Lippen- bzw. Kieferöffnung eingegangen. Anschließend wird der artikulatorisch gewonnene Eindruck mit dem akustischen Ergebnis verglichen. Abschließend wird geprüft, inwiefern die Parameter Artikulationsstelle, Kontaktlänge sowie Zungenform nach der Operation verändert sind und ob die Distinktivität zwischen /z/ und /ʃ/ gewahrt bleibt. Ferner wird auf die Position des Unterkiefers und die Lippenöffnung eingegangen.

5.2.2.1 Gruppe I

Entsprechend der auditiven Beschreibung sowie der akustischen Parameter CoG und Dis in Kapitel 4 ist davon auszugehen, dass GL3, GL4 und GL6 auch postoperativ in der Lage sind,

einen unbeeinträchtigten Höreindruck von /z/ zu bewirken. Nun gilt es zu prüfen, ob die durch die midsagittalen Scans erfasste Artikulation postoperativ Veränderungen gegenüber den präoperativen Aufnahmen vorweist. (Die präoperativen Realisierungen von /z/ und /ʃ/ wurden oben in Abbildung 5-4 dargestellt.)

Die postoperative Standardabweichung ist geringer als die präoperative. Dies gilt durch alle Artikulationsgruppen und für alle Patienten. Es kann ausgeschlossen werden, dass diese Tendenz auf eine geringere Anzahl postoperativer Realisierungen zurückgeführt werden könnte, da sie unabhängig von der Wiederholungshäufigkeit auftritt. Möglicherweise ist dies ein Zeichen für einen bewussteren artikulatorischen Vorgang nach der Operation.

GL3

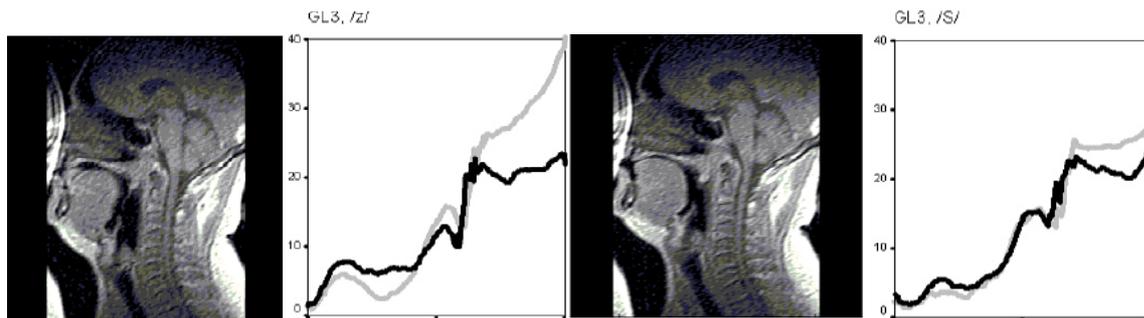


Abbildung 5-9a-d: GL3: (a) postoperative /z/-Artikulation, (b) Distanz-Mittelwerte, x-Achse: Winkel (Grad), y-Achse: ZAGR-Distanz (mm), prä-op.: schwarz, post-op.: grau, (c) und (d) sind die entsprechenden Darstellungen für /ʃ/. Die präoperativen Scans sind in Abbildung 5-4 dargestellt.

Die postoperativen Bilder von GL3 zeigen nur geringfügige Veränderungen gegenüber den präoperativen Scans. Auch die Kurven für die Distanz-Mittelwerte decken sich weitgehend. Sowohl bei /z/ als auch bei /ʃ/ deuten die postoperativen (grauen) Kurven im präuvularen Bereich eine verminderte Distanz zwischen Zunge und Gaumen an, was dazu führt, dass sich die ZAGR-Distanz-Kurven beider Laute im vorderen Bereich annähern, ohne jedoch gänzlich zusammenzufallen oder die artikulatorische Differenz zu neutralisieren. An der alveolaren Artikulationsstelle decken sich die prä- und postoperativen Kurven weitgehend. Es können postoperativ keine veränderten koartikulatorischen oder Timing-Phänomene beobachtet werden. Für /ʃ/ ist die Lippenöffnung etwas größer, der charakteristische sublinguale Hohlraum lässt sich beobachten.

Es fällt auf, dass die Distanzen im hinteren Bereich postoperativ etwas vergrößert sind, besonders bei /z/. Es ist nicht ohne weiteres einleuchtend, dass es sich hier um einen kompensatorischen Mechanismus handeln könnte, denn der Defekt bei diesem Patienten war rein lateral, eine mechanische Einschränkung der Zungenbewegungen in der horizontalen Richtung ist somit nicht anzunehmen. Von der Resektion sind allerdings alle zungenintrinsic Muskeln betroffen, was sehr wohl zu einer veränderten Koordinierung der feinmotorischen Bewegungen führen könnte.

GL4

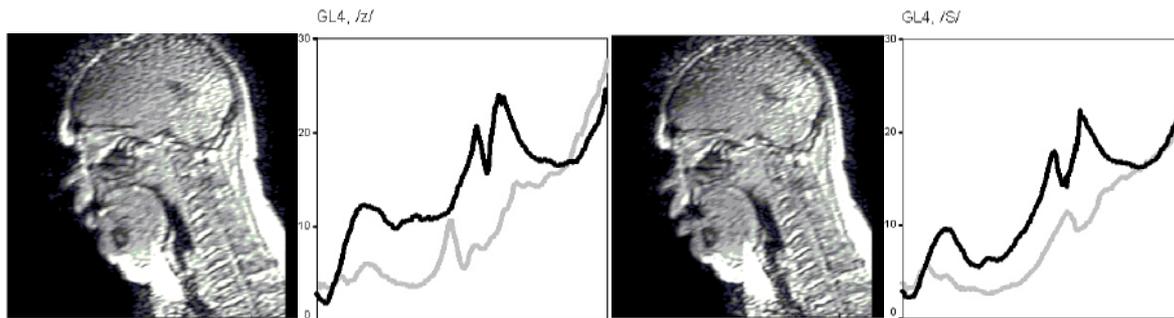


Abbildung 5-10a-d: GL4: (a) postoperative /z/-Artikulation, (b) Distanz-Mittelwerte, x-Achse: Winkel (Grad), y-Achse: ZAGR-Distanz (mm), prä-op.: schwarz, post-op.: grau, (c) und (d) sind die entsprechenden Darstellungen für /s/. Die präoperativen Scans sind in Abbildung 5-4 abgebildet.

Explizite Aussagen über GL4 können aufgrund der schlechten Aufnahmequalität nicht gemacht werden. Die Aufnahmen lassen jedoch ahnen, dass die bei ihm präoperativ fehlende Alveolar-postalveolar-Unterscheidung auch hier eher durch die Zungenform sowie die begleitende Lippenrundung als durch die Artikulationsstelle gewährleistet wird. Es ist anhand der Scans nicht zu entscheiden, ob die Länge der Verengung bei /s/ größer ausfällt als bei /z/. Sichtbar ist die etwas größere Mundöffnung bei /s/. In den gemittelten Distanzkonturen zeigt sich postoperativ eine Neutralisierung, was ein Ergebnis der unscharfen Konturen und demzufolge der beschwerlichen Konturenermittlung sein kann.

Obwohl die Zungenform für /s/ mit der für /z/ weitgehend gleich ist, wird /s/ mit einem Hohlraum produziert. Es ist unklar, ob dies durch eine etwas größere Kieferöffnung oder durch die Schrumpfung des Zahnfleischgewebes infolge der fehlenden unteren Schneidezähne erreicht wird und ob es als kompensatorisches Verhalten gewertet werden kann.

GL6

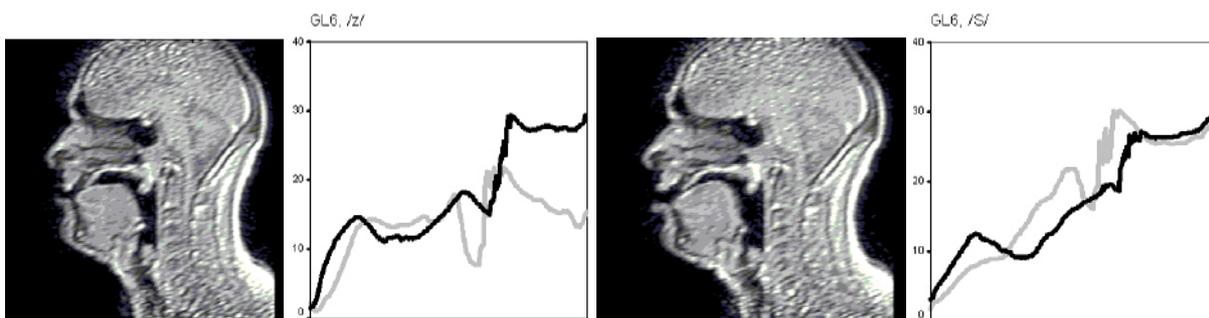


Abbildung 5-11a-d: GL6: (a) postoperative /z/-Artikulation, (b) Distanz-Mittelwerte, x-Achse: Winkel (Grad), y-Achse: ZAGR-Distanz (mm), prä-op.: schwarz, post-op.: grau, (c) und (d) sind die entsprechenden Darstellungen für /s/. Die präoperativen Scans sind in Abbildung 5-4 abgebildet.

Die Zunge von GL6 zeigt nach der Operation die für /z/ und /s/ charakteristische Form (flach vs. gewölbt), auch wenn die postalveolare Vertiefung des Zungenrückens bei /z/ weniger deutlich ausgeprägt ist. Die Lippenöffnung ist bei /s/ deutlich größer als bei /z/. Ferner fällt die bereits präoperativ vorhandene, anatomisch bedingte Vorverlagerung des Unterkiefers auf, was besonders im Zusammenhang mit der Lippenrundung bei /s/ deutlich wird. /s/ wird ohne sublingualen Hohlraum gebildet.

Aufgrund der veränderten Kopfposition (hier normal, präoperativ leicht nach vorn gebeugt) ist der proportionale Anteil des postvelaren Bereichs etwas kürzer (d. h. das Velum

wird postoperativ etwas weiter vorn dargestellt), dadurch sind die prä- und postoperativen Distanzkurven nicht direkt vergleichbar. Erkennbar ist dennoch, dass /ʃ/ im Gegensatz zu /z/ prä- wie postoperativ mit einer vertikal etwas größeren Enge (d. h. einem größeren Minimumwert im vorderen Bereich) sowie einem langsameren Anstieg der Distanzkurve (d. h. mit einer Wölbung des Zungenrückens) gebildet wird. Sowohl der postoperative Scan als auch die ZAGR-Distanz-Kurve deuten auf eine weniger ausgeprägte Wölbung bei /ʃ/ hin als bei der präoperativen Artikulation.

Die bisher vorgestellten Ergebnisse lassen vermuten, dass die Patienten der Gruppe I, bei denen auditiv keine Beeinträchtigung von /z/ und /ʃ/ festzustellen war, bei ihrer postoperativen Artikulation ein annähernd symmetrisches Artikulationsmuster bewahren konnten, da die midsagittale Ebene keinen gravierenden anatomischen oder funktionellen Veränderungen ausgesetzt war.

5.2.2.2 Gruppe 2

Die zweite Gruppe zeichnete sich bei einer leichten bis mittelschweren Störung aus. /z/ wurde meist palatalisiert, /ʃ/ lateralisiert produziert.

GL2

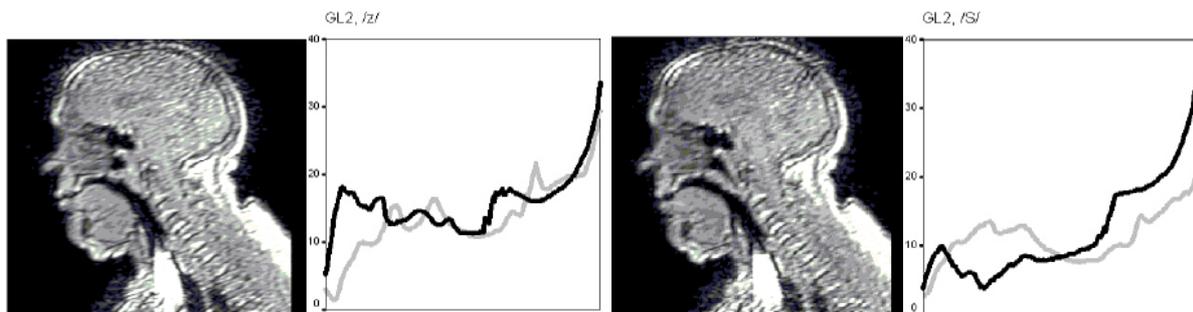


Abbildung 5-12a-d: GL2: (a) postoperative /z/-Artikulation, (b) Distanz-Mittelwerte, x-Achse: Winkel (Grad), y-Achse: ZAGR-Distanz (mm), prä-op.: schwarz, post-op.: grau, (c) und (d) sind die entsprechenden Darstellungen für /ʃ/. Die präoperativen Scans sind in Abbildung 5-4 abgebildet.

GL2 produzierte beide Sibilanten leicht affriziert, vermutlich als Folge der Adaptation an die Oberkiefer-Prothese (bei der Lautproduktion mit Prothese fehlte die Affrizierung). Die in Abbildung 5-12 dargestellten Scans deuten darauf hin, dass die artikulatorische Distinktion in der midsagittalen Ebene nicht gegeben ist. Während die Kontaktstelle bei /z/ und /ʃ/ in etwa gleich positioniert ist, bleiben die charakteristischen Zungenformen nicht gewahrt. Im Gegenteil, die Zungen-Gaumen-Distanz fällt bei /z/ etwas kleiner aus als bei /ʃ/. Die ZAGR-Distanz-Kurve von /ʃ/ deutet auf eine vorverlagerte Artikulationsstelle im Vergleich zu /z/ hin. Der auffälligste Unterschied zwischen den Artikulationen ist die etwas größere Mundöffnung für /ʃ/. Die Aufwärtsbewegung der Zunge ist stets durch eine schließende Bewegung des Unterkiefers begleitet, die Zunge führt keine unabhängigen vertikalen Bewegungen aus, auch die horizontalen Bewegungen werden durch den Unterkiefer unterstützt. /z/ trägt teilweise das Rundungsmerkmal des vorangehenden Vokals /o:/ (Rosi). Ein sublingualer Hohlraum wie er für die /ʃ/-Produktion charakteristisch ist, kann im midsagittalen Bereich nicht erkannt werden. Es ist anzunehmen, dass die Artikulationsstelle von /ʃ/ nicht genau in der midsagittalen Ebene liegt, was dem auditiven Eindruck einer Lateralisierung entspricht.

GL7

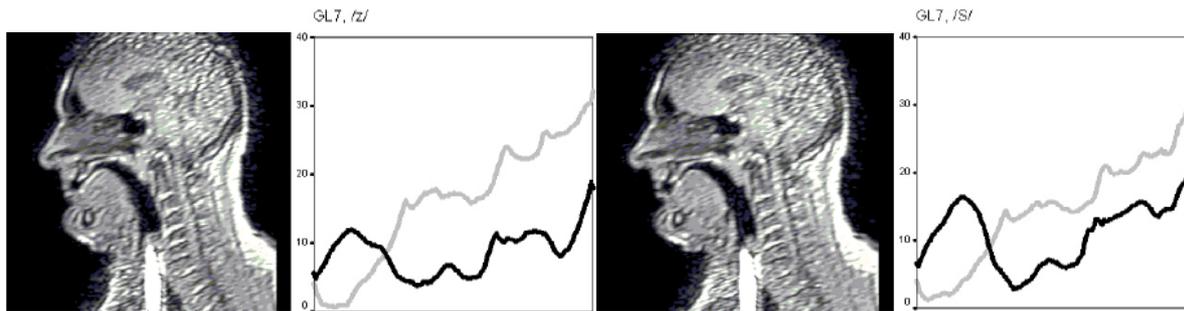


Abbildung 5-13a-d: GL7: (a) postoperative /z/-Artikulation, (b) Distanz-Mittelwerte, x-Achse: Winkel (Grad), y-Achse: ZAGR-Distanz (mm), prä-op.: schwarz, post-op.: grau, (c) und (d) sind die entsprechenden Darstellungen für /ʒ/. Die präoperativen Scans sind in Abbildung 5-4 abgebildet.

In den postoperativen Scans von GL7 ist – ähnlich den präoperativen Aufnahmen – kaum ein Unterschied zwischen /z/ und /ʒ/ erkennbar. In den Scans zu *Rosi* ist postoperativ im Zungenspitzenbereich eine starke Einschränkung zu sehen (die Zungenspitze ist nicht frei beweglich), begleitet durch eine wesentlich größere Mobilität des Zungenrückens. Auffällig ist postoperativ der langsame Übergang von /z/ zu /i:/, die Zunge löst sich hinter der Verengung nur allmählich und nicht vollständig vom alveolaren Kontakt. Der Zungenrücken bleibt über alle fünf Segmente des Wortes *Schädel* (das Schwa zwischen /d/ und /l/ wird nicht eliminiert) stark gewölbt und ändert kaum die Position. Abweichend von den übrigen Patienten artikuliert GL7 /ʒ/ mit keiner größeren Mundöffnung als /z/. Ein sublingualer Hohlraum für /ʒ/ ist nicht erkennbar.

Die ZAGR-Distanz-Kurve deutet darauf hin, dass die Artikulationsfläche bei /ʒ/ postoperativ etwas länger und die Zungen-Rachen-Distanz etwas größer ausfällt. Die präoperativ beobachtete Differenz der Zungenform konnte postoperativ weder in den Beispielscans noch anhand der Distanzkurven nachgewiesen werden.

GL8

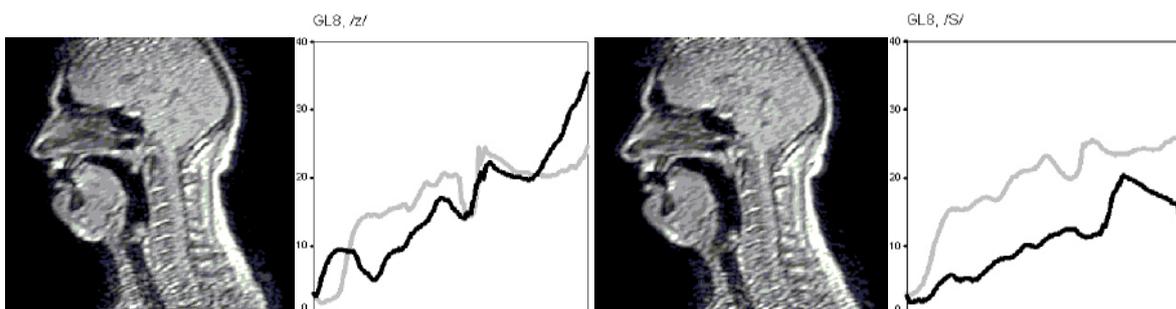


Abbildung 5-14a-d: GL8. (a) postoperative /z/-Artikulation, (b) Distanz-Mittelwerte, x-Achse: Winkel (Grad), y-Achse: ZAGR-Distanz (mm), prä-op.: schwarz, post-op.: grau, (c) und (d) sind die entsprechenden Darstellungen für /ʒ/. Die präoperativen Scans sind in Abbildung 5-4 abgebildet.

Ebenso wie bei den bisherigen Patienten in dieser Gruppe kann auch bei GL8 kein artikulatorischer Unterschied in der midsagittalen Ebene zwischen /z/ und /ʒ/ festgestellt werden. Wie bei GL2 und GL7 sind die Zungenbewegungen an die Bewegungen des Unterkiefers gebunden. Der Wechsel von /z/ zu /i:/ vollzieht sich verzögert, das Zungenblatt verweilt bis zum Moment der Velumöffnung im alveolaren Bereich. Die präoperativ vorhandene Lippenrundung bei /ʒ/ sowie der sublinguale Hohlraum fehlen postoperativ.

In den Distanzkurven ist der Unterschied zwischen /z/ und /ʒ/ neutralisiert. Gegenüber den präoperativen Kurven fallen die Distanzwerte bei /ʒ/ deutlich höher aus, bei /z/ spring der Unterschied nur im vorderen Bereich ins Auge (keine adäquate Zungenform).

GL1

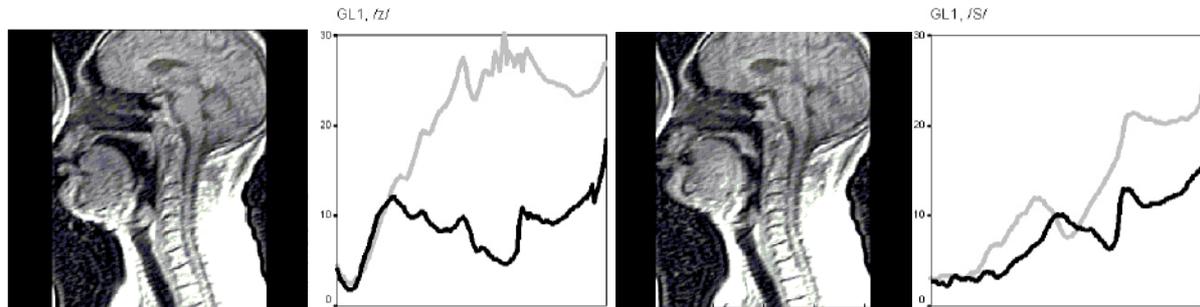


Abbildung 5-15a-d: GL1: (a) postoperative /z/-Artikulation, (b) Distanz-Mittelwerte, x-Achse: Winkel (Grad), y-Achse: ZAGR-Distanz (mm), prä-op.: schwarz, post-op.: grau, (c) und (d) sind die entsprechenden Darstellungen für /ʒ/. Die präoperativen Scans sind in Abbildung 5-4 abgebildet. Postoperativ überlappten sich die Velumverschlussphase und die Bildung von /ʒ/.

Obwohl die auditiv wahrnehmbare Sibilantenproduktion bei GL1 eindeutig beeinträchtigt war, lässt sich dies anhand der Scans und der Distanzkurven nicht bestätigen. Im vorderen Bereich zeigen prä- und postoperative Kurven eine weitgehende Übereinstimmung, lediglich im hinteren Bereich macht sich der Gewebeverlust – durch die wesentlich größeren Distanzen – deutlich bemerkbar. Für den veränderten Klang von /z/ ist möglicherweise der stark veränderte Resonanzraum im hinteren Mundhöhlenbereich verantwortlich. Des Weiteren ist eine veränderte zeitliche Koordination zu beobachten: die /ʒ/-Artikulation beginnt bereits, bevor das Velum angehoben ist und der orale Druckaufbau einsetzen könnte. Dieses Verhalten lässt sich auch im Sonogramm nachweisen: auditiv entsteht ein gehauchter, gleitender Eindruck, das Oszillogramm ist rauscharm.

Bei GL1 ist die unterstützende Funktion des Unterkiefers bei den Zungenbewegungen sehr auffällig. Bei /z/, das mit einer kleinen Mundöffnung gebildet wird, ist die Lippenrundung stark ausgeprägt. Bei der Bildung von /ʒ/ ist der Unterkiefer zurückverlagert, die Position der beiden Lippen ist vertikal asymmetrisch. Bemerkenswert ist die Bildung von /ʒ/ mit einem sublingualen Hohlraum.

5.2.2.3 Gruppe 3

GL5

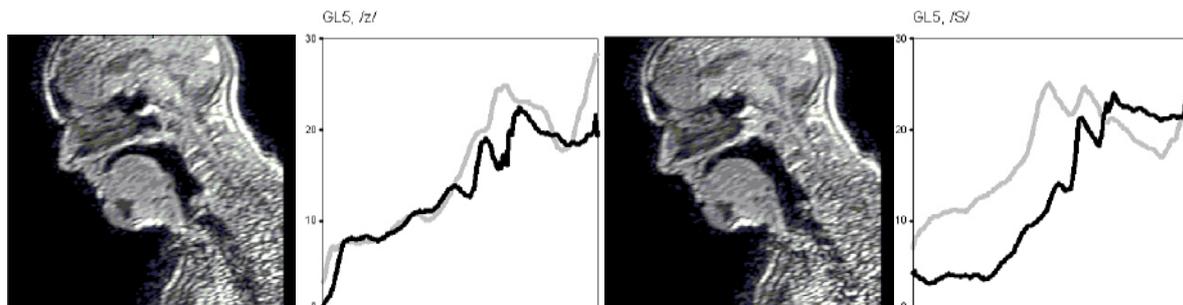


Abbildung 5-16a-d: GL5: (a) postoperative /z/-Artikulation, (b) Distanz-Mittelwerte, x-Achse: Winkel (Grad), y-Achse: ZAGR-Distanz (mm), prä-op.: schwarz, post-op.: grau, (c) und (d) sind die entsprechenden Darstellungen für /ʒ/. Die präoperativen Scans sind in Abbildung 5-4 abgebildet.

Gruppe 3 bestand aus einem Patienten, GL5, der auf der segmentalen Ebene starke Beeinträchtigungen zeigte, so dass seine Sprache zu dem Aufnahmezeitpunkt nahezu unverständlich war. Durch die Fixierung der Zunge am Mundboden und die stark eingeschränkte Mobilität konnte dieser Patient keine Unterscheidung im alveolaren Bereich realisieren, die Distanzkurven sind für /z/, /ʃ/ und // weitgehend identisch, die Unterschiede neutralisiert (s. auch // auf Abbildung 5-31). Veränderungen der Ansatzrohrkonfiguration waren lediglich durch die Veränderung des Kieferwinkels zu erreichen. Ein sublingualer Hohlraum konnte aufgrund der Zungenfixierung nicht gebildet werden. Es ist irreführend, dass die postoperative /z/-Kurve mit der präoperativen nahezu übereinstimmt: ein Vergleich mit Abbildung 5-31 und Abbildung 5-42 zeigt, dass dies der einzig mögliche Kurvenverlauf bei GL5 ist.

Die Durchsicht der einzelnen Scans und die zu den jeweiligen Patienten zugeordneten Distanzkurven zeigten eine teilweise Übereinstimmung zwischen dem auditiven Eindruck und den dazugehörigen Artikulationsmustern. In Gruppe I hatten die postoperativen Distanzkurven bei zwei Patienten einen normalen Verlauf, bei GL4 war jedoch eine gewisse postoperative Neutralisierung zu beobachten. Dieser Effekt kann auch aus der schlechten postoperativen Aufnahmequalität resultieren.

Für die Artikulation der vier Patienten (mit Ausnahme von GL1) mit einer leichten, mittelschweren oder schweren Beeinträchtigung war gemeinsam, dass sich prä- und postoperativen Scans und Kurven von /z/ und /ʃ/ nicht unterscheiden ließen. Die auditiv festgestellte Palatalisierung von /z/ wirkt in die Richtung der Neutralisierung, die Lateralisierung bei /ʃ/ wiederum lässt vermuten, dass die für die Fehlartikulation relevante Ebene eine andere als die mittsagittale ist.

5.2.2.4 Distanz- und Steigungskurven

Die aufgrund des auditiven Eindrucks vorgenommene Kategorisierung konnte aus dem artikulatorischen Gesichtspunkt in zwei Fällen, bei GL4 und GL1, nicht gerechtfertigt werden. Im Falle von GL4 ist eine detailliertere Analyse wegen der schlechten Qualität der MRT-Scans nicht sinnvoll. Die Aufnahmen von GL1 zeigen jedoch ein recht eindeutiges Bild, das sich mit dem akustischen Ergebnis zunächst nicht verbinden lässt. Es wird daher zu prüfen sein, welche Kriterien neben Artikulationsstelle und Zungenform für die Distinktion von /z/ und /ʃ/ wichtig sein könnten, die einen auditiven und akustischen Zusammenfall der beiden Sibilanten rechtfertigen.

Das einheitliche Merkmal der /z/-Beeinträchtigung war die Palatalisierung, daher wäre zu erwarten, dass sich die Werte für /z/ (Lokalisation und Länge der Verengung) an /ʃ/ annähern. Vor diesem Hintergrund sind die Diagramme in Abbildung 5-17 recht überraschend: der letzte Punkt der Verengung, ab der sich die ZAGR-Distanz abrupt vergrößerte, lag bei allen Patienten außer GL3 *hinter* dem Anstiegspunkt für /ʃ/. Präoperativ wurde dieses Verhältnis nur einmal beobachtet (vgl. Abbildung 5-7). Auch das Verhältnis der Verengungslängen fällt unerwartet aus: während sie in der Gruppe I tendenziell der Norm entspricht (Verengung ist für /ʃ/ länger als für /z/), zeigen GL7 und GL8 eine stark gegenläufige Tendenz.

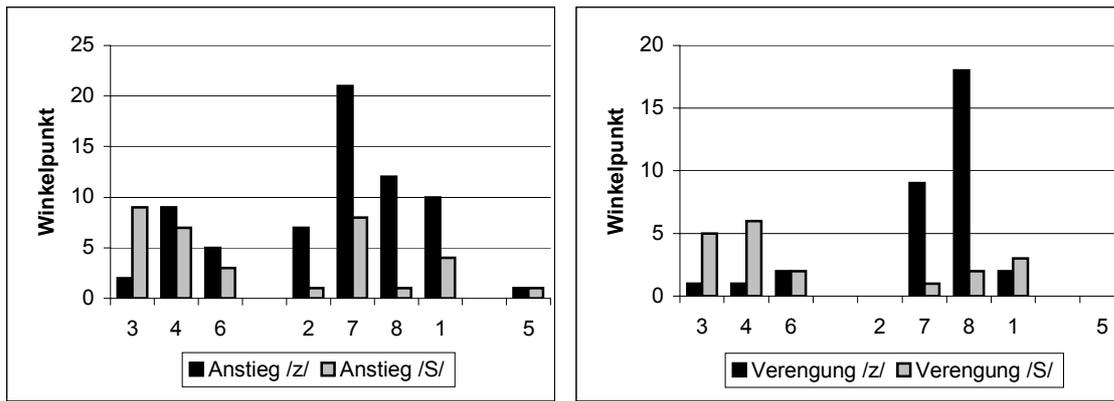


Abbildung 5-17a, b: (a) Letzter Punkt der Verengung (in Grad), (b) Länge der Verengung bei /z/ und /ʃ/, postoperativ.

Die präoperativen Distanz-Minimumwerte fielen bei /z/ mehrheitlich kleiner aus, d. h. es konnte ein geringerer koronarer Durchmesser angenommen werden. Diese Tendenz ist postoperativ ebenfalls vorhanden und gilt für alle Patienten außer GL4. Aufgrund der flachen Zungenform waren die Entfernungsmaxima bei /z/ präoperativ größer. Postoperativ lassen sich in der Gruppe meist keine Maxima vor der Uvula erkennen, was auf das Fehlen der für /z/ charakteristischen Zungenform (flach mit Rille) schließen lässt. GL2, dessen /z/-Artikulation in der Gruppe 2 am wenigsten gestört war, scheint diese Zungenform beizubehalten, allerdings ist die Delle im Zungenrücken bei /ʃ/ stärker als bei /z/ ausgeprägt.

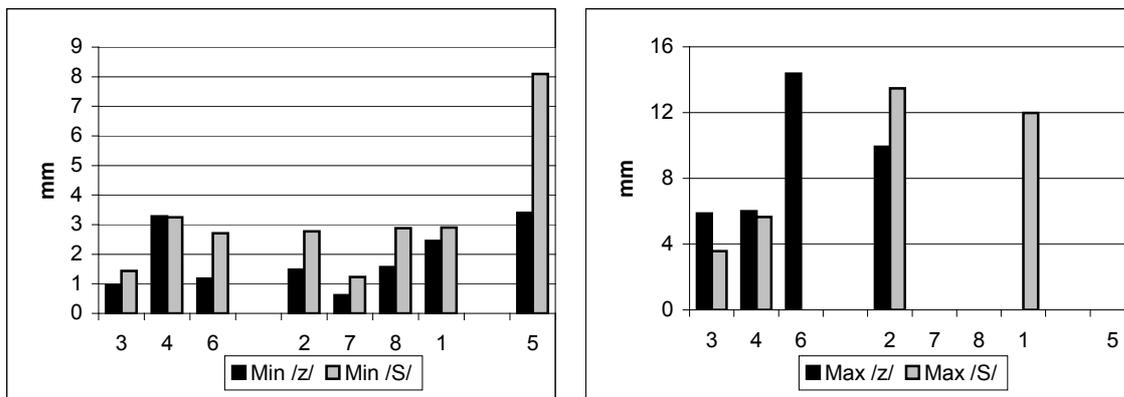


Abbildung 5-18a, b: Niedrigster Distanzwert, b: höchster Distanzwert für /z/ und /ʃ/, 1–90°, postoperativ.³⁰

Es ist vielleicht nicht zu gewagt anzunehmen, dass das Vorhandensein eines Maximums und somit einer sekundären Verengung im vorderen Mundhöhlenbereich mindestens so stark an der erfolgreichen Produktion von /z/ beteiligt ist, wie ein kleinflächiger Kontakt im alveolaren Bereich. Dies ist nicht verwunderlich, da diese in der midsagittalen Ebene charakteristische Zungenform ein Nachweis der Längsrille bei der /z/-Artikulation ist. Kann die einige Zentimeter lange Rille nicht gebildet werden, so ist auch kein charakteristischer /z/-Klang zu erwarten. Dasselbe scheint für /ʃ/ nicht zu gelten, da das Fehlen eines Maximums (s. GL6) dennoch zu einem /ʃ/-ähnlichen Klang führt.

Anhand dieser Daten lässt sich die Hypothese formulieren, dass für die hier untersuchten Patienten die /z/-Artikulation eine größere Schwierigkeit darstellt als die Bildung von /ʃ/. Dies lässt sich damit begründen, dass alle Patienten in Gruppe 2 in der Lage sind, bei /z/

³⁰ Auf die Darstellung der Differenzen wurde verzichtet, da sie ohne Maxima nicht ermittelt werden können.

wie bei /ʃ/ einen /ʃ/-ähnlichen Klang zu produzieren. Während eine leichte bis mittelschwere Störung bei /ʃ/ zwar zu einer Lateralisierung, aber nicht zu einem Wechsel der Phonemkategorie führt, nähert sich der auditive Eindruck von /z/ der postalveolar-präpalatalen Artikulation an (s. 4.1.2.3).

5.2.3 Akustik und Artikulation im Vergleich

In Kapitel 4 und 5 wurden prä- und postoperative Realisierungen akustisch und artikulatorisch erfasst. Dabei wurden die Patienten in drei Gruppen eingeteilt, die in sich dennoch inhomogen waren. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse der akustischen und artikulatorischen Einzelanalyse diskutiert.

5.2.3.1 Gruppe I

Zur Gruppe I gehörten Patienten, bei denen auditiv zwischen /z/ und /ʃ/ eindeutig differenziert werden konnte. GL3 und GL4 hatten keine postoperative Beeinträchtigung, während die /ʃ/-Produktion von GL6 aufgrund einer Lateralisierung postoperativ leicht von der Norm abwich. Aufgrund seiner unbeeinträchtigten /z/-Artikulation wurde er dennoch zur ersten Gruppe gerechnet.

GL3

Die postoperativ gut erhaltene Differenzierung zwischen /z/ und /ʃ/ lässt sich bei GL3 anhand der bisher verwendeten akustischen und artikulatorischen Kriterien ausreichend beschreiben. Die postoperativen Werte für Centre of Gravity und Dispersion fallen für /z/ deutlich höher aus. Der Verlauf der Zungenkontur zeigt postoperativ keine Veränderung, die oben beschriebenen Parameter Artikulationsstelle (Anstieg der Distanzkurve), Länge des Kontakts (Verengung), Minimum, Maximum sowie deren Differenz deuten allesamt darauf hin, dass GL3 auch nach der lateralen Zungenteilresektion in der Lage war, die Zunge in die für die Sibilantenbildung erforderliche Lage zu bringen und die Laute ohne Veränderung zu produzieren.

GL4

Das /ʃ/ von GL4 klang prä- wie postoperativ leicht lateralisiert. Da der Laut dennoch im Rahmen der normalen Realisierungen blieb (d. h. die Lateralisierung war nicht stärker als bei vielen als normal geltenden Sprechern des Deutschen), wurde dies nicht als Beeinträchtigung gewertet. Im postoperativen Spektrum von /z/ war die Gipfelstruktur etwas verwaschen, die postoperativen CoG- und Dispersionswerte waren leicht reduziert. Dennoch blieb die Distinktivität zwischen /z/ und /ʃ/ erhalten. Die Angaben zur postoperativen Artikulation sind aufgrund der schlechten Aufnahmequalität nur beschränkt gültig. Die meisten artikulatorischen Parameter deuten auf eine postoperative Neutralisierung zwischen /z/ und /ʃ/ hin, allein die Länge der Kontaktfläche ist bei /ʃ/ größer.

GL6

GL6 war der einzige unter den Patienten, der eine leichte Störung bei der /ʃ/-Produktion, aber keine hörbare Beeinträchtigung bei /z/ hatte. Im /z/-Spektrum ist eine gewisse Veränderung im Vergleich zur präoperativen Darstellung sichtbar, doch bleibt die charakteristische Form der Hüllkurve (steiler Anstieg um 3 kHz, Dominanz der hohen Frequenzen) erkennbar. Die Akustik und Artikulation von GL6 lassen sich insgesamt schwer kategorisieren, da sie diverse Übergangsphänomene zeigen. So gelingt die postoperative Distinktion, anders als bei GL3 und GL4, anhand der CoG- und Dispersionwerte erst bei der Berücksichtigung der höheren Bereiche (1–11 kHz). Die Scans in Abbildung 5-11 zeugen von einer Differenzierung in der Artikulation durch Erhalt der charakteristischen Zungenformen (flach für /z/, gewölbt für /ʃ/). Lokalisierung und Größe der Kontaktfläche eignen sich nicht

zur Differenzierung, wohl aber die geringere Distanz sowie das Vorhandensein einer Rille bei /z/.

5.2.3.2 Gruppe 2

In der zweiten Gruppe wurden Realisierungen zusammengefasst, die auditiv keine Differenzierung von /z/ und /ʃ/ (abgesehen von der Stimmhaftigkeit) enthielten. Bei allen Patienten dieser Gruppe zeichnete sich die Tendenz ab, /z/ weitgehend an /ʃ/ anzugleichen, wobei die /ʃ/-Produktion oft weniger auffällig war.

GL2

GL2 bildet einen Übergang zwischen den Gruppen, da seine /z/-Produktion zwar gestört, aber der /ʃ/-Produktion nicht vollkommen ähnlich ist. Die Frequenzverteilung bei seinem schwer definierbaren /z/ ist nicht markant genug, um eine postoperative Differenzierung zwischen den Sibilanten zu erreichen, die CoG- und Dispersionswerte decken sich weitgehend. Artikulatorisch sind jedoch Charakteristika der /z/-Produktion erhalten, insbesondere ein engerer Kontakt zwischen Zunge und Alveolen sowie die adäquate Zungenform bei beiden Sibilanten.

GL7

GL7 ist ein „typischer“ Vertreter der Gruppe 2: sowohl der auditive Eindruck als auch das spektrale Bild zeugen von einer gestörten /z/-Produktion (starke Palatalisierung, niedrige Intensität der hohen Frequenzen, niedrigere CoG- und Dispersionswerte), /ʃ/ ist jedoch weitgehend unbeeinträchtigt, obwohl die akustischen Kennzahlen (CoG und Dispersion) postoperativ auch hier niedriger ausfallen. Eine akustische Differenzierung zwischen /z/ und /ʃ/ ist lediglich anhand der Dispersion zwischen 1–5,5 kHz möglich, die für /z/ höhere Werte ergibt. Die postoperativen Scans und ZAGR-Distanz-Kurven zeigen ein ähnliches Artikulationsmuster für die Sibilanten, die Parameter Lokalisierung und Länge der Verengung ergeben für /z/ sogar höhere Werte als für /ʃ/, was als Zeichen einer deutlichen Palatalisierung interpretiert werden kann.

GL8

Der auditive und akustische Vergleich zwischen den postoperativen Sibilanten von GL8 zeigt eine komplette Übereinstimmung bezüglich der spektralen Hüllkurven sowie der CoG- und Dispersionswerte. Da die prä- und postoperative Gegenüberstellung der Centre of Gravity bei /ʃ/ keine deutliche Differenz zeigte, wurde die Neutralisierung hier vorwiegend durch die bedeutende Verlagerung des spektralen Schwerpunktes von /z/ zu den niedrigeren Frequenzen hin verursacht. Die artikulatorischen Parameter gleichen weitgehend den bei GL7 beobachteten: Übereinstimmung der ZAGR-Distanz-Kurven, Verlängerung sowie Verlagerung der Engebildung in den alveo-palatalen Bereich, Ausfallen einer erkennbaren Rillenbildung bei /z/.

GLI

Es bereitet einige Schwierigkeiten, einen Bezug zwischen den auditiven, akustischen und artikulatorischen Daten von GLI herzustellen. Auditiv und akustisch zeigt sich auch bei ihm eine weitgehende Neutralisierung zwischen den Sibilanten bzw. die Verschiebung der /z/-Parameter Richtung /ʃ/. Dies lässt sich jedoch in den ZAGR-Distanz-Kurven und den Parametern für die Engebildung nicht nachweisen: die postoperativen Kurven zeigen im vorderen Bereich eine weitgehende Ähnlichkeit mit den gut differenzierten präoperativen Verläufen. Wie im vorangehenden Abschnitt angedeutet, sind möglicherweise die stark veränderte Zungenform und die somit fehlende Rillenbildung dafür verantwortlich, dass trotz einer präzise gesteuerten Konstriktion der charakteristische Klang von /z/ nicht entstehen konnte. Denkbar ist aber auch eine Veränderung des für den Klangbild von /z/ entscheidenden sublingualen Hohl-

raums (Perkell, 1979, Shadle, 1990), wenn sein vollständiger Wegfall anhand des Scans auch nicht wahrscheinlich ist.

5.2.3.3 Gruppe 3

Die dritte Gruppe wurde durch die nicht identifizierbare Lautproduktion definiert. Zu dieser Gruppe gehörte der Patient GL5.

GL5

Bei diesem Patienten war die Segmentierung mit vielen Überlegungen verbunden, da nicht davon auszugehen war, dass eine Sibilantenproduktion überhaupt vorlag. Die extrem flachen, schwer erfassbaren Spektren bestätigen den undefinierbaren Klangeindruck, was möglicherweise aus dem im Scan erkennbaren Kontakt zwischen Zungenblatt und Alveolen liegt. Dennoch lag eine Differenzierung in der Engebildung vor: bei der Bildung von /ʃ/ wurden deutlich größere Entfernungen zwischen Zungenspitze und Alveolen beobachtet als bei /z/. Bei allen Realisierungen von /z/ und /ʃ/ wurde ein Kontakt zwischen Zunge und Oberlippe beobachtet.

Zusammenfassend sei noch einmal auf den vorläufigen Charakter der hier erarbeiteten artikulatorischen Parameter hingewiesen. Zum Einen wurden die verwendeten Größen bisher nicht an normaler oder gestörter Artikulation untersucht, daher muss ihre methodische Gültigkeit stets mit einem Fragezeichen versehen werden. Zwar wäre anhand der artikulatorischen Beschreibungen, die in Kapitel 3 detailliert dargestellt wurden, zu erwarten, dass die Kontaktfläche bei /z/ weiter vorn liegt und kürzer ausfällt als bei /ʃ/, doch fehlt bisher die entsprechende Validierung der hier verwendeten Methodik. Zum Anderen erlaubt die Bearbeitung der Scans und die Erstellung der Kurven eine Präzision unterhalb der Millimeter-Auflösung, was jedoch bei den z. T. manuell nachgezeichneten Konturen nicht der Fall ist.

Ein deutlicher Nachteil des hier verwendeten Rasters liegt in der Definition des vorderen Fixpunktes: die Verengungsstelle lässt sich bei einer dentalen Artikulation nicht erfassen, es kann nur aus dem Verlauf der Distanzkurve auf sie geschlossen werden (solche Schlussfolgerungen sind wiederum nur bei normaler Artikulation zulässig). Das Problem lässt sich am Beispiel von GL2, dessen ungewöhnliche Kopfposition zur Verschiebung des Rasters führte und der /z/ dental artikuliert, verdeutlichen. Abbildung 5-19b zeigt, dass der Artikulationsort nicht an den Alveolen, sondern an den Zähnen liegt, entsprechend ist die Entfernung beim ersten Winkel links (eigentlich 179°, hier 1°) immer noch relativ groß.

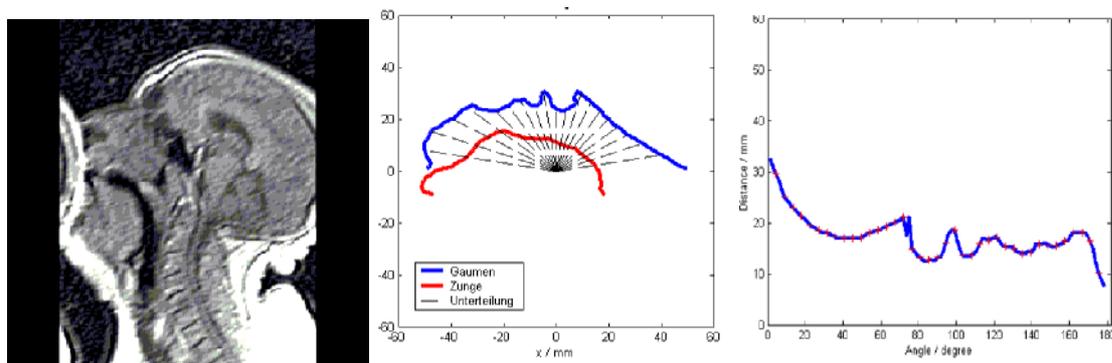


Abbildung 5-19a-c: /z/-Artikulation von GL2, präoperativ. (a) MRI-Scan, (b) Zungen- und Gaumenkontur (Auflösung 4,5°), (c) ZAGR-Distanz-Kurve.

Dies wirft die Frage auf, ob die Auswahl des vorderen Fixpunktes überhaupt vertretbar ist. Abgesehen davon, dass jeder andere Punkt entweder durch eventuelle Veränderungen durch die Operation oder aufgrund seiner eigenen Beweglichkeit (wie z. B. Lippen) als Fixpunkt ungeeignet ist, liegt das Problem an der Nichtdarstellbarkeit der Zähne im MRI. Selbst wenn der Bereich unterhalb der Alveolen mit erfasst werden könnte (was ja theoretisch problem-

los möglich ist), würde es nichts über eine dort stattfindende Verengung aussagen, da sie nicht manifestiert werden kann.

Überlegt wurde daher auch, anstatt der Zungen-Gaumen-Kontur lediglich die Zungenform, d. h. die Distanz zwischen Nullpunkt des polaren Koordinatensystems und der Zungenkontur, zu erfassen. Somit wäre erkennbar, ob die Zungenspitze die adäquate Form für die Produktion der Alveolarlaute bilden kann (d. h. zu einer engen Spitze zusammengezogen wird), wobei vom Vorhandensein einer Kontaktstelle auszugehen wäre. Auch wenn eine solche Darstellung der Beschaffenheit des wichtigsten Artikulationsorgans sogar näher kommen würde, würde es ein anderes Problem nach sich ziehen: jeglicher Vergleich, inter- und intraindividuell, wäre ungleich schwieriger, da die Entfernungen absolut statt relativ wären. Die postoperativen Veränderungen der Zungenform ließen sich mit dieser Methode gewiss besser erfassen, allerdings wäre die Beschaffenheit (Ort, Enge und Länge) der Konstriktion in der Analyse so nur indirekt präsent.

Trotz aller Bedenken konnte in der bisherigen Analyse eine weitgehend gültige Übereinstimmung der auditiven, akustischen und artikulatorischen Parameter gezeigt werden. Im folgenden Abschnitt soll nun auf einen anderen Alveolarlaut, den Lateral // eingegangen werden.

5.3 Der Lateral //

Koronale Laterale unterscheiden sich von den koronalen Frikativen nicht nur in der Form der Kontaktfläche (lateraler vs. medialer Luftstrom), sondern auch in dem phonologischen Merkmal [\pm dauernd]. Anders als bei den Frikativen, die über die gesamte Produktionsdauer (ca. 100 ms) mit in etwa unveränderter Zungenposition gebildet werden, gehört zum entsteht der auditive Eindruck eines Laterals durch die Verschlusslösung. Die vorausgehende Artikulationsphase der Laterale ist kürzer als die Produktionsdauer der Sibilanten: in den präoperativen Daten betrug die durchschnittliche Segmentdauer in *lang* 104 ms gegenüber dem /ʃ/ in *Schädel* (153 ms), die Dauer des medialen // in *Juli* betrug durchschnittlich 67 ms gegenüber dem /z/ in *Rosi* (108 ms).

Durch die kürzere Segmentdauer ist es wahrscheinlicher, dass bei einer Auflösung von 5–8 Bildern/s, d. h. bei Zeitfenstern von 125–200 ms, ein Segment nicht bei jeder Wiederholung erfasst wird. Dies wurde im Datenmaterial dadurch ausgeglichen oder zumindest gemildert, dass das Zielwort *lang* einsilbig war und somit mehr Wiederholungen während der Aufnahmedauer zu erwarten waren als bei den zweisilbigen Trägerwörtern der Sibilanten. Es ist durch die Betrachtung der einzelnen Scans nicht in jedem Fall festzustellen, ob die Artikulation apikal oder laminal erfolgt ist. Dabei besteht die Gefahr, dass Scans, die nicht die eigentliche Verschlussbildung, sondern eine vorangehende Phase abbilden, für einen laminal gebildeten Lateral gehalten werden.



Abbildung 5-20a-c: /l/-Realisierungen in *lang* bei GL1, präoperativ. (a) Apikale Phase, (b) vorbereitende Phase vor /l/-Produktion, (c) /l/-Produktion von GL8 in Juli, ohne pharyngale Verengung.

Abbildung 5-20 zeigt ein Beispiel von zwei unterschiedlichen Phasen der /l/-Produktion. Das linke Bild zeigt eine apikale Artikulation von /l/, mit den mit der apikalen Artikulation verbundenen zusätzlichen Merkmalen: flacher Zungenrücken und relativ weite Lippenöffnung. Das mittlere Bild weist diese Merkmale nicht vor, ferner ist die links beobachtete pharyngale Verengung (bedingt durch den velaren Folgevokal /a/, s. auch Abbildung c) nicht vorhanden, was darauf hindeutet, dass der abgebildete Moment nicht der Verschlusslösung entspricht.

Bei einer Segmentierung, gerade in der weniger eindeutigen postoperativen Produktion, sind perseverative Artikulationen beim nachfolgenden /a/ oder Bewegungsartefakte in den Scans nützlich. Abbildung 5-21 zeigt ein Beispiel für einen Bewegungsartefakt, der aus der verzögerten Reaktionszeit der MRT resultiert. Abbildung 5-21b zeigt den Übergang vom Lateral zum Vokal (in dem die Senkung des Gaumensegels zum nachfolgenden /ŋ/ stattfindet). Der alveolare Kontakt ist nicht mehr vollständig, durch den vorderen dunklen Bereich an der Zunge wird er jedoch angedeutet (Bewegungsartefakt).

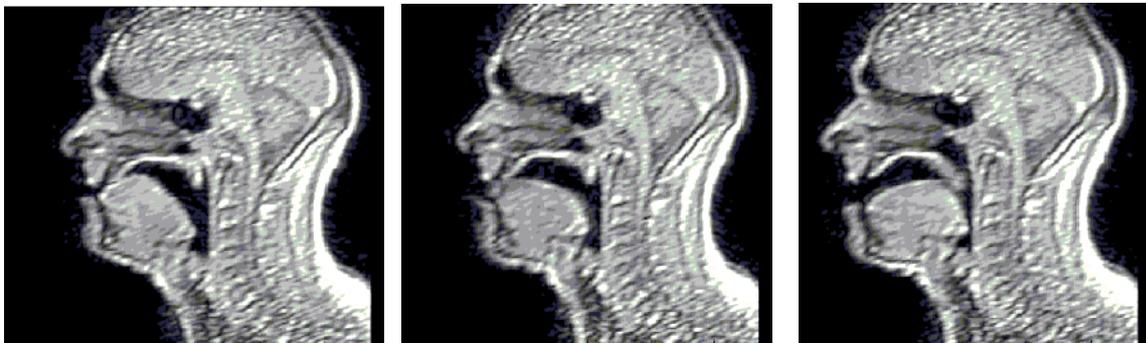


Abbildung 5-21a-c: GL6, postoperativ. Übergang von /l/ zu /a/ in *lang*. In (b) ist ein Moment während bzw. kurz nach der Verschlusslösung erfasst, verdeutlicht durch den dunkleren, verwaschenen koronalen Bereich.

5.3.1 Präoperative Artikulation

Aus der allgemeinen Beschreibung in Kapitel 3 ergaben sich folgende Behauptungen, die anhand der Kernspintomographie verifiziert werden sollen:

- (1) Die apikale Artikulation geht mit einer pharyngalen Verengung einher, bei laminaler Artikulation ist die pharyngale Öffnung größer;
- (2) bei apikaler Artikulation ist die Zunge flach, bei laminaler Produktion gewölbt;
- (3) die artikulatorische Variation ist größer als bei den Frikativen;
- (4) Lippen- bzw. Kieferwinkelöffnung ist größer als bei den Sibilanten /z/ und /ʃ/.

Zu Punkt 1 lassen sich lediglich anhand von pathologischen Daten Aussagen machen, da die präoperativen Realisierungen ausnahmslos apikal waren.

Die Anzahl der präoperativen /l/-Realisierungen fiel geringer aus als für /z/ und /ʃ/ ($n = 44$ gegenüber 66 bzw. 62). Möglicherweise ist es diesem Umstand zu verdanken, dass die Variabilität (die Standardabweichungen für die einzelnen Winkel) bei /l/ im vorderen Mundhöhlenbereich geringer erscheint.

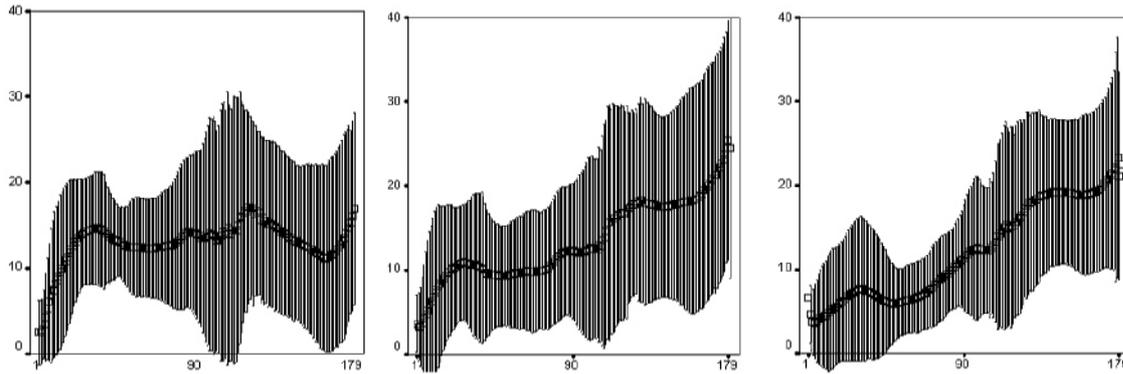


Abbildung 5-22a-c: Standardabweichungen (Mittelwert $\pm 2\sigma$, gilt für 95 % der Fälle). (a) /l/, (b) /z/, (c) /ʃ/.

Ein Vergleich zwischen den obigen Kurven zeigt, dass der Verlauf der Sibilantenkurven in ihrer Gesamtheit weniger variiert. Dies liegt vermutlich an zwei Ausreißerkurven bei // (s. Abbildung 5-23; die Kurve mit einer vorderen Auslenkung gehört zu GL2, die Kurve mit den auffällig großen velaren Distanzen zu GL4). Vier Patienten (GL5 bis GL8) zeigen einen nahezu identischen Verlauf (unterhalb der Linie für den Mittelwert). Der Kurvenverlauf gleicht in etwa dem der /z/-Kurve, mit dem Unterschied, dass die minimale Distanz bei // durchgehend kleiner ist.

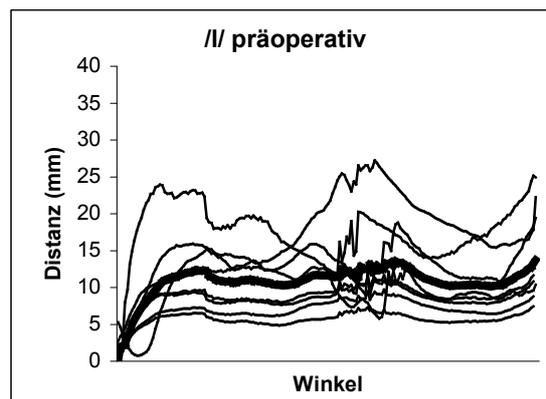


Abbildung 5-23: Gemittelte Distanzkurven für GL1 bis GL8, // präoperativ. Die dicken Linien stellen den Mittelwert über alle Patienten dar. Links: vorn, rechts: hinten. Vgl. Abbildung 5-5.

5.3.2 Prä- und postoperativer Vergleich

5.3.2.1 Gruppe I

Wie im Rahmen der akustischen Analyse gesagt, wurde die // -Produktion auditiv lediglich bei Patient GL3 als unbeeinträchtigt beurteilt.

GL3

Abbildung 5-24a-c: GL3: /l/-Produktion in *lang* (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

Die prä- und postoperativen Scans sowie die Distanzkurven decken sich weitgehend. Eine größere Mundöffnung als bei den Sibilanten ist nur auf dem postoperativen Scan erkennbar. Der Zungenrücken ist flach hinter der Artikulationsstelle. Das für die /z/-Bildung relevante Maximum sowie zweite Verengung im präuvularen Bereich ist hier nicht vorhanden.

5.3.2.2 Gruppe 2

Zu dieser Gruppe wurden solche Patienten gezählt, bei denen auditiv der laterale Charakter des Konsonanten trotz einer verwaschenen und palatalisierten Impression erhalten blieb.

GL2

Abbildung 5-25a-c: GL2: /l/-Produktion in *lang* (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ)..

Die präoperative apikale Artikulation geht mit einem flachen Zungenrücken, die postoperative laminale Bildung mit einer größeren Kontaktfläche sowie einem leicht gewölbten Zungenrücken einher. Bei der postoperativen Artikulation berührt die Zungenspitze die Unterlippe. Aufgrund des für das Gradientenecho charakteristischen Artefakts (Spiegelung des hinteren Kopfteils im vorderen Bildanteil) kann die präoperative Lippenöffnung nicht beurteilt werden. Postoperativ ist die Öffnung etwas größer als bei /ʃ/ und deutlich größer als bei /z/ (vgl. Abbildung 5-12). Die ZAGR-Distanz-Kurve zeigt postoperativ einen etwas flacheren Anstieg als vor der Operation, der dennoch deutlich steiler ist als die postoperativen Sibilantenkurven.

GL6

Abbildung 5-26a-c: GL6: /l/-Produktion in lang (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

Das Verhältnis der prä- und postoperativen Realisierung ist ähnlich wie bei GL2: präoperativ ist eine apikale Artikulation mit flachem Zungenrücken sichtbar, postoperativ besteht eine Tendenz zur Wölbung, die nicht so stark ausgeprägt ist wie bei /ʃ/. Die Mundöffnung ist nicht größer als bei /z/ und /ʃ/, jedoch wird //, vermutlich um die Vorwärtsbewegung der fixierten Zunge zu begünstigen, ebenfalls mit einem vorgeschobenen Unterkiefer gebildet. Im ZAGR-Distanz-Diagramm fehlt postoperativ das Maximum sowie die sekundäre Verengung im präuvularen Bereich. Die postoperative (graue) Kurve deutet auf eine Vergrößerung der Artikulationsfläche hin.

GL4

Abbildung 5-27a-c: GL4: /l/-Produktion in lang (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

Die präoperative // -Artikulation von GL4 zeigt weitgehende Ähnlichkeiten mit den bisher beschriebenen Realisierungen. Postoperativ liegt die Zunge relativ eng am Gaumen (jedoch weniger eng als bei den Sibilanten), entsprechend ist der Anstieg der ZAGR-Kurve langsamer als präoperativ. Die Lippenöffnung ist präoperativ größer als bei den Sibilanten, postoperativ trifft dies jedoch nicht zu. Die postoperative Kontaktfläche ist größer.

GL1

Abbildung 5-28a-c: GL1: /l/-Produktion in *lang* (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

Trotz eines postoperativ deutlich veränderten auditiven Klangs sowie der eindeutig laminalen Artikulation kann bei GL1 im vorderen Bereich kein Unterschied zwischen den ZAGR-Distanz-Kurven festgestellt werden. Der postoperativen Kurve nach ist weder die Artikulationsstelle noch die -fläche verändert. Dieser Umstand bereitete bereits bei der /z/-Artikulation Schwierigkeiten, wobei dort die Annahme formuliert wurde, das veränderte Klangbild lege am weitaus größeren Resonanzraum hinter der Artikulationsstelle (erkennbar am Fehlen einer zweiten Verengung). Es ist schwierig, diese Annahme auch bei // geltend zu machen, da die sekundäre Verengung für eine erfolgreiche // -Produktion nicht entscheidend zu sein scheint (vgl. die präoperative Artikulation von GL3). Da der Kurvenanstieg bei GL1 jedoch größer ausfällt als bei allen bisher besprochenen Patienten, ist es nicht von der Hand zu weisen, dass der extrem große Resonanzraum hinter den Alveolen eine Rolle bei der Veränderung der Akustik spielen könnte. Möglicherweise liegt die Erklärung aber auch seitlich, d. h. außerhalb der mittersagittalen Ebene.

5.3.2.3 Gruppe 3

Zur dritten Gruppe wurden die Patienten gezählt, bei denen der Lateral auditiv nicht als solcher zu erkennen war, vielmehr war ein approximantähnlicher Laut wahrzunehmen.

GL7

Abbildung 5-29a-c: GL7: /l/-Produktion in *lang* (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

Es ist auf dem Scan wie an der Distanzkurve sichtbar, dass die postoperative Artikulation stark palatalisiert ist und mit einer großen Kontaktfläche erfolgt. Präoperativ ist die Lippenöffnung größer als bei den Sibilanten, postoperativ ist kein Unterschied erkennbar, allerdings

ist der Unterkiefer leicht vorwärts geschoben, die vordere Zungenunterseite ist in direktem Kontakt mit der Innenseite der Unterlippe.

GL8

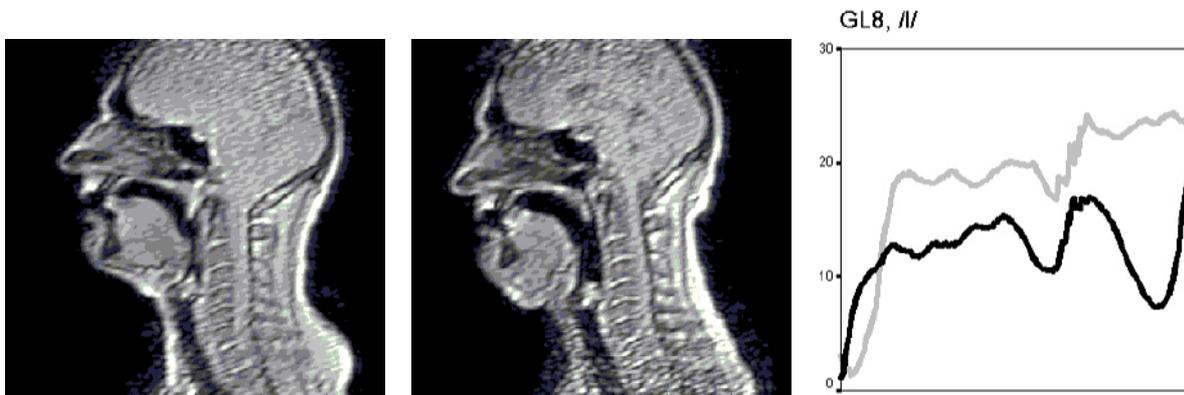


Abbildung 5-30a-c: GL8: /l/-Produktion in lang (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

Der postoperative Scan von GL8 zeigt das bei Gruppe 2 beobachtete Muster: laminale Artikulation mit vergrößerter Kontaktfläche, was auch im Distanzdiagramm erkennbar ist. Der stark veränderte auditive Eindruck ist damit nicht unmittelbar erklärt. Möglicherweise hat die Zunge nicht genug Kraft zu einer abrupten Verschlusslösung, wie sie für den Lateral erforderlich ist. Andererseits unterscheidet sich die Zungenkontur von den postoperativen Sibilanten in Abbildung 5-14 lediglich durch die etwas tiefere Stellung der Zunge unterhalb des harten Gaumens. Insofern lassen sich die postoperativen Artikulationsmuster der drei koronalen Konsonanten insgesamt kaum differenzieren und erscheinen somit unspezifisch. Die Lippenöffnung ist etwas größer als bei /z/ und /ʃ/.

GL5

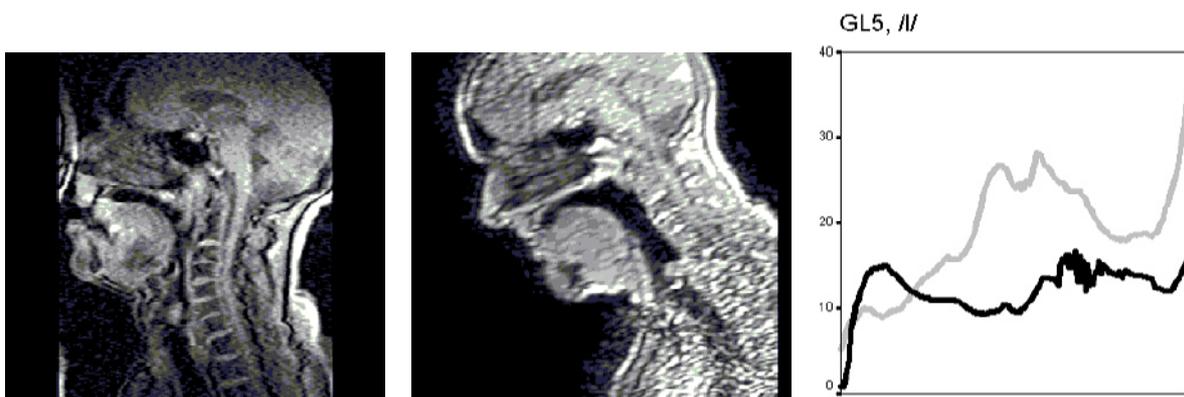


Abbildung 5-31a-c: GL5: /l/-Produktion in lang (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

Aufgrund der extrem stark eingeschränkter Zungenmobilität hatte dieser Patient kaum einen artikulatorischen Spielraum, Laute zu differenzieren. Vokale und Konsonanten sind ausschließlich an der Hebung und Senkung des Zungenrückens zu erkennen. Die starke Undifferenziertheit der Konsonantenartikulation zeigt sich auch darin, dass die ZAGR-Distanz-Kurven für /z/, /ʃ/ und // praktisch identisch ausfallen. Präoperativ ist die Mundöffnung bei // größer als bei den Sibilanten, postoperativ ist kein Unterschied erkennbar.

5.3.3 Distanz- und Steigungskurven

Die Anfangsstelle des Kurvenanstiegs liegt für // tendenziell etwas weiter vorn als für /z/ und deutlich weiter vorn als für /ʃ/ (Mittelwert $2,88^\circ$ gegenüber $3,25^\circ$ mm bzw. $6,75^\circ$). Postoperativ ist bei fünf Patienten eine Verlagerung der Kontaktstelle nach hinten (GL2, GL6, GL4, GL7 und GL8) erkennbar, während sie bei GL5 nach vorn verlagert ist (ein direkter alveolarer Kontakt war bei diesem Patienten postoperativ nicht möglich). Eine Verengung über mehrere Punkte (im Abstand von je einem Grad) war präoperativ lediglich bei zwei Patienten zu beobachten, postoperativ waren es vier.

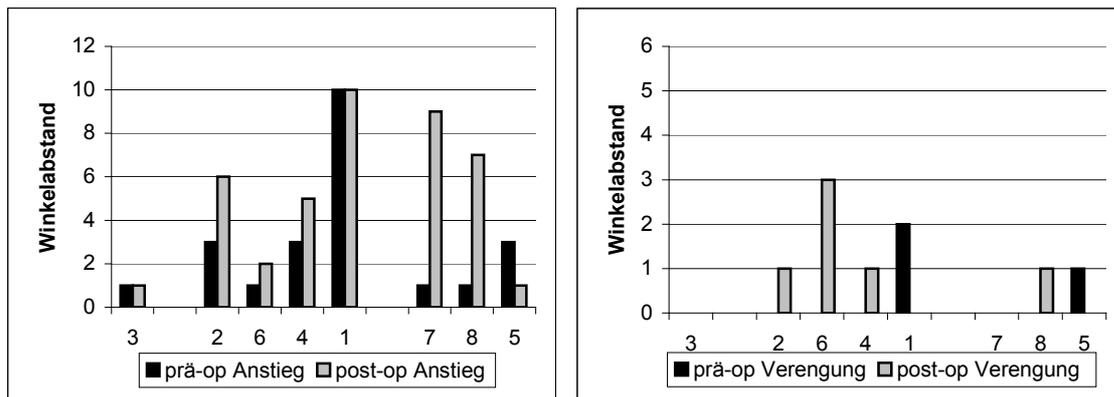


Abbildung 5-32a, b: Kontaktfläche von Zunge und Alveolen bei //, prä- und postoperativ. (a) Grad, ab dem Anstieg der ZAGR-Distanz-Kurve beginnt, (b) Anzahl Grade, in denen $-0,1 \leq \text{Steigung} \leq +0,1$.

Die präoperativen Ergebnisse stehen im Einklang mit dem artikulatorischen Muster für //: die apikale Bildung beinhaltet im Vergleich zum Frikativ /z/ einen kleinflächigen Kontakt zwischen Zungenspitze und Alveolen. Demzufolge ist auch zu erwarten, dass die Verengung bei identischer Lokalisierung der Kontaktflächen an einem weiter vorn liegenden Punkt aufhört als bei /z/.

Die maximale präoperative Entfernung zwischen Zungenspitze und Alveolen beträgt knapp 4 mm. Sie ist demnach kleiner als die maximale Distanz bei /z/ und /ʃ/ (4,87 mm und 6,29 mm). Die gemittelte Minimalentfernung fällt bei // ebenfalls kleiner aus (1,92 mm vs. 2,64 mm und 3,22 mm), was auf das Vorhandensein eines direkten Kontakts schließen lässt.

Die relativ großen präoperativen Distanzen zwischen kleinster und größter Entfernung (durchschnittlich 15,26 mm, um über 50 % größer als bei /z/ und /ʃ/) deuten auf eine sehr flache Zungenform hin, die sich vertikal in die Länge zieht. Dies entspricht bei allen Patienten (außer GL3) einer praktisch horizontalen Zungenlage hinter der Artikulationsstelle, die auf der Höhe des harten oder weichen Gaumens abrupt in eine senkrechte Lage übergeht. Konnte kein Maximum und somit keine Differenz ermittelt werden, bedeutet dies, dass der Zungenrücken anstatt eine flache eine gewölbte Form zeigt, wie dies bei fast allen postoperativen Realisierungen der Fall ist.³¹

³¹ Bei GL3 war es jedoch nicht möglich, die Form der Zunge mit diesen Parametern zu erfassen, da die ZAGR-Distanz-Kurve bei ihm anstatt eines Maximums eine lange währende Stagnation ergab.

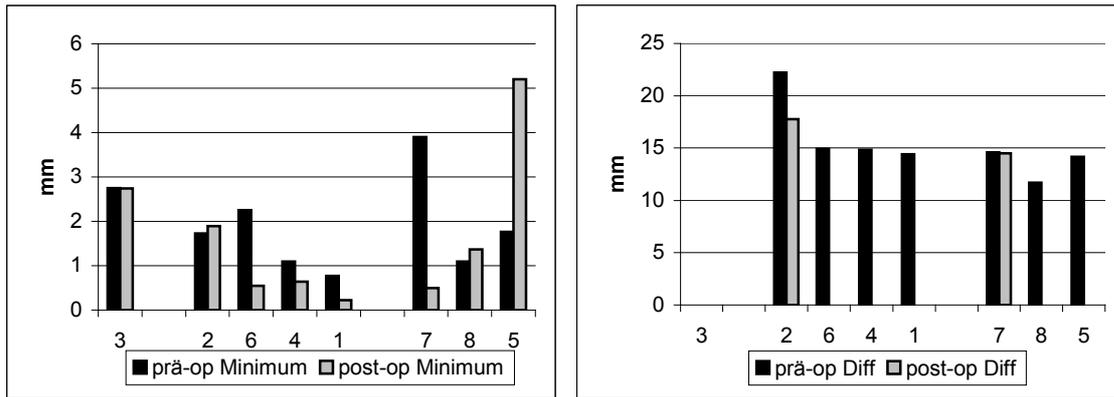


Abbildung 5-33a, b: Zungenform bei /l/-Artikulation. (a) Minimale Distanz zwischen Zunge und Alveolen in mm, (b) Differenz zwischen minimaler und maximaler Abweichung im präuvularen Bereich (1–90°).

Die Gegenüberstellung der normalsprachlichen apikalen und der beeinträchtigten laminalen Artikulation zeigt, dass in der Normalsprache beobachtete artikulatorische Unterschiede beim gestörten Sprechen nur eingeschränkt gültig sind. So wäre für die laminalen // -Artikulation beispielsweise zu erwarten, dass der pharyngale Raum aufgrund der gewölbten Zungenform kleiner ist als bei der apikalen Produktion. Die Erwartung wurde anhand der Ergebnisse nur teilweise bestätigt: bei vier der laminal artikulierenden Patienten war die pharyngale Öffnung postoperativ tatsächlich größer, bei GL4 und GL6 war sie jedoch kleiner und bei GL2 unverändert.

Die für die apikale Artikulation charakteristische flache Zungenform war postoperativ bei zwei Patienten erhalten (GL3 und GL8). Wie bereits gesagt, zeigte GL3 insgesamt keine Veränderung der // -Artikulation und behielt die apikale Artikulation bei. Etwas überraschend ist dies bei GL8, da er postoperativ kein Lateral produzieren konnte. Die Zunge zeigte auf der midsagittalen Ebene keine starke Veränderung. GL8 war der einzige Patient, bei dem die Beeinträchtigung nicht mit einer laminalen Artikulation einherging: der Kontakt wurde tendenziell eher mit der Zungenspitze gebildet, er war aber länger als für die unbeeinträchtigte Artikulation charakteristisch.

5.3.4 Akustik und Artikulation in Vergleich

Vor der Zusammenführung der akustischen und artikulatorischen Ergebnisse seien hier noch einmal die einschlägigen Aussagen aus Kapitel 3 erwähnt.

- (1) Bei der apikalen gegenüber der laminalen Artikulation ist F1 niedriger und
- (2) die Transientenübergänge abrupt;
- (3) mit der Vergrößerung der pharyngalen Öffnung verändert sich F2 (die Richtung ist nicht eindeutig);
- (4) die laminalen Artikulation führt zu einer geringeren F2-F3-Differenz.

Auf der Abbildung 4-39 in Kapitel 4 war in der Gruppe 2 eine Tendenz zur Erhöhung von F1 erkennbar, die für drei von vier Patienten galt. Der Wert für die Gruppe 1 (GL3) war unverändert. In der Gruppe 3 war diese Tendenz mit einem höheren, einem niedrigeren und einem gleich bleibenden Wert nicht nachzuweisen.

Die qualitative Kategorie abrupter bzw. fließender Transientenübergang zeigt keinen eindeutigen Zusammenhang mit apikaler vs. laminaler Artikulation: obwohl präoperativ ausschließlich apikal artikuliert wurde, waren die Übergänge von GL5 und GL8 eher fließend. Andersherum waren im Sonogramm postoperativ bei den Patienten GL4 und GL6 z. T. abrupte Übergänge erkennbar, obwohl // laminal gesprochen wurde. Ein klarer Zusammenhang

ist zwischen dem Fehlen der Transienten und dem fehlenden lateralen Eindruck bzw. der nicht erfolgten lateralen Lösung erkennbar.

Die postoperative Erweiterung des pharyngalen Raums führte im Allgemeinen zu einer Steigung von F2: bei vier von fünf Patienten mit größerer pharyngaler Öffnung wurden höhere F2-Werte beobachtet, bei einem Patienten (GL8) blieben sie gleich. Der F2-Wert von GL6, dessen // -Produktion nach der Operation mit einer pharyngalen Enge einherging, hatte einen niedrigeren F2. GL2, bei dem keine Veränderung in der Zungen-Rachen-Distanz festgestellt wurde, zeigt einen Anstieg des postoperativen F2, bei GL4 und GL7 bleibt der Formant gleich. Zieht man den um den F2 von /a/ verringerten Wert zur Analyse heran, ergibt sich ein etwas anderes Bild: bei GL3 bleiben die postoperativen F2-Werte in etwa gleich, bei den meisten Patienten vergrößern sie sich im Vergleich zum F2 von /a/, lediglich GL6 und GL5 zeigen keine Veränderung.

Die F2-F3-Differenz fällt postoperativ bei sechs Patienten geringer aus als vor der Operation, bei GL8 bleibt sie gleich, bei GL7 ist sie größer. Dies gilt auch für GL3, der zwar postoperativ die apikale Artikulation beibehält, jedoch postoperativ eine etwas größere pharyngale Enge hat.

Aus diesen Daten ist eine Tendenz zu einem postoperativ höheren F1, F2 (absolut wie relativ) sowie zur Verringerung der F2-F3-Differenz erkennbar.

Die in Kapitel 3 beschriebenen Unterschiede zwischen apikaler und laminaler Artikulation basieren auf normalsprachlichen Daten mit unterschiedlichen Realisierungen innerhalb eines Sprechers oder einer Sprache. Bei dieser Patientengruppe war die laminale Artikulation jedoch nicht durch kontrollierte artikulatorische Vorgänge, sondern durch die eingeschränkte Zungenmobilität sowie die veränderten anatomischen Verhältnisse bedingt. Es ist interessant, dass die für die normalsprachliche Artikulation beschriebenen akustischen Korrelate sich hier dennoch wiederfinden lassen.

5.4 Der velare Frikativ /x/

In Kapitel 3 wurde die vorläufige Hypothese formuliert, dass die artikulatorische Varianz bei /x/ größer ausfällt als bei den bisher analysierten drei koronalen Lauten. Dies wurde mit der großen allophonischen Varianz des Phonems sowie seiner großen auditiven Entfernung zu weiteren, potentiell verwechselbaren Phonemen begründet.

Postoperativ konnte bei keinem der Patienten eine deutlich hörbare Beeinträchtigung wahrgenommen werden.

In Abbildung 5-34a wurden die Distanzkurven für alle präoperativen Realisierungen abgebildet. Daraus wird deutlich, dass die Engebildung bei allen Patienten zwischen 60° und 90° stattfindet, d. h. im velaren und nicht im uvularen Bereich. Ferner macht der Vergleich zwischen Abbildung 5-34a und Abbildung 5-5a und b deutlich, dass die Variationsbreite für die Verengung bei /x/ mit ca. 10 mm etwa doppelt so hoch ausfällt wie für /z/ und /ʃ/ (jeweils ca. 5 mm).

Ein anderes Bild ergibt sich bei den postoperativen Realisierungen. Das mittlere Diagramm der Abbildung 5-34 stellt ein recht undifferenziertes Bild ohne klar erkennbare Tendenzen dar. Zwar verringern sich die Distanzen leicht um 80°, doch die Differenz zum anterioren und pharyngalen Raum (0–60° bzw. 120–180°) ist keineswegs so stark ausgeprägt wie präoperativ. Um das Bild nicht durch einzelne, stark von der Gesamtheit abweichende Realisierungen zu verzerren, wurden die Daten von zwei Patienten vernachlässigt: von GL5, der keinen velaren Verschluss oder Verengung produzieren konnte, sowie von GL8, bei dem die Zungen-Alveolen-Gaumen-Distanz im vorderen Mundhöhlenbereich auffällig groß war. Allerdings nimmt Abbildung 5-34c auch nicht den für *a* charakteristischen Verlauf an, stattdessen ist der anteriore Kurvenabfall zur Verengungsstelle hin nun noch weniger deutlich und eine markante Verengungsstelle ist nicht erkennbar.

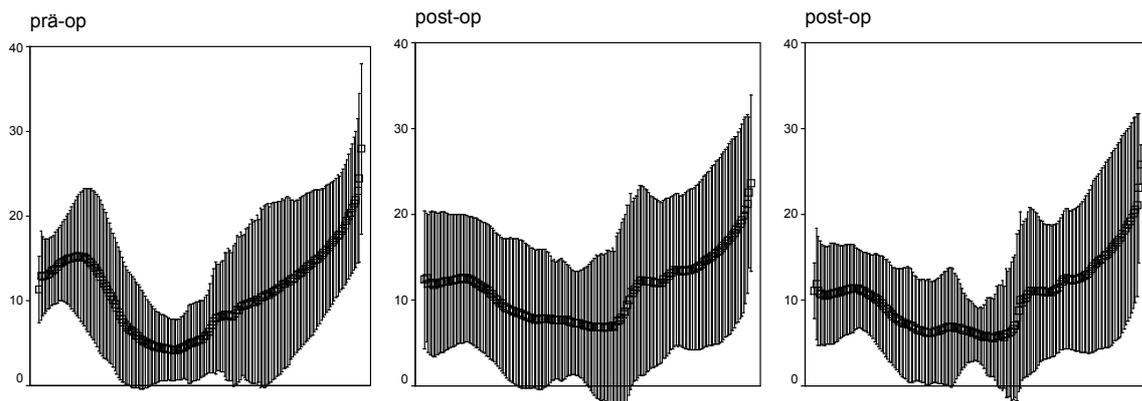


Abbildung 5-34a-c: Streudiagramm über alle Distanzmessungen für /x/ in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) postoperativ ohne GL5 und 8. x-Achse: Winkel (0–180°), y-Achse: Distanz (mm).

5.4.1 Einzeldarstellung

Wie im vorangehenden Kapitel beschrieben wurde, unterschieden sich die /x/-Realisierungen auditiv stark voneinander, sowohl prä- als auch postoperativ, z. T. auch intraindividuell. Eine beeinträchtigte Produktion wurde lediglich bei GL5 festgestellt. Abweichend von der bisherigen Vorgehensweise wurde die Gruppenbildung daher nicht anhand der auditiven Beurteilung der postoperativen Lautbildung vorgenommen; als Kriterium galt, ob die postoperative Artikulationsstelle mit der präoperativen identisch war (Gruppe 1) oder nicht (Gruppe 2).

5.4.1.1 Gruppe 1

GL1

Die Engebildung erfolgt präoperativ eher uvular als velar, eine Senkung des Zäpfchens wurde dabei jedoch nicht beobachtet. Die postoperative Zungenform in Abbildung 5-35b zeigt eine große Veränderung, die Entfernung zwischen Zungenrücken und Uvula scheint wesentlich größer zu sein, eine echte Konstriktion kommt nicht zustande. Dieser Eindruck wird anhand der gemittelten Distanzkurve jedoch nicht bestätigt. Zwar ist der vordere Zungenanteil gewölbt anstatt flach, doch scheint sich die Verengung ihrer Lokalisierung nach nicht verändert zu haben, lediglich die Distanz zwischen Zungenrücken und Uvula ist um ca. 2 mm größer. Die Lippen sind präoperativ wenig geöffnet und gerundet, als perseveratorischer Effekt des vorangehenden Vokals /u:/. Postoperativ ist die Lippenöffnung größer, der Unterkiefer ist etwas nach hinten gezogen.

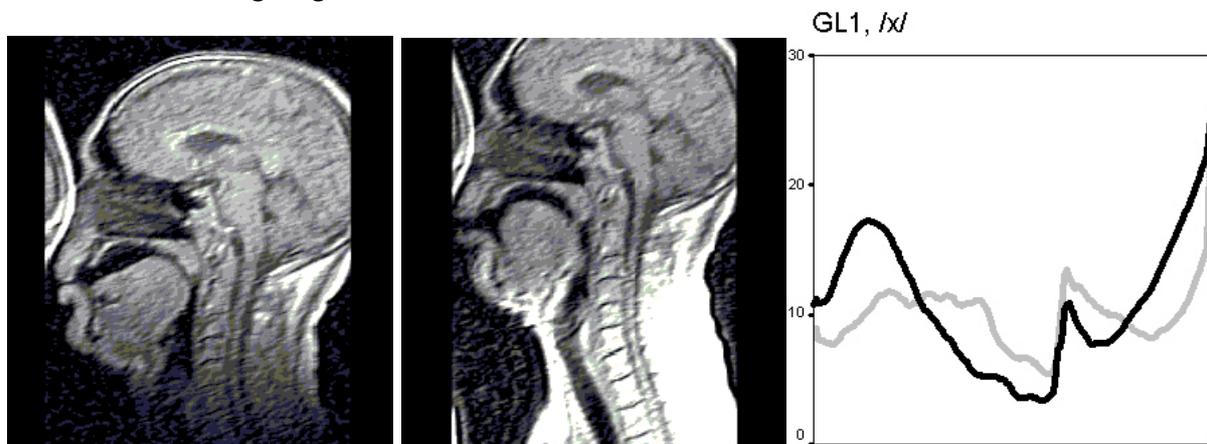


Abbildung 5-35a-c: GL1: /x/-Produktion in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

GL3

Die Zungenposition ist prä- und postoperativ weitgehend identisch, die Verengung wird velar gebildet. Der einzige Unterschied besteht darin, dass der Durchmesser der Enge postoperativ um ca. 2 mm kleiner ausfällt als präoperativ. Wie bei GL1, sind die Lippen nur wenig geöffnet und sind koartikulatorisch bedingt gestülpt.

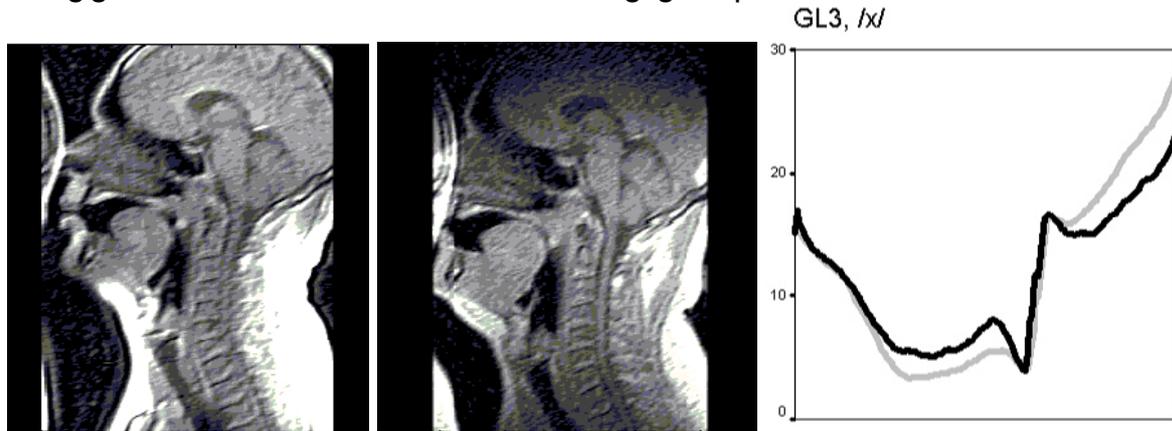


Abbildung 5-36a-c: GL3: /x/-Produktion in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

GL7

Die Stelle der Verengung ist bei GL7 nicht eindeutig velar, sondern eher uvular und geht mit der Senkung des Zäpfchens einher. Die Distanzkurven verlaufen weitgehend ähnlich, mit dem Unterschied, dass der vordere Zungenanteil präoperativ etwas tiefer liegt. Es ist nicht klar, ob dies eine Folge der präoperativ nach hinten gebeugten Kopfposition ist, oder ob die postoperativ höhere Zungenlage aus der Mobilitätseinschränkung der Zunge resultiert. Auf beiden Scans ist eine kleine Mundöffnung und eine leichte Lippenrundung erkennbar.

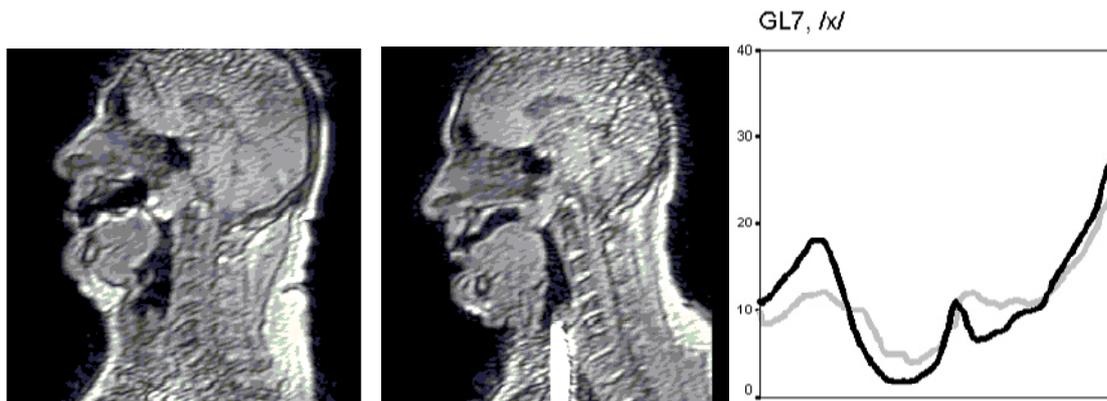


Abbildung 5-37a-c: GL7: /x/-Produktion in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

GL2

Die Artikulationsstelle von GL2 ist prä- wie postoperativ gleichermaßen velar. Außer der leicht vergrößerten Engedistanz ergibt sich postoperativ keine bemerkenswerte Änderung an der Distanzkurve. Die Lippenposition ist aufgrund des Gradientenecho-Artefakts auf Abbildung 5-38a nicht erkennbar, und auf Abbildung 5-38b zeigt sich ein ähnliches Muster wie bei GL3 und GL7. Die für die postoperative Produktion auditiv festgestellte stärkere Friktion lässt sich an den Scans und der Distanzkurve nicht manifestieren.

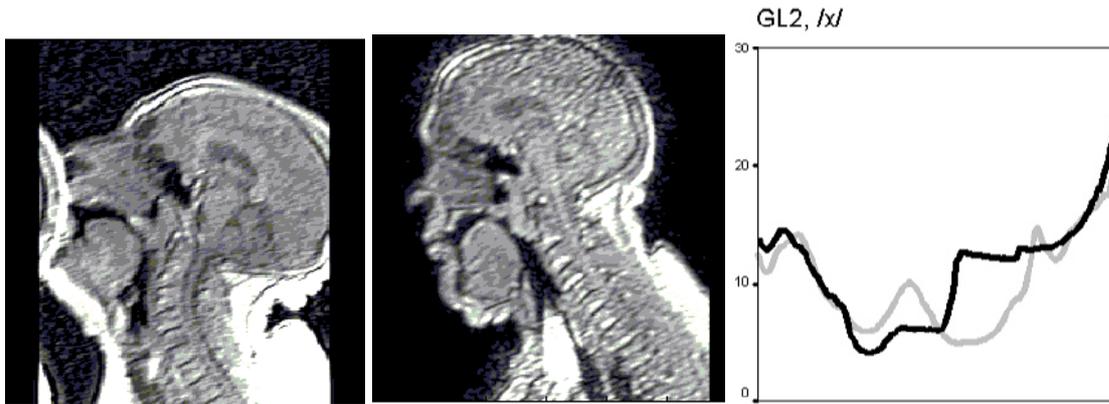


Abbildung 5-38a-c: GL2: /x/-Produktion in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

5.4.1.2 Gruppe 2

GL4

Die präoperative Enge ist stark nach hinten verlagert und eindeutig uvular. Auf dem postoperativen Scan lässt sich die Konstriktion nicht eindeutig lokalisieren. Sicher ist lediglich die Berührung mit der Uvula (der helle Streifen parallel zum Zungenrücken kann auch ein Bewegungsartefakt sein). Präoperativ kann kein velarer Kontakt festgestellt werden: die beiden Minima der präoperativen Kurve deuten auf den Kontakt mit der Uvula und mit der Rachenwand hin, während die postoperativen Minima etwas weiter vorn zu lokalisieren sind, so dass eher ein velar-uvularer Kontakt anzunehmen ist. Es ist daher wahrscheinlich, dass die postoperative Artikulationsstelle weniger spezifiziert ist. Unklar ist jedoch, ob die postoperative stärkere Friktion hieraus oder aus einer sorgfältigeren Artikulation folgt.

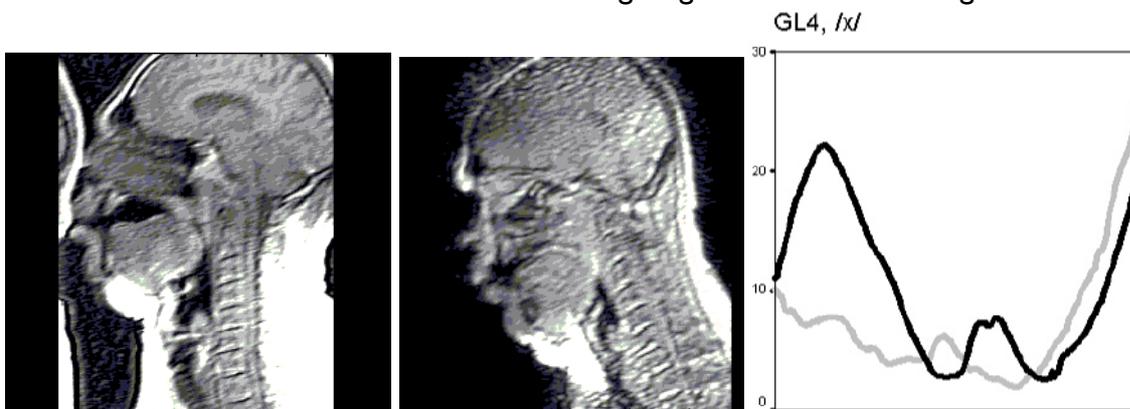


Abbildung 5-39a-c: GL4: /x/-Produktion in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

GL6

Die präoperative Artikulation ist rein velar, der postoperative Kontakt schließt die Uvula mit ein, was am zweiten Minimum in der postoperativen Distanzkurve erkennbar ist. Die Lippenöffnung ist klein, die Stülpung nur mäßig ausgeprägt.



Abbildung 5-40a-c: GL6: /x/-Produktion in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

GL8

Die präoperative /x/-Artikulation von GL8 ist velar, die postoperative uvular. Da für die Verengung an der Uvula eine geringfügigere Hebung des Zungenkörpers ausreicht, ist davon auszugehen, dass die durchgehend uvulare Artikulation kompensatorisch angewandt wird. Dies unterstützt die Beobachtung, dass der velare Plosiv /k/ im Wort *König* ebenfalls eine uvulare Artikulationsstelle vorweist. Die Veränderung der Artikulationsstelle ist an den Distanzkurven ebenfalls eindeutig zu erkennen, ebenso die etwas größere Entfernung zwischen Zungenrücken und Uvula bei der Konstriktionsbildung. Die Lippenöffnung ist bei GL8 deutlich größer als bei den anderen Patienten, die Lippenrundung ist geringfügig ausgeprägt, der Unterkiefer erscheint plump und zurückverlagert.

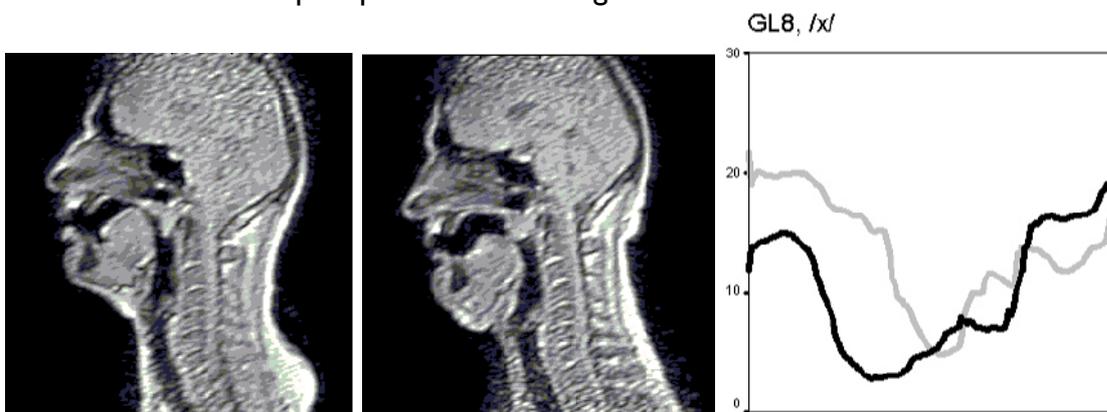


Abbildung 5-41a-c: GL8: /x/-Produktion in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

GL5

Die präoperative Engebildung ist velar, die postoperative Verengung befindet sich im palatal-velaren Raum, wobei eine richtige Konstriktion nicht gebildet werden kann, die kleinste Entfernung beträgt ca. 10 mm. Dennoch wird die für /x/ erforderliche Zungenkontur in etwa nachgebildet, so dass es auditiv zu einem velar klingenden Laut kommt und somit eine annähernd adäquate Lautqualität gewahrt bleibt. Die koartikulatorischen Effekte von /u:/ bleiben aus, da die Kieferöffnung und die Lippenmotorik stark eingeschränkt sind.

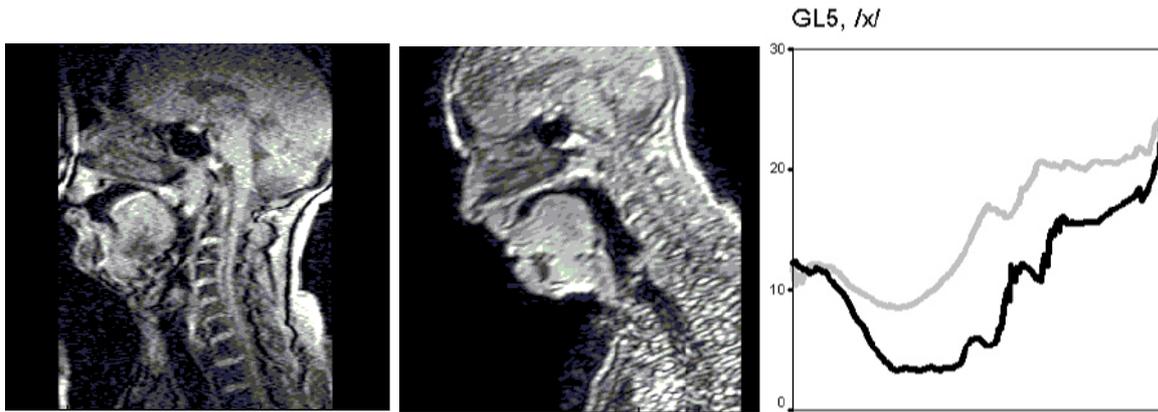


Abbildung 5-42a-c: GL5: /x/-Produktion in *Tuch*, (a) präoperativ, (b) postoperativ, (c) anhand der ZAGR-Distanz-Kurven (schwarz: präoperativ, grau: postoperativ).

5.4.2 Distanz- und Steigungskurven

Bei fünf von acht Patienten (GL1, GL4, GL6, GL7, GL8) wurde eine höhere Lage der Zunge vor der Verengung (bzw. kleinere Zungen-Gaumen-Distanzen) festgestellt. Dies scheint sich jedoch nicht entscheidend auf die Lautqualität von /x/ auszuwirken. Trotz einer recht guten Identifizierbarkeit bestehen inter- und individuelle Unterschiede (was Stelle, Länge und Durchmesser der Verengung betrifft). Im Folgenden werden, entsprechend der bei den Alveolarlauten verwendeten Variablen, (1) die Position des Verengungsminimums, (2) die Anzahl der Winkelpunkte, an denen die Steigung $\pm 0,1$ nicht übersteigt, sowie (3) die minimale Distanz an der Verengungsstelle näher untersucht.

Eine velare Artikulation wurde bei fünf Patienten (GL2, GL3, GL5, GL6 und GL8) festgestellt, während die Produktion von GL1, GL4 und GL7 trotz der für die /u/-Umgebung geltende Erwartung uvular war. Da eine postoperative Veränderung auf einen Kompensationsmechanismus hindeuten könnte, wurden die Parameter, die die Engebildung betreffen, getrennt für die präoperativ velar und uvular artikulierende Gruppe ermittelt.

Die Stelle der minimalen Distanz lag in der velaren Gruppe zwischen $50\text{--}65^\circ$. Davon wichen GL6 (101°) und GL8 ab (94°), bei denen postoperativ eine uvulare Artikulation festgestellt wurde. Die minimale Distanz wurde in der uvularen Gruppe zwischen 71° und 103° gemessen, Überschneidungen mit der velaren Gruppe lagen also nicht vor. Die postoperativen Minima lagen bei $76\text{--}104^\circ$. Ein Wechsel des Artikulationsortes für /x/ lag objektiv gesehen demnach nur für GL8 vor.

Die minimale Distanz war bei der velaren Gruppe etwas größer ($\bar{x}_D(x_{prä}) = 3,99$ mm, $\bar{x}_D(x_{post}) = 5,24$ mm) als bei der uvularen Gruppe ($\bar{x}_D(x_{prä}) = 2,69$ mm, $\bar{x}_D(x_{post}) = 3,67$ mm). Diese Tendenz zum vergrößerten Engedurchmesser war bei sechs Patienten erkennbar. Die Anzahl der von der Verengung betroffenen Winkelpunkte fiel für die velare und uvulare Gruppe in etwa gleich groß aus (velar: 13,20 mm, uvular: 11,33 mm). Eine postoperative Veränderung von mehr als 2 mm wurde nur bei GL5 beobachtet, dessen Zungenrücken durch die Fixierung des anterioren Zungenanteils nur eingeschränkt beweglich war.

Überraschend ist die deutliche postoperative Reduktion der Konstriktionslänge in der velaren Gruppe. Eine Überprüfung der zugehörigen Distanzkurven macht es jedoch unwahrscheinlich, dass die zahlenmäßige Reduktion ein reales Phänomen widerspiegelt. Beim näheren Betrachten zeigt sich, dass eine verkürzte Konstriktion zwar für GL1, aber nicht bei GL4 (keine klare Abgrenzung der Gewebestrukturen möglich) und GL7 (unebene Kurve aufgrund von zu wenig Wiederholungen) festgestellt werden kann. Die bei GL6 und GL8 festgestellten Verengungskürzungen hängen mit der postoperativen uvularen Artikulation zusammen.

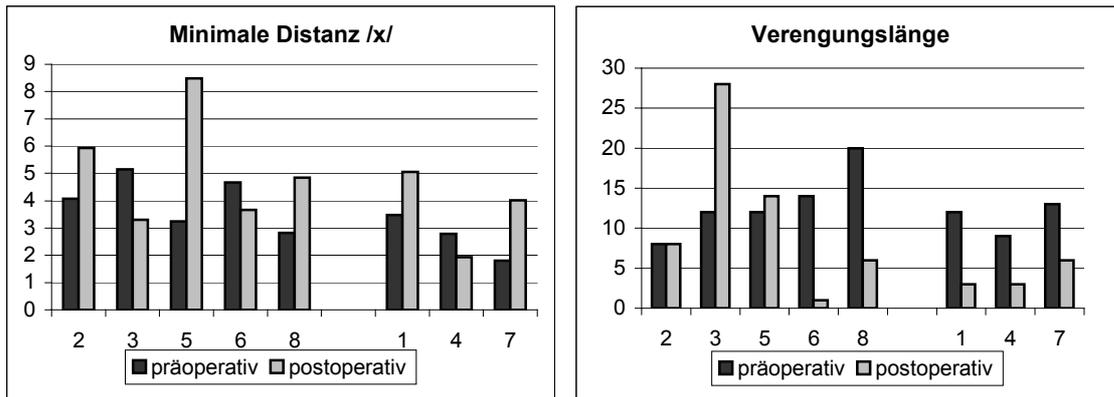


Abbildung 5-43a, b: (a) Minimale Distanz für die Verengung bei /x/ (mm), (b) Länge der Verengung (Grad).

5.4.3 Akustik und Artikulation in Vergleich

Die Zusammenführung der Ergebnisse der akustischen und artikulatorischen Analyse bereitet einige Schwierigkeiten, denn es scheint zwischen den Beobachtungen nur wenige Überschneidungen zu geben. Das auditiv ermittelte Merkmal Friktion konnte akustisch anhand von Centre of Gravity und Dispersion sowie der im Spektrum sichtbaren Formantenstruktur nachgewiesen werden. Allerdings wurde kein artikulatorisches Merkmal gefunden, das bei der präoperativen /x/-Produktion von GL7 und GL8 auf eine stärkere Friktion hindeuten würde. Auch postoperative Veränderungen des Friktionsgeräusches (in vier Fällen stärker, in zwei Fällen schwächer) konnten mit den ermittelten artikulatorischen Parametern Artikulationsort, Durchmesser und Länge der Verengung nicht in Verbindung gebracht werden. Es ist daher anzunehmen, dass die Friktion, die vermutlich durch die Beteiligung der Uvula entsteht (auch wenn sie nicht die primäre Artikulationsstelle ist), in einem statischen Ausschnitt aus der MRT-Sequenz nicht unmittelbar zu erkennen ist.

Die artikulatorische Analyse ergab, dass /x/ präoperativ von fünf Patienten velar artikuliert wurde, postoperativ hatte ein Patient eine uvulare Artikulation, und bei einem Patienten war die Uvula zusätzlich zum Velum an der Verengung beteiligt. Die restlichen drei Patienten produzierten /x/ prä- und postoperativ uvular.

Jassem (1968) gibt für das uvulare [χ] ein Spektrum an, das ab ca. 2 kHz steil ansteigt und bis ca. 8 kHz nicht abfällt. Dabei sind drei gut strukturierte Gipfel erkennbar. Das Spektrum für das velare [x] hingegen hat einen großen Gipfel bei 2 kHz, danach ist es recht flach mit evtl. einem weiteren kleinen Gipfel um 4,5 kHz. Eine zusätzliche Orientierung bieten in Jassems Beschreibung die Frikativformanten, von denen bei [x] der F2 um 1,5 kHz stark ausgeprägt ist, während im Spektrum von [χ] F4 um 3,5 kHz die höchste Intensität hat.

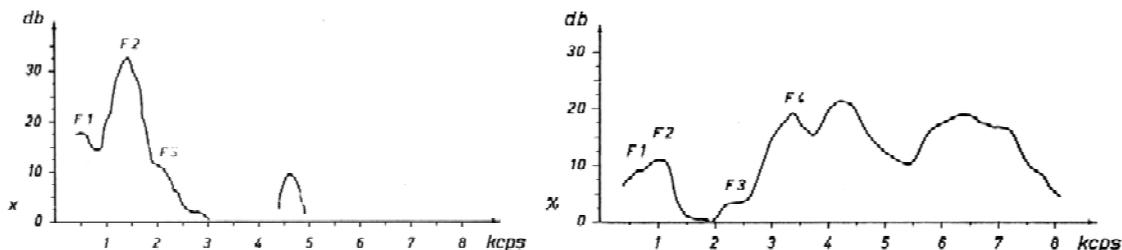


Abbildung 5-44a, b: Hüllkurven für (a) /x/ und (b) /χ/. (Quelle: Jassem, 1968: 201.)

Die Spektren von drei velar und zwei uvular artikulierenden Patienten lassen sich anhand ihrer Hüllkurvenform dem jeweils artikulatorisch beobachteten Allophon zuordnen. Während das linke Bild über den gesamten Frequenzraum abfallende Kurven zeigt, sind die Kurven in der Abbildung 5-45b strukturiert und haben um 3–3,5 kHz einen ausgeprägten Gipfel. Widersprüchlich ist bei GL3 das Vorhandensein eines kleinen Gipfels bei 3 kHz (s. Tabelle 4-13 und die unten stehende Abbildung), deren Ausprägung jedoch so schwach ist, dass eine Interpretation des Spektrums als zu [χ] gehörig nicht gerechtfertigt wäre.

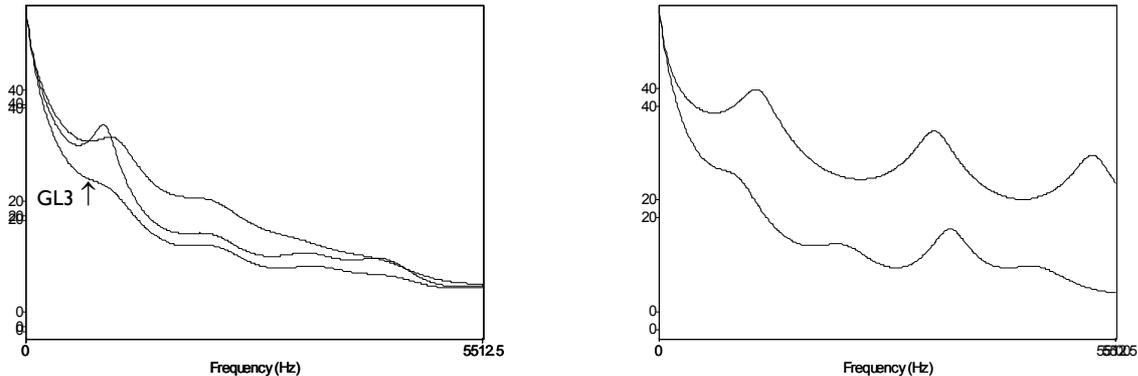


Abbildung 5-45a, b: (a) velares [x] bei GL2, GL3, GL5 präoperativ, (b) uvulares [χ] bei GL1 und GL7, präoperativ (LPC-Spektrum mit 5 Gipfeln, 0–5,5 kHz).

Bei drei Patienten konnte anhand der LPC-Kurven keine Übereinstimmung zwischen dem Spektrum und den im MRI-Scan ermittelten Artikulationsorten festgestellt werden. Das Spektrum ist bei GL6 strukturiert und weist einen Gipfel bei 3,5 kHz anstatt bei 4,5 kHz auf, bei GL8 fällt er zwar nach 2 kHz ab, der endgültige Abfall erfolgt jedoch erst ab 5,5 kHz. Das Spektrum von GL4 zeigt bis 5,5 kHz nur den für /x/ charakteristischen steilen Abfall. Betrachtet man die prägnanten Regionen, so findet man bei GL6 einen Gipfel um 3,5 kHz, bei GL8 um 4,5 kHz und bei GL4 um 3,6 kHz.

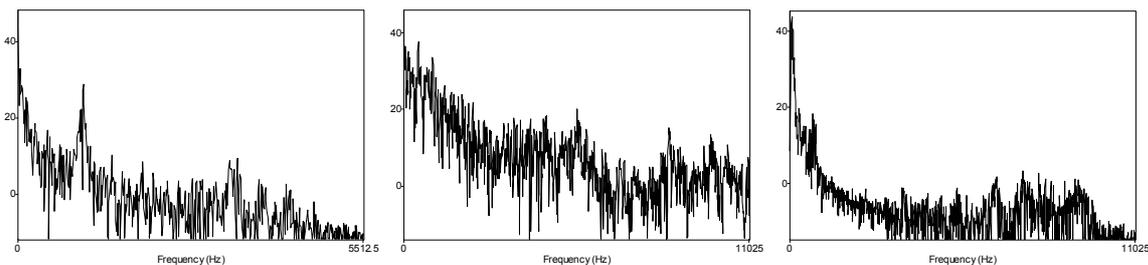


Abbildung 5-46a–c: /x/ von a: GL6 (bis 5,5 kHz), b: GL8 (bis 11 kHz), c: GL4 (bis 11 kHz), postoperativ.

Die Kernspinaufnahmen zeugen davon, dass GL6 und GL8 postoperativ zu einer – zumindest teilweise – uvularen Artikulation übergehen. Es lohnt sich daher, einen Blick auf die postoperativen Spektren dieser Patienten mit uvularer Artikulation zu werfen. Abbildung 5-47 zeigt, dass die Hüllkurve von GL6 im Bereich um 3,5 kHz wie schon präoperativ eine höhere Intensität vorweist und somit auf eine uvuläre Realisierung als [χ] hindeutet. Das Spektrum von GL8 und der Gipfel um 3,5 kHz lassen sich ebenfalls mit einer uvularen Realisierung in Einklang bringen. Auch das Spektrum von GL4 zeigt die charakteristische Form eines uvularen Frikativs mit einem Gipfel bei 3,4 kHz.

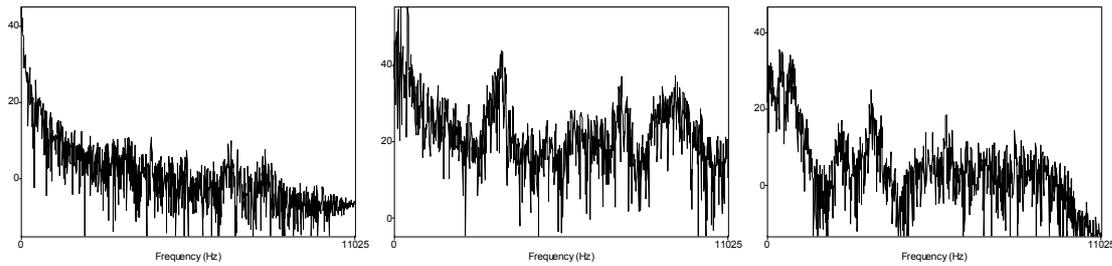


Abbildung 5-47a–c: Postoperative /x/-Spektrum von (a) GL6, (b) GL8, (c) GL4, alle bis 11 kHz.

Die Zusammenhänge zwischen Artikulationsort einerseits und spektralen Eigenschaften andererseits scheinen demnach recht komplex zu sein. Anhand der Hüllkurvenform lassen sich fünf Patienten dem erwarteten artikulatorischen Muster zuordnen. Die Formantenwerte führen bei ebenfalls fünf (z. T. unterschiedlichen) Patienten zum entsprechenden Artikulationsort. Es ist anzunehmen, dass die bei GL8 beobachteten prä- und postoperativen akustischen Unterschiede eine Einteilung der ersten Realisierung als velar, der zweiten als uvular rechtfertigen. Fraglich ist, ob dies für GL6 ebenfalls gilt. Geht man von dem für [x] charakteristischen Gipfel um 2 kHz aus, so könnte man diese Frage bejahen, allerdings sind die Hüllkurven zu ähnlich, als dass hier zwei unterschiedliche Realisierungen angenommen werden könnten. Die Frage nach dem genauen Artikulationsort kann anhand der vorliegenden Spektren kaum beantwortet werden.

Unwahrscheinlich ist, dass GL4 /x/ bei der präoperativen akustischen Aufnahme uvular produziert hätte, trotz des prägnanten Bereichs bei 3,6 kHz. Vielmehr ist davon auszugehen, dass sowohl GL4 als auch GL6 während der akustischen und der artikulatorischen Aufnahme unterschiedliche Allophone verwendet haben. Die nahezu identischen spektralen Bilder von GL6 rechtfertigen genauso wenig, hier zwei unterschiedliche Allophone anzunehmen, wie die recht verschiedenen Spektren von GL4 in beiden Fällen eine gleichermaßen uvulare Artikulation wahrscheinlich erscheinen lassen. Gerade bei GL4 ist es nicht abwegig, eine allophonische Variation anzunehmen, da auch /r/ während der MRT-Aufnahmesequenz in den meisten Fällen uvular, in einem Fall jedoch apikal artikuliert wird.

Offen bleibt die Frage, mit welcher spektralen Form die Friktion erfasst werden kann. Sicher ist, dass für eine eindeutige Zuordnung der Friktion zu einer strukturierten spektralen Kurve oder zur uvularen Artikulation im MRI keine Argumente vorliegen. Anhand der hier diskutierten Daten lassen sich dennoch folgende Feststellungen machen: (1) ein flaches Spektrum deutet auf ein friktionsarmes Klangbild hin (wie bei GL2, GL3, GL4, GL5), (2) ein langsam abfallendes oder strukturiertes Spektrum kann auf eine Friktion und/oder eine uvulare Artikulation hindeuten (GL1, GL7, GL8 präoperativ und GL8 postoperativ), (3) Bereiche mit einer höheren Intensität um 4,5 kHz machen eine velare, um 3,5 kHz eine uvulare Artikulation wahrscheinlicher (GL1, GL2, GL7, GL8).

Das hier dargestellte, recht verworrene Bild wird zusätzlich in Frage gestellt, wenn man bedenkt, dass die von Jassem (1969) angegebenen Spektren erstens auf der Lautproduktion eines einzigen Sprechers und zweitens auf gehaltenen Frikativen von 250–350 ms basieren. Damit ist wohl zu erklären, dass keines der Spektren eine vollständige Deckung mit den von Jassem vorgegebenen vorweist. So hat in den Abbildungen beispielsweise der niedrige Frequenzbereich immer eine höhere Intensität als die nachfolgenden Formanten. Es ist wohl auch gewagt, anhand der einzigen uns bekannten akustischen Untersuchung zur velar-uvularen Unterscheidung der Frikative zu weitgehenden Schlussfolgerungen zu kommen. Hier ist gewiss noch viel Potential für die weitere Forschung vorhanden.

5.5 Artikulatorische Parameter von /z/, /ʃ/, // und /x/

Abschließend werden die bisher besprochenen Konsonanten, drei koronale Phoneme und zwei velare Allophone des Deutschen, anhand der zur Untersuchung verwendeten Parameter noch einmal in Übersicht diskutiert. Die Darstellung beruht auf den arithmetischen Mitteln der jeweiligen Konsonanten und Gruppen.

Ausgehend von der charakteristischen Artikulationsart für // und die Sibilanten /z/ und /ʃ/ würde man erwarten, dass die Entfernung zwischen Zungenspitze und Alveolen in der midsagittalen Ebene minimal ist, während die Distanz bei /z/ und /ʃ/ aufgrund der Rillenbildung größer ist. Betrachtet man die Röntgendarstellungen zu /s/ und /ʃ/ in Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2, so erwartet man für /z/ einen engeren Kontakt als bei /ʃ/. Aufgrund des geringeren Bedarfs an Präzision und des daraus resultierenden Ökonomieeffekts sind bei den hinteren Konsonanten größere Abstände zu erwarten.

Diese Erwartungen lassen sich für die präoperativen Aufnahmen mit der Einschränkung bestätigen (Abbildung 5-48a), dass der uvulare Frikativ mit einer recht engen Konstriktion einhergeht. Dies ist nicht verwunderlich, da die Uvula – anders als die Alveolen oder der harte Gaumen – ein bewegliches Organ ist und am Zustandekommen einer Verengung aktiv mitwirken kann.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Länge der Verengung. Wie erwartet, geht das apikal artikulierte // mit einem punktuellen Kontakt einher, der in den meisten Fällen nicht über den Abstand von mindestens einem Grad besteht (d. h. das Minimum betrifft einen einzigen Winkel, in diesem Fall ist der Wert 0). Das laminale /z/ wird mit einem geringeren Kontakt gebildet als das postalveolare /ʃ/, das mit einer gewölbten Zungenform und einer leichten Palatalisierung einhergeht. Deutlich größer ist die Berührungsfläche bei den dorsalen Konsonanten, was aufgrund der geringeren Bewegungsfreiheit des Zungenrückens im Vergleich zur Zungenspitze nicht überrascht.

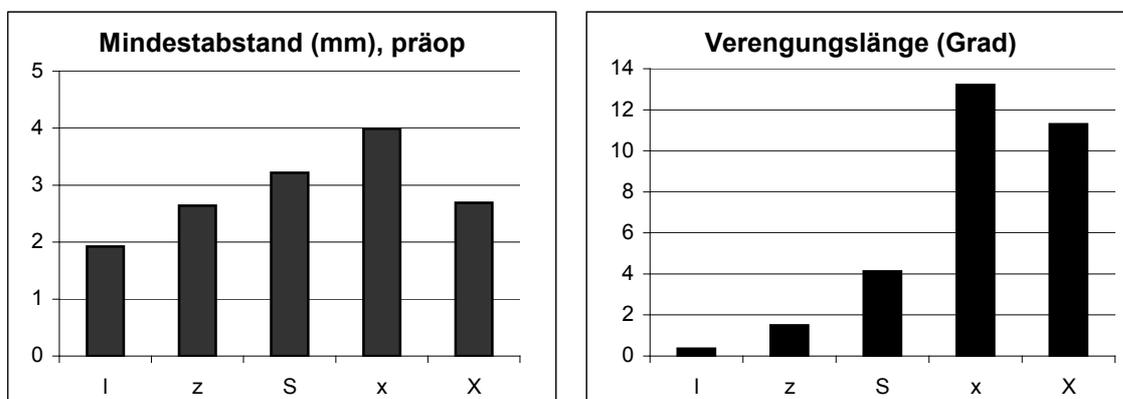


Abbildung 5-48a, b: (a) Durchschnittlicher Abstand an der Verengungsstelle zwischen Zunge und dem Artikulationsorgan, (b) durchschnittliche Anzahl der Winkelpunkte, über die die Verengung aufrecht erhalten wird.

Untersucht wurde ferner der Winkelpunkt, an dem die Verengung zustande kommt. (Diese Angabe ist selbstverständlich nur für die alveolaren Konsonanten interessant, da die Werte für die velare und uvulare Artikulationsstelle höher ausfallen müssen.) Die Artikulationsstelle der Koronalen verschiebt sich in der Folge (1) apikal alveolar, (2) laminal alveolar, (3) laminal postalveolar nach hinten, wobei der Abstand zwischen dem alveolaren // und /z/ kleiner ist als zwischen den beiden Sibilanten /s/ und /ʃ/.

Der Parameter ‚Maximum – Minimum‘ diente dem Zweck, zwischen einer flachen (//, /z/) und einer gewölbten (/ʃ/) Zungenform zu unterscheiden. Wie Abbildung 5-49b zeigt, fällt die Zungenkontur bei // am schnellsten nach unten, während sie bei /ʃ/ nur eine geringfügige

Veränderung zeigt. Die bemerkenswerte Differenz zwischen /l/ und /z/ kann aus dem antizipatorischen Effekt der Folgevokale (die Phonemfolgen waren /#la/ und /o:zi:/) resultieren.

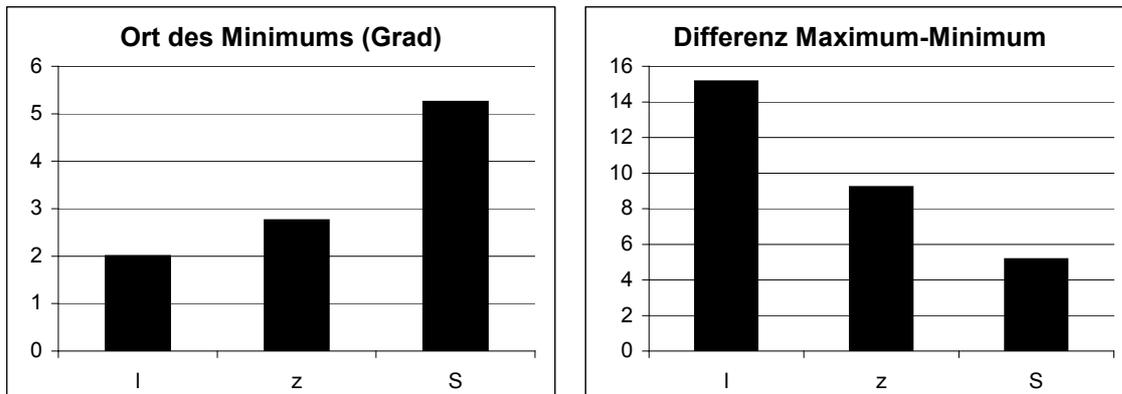


Abbildung 5-49a, b: (a) Winkel, an dem die minimale Distanz gemessen wurde, (b) Differenz zwischen minimaler und maximaler Distanz.

Bei den postoperativen Ergebnissen lässt sich ein allmähliches Verschwinden dieser Hierarchie über die Gruppen 1 ‚unbeeinträchtigtger auditiver Eindruck‘, 2 ‚beeinträchtigtger, aber identifizierbarer Laut‘ und 3 ‚Identifizierung des Ziellautes nicht möglich‘ beobachten. Die Reihenfolge (1) apikal alveolar, (2) laminal alveolar, (3) laminal postalveolar (4) velar blieb in der ersten Gruppe weitgehend erhalten, allerdings wurde /l/ mit einem größeren Abstand als /z/ oder /ʃ/ produziert. Beachtet man, dass der apikale Laut postoperativ insgesamt am meisten beeinträchtigt war (der auditive Eindruck war lediglich bei Patient GL3, unverändert, bei drei Patienten konnte der Laut nicht identifiziert werden), ist dies weniger verwunderlich als die Tatsache, dass die Patienten in Gruppe 2 und 3 die koronalen Laute dennoch nach dem gewohnten Muster artikulieren und den charakteristischen Unterschied der Verengungsdurchmesser selbst bei schwer gestörter Produktion beibehalten. Auffällig ist die große Entfernung für /ʃ/ bei Patient GL5, obwohl der gleiche Patient für /z/ eine engere Konstriktion produzieren kann. Vermutlich wird er daran bei /ʃ/ gehindert, indem er versucht, das gewohnte artikulatorische Muster in die postalveolare Region einzusetzen, wobei die Mobilität seiner Zungenspitze für einen Kontakt hinter dem alveolaren Bereich nicht ausreicht.

Aufgrund von Einschränkungen der Zungenmobilität bzw. Störungen der Feinmotorik ist die genaue Koordination im alveolaren Bereich für die Patienten nach der Operation nicht möglich. Die Anordnung der Artikulationsstellen (1) apikal alveolar, (2) laminal alveolar, (3) laminal postalveolar gerät in allen Gruppen durcheinander. Die Verengung für /z/ verschiebt sich nach hinten, /ʃ/ wird etwas weiter vorn artikuliert.

Die in der präoperativen Lautproduktion beobachtete Reihenfolge wird in der ersten Gruppe beibehalten. Auffällig ist der deutlich erhöhte Wert für /z/ in der zweiten Gruppe im Vergleich zu /ʃ/. Bedenkt man, dass die /z/-Produktion dieser Gruppe akustisch wie artikulatorisch stark dem Laut /ʃ/ angeglichen war, liegt die Vermutung nahe, dass der Adaptationsprozess bei diesen Patienten zum Zeitpunkt der postoperativen Aufnahme noch nicht abgeschlossen war. Es wird der Eindruck erweckt, dass die kompensatorischen Versuche bei /z/ zu übertriebenen Ergebnissen führen: die Bestrebung, die Verengung bei /z/ möglichst klein zu halten, resultiert in einem großflächigen und dadurch nach hinten verlagerten (= palatalisierten) Kontakt. Dabei könnte, wie das Beispiel von /ʃ/ zeigt, eine nahezu normale oder weniger auffällige Konstriktion gebildet werden.

Abbildung 5-50 zeigt, dass die Beibehaltung der adäquaten Zungenform für die Bildung der Alveolarlaute durch den chirurgischen Eingriff am schwersten beschädigt ist: während die Gewölbt-flach-Unterscheidung zwischen /z/ und /ʃ/ in der ersten Gruppe noch er-

halten bleibt (GL3, auf dessen // -Produktion das Ergebnis in Gruppe I basiert, sprach den Lateral auch präoperativ nicht mit flacher Zunge, s. Abbildung 5-33), kann eine solche Differenz (bzw. eine Maximumstelle) in den anderen beiden Gruppen nicht gebildet werden.

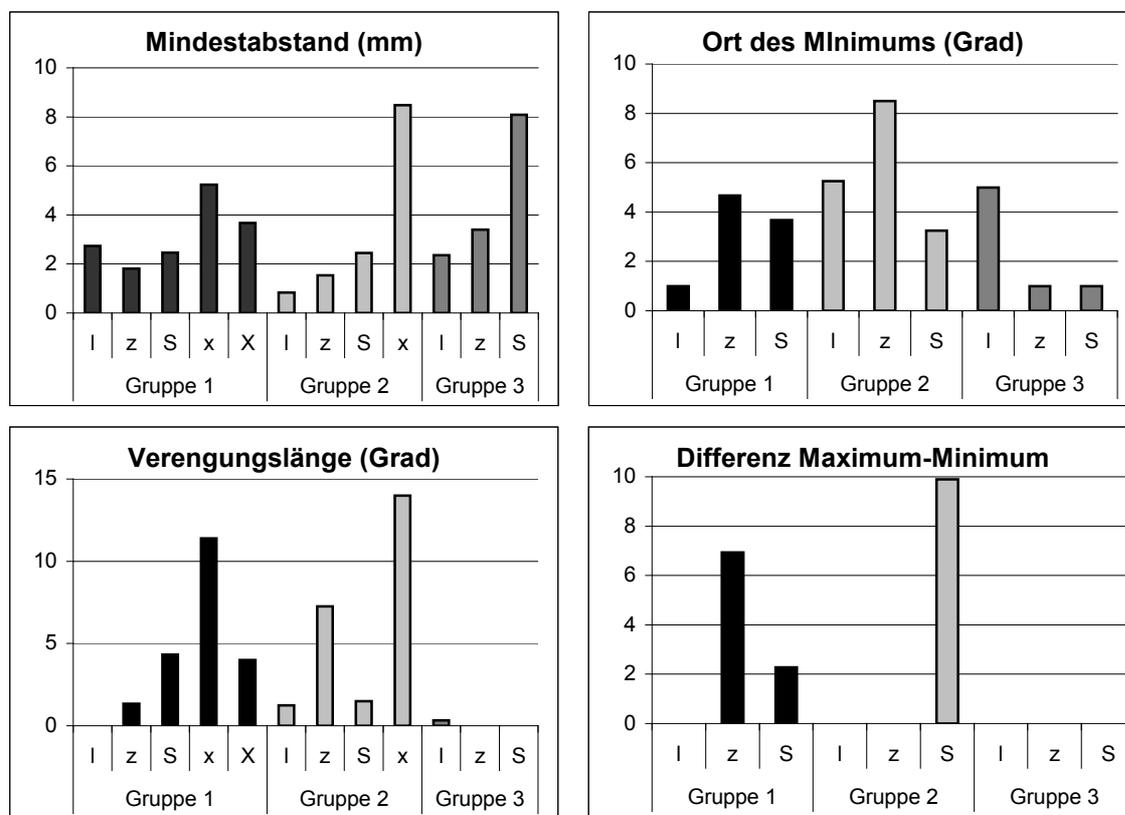


Abbildung 5-50a-d: (a) Minimale Distanz, (b) Stelle der minimalen Distanz, (c) Länge der Verengung, (d) Differenz zwischen maximaler und minimaler Verengung.

Diese Ergebnisse zeigen zweierlei: Erstens stellen die hier untersuchten Konsonanten unterschiedliche Schwierigkeitsgrade der Lautproduktion dar. Mit der stärksten Beeinträchtigung ist der apikale Lateral behaftet, gefolgt von dem alveolaren Sibilanten /z/. Die Beeinträchtigung von /j/ (meist Lateralisierung) fällt etwas geringer aus und sind zudem akustisch schwer zu erfassen. Wie erwartet, zeigt der velare Frikativ recht wenig Beeinträchtigungen, zumal, wie das Beispiel von GL8 zeigt, ein Ausweichen auf die uvulare Artikulation möglich ist, wobei das Zäpfchen bei eingeschränkter Mobilität des Zungenrückens kompensatorisch eingesetzt werden kann.

Die zweite Beobachtung ist die Robustheit der Verengungsdurchmesser gegenüber der Konstriktionsstelle oder Zungenform. Selbst bei schweren Produktionsstörungen, wenn der Ziellaut nicht mehr identifiziert werden kann, bleibt die für die Alveolarlaute festgestellte Hierarchie erhalten. Möglicherweise liegt dies daran, dass die Verengungsdistanz eine geringere feinmotorische Koordination erfordert als die Fähigkeit, den Artikulationsort, die Verengungslänge oder gar die Zungenform dem präoperativen Zustand möglichst anzupassen. Aus der konsequenten Beibehaltung der lautspezifischen Verengungssenge kann gefolgert werden, dass dieses Parameter eine unabhängige Größe in der Produktion der hier besprochenen Laute darstellt.

5.6 Postoperative Evaluierung nach den erhaltenen anatomischen Strukturen

Abschließend werden die Zusammenhänge zwischen den postoperativen anatomischen Gegebenheiten sowie der Einzelausproduktion diskutiert. Zuerst werden die unter 3.1.2 vorgestellten Hypothesen zur Ursache der spektralen Differenzen zwischen /s/ und /ʃ/ evaluiert, gefolgt von einer Bewertung der unter 2.3.9 formulierten Vorhersagen anhand der Ergebnisse der Kapitel 4 und 5.

Die Interpretation des Zusammenhangs zwischen der auditiven, akustischen und artikulatorischen Beurteilung der /ʃ/-Produktion in Hinblick auf das Vorhandensein eines sublingualen Hohlraums erweist sich in mehrfacher Hinsicht als problematisch. Ein ungestörter auditiver Eindruck entsteht lediglich bei den Patienten GL3 und GL4 (mit der Einschränkung einer leichten, bereits präoperativ vorhandenen Lateralisierung). Während im postoperativen Scan von GL3 eindeutig ein sublingualer Raum erkennbar ist, könnte dieser bei GL4 eher als prälingualer Raum definiert werden, der sowohl durch eine größere Kieferöffnung als auch durch Gewebeschrumpfung infolge der Exzision der unteren Schneidezähne entstanden sein kann. Bemerkenswert ist, dass der postoperative CoG-Wert bei beiden Patienten niedriger als der präoperative Wert ausfällt, wobei der sublinguale Hohlraum gegenüber dem präoperativen Zustand nicht vergrößert erscheint.

Die postoperative akustische Differenzierung zwischen /z/ und /ʃ/ im Sinne der Centre of Gravity erlaubt ebenfalls keine eindeutige Zuordnung zum Vorhandensein eines sublingualen Hohlraums. Das bei GL3 und GL4 beobachtete, den Vorhersagen entsprechende Muster eines niedrigeren CoG-Werts für /ʃ/ gegenüber /z/ gilt nicht für GL1, der zwar einen sublingualen Hohlraum bildet, /z/ und /ʃ/ jedoch weder akustisch noch auditiv ausreichend differenziert werden. Die Patienten GL2, GL6, GL7 und GL8 produzieren beide Sibilanten ohne sublingualen Hohlraum und mit nahezu identischen CoG-Werten. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die postoperativen CoG-Werte von GL5 für /z/ stark abgesenkt, für /ʃ/ jedoch nahezu unverändert sind.

Die Hypothese von Perkell, Boyce & Stevens (1979), nach der die für /s/ und /ʃ/ beobachtete spektrale Differenz von der Größe des sublingualen Hohlraums abhängt (indem der größere Hohlraum zu niedrigeren CoG-Werten führt), kann anhand der hier vorgestellten Daten nicht unterstützt werden, zumindest was die mitsagittale Ebene betrifft. Zwar wird eine erfolgreiche auditiv-akustische Distinktion postoperativ tatsächlich nur von zwei Patienten, die gleichzeitig einen Hohlraum vor der Konstriktionsstelle bilden, aufrecht erhalten, doch lässt sich bei den sonstigen Patienten ohne eine Hohlraumbildung nicht das erwartete Muster beobachten. Im Gegenteil: die Schwierigkeit scheint eher in der Produktion der hochfrequenten Resonanzen für /z/ zu liegen.

Ein zweites Problem liegt in der Entscheidung, ob /s/ oder /ʃ/ schwieriger zu produzieren seien. Eine auditiv gänzlich unauffällige Realisierung für /z/ wurde von GL3, GL4 und GL6, für /ʃ/ von GL3 und evtl. GL4 (abgesehen von der prä- und postoperativ vorhandenen, nicht pathologischen Lateralisierung) festgestellt, was die Vermutung von Perkell und Kollegen, die Produktion von /ʃ/ sei artikulatorisch anspruchsvoller, bestätigt. Auf der anderen Seite gelingt es der Hälfte der Patienten (Gruppe 2), ein zwar beeinträchtigtes, jedoch als /ʃ/ identifizierbares Segment zu bilden, während ihre /z/-Produktion auditiv, akustisch und artikulatorisch weitgehend den Charakteristika der /ʃ/-Produktion angenähert ist.

Unter Hinzuziehung der postoperativen anatomischen Strukturen muss der Annahme von Shadle (1990), die spektralen Charakteristika von /ʃ/ würden durch den Aufprall des Luftstroms an den unteren Schneidezähnen entstehen, ebenfalls widersprochen werden. Geht man von einer unveränderten postoperativen Realisierung aus, so kann hier GL4 als Gegenbeispiel zitiert werden, dessen postoperatives /ʃ/ trotz fehlender unterer Schneidezähne ein nahezu normales Spektrum hatte. Shadles zweite Annahme, die Produktion von /z/

hänge mit dem Aufprall des Luftstroms an den oberen Schneidezähnen zusammen, wird von den hier beschriebenen Ergebnissen weitgehend unterstützt. Bei den Patienten GL3, GL4 und GL6 mit einer normalen postoperativen /z/-Produktion sind die oberen Schneidezähne erhalten – hier bildet lediglich GL7 eine Ausnahme, dem die /z/-Produktion trotz der erhaltenen oberen Zahnreihe nicht gelingt. Die restlichen Patienten ohne obere Prämolaren produzieren /z/ palatalisiert oder als nicht identifizierbares Segment.

Die Möglichkeit der unbeeinträchtigten Sibilantenproduktion bei Fehlen der unteren Schneidezähne lässt zwei Interpretationen zu. Sofern die Hypothese Shadles ihre Richtigkeit behält, kann die Funktion eines sekundären Hindernisses auch von anderen Strukturen als von den unteren Prämolaren (z. B. vom Zahndamm) übernommen werden. Damit kann jedoch nicht erklärt werden, warum die Kompensation bei zwei Patienten möglich ist, bei fünf weiteren Patienten jedoch nicht stattfindet.

Im Lichte der hier vorgestellten Ergebnisse erscheint daher die Annahme von Narayanan, Alwan & Haker (1995) etwas wahrscheinlicher, nach der der Luftaufprall bei der Sibilantenproduktion allgemein, d. h. auch in der gesunden Produktion, nicht an den unteren, sondern an den oberen Schneidezähnen erfolgt. Dies würde die Übereinstimmung zwischen Bezahnung und Sibilantenproduktion bei den hier untersuchten Patienten erklären.

Eine dritte Möglichkeit ist, dass die erfolgreiche Sibilantenproduktion nicht allein vom Vorhandensein eines sublingualen Hohlraums oder der unteren bzw. oberen Schneidezähnen abhängt, sondern den insgesamt besseren Erhalt der postoperativen Funktionen im Sinne einer Koinzidenz widerspiegelt. Ein Hinweis hierfür könnte die kleinere Tumorausdehnung der Patienten GL3, GL4 und GL6 (T1) gegenüber den restlichen fünf Patienten (T2) sein.

Schließlich muss noch auf den Zusammenhang des M. genioglossus und der postoperativen Produktion der Koronallaute hingewiesen werden. Wie von Bole & Lesser (1966) betont wurde, spielt dieser Muskel bei der Sibilantenproduktion keine Rolle, jedoch konnte die Muskelfunktion für Alveolarlaute mit einer tieferen Zungenposition nachgewiesen werden. (In den Zielwörtern kamen alveolare Plosive und Nasale vor, die Definition schließt jedoch auch den Lateral mit ein.)

Der Zusammenhang zwischen der beeinträchtigten Funktion des M. genioglossus sowie der beeinträchtigten Lautproduktion lässt sich in den hier beschriebenen Daten eindeutig belegen: die unauffällige Produktion des apikalen Laterals gelang ausschließlich GL3, dem einzigen Patienten ohne eine Beeinträchtigung des M. genioglossus. Die Patienten GL4 und GL6, bei denen eine Beeinträchtigung dieses Muskels vorlag, konnten // nicht, das alveolare /z/ jedoch zufrieden stellend produzieren. Daher scheint der M. genioglossus für die Artikulation des apikalen Laterals eine wesentlich wichtigere Rolle zu spielen als für die der laminalen Sibilanten.

6 Verständlichkeit und Beurteilung der Sprechfähigkeit

6.1 Funktionsweise des Münchener Verständlichkeitsprofils

Das Münchner Verständlichkeitsprofil³² (MVP, s. Ziegler, Hartmann & Wiesner, 1992, und Ziegler & Hartmann, 1993) ist ein PC-basiertes Verfahren zur Ermittlung der objektiven Verständlichkeit von kontextfreien Wörtern, das zusätzlich ein Modul zur subjektiven Beurteilung der gesprochenen Sprache enthält. Diese Kombination erlaubt es, den Grad des Verständlichkeitsverlustes und den subjektiven Eindruck von der Störung (zusätzlich beeinflusst durch suprasegmentale Merkmale wie Stimmstörung oder Veränderungen im Sprechtempo) getrennt zu betrachten.

Das tragende Prinzip des MVP ist nicht eine subjektive Beurteilung der Verständlichkeit, sondern die Identifikation von Zielwörtern, die von den Patienten einzeln oder in kontextfreien Trägersätzen gesprochen werden. Die Kennzahl der Verständlichkeit ist somit nicht ein Wert auf einer subjektiven (Intervall-)Skala, sondern der prozentuelle Anteil richtig identifizierter Wörter. Die Targets und die Trägersätze werden für jede Sitzung neu von der Datenbank permutiert, die ca. 2800 Wörter und 2000 kontextlose Trägersätze wie *Das nächste Wort ist _* enthält.

Im Laufe des Verständlichkeitstests werden Hörern, die die Patienten nicht kennen und auf dem Gebiet der Sprachtherapie nach Möglichkeit wenig oder keine Erfahrung mitbringen sollten, 72 Stimuli auditiv dargeboten. Anschließend erscheinen zwölf Wörter auf dem Bildschirm, von denen sie eins auswählen sollen. Die Zusammenstellung dieser Wörter erfolgt nach dem Prinzip der phonologischen Nachbarschaft: fünf Wörter unterscheiden sich vom Zielwort um ein phonologisches Merkmal, sechs Wörter um zwei Merkmale (eine Opposition bezieht sich immer auf den primären, zwei auf den primären und den sekundären Ziellaut im Wort). Somit ist die Wortidentifikation nicht einfach eine Richtig-falsch-Aussage, sondern sie gibt zusätzlich Auskunft über die Ausprägung der Fehlidentifikation. Die phonologischen Merkmale bauen auf folgenden Oppositionen auf: Einzelkonsonant – Konsonantengruppe – Vokal, nasal – oral, Plosiv – Frikativ, labial – apikal – dorsal. Wird das Zielwort *Marken* als *Waffen* identifiziert, deutet dies auf eine Störung des Nasalitätsmerkmals (/v/ für /m/), der Bildung von Konsonantengruppen (/f/ für /rk/), von Plosiven und der velaren Artikulation (/f/ für /k/) hin.³³

Zusätzlich zum Verständlichkeitsmodul enthält der Test einen einleitenden Teil,³⁴ in dem die Hörer nach 10 Standardsätzen auf einer Skala folgende Variablen beurteilen sollen: Schweregrad der Sprachstörung, Deutlichkeit der Artikulation und Grad der Stimmstörung. Auf den Skalen ist die Kategorie „Keine Störung“ stets mit 0 repräsentiert; der Maximalwert liegt bei 6, wobei nur ganze Zahlen angegeben werden können. Die Instruktion für die Versuchsperson lautet beispielsweise: *Bestimmen Sie den Grad der Sprechstörung der Versuchsperson. 0 = keine Sprechstörung, 6 = schwere Sprechstörung.* Weitere Anhaltspunkte werden für die Bewertung nicht gegeben.

Die Validierung des Münchner Verständlichkeitsprofils, das für Patienten mit Sprechstörungen konzipiert ist, wurde mit 101 dysarthrischen Patienten, 16 Normalsprechern und 45 Testhörern geprüft (Ziegler & Hartmann, 1993). Die Test-Retest-Reliabilität war mit einer Rangkorrelation von $\rho = 0,96$ und einem Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient von $r = 0,97$ recht hoch. Die Korrelation zwischen Hörern lag bei $\rho = 0,95$. Die Korrelation

³² Das Verfahren wurde durch die EKN Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie, Städtisches Krankenhaus München-Bogenhausen entwickelt und uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

³³ Unterschiede in der Vokallänge werden im Test nicht berücksichtigt.

³⁴ Neben den hier verwendeten Modulen sind im Test weitere Möglichkeiten der segmentalen Beurteilung, sog. Expertenbeurteilungen integriert.

zwischen den MVP-Werten und den Hörerurteilen zur Deutlichkeit der Artikulation betragen $\rho = 0,89$.

In die Untersuchung wurden insgesamt sechs HörerInnen³⁵ mit unbeeinträchtigtem Hörvermögen einbezogen, wobei keine(r) von ihnen die Patienten kannte. Den Hörern war nicht bekannt, ob es sich bei der jeweiligen Sitzung um eine prä- oder postoperative Aufnahme handelte.³⁶ Um den Einfluss eventuell auftretender Lern- und Ermüdungseffekte seitens der Hörer zu neutralisieren, wurden die Aufnahmen drei Hörern in der Reihenfolge Patient 1 bis n , den anderen drei Hörern in umgekehrter Folge (Patient n bis 1) vorgespielt. Der ersten Sitzung wurden jeweils drei Vorlauftests vorgeschaltet, die in die Auswertung nicht eingegangen sind.

6.2 Objektive Verständlichkeit und subjektive Bewertung

Die bisherige Analyse beruhte auf den akustischen Eigenschaften von Einzellauten, der qualitativen Beschreibung und quantitativen Erfassung von artikulatorischen Bewegungen sowie auf der detaillierten Darstellung des perzeptiven Eindrucks durch eine einzige Person. Dieses, aus vielen kleinen Details zusammengesetzte, Bild soll nun um eine globale Beurteilung der Sprechfähigkeit und der Verständlichkeit durch unbeteiligte Hörer ergänzt werden, die mit dem Münchner Verständlichkeitsprofil (MVP) ermittelt wurden.

Nach den Angaben von Ziegler & Hartmann (1993) liegt die Korrelation zwischen Verständlichkeit (MVP-Scores) und der Variable ‚Deutlichkeit der Artikulation‘ bei $\rho = 0,89$, ausgehend von einer Patientengruppe mit neurologischen Sprechstörungen (Dysarthrie, $n = 101$). Diese Korrelation betrug in dieser Patientengruppe (basierend auf 10 präoperativen und 19 postoperativen Aufnahmen) $\rho = 0,69$ (Mády et al., 2003b). Ziegler, Hartmann & Wiesner (1992) geben für ihre Normalsprecher einen Cutoff-Wert von 4 % an, d. h. bei Sprechern ohne jegliche Sprechstörung ($n = 16$) lag der Anteil fehlerhaft identifizierter Items bei 0–4 %.³⁷

Die präoperative Gruppe ($n = 10$) erreichte Werte zwischen 0,5 % und 7,8 %, mit einem Mittelwert von 4,0 %. Die Bewertung von Grad der Sprechstörung, Deutlichkeit der Artikulation und Stimme ergab Durchschnittswerte von jeweils 1,0 Punkt, wobei die Punktzahl 0 (‚keine Beeinträchtigung‘) lediglich in fünf von insgesamt 30 möglichen Fällen vergeben wurde. Bemerkenswert ist dabei, dass das Sprechen von den zehn Patienten präoperativ nach dem Bewertungsschema von Enderby & John keine Auffälligkeiten auf der phonologischen Ebene zeigte (Enderby & John, 1997, Mády et al., 2003b). Die relativ schlechte Beurteilung vom objektiv vermutlich nicht gestörten Sprechen ist wohl auf die Erwartungshaltung der Hörer zurückzuführen, in jedem Fall mit gestörtem Sprechen konfrontiert zu sein (trotz eines Hinweises auf das Vorhandensein von präoperativen Aufnahmen). Es könnte sich hier gleichzeitig auch um eine Extremwertvermeidung handeln.

Tabelle 6-1 enthält die Rangkorrelationskoeffizienten (Spearman- ρ für ordinalskalierte Daten) für die Variablen Verständlichkeit (= Anteil falsch identifizierter Wörter), Grad der Sprechstörung, Deutlichkeit der Artikulation und Grad der Stimmstörung. Anders als in der Validierungsstudie von Ziegler & Hartmann (1993) oder in der oben zitierten Untersuchung (Mády et al., 2003b) konnte hier nur ein schwacher Zusammenhang zwischen Verständlichkeit einerseits und Sprechstörung und Deutlichkeit andererseits nachgewiesen werden. Eine weitere Auffälligkeit ist, dass die Hörerbewertungen (ähnlich der dieser Untersuchung vorangegangenen Studie mit 29 Personen) für Sprechstörung und Deutlichkeit mit den Be-

³⁵ Die HörerInnen wurden nach Möglichkeit so ausgewählt, dass sie nicht überdurchschnittlich viel Erfahrung mit gestörtem Sprechen hatten, d. h. so genannte „naive“ Hörer waren.

³⁶ Die hier beschriebene Patientengruppe bildet eine Teilmenge von insgesamt 29 untersuchten Personen.

³⁷ Die Tatsache, dass die Verständlichkeit von Normalsprechern nicht in jedem Fall 100 % beträgt, ist kein Spezifikum des MVPs: Ähnliches stellen auch Rentschler, Arbor & Mann (1980) fest.

wertungen der Stimme korrelieren. Es scheint, dass sich die naiven Hörer bei diesen Kategorien eher vom allgemeinen Eindruck beeinflussen lassen und die segmentale Ebene (Deutlichkeit der Artikulation) weniger vom Schweregrad der Stimmstörung trennen.

<i>Spearman-ρ</i>	Störungsgrad	Deutlichkeit	Stimme
Verständlichkeit	0,499	0,385	0,155
Störungsgrad		0,880	0,512
Deutlichkeit			0,370

Tabelle 6-1: Korrelation zwischen (1) Anteil falsch identifizierter Wörter und Hörerbewertungen für (2) Grad der Sprechstörung, (3) Deutlichkeit der Artikulation, (4) Stimmstörung. Korrelationskoeffizient: Spearman-ρ für nichtparametrische Daten.

Um das Verhältnis von Verständlichkeit und Grad der Sprechstörung besser überblicken zu können, wurden in Abbildung 6-1 die einzelnen Verständlichkeitswerte und die dazugehörigen Hörerbewertungen über Grad der Sprechstörung als Streudiagramme abgebildet. Es zeigt sich dabei, dass die Verständlichkeit in keinem Fall geringer als 60 % ausfiel: der höchste Anteil fehlerhaft identifizierter Wörter lag bei 39,4 % (GL5). Gleichzeitig nutzten die Hörer die ganze Skala für ihre Urteile, indem sie alle Punktzahlen von 0 bis 5 vergaben.³⁸ Die vertikale Streuung der Werte in Abbildung 6-1a ist dementsprechend deutlich größer. Schränkt man die x-Achse auf die tatsächlich vorhandenen Verständlichkeitswerte ein (0–40 % Fehlidentifikationen), so zeigt sich dennoch das gleiche Muster: Verständlichkeitswerten unterhalb von 10 % werden Störungsgrad-Scores zwischen 0 und 5 zugeordnet. Andererseits findet sich gerade beim Punktwert 4 (vertikale Achse) eine Streuung von 1–39 %. Während die Störungsgrad-Scores 0 und 1 eine relativ gute Vorhersage bezüglich der Verständlichkeit erlauben, indem sie ausschließlich mit kleinen Fehlidentifikationsanteilen einhergehen (1,4–10 %), scheinen die mittleren und hohen Störungsgradwerte nahezu jede Stufe von Verständlichkeit zu erlauben.

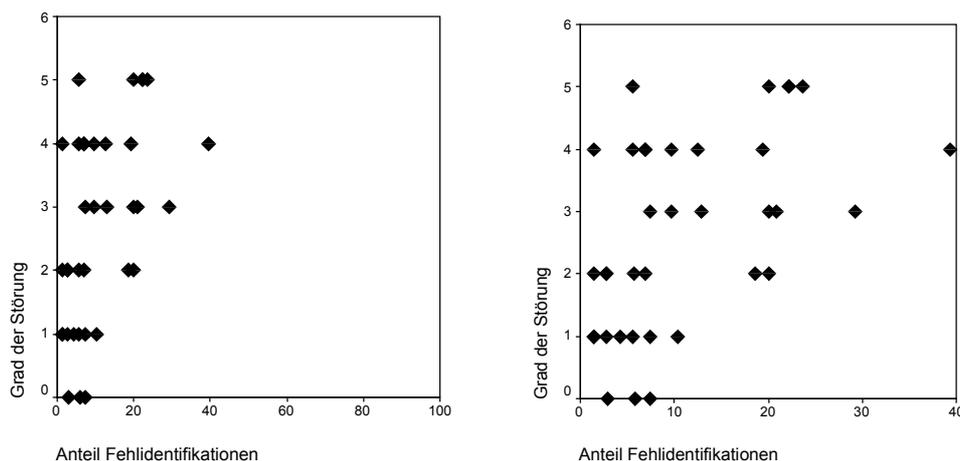


Abbildung 6-1a, b: Streudiagramme von Punktzahl für Grad der Sprechstörung (y-Achse, 0–6 Punkte) und Anteil falsch identifizierter Wörter (x-Achse), (a) 0–100 %, (b) 0–40 %.

Die Verständlichkeitswerte von den Patienten GL6 (3,1 %), GL7 (3,5 %) und GL4 (6,9 %) fallen in den Bereich der normaler Sprechfähigkeit, sofern die Ermittlungen aus Mády et al.

³⁸ In den Gesamtbewertungen wurden auch Punktzahlen von 6 vergeben, diese bezogen sich jedoch nicht auf die hier besprochenen sieben Patienten.

(2003b) als Grundlage gelten, bei denen 7,8 % als Grenzwert festgestellt wurden. Die ersten zwei der Patienten gelten auch nach dem von Ziegler, Hartmann & Wiesner (1992) angegebenen Cutoff-Wert (4 %) als nicht beeinträchtigt. Die Verständlichkeit ist etwas stärker gestört bei GL1 (8,6 %) und GL2 (16,2 %), während GL8 in über einem Fünftel (22,9 %) und GL5 in nahezu der Hälfte der Fälle (39,4 %) ³⁹ nicht oder falsch verstanden wird.

Die subjektiven Bewertungen der Hörer weichen von dieser Folge an zwei Punkten deutlich ab: Die Sprechleistung von GL1 und GL7 wird deutlich schlechter bewertet, als es von der Verständlichkeit her zu erwarten wäre. Des Weiteren fällt die schlechte Bewertung und die damit kohärente eingeschränkte Verständlichkeit bei GL2 auf, dessen Einzellausproduktion in der Untersuchung der Einzellausproduktion wenige Auffälligkeiten zeigte.

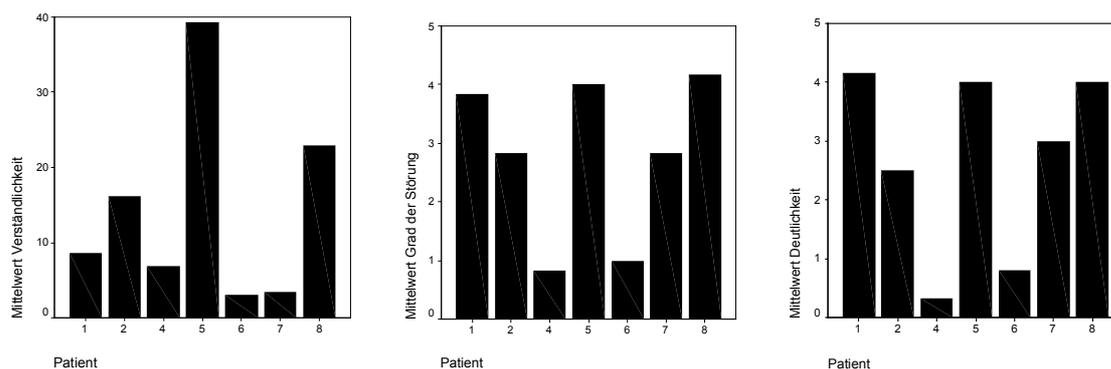


Abbildung 6-2a-c: Gemittelte Werte für (a) Verständlichkeit, (b) Grad der Sprechstörung, (c) Deutlichkeit der Artikulation.

Die Diskrepanz zwischen der relativ guten Verständlichkeit und der stark ausgeprägten Störungsempfindung ist bei GL1 und GL7 vermutlich auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen. Wie in Kapitel I erwähnt, konnte die Aufnahme für das MVP mit GL1 erst nach Abschluss seiner Bestrahlung durchgeführt werden. Die lokale Bestrahlung des Kopf-Hals-Bereichs geht im Allgemeinen mit einer generellen Einschränkung der Zungenmobilität, verursacht durch Entzündungen und das Absterben von Gewebe, sowie mit einer Mundtrockenheit einher. Diese führen zu einer Sprechanstrengung und zur verwaschenen Artikulation (s. Koppetsch, 2004, sowie Barth, 2000, vgl. jedoch Pauloski et al., 1998). GL1 war nach seiner Bestrahlung zwar in der Lage, einzelne Konsonanten (außer im dorsalen Bereich) gut verständlich zu artikulieren, das Sprechen insgesamt trug jedoch eindeutige Spuren von Anstrengung, Mobilitätseinschränkung und Mundtrockenheit, was den Gesamteindruck der Hörer offensichtlich stark beeinflusst hat.

Das Sprechen von GL7 zeichnete sich durch eine starke Beeinträchtigung der koronalen Artikulation aus, ohne dass die Laute zur Unverständlichkeit verändert worden wären. So gesehen war die Identifizierung von einzelnen Lautfolgen nicht besonders problematisch. Allerdings wich die Artikulation stark von der Norm ab, was die Hörerurteile vermutlich stark beeinflusst hat.

Die von der segmentalen Auswertung her vergleichsweise schlechte Verständlichkeit und Bewertung von GL7 (16,2 %, 2,8 Punkte für Sprechstörung) und die leichte Asymmetrie zwischen Verständlichkeit und Bewertung von GL4 (6,9 % vs. 0,8 Punkte für Sprechstörung) erlauben Rückschlüsse auf den Einfluss der Sprechgeschwindigkeit. Das Sprechtempo wurde bei beiden Patienten als leicht überhöht empfunden (+1,83 Punkte für GL2, +2,0 Punkte für GL4). Das Sprechen von GL2 ist verwaschen und hastig, trotz einer nur geringfügig bis mit-

³⁹ Auch wenn GL5 aus praktischen Gründen nur von einem Hörer bewertet werden konnte, spiegeln seine Werte sicherlich ein reales Verhältnis zu den anderen Sprechern wider.

telschwer beeinträchtigten Konsonantenartikulation.⁴⁰ Die Einzellautanalyse zeigte bei GL4 insgesamt wenig Beeinträchtigungen, was sich auch in der guten Beurteilung seines Sprachvermögens seitens der Hörer niederschlägt. Dennoch führte das erhöhte Sprechtempo offensichtlich zu Verständnisproblemen.⁴¹ Schlechtere Verständlichkeitsraten bei starken Veränderungen des Sprechtempos (Segmentdauern, die kürzer als die Norm waren oder mehr als das Zweifache der Normwerte betragen) wurden bereits in Skelly et al. (1972) nachgewiesen. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten Bressmann et al. (2002), die eine negative Korrelation zwischen Sprechtempo und Beeinträchtigung von einzelnen konsonantischen Segmenten zeigten. Mit anderen Worten scheint sowohl ein postoperativ erhöhtes, als auch ein stark verlangsamtes Sprechtempo zu einer schlechteren Verständlichkeit zu führen.

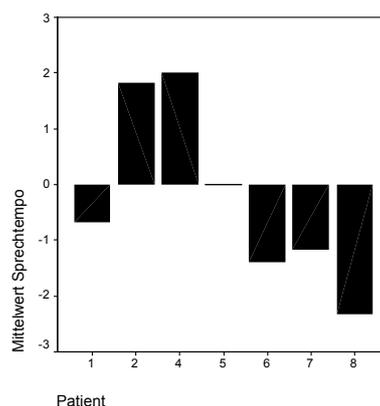


Abbildung 6-3: Bewertungen durch die Hörer für Sprechtempo (-6 bis +6, 0 bedeutet normale Sprechgeschwindigkeit, wie bei GL5).

Die Erkenntnis, dass die Größe ‚objektive Verständlichkeit‘ in dieser Patientengruppe weitgehend unabhängig von subjektiven Bewertungen ist, hat zwei wichtige Konsequenzen: erstens zeigt sich, dass die Kommunikationsschwierigkeiten von Glossektomierten subjektiv gesehen oft größer sind als ihre Verständlichkeit im engeren Sinne, denn die Einstellung ihres Gegenübers wird vermutlich stärker durch die subjektiven Eindrücke beeinflusst als durch den Anteil verständlicher Äußerungen.

Zweitens wäre es für eine sprechtherapeutische Behandlung wünschenswert, objektive Faktoren wie vom Münchner Verständlichkeitsprofil vorgegeben, als Rückmeldung an die Patienten über die eigene Sprache verfügbar zu machen. Gerade bei GL2 liegen die Einbußen von Verständlichkeit und subjektiver Bewertung in einer gewissen Gleichgültigkeit seitens des Patienten den Einschränkungen der eigenen artikulatorischen Fähigkeiten gegenüber, so dass hier von der Intervention durch einen Therapeuten viel zu erwarten wäre.

6.3 Problematische Artikulationsstellen

Im zweiten Analyseschritt werden die für die einzelnen Patienten erstellten Verständlichkeitsprofile verwertet. Wie einleitend gesagt, beruhen die Profile auf im Voraus festgelegten Merkmalen für den primären und sekundären Ziellaut in jedem Zielwort. Bei einer Fehlidentifikation des Ziellautes wird das Merkmal bestimmt, in dem der gehörte Laut vom Ziellaut

⁴⁰ Bei diesem Patienten kommt zudem der Altersfaktor hinzu: er war mit 77 Jahren der älteste Patient in dieser Gruppe, so dass man auch mit allgemeinen, altersspezifischen Einflüssen auf die Deutlichkeit der Artikulation rechnen muss.

⁴¹ Im Falle von GL4 kann die schlechte Verständlichkeit jedoch auch an der zu geringen Lautstärke der Aufnahme liegen (die Intensität wurde nach der Kalibrierung automatisch eingestellt und ließ sich bei der Wiedergabe nicht mehr verändern).

abweicht, und das Merkmal geht als Problemquelle ins Profil ein. Dabei wird auf folgende Variablen zurückgegriffen:

- Komplexität (3): Einzelkonsonant (Ek) – Konsonantenverbindung (Kv) – Vokal (V);
- Nasalität/Oralität (2): Nasalkonsonant (Na) – oraler Konsonant (Or);
- Artikulationsart (2): Plosiv (Plo) – Frikativ (Fri);
- Artikulationsstelle (3): labial (Lab) – apikal (Api) – dorsal (Dor).

Die Anzahl der Fehlidentifikationen, die sich auf das jeweilige Merkmal beziehen, wird prozentual zur Vorkommenshäufigkeit des jeweiligen Segments unter den 72 Stimuli errechnet und als Balkendiagramm für jeden Patienten pro Hörauswertung angegeben. Aufgrund der technischen Gegebenheiten (die Softwareumgebung des MVP ist eine eigenständige DOS-Anwendung, die direkte Übertragung der Diagramme in die heute gängigen Programme ist demzufolge recht umständlich), und um die Einzelprofile mit Mittelwerten von allen Hörern zu ersetzen, wurde die ursprünglich prozentuale Darstellung daher vereinfacht und in ein Punktesystem transferiert. Der am stärksten gestörten Ausprägung der Variable wird die Punktzahl 3 zugeordnet, eine Ausprägung, die nicht betroffen ist, erhält die Punktzahl 0. Bei einer Beeinträchtigung von zwei weiteren Ausprägungen der Variable erhalten diese die Punktzahlen 2 und 1. Ist nur eine weitere Kategorie betroffen (unabhängig davon, ob die Variable nur zwei Kategorien enthält oder weil die dritte Ausprägung keine Beeinträchtigung zeigt), wird dieser die Punktzahl 1,5 zugeordnet. Bei gleich schwerer Störung erhalten beide Merkmale die gleiche Punktzahl. Durch die Verwendung der Ordinalskala statt des prozentualen Anteils der Beeinträchtigungen werden die Profile verzerrt, indem die problematischen Stellen selbst bei einer absolut gesehen geringfügigen Beeinträchtigung übermäßig hervorgehoben werden. Dies erscheint gerade bei Patienten mit einer sehr guten Verständlichkeit sinnvoll, weil dadurch die möglichen Quellen für eine eingeschränkte Verständlichkeit deutlicher zum Vorschein kommen.

Die recht vereinfachte und übersichtliche Darstellung der problematischen Artikulationsarten und -stellen lässt einen Vergleich mit den in Kapitel 2 beschriebenen Bewegungseinschränkungen sowie Resektionsgrößen und Rekonstruktionsarten sinnvoll erscheinen (s. Abschnitt 2.3 und insbesondere die Tabellen 2-1 und 2-2).

Abbildung 6-4 zeigt, dass die Fehlidentifikationen wesentlich häufiger Konsonanten als Vokale betrafen, ferner, dass häufiger Einzelkonsonanten als Konsonantenverbindungen falsch identifiziert wurden. Die Tatsache, dass die Vokalproduktion weniger beeinträchtigt ist, kann im Rahmen dieser Arbeit nur pauschal beurteilt werden, da die Vokalartikulation nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war. Die weitaus bessere Produktion des velaren Frikativs gegenüber den Alveolarlauten lässt jedoch vermuten, dass die Positionierung des Zungenkörpers weniger ein Problem für die meisten Patienten darstellte, als der für die Konsonantenproduktion erforderliche Druckaufbau sowie die Steuerung der Zungenspitze. Es ist auf den ersten Blick etwas überraschend, dass prozentual mehr Fehlidentifikationen auf Einzelkonsonanten fielen, als auf Konsonantenverbindungen. Dies muss jedoch nicht notwendigerweise bedeuten, dass die Konsonantengruppen präziser artikuliert wurden als die Einzelkonsonanten. Möglich ist auch, dass ihre Identifikation aufgrund der längeren Segmentdauer für die HörerInnen einfacher war.

Es ist nicht gleich einleuchtend, warum Nasalkonsonanten häufiger fehlerhaft identifiziert wurden als rein orale Realisierungen. Möglicherweise liegt ihre schlechtere Erkennbarkeit in ihrer spektralen Natur: durch die Nasalierung werden bestimmte Frequenzbereiche gedämpft (sog. Antiformanten), das Spektrum ist vorwiegend niederfrequent. Dadurch wird die Perzeption von Nasalen erschwert, beispielsweise was ihre Artikulationsstelle betrifft. Die schwerwiegendere Störung der Plosivbildung gegenüber den Frikativen lässt auf Probleme beim Druckaufbau zurückschließen. Auf der anderen Seite widersprechen diese Ergeb-

nisse der Feststellung von Logemann et al. (1993), die bei der Plosividentifikation durch Dritte einen Monat nach der Operation weit weniger Beeinträchtigung (61–87 %) fanden als bei der Frikativproduktion (41 % für Alveolarlaute, 85 % für labiodentale und interdentale Frikative). Das durch das MVP gebotene Bild wird unter Umständen durch die Vereinfachung von Konsonantenverbindungen zusätzlich modifiziert.

Trotz der zum Teil starken Abweichungen zwischen den Resektionsorten und Rekonstruktionsmethoden lassen sich bei den sieben Patienten, deren Ergebnisse in das Übersichtsprofil eingegangen sind, drei Gemeinsamkeiten finden: erstens ist der vordere Zungenanteil bei allen Patienten entweder direkt am Mundboden fixiert oder durch Platysma gedeckt, was durch die relativ kurze Ausdehnung des freilegbaren Platysmalappens zu Mobilitätseinschränkungen führt. Zweitens geht die Resektion bei allen Patienten über die Mittellinie hinaus, was insgesamt zu einer asymmetrischen anatomischen Struktur führt. Drittens ist der M. genioglossus, entweder durch die Resektion oder durch die Rekonstruktion, bei allen Patienten betroffen.⁴² Relevant ist hierbei erstens die Funktion, die Zungenwurzel nach vorn zu ziehen (hintere Muskelfasern) und die Zungenmitte nach unten zu ziehen, d. h. zu vertiefen, was bei der Bildung der Alveolarlaute /s/ und // eine Rolle spielt (in der Terminologie des MVP als Apikale bezeichnet). Die weniger ausgeprägte Störung der Velarlaute (hier: dorsal) kann sowohl von den allgemeinen Schwierigkeiten in der Verschlussbildung zustande kommen, als auch primär bei den Patienten mit anterioren *und* posterioren Defekten aufgetreten sein. Die Störung der labialen Lautproduktion ist auf die durch die Beschädigung des Nervus facialis ausgehenden Einschränkungen in der Lippenmotorik zu erklären.

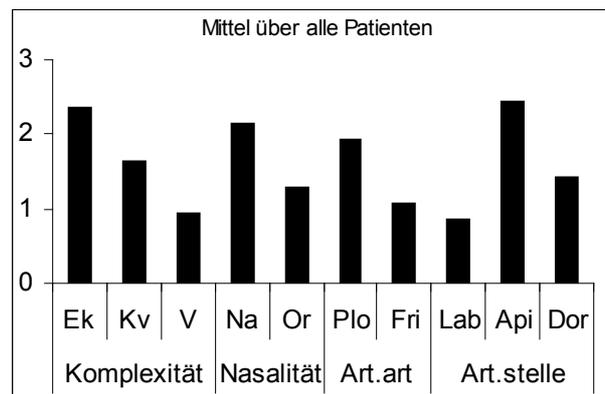


Abbildung 6-4: Problematische Artikulationsstellen in Übersicht für alle Patienten.

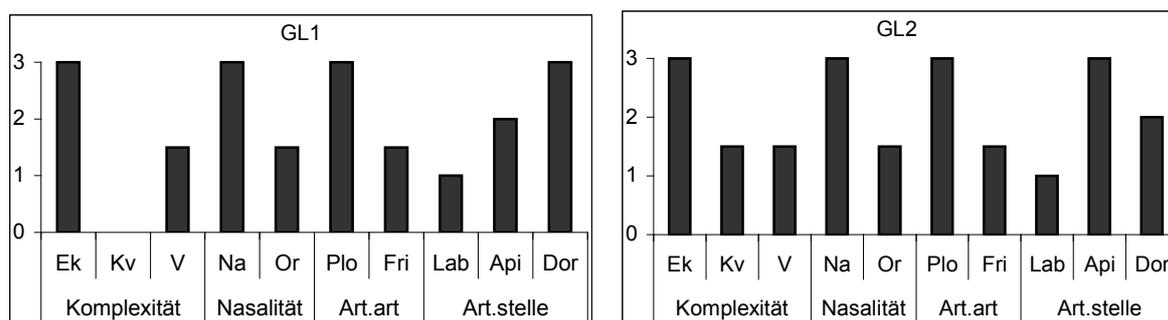
Im Folgenden werden die Verständlichkeitsprofile der einzelnen Patienten vorgestellt und mit dem Operationsprotokoll (s. Anhang) bzw. der postoperativen Zungenmobilität (s. 2.3 in Verbindung gesetzt. Dabei werden Abweichungen von dem oben vorgestellten Muster vor-dergründig behandelt.

Das Profil von GLI muss mit Vorsicht interpretiert werden, weil die Aufnahme zu einem späteren Zeitpunkt erfolgte als das Bewegungsprotokoll, und da die Sprechfähigkeit durch die Bestrahlung zusätzlich beeinflusst ist. Auffällig ist die Beeinträchtigung der dorsalen Konsonanten den alveolaren gegenüber. Dies ist keine direkte Folge der Bestrahlung, da sie nach der Operation ebenfalls zu beobachten war. Vielmehr ist die relativ große Zungenteilresektion dafür verantwortlich, die bis zur Höhe der Weisheitszähne reichte, und erner wurde auf dieser Höhe rechts eine Fixierung der Zunge vorgenommen. Die alveolare Lautbildung ist mit der links neu gebildeten Zungenspitze noch relativ gut möglich, die Beweglichkeit ist unmittelbar hinter der Fixierungsstelle vermutlich stärker eingeschränkt und

⁴² Eine Ausnahme bildet hierbei GL3, bei dem der Verständlichkeitstest aus praktischen Gründen nicht durchgeführt werden konnte.

durch die Bewegung der linken Seite nicht ausreichend zu kompensieren. Die Störungen der labialen Artikulation stehen im Zusammenhang mit den im labialen Bereich festgestellten motorischen Störungen. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass bei der dorsalen Konsonantenproduktion nach Michi et al. (1989) langfristig eher Verbesserungen zu erwarten sind, als im alveolaren Bereich. Vor diesem Hintergrund erscheint die dorsale Störung bei GL1 ein Jahr nach der Operation als besonders schwerwiegend.

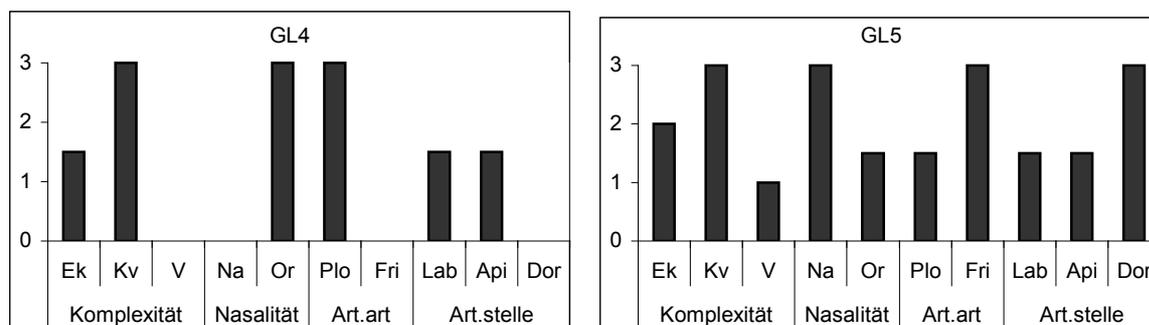
Das Profil von GL2 entspricht im Wesentlichen dem Muster für alle Patienten (Abbildung 6-4). Die am stärksten beeinträchtigte Alveolarartikulation entspricht der Fixierung der Zungenunterseite, wobei der obere Teil des Zungenkörpers und die damit verbundene Muskulatur intakt blieb und trotz Fixierung zu dorsalen Bewegungen fähig war. Die Beeinträchtigungen der labialen Artikulation lassen sich nicht unmittelbar vom Motorikprotokoll ableiten.



Abbildungung 6-5a, b: Verständlichkeitsprofil für (a) GL1 und (b) GL2 nach dem MVP.

Die Zungenmasse von GL4 war von der Resektion nur geringfügig betroffen, lediglich die anteriore Unterseite wurde in Mitleidenschaft gezogen. Trotz Fixierung behielt der Patient dadurch eine recht gute postoperative Zungenmobilität, die Lippenmotorik war allerdings geringfügig gestört. Aus dem Profil geht es hervor, dass der Patient vor allem mit komplexen artikulatorischen Abläufen wie Konsonantengruppen Schwierigkeiten hatte, die jedoch nicht den velaren Bereich betrafen.

Die Resektion betraf bei GL5 den Mundboden in seiner gesamten Länge. Der Defekt wurde anterior mit zwei Platysmalappen geschlossen und der hintere Abschnitt mit der Zunge gedeckt. Dementsprechend ist die artikulatorische Einschränkung im hinteren Bereich größer, wobei die Artikulation durch die zu stark nach vorn verlagerte Zungenposition insgesamt labial war. Das Profil zeugt von einer beeinträchtigten Lautproduktion in allen Bereichen, besonders die stark betroffene Frikativbildung deutet auf die Schwere der Störung hin, die von den restlichen Patienten ausnahmslos besser gemeistert wurde als die Plosivbildung.



Abbildungung 6-6a, b: Verständlichkeitsprofil für (a) GL4 und (b) GL5 nach dem MVP.

Die Artikulation von GL6 kann anhand der durchschnittlichen Verständlichkeitswerte als normal eingestuft werden. Anders als bei den bisher beschriebenen Patienten betraf die Resektion bei ihm lediglich einen kleinen Bereich zwischen Unterkiefer und Zungenkörper (was etwa dem vorderen Anteil des M. genioglossus entspricht). Wie bei allen bisher beschriebenen Patienten führte der Verschluss zu einer Bewegungseinschränkung der Zungenspitze, er wirkte sich jedoch nicht auf den restlichen Zungenkörper aus. Dies entspricht der ausschließlichen Beeinträchtigung der koronalen Laute im Profil.

Die Lokalisierung des Defektes von GL7 lässt sich weitgehend mit der von GL6 vergleichen, jedoch mit dem Unterschied, dass die Resektion zusätzlich den Unterkiefer und den vorderen Zungenanteil unterhalb der Zungenspitze betraf. Wie bei GL6 wurde die Spitze fixiert, zusätzlich wurden zwei Platysmalappen zur Fixierung verwendet, was insgesamt zu einer stärkeren Beeinträchtigung der Artikulation führte (entsprechend der Analyse in Kapitel 4 und 5). Offensichtlich gelang es dem Patienten dennoch, die notwendigen konsonantischen Distinktionen weitgehend zu erhalten und somit eine normale Verständlichkeit zu erreichen. Auch bei ihm wirkt sich die Mobilitätseinschränkung ausschließlich auf die Alveolarproduktion aus.

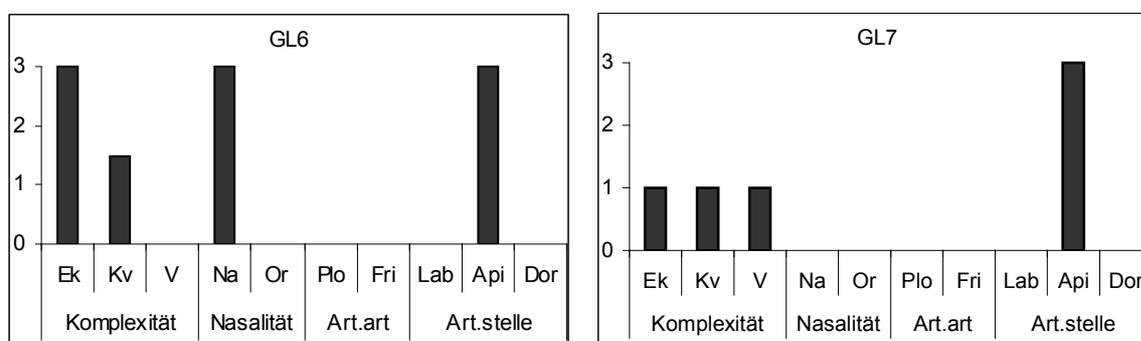


Abbildung 6-7a, b: Verständlichkeitsprofil für (a) GL6 und (b) GL7 nach dem MVP.

Das Ausmaß der Resektion bei GL8 war recht groß, es erfasste die gesamte rechte Zungenhälfte (ohne Zungenwurzelbeteiligung). Die doppelseitige Deckung mittels je eines Platysmalappens, die der verbleibenden Zungenhälfte eine relativ gute Beweglichkeit ermöglichte, konnte jedoch nicht ganz erhalten werden, da der histologische Befund eine Nachresektion erforderlich machte, bei der die Zungenspitze mit entfernt wurde. Dadurch hatte der Patient eine insgesamt sehr verwaschene Artikulation in allen Bereichen (einschließlich Vokalartikulation), wie es dem unten stehenden Profil zu entnehmen ist. Es ist interessant, dass das Profil – trotz großer Abweichungen im operativen Vorgehen – mit dem von GL2, dessen Verständlichkeit vorwiegend durch das erhöhte Sprechtempo verschlechtert war, sowie den gemittelten Werten über alle Patienten übereinstimmt. Gerade bei GL8, bei dem die Zunge in seiner ganzen Länge von der Resektion betroffen ist, scheint das Profil daher eher von allgemeinen Verständlichkeitstendenzen (d. h. wie leicht bestimmte Laute trotz Beeinträchtigung von den Hörern identifiziert werden können) als von operationsspezifischen Faktoren beeinflusst zu sein.

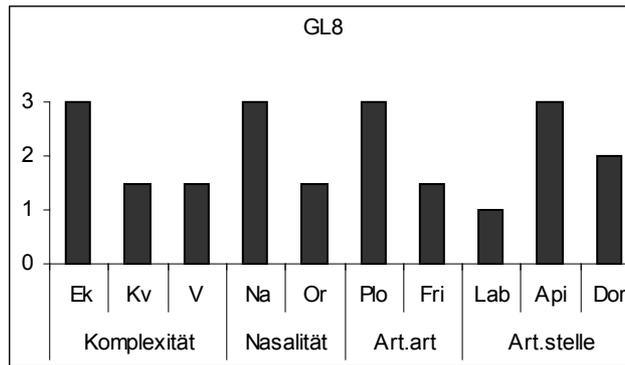


Abbildung 6-8: Verständlichkeitsprofil für GL8 nach dem MVP.

Auch wenn das Verständlichkeitsprofil nur sehr allgemeine Aussagen macht, gibt es doch einige Punkte, die die Einzelanalyse verdeutlicht, besonders in Bezug auf die vierte Kategorie (problematische Artikulationsstellen). Es hat sich gezeigt, dass bei allen sieben Patienten eine Beeinträchtigung der apikalen Artikulation vorliegt. Auch wenn weder die Anzahl der Patienten noch der mangelnde Vergleich mit anderen Rekonstruktionstechniken Aussagen über den Einfluss der Operationstechnik zu machen, kann doch festgestellt werden, dass bei den sieben Patienten die Zunge oder der Mundboden ausnahmslos im anterioren Bereich von der Resektion betroffen war. Selbst bei Rekonstruktionsmaßnahmen, die der Zungenspitze eine möglichst große Bewegungsfreiheit garantieren sollten, war die Artikulation koronaler Laute erschwert.

Ferner muss auf die Beeinträchtigung dorsaler Laute geachtet werden. Bei drei Patienten (GL6, GL7 und GL4) wurden in diesem Bereich keine Fehlidentifikationen gefunden, was auf eine gute Beweglichkeit des Zungenkörpers hindeutet (und bei diesen Patienten mit normalen Verständlichkeitswerten einher gingen). Bei zwei Patienten, GL1 und 5, wurde die dorsale Artikulationsstelle als die Hauptquelle für Verständlichkeitsprobleme identifiziert. Dies wurde damit erklärt, dass die Fixierung nicht im vorderen, sondern im mittleren bzw. hinteren Bereich der Zunge lokalisiert war. Eine mittelmäßige Störung des dorsalen Bereichs (GL2 und GL8) bei der maximalen Störung des apikalen Bereichs könnte als Zeichen einer allgemeinen, unspezifischen Artikulationsstörung verstanden werden.

Die Störung der labialen Lautbildung war bei keinem der Patienten mit dem stärksten Störungsgrad verbunden. Bei fünf Patienten wurde eine geringfügige Beeinträchtigung der labialen Lautbildung festgestellt, und bei eben diesen Patienten wurde bei der motorischen Untersuchung eine Störung der Lippenfunktion bzw. -symmetrie dokumentiert.

7 Zusammenfassung und Diskussion

Die medizinische Therapie von Mundboden- und/oder Zungenkarzinomen wirkt sich auf viele Bereiche aus, von denen Sprechen nur ein, wenn auch ein sehr wichtiger Aspekt ist. Während den Fragen hinsichtlich der postoperativen Lebensqualität und der Sprech- und Schluckfähigkeit bereits in vielen Arbeiten nachgegangen wurde, ist der derzeitige Kenntnisstand darüber, wie Glossektomiepatienten zu einem bestimmten akustischen Ergebnis gelangen und von welchen Kompensationsmechanismen sie dabei Gebrauch machen, sehr gering. Dabei ist zu hoffen, dass die Erforschung dieses Zusammenspiels nicht nur zur genaueren Evaluation der funktionellen Ergebnisse nach einer Zungenteilresektion, sondern auch zum besseren Verständnis der gesunden und pathologischen sprechsprachlichen Produktionsmechanismen allgemein beitragen könnte.

Die primäre Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war daher, eine Methode zur Untersuchung der Artikulation zu entwickeln, die sich in der klinischen Praxis anwenden lässt und den frisch operierten Patienten keine unzumutbare Belastung aufbürdet. Als Instrument der artikulatorischen Untersuchung diente die Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT), die als ein nicht-invasives Verfahren gilt, d. h. den Patienten keine Schäden zufügt. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber der Videofluoroskopie oder der Computertomographie. Ferner ist das Verfahren für die meisten Patienten nicht unangenehm, anders als die Methoden, die oft für die Untersuchung normaler Artikulation eingesetzt werden: die Elektropalatographie (EPG) und die Elektromagnetische Mittsagittale Artikulographie (EMMA).

Die Untersuchung der Sprechfähigkeit kann sich jedoch nicht nur auf die **Produktion** beschränken. Ebenso wichtig sind zwei weitere Aspekte des Kommunikationsprozesses: das Klangergebnis, das der Sprecher durch die artikulatorischen Bewegungen erzeugt, die **Akustik**, und der beim Hörer entstandene Eindruck über die Sprechfähigkeit eines Patienten, der den Grad der Sprechstörung letztendlich ausmacht, die **Perzeption**.

Die Entwicklung und Validierung der in dieser Arbeit vorgeschlagenen und anhand von glossektomierten Patienten getesteten Methodik setzt ein bereits etabliertes Evaluierungsverfahren für mindestens einen weiteren oben genannten Aspekt voraus. Dies stand für die Untersuchung jedoch nicht zur Verfügung: die bisherigen Studien bezüglich der Sprechleistung nach Glossektomie machen keine Aussagen über die Zusammenhänge von Artikulation und Akustik. Ferner gibt es überraschend wenig Untersuchungen, die die akustischen Aspekte des beeinträchtigten Sprechens nicht nur ohrenphonetisch, sondern durch eine akustische Analyse ermitteln würden (eine Ausnahme bilden hierbei u. a. Perrier et al., 1999, Savariaux et al., 2001, Zimmermann, 2003, Zimmermann et al., 2003 sowie Koppetsch & Dahlmeier, 2003 und Koppetsch, 2004).

Aus dieser Ausgangslage heraus ergab sich die Entscheidung, der Evaluierung der Artikulation eine Untersuchung der Akustik voranzustellen. Die normale Lautproduktion ist nämlich bereits in zahlreichen Arbeiten anhand von verschiedenen akustischen Parametern untersucht worden, die nun mit den Charakteristika des Signals von beeinträchtigtem Sprechen kontrastiert werden konnten. Die so erhaltenen akustischen Eigenschaften, die – gestützt durch eine auditive, d. h. ohrenphonetische Bewertung durch die Autorin – vorläufig als entscheidend für einen normalen oder beeinträchtigten sprachlichen Klang gewertet wurden, bildeten die Grundlage der artikulatorischen Untersuchung.

Eingangs wurde die Zielsetzung formuliert, durch die hier beschriebene Untersuchung zu einem besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen den durch die Tumoroperation eventuell veränderten motorischen Funktionen einerseits und der sprechsprachlichen Leistung andererseits zu gelangen. Aus dem explorativen Charakter der Analyse

folgt jedoch, dass diese Arbeit nur ein erster Schritt in diese Richtung sein kann. Die in den Abschnitten 5.2.3, 5.3.4 und 5.4.3 formulierten Verallgemeinerungen haben daher einen vorläufigen Charakter und sind nicht ohne weiteres generalisierbar auf die normale oder durch Glossektomie beeinflusste Lautproduktion.

Aus dem explorativen Charakter dieser Untersuchung folgt ferner, dass der quantitativen Analyse zunächst eine qualitative vorausgehen musste. Dies wiederum schränkt die Anzahl der in diesem Rahmen analysierbaren Sprechlaute ein. Die Auswahl der Laute /z/, /ʃ/, /l/ und /x/ lässt sich in erster Linie dadurch begründen, dass ihre akustische Analyse relativ unproblematisch ist. Durch ihre relativ lange Segmentdauer können sie ferner mit der Echtzeit-MRT relativ unproblematisch erfasst werden, trotz der relativ schlechten zeitlichen Auflösung (maximal 8 Bilder/s) dieser Technik. Ein weiterer Vorteil ist, dass sie untereinander eine gute Kontrastierung erlauben, erstens weil /z/ und /ʃ/ sich nur geringfügig unterscheiden, zweitens weil drei von diesen Lauten den gleichen Artikulationsmodus und drei wiederum die gleiche Artikulationsstelle aufweisen.

Bevor die Ergebnisse noch einmal zusammengefasst werden, soll hier ein kurzer Überblick über die Struktur der Arbeit gegeben werden.

In der Einleitung (Kapitel 0) wurde die einschlägige Literatur vorgestellt und diskutiert. Dabei wurde auf bisher ungeklärte Fragestellungen und auf unberücksichtigt gebliebene Bereiche hingewiesen. Als wichtigste Zielsetzung wurde die Entwicklung von artikulatorischen und akustischen Parametern für die Beurteilung von Einzellaute genannt, die einen direkten Vergleich zwischen diesen Bereichen erlauben.

Um die Auswahl der zu untersuchenden Aspekte und den Aufbau der Untersuchung zu verdeutlichen, wurde bereits zu Beginn der Arbeit, in Kapitel I, das methodische Vorgehen der Studie vorgestellt. Hier wurde auf die Mittel der prä- und postoperativen Datenerhebung in Bezug auf die allgemeine motorische Funktion, Sprechfähigkeit, artikulatorische Mechanismen und Verständlichkeit sowie die Operationsdokumentation eingegangen. Es ist anzumerken, dass für die Erfassung dieser Bereiche bisher keine breit akzeptierten, statistisch validierten Verfahren existieren, so dass die hier verwendeten Methoden zunächst auf ihre Gültigkeit für die Beurteilung funktioneller Fertigkeiten von Glossektomierten geprüft werden mussten. Dies gilt besonders für die Echtzeit-MRT, eine relativ neue Methode in der artikulatorischen Forschung, die erstmals in der Untersuchung von beeinträchtigtem Sprechen eingesetzt worden ist.

In Kapitel 2 wurde eine Übersicht über die Funktionsweise der wichtigsten Muskeln im orofazialen Bereich gegeben, die an den Funktionen Kauen, Schlucken und Sprechen beteiligt sind und die während einer Operation der Zunge und/oder des Mundbodens evtl. beschädigt oder entfernt werden. Darauf folgten Angaben über die Verbreitung, Entstehung, Diagnose und Behandlung von Mundhöhlenkarzinomen sowie die Besprechung von aus der Literatur bekannten Ergebnissen bezüglich der Zungenfunktionalität nach verschiedenen Rekonstruktionstechniken. Auf dieser Grundlage wurden die Operationen der hier untersuchten acht Patienten detailliert, ausgehend von den im Anhang befindlichen Operationsprotokollen, beschrieben (Mackenzie Beck et al., 1998, Nicoletti et al., 1999). Der Motorik-Untersuchungsbogen von Koppetsch (2004) wurde verwendet, um grob- und feinmotorische Funktionen von Unterkiefer, Lippen und Zunge zu erfassen. Im Hinblick auf den möglichen Einfluss von operativen Faktoren wie Tumorgröße und -lokalisierung, Resektionsgröße, Rekonstruktion sowie Funktionsausfall wurden einige Parameter genannt, deren Gültigkeit auf die Konsonantenproduktion sowie auf die allgemeine Verständlichkeit anhand der Ergebnisse später geprüft werden sollte.

In Kapitel 3 wurden, ausgehend von zahlreichen Veröffentlichungen, die theoretischen Grundlagen für die nachfolgenden akustischen und artikulatorischen Analysen gelegt. Zunächst wurden die Unterschiede der Sibilanten /s/ und /ʃ/ gegenüber anderen Frikativen

hervorgehoben: einerseits zeichnen sie sich durch eine Längsrille in der mittsagittalen Ebene hinter dem alveolaren, meist laminalen Zungenkontakt aus, andererseits verfügen sie über ein sekundäres Hindernis zusätzlich zur alveolaren Kontaktstelle. Die artikulatorische Unterscheidung zwischen /s/ und /ʃ/ lässt sich durch die Breite der Rille, die Form des Zungenrückens sowie durch die Größe eines bei /s/ und /ʃ/ entstehenden sublingualen Hohlraums vollziehen. Der akustisch bestehende Unterschied in den spektralen Schwerpunkten (4–6 kHz für /s/, 2,5–3 kHz für /ʃ/) wird von Perkell, Boyce & Stevens (1979) mit der unterschiedlichen Größe des sublingualen Hohlraums erklärt: beim Übergang von /s/ zu /ʃ/ löst sich der Zungenkontakt an den unteren Schneidezähnen, und es entsteht ein deutlich größerer sublingualer Hohlraum, was zur Verstärkung der natürlichen Resonanzen der Mundhöhle und zur Verschiebung der dominanten Frequenzen nach unten führt. Dies bildet die Grundlage für die Argumentation, /s/ sei vom artikulatorischen Aufwand her weniger anspruchsvoll für die Sprecher als /ʃ/.

Die Interpretation von Shadle (1990) weicht hiervon etwas ab: nach ihrem Modell entstehen die unterschiedlichen akustischen Charakteristika auf Grund der Tatsache, dass der Luftaufprall bei /s/ an den oberen, bei /ʃ/ an den unteren Schneidezähnen stattfindet. Narayanan, Alwan & Haker (1995) nehmen bei der Sibilantenbildung wiederum an, dass ausschließlich die oberen Schneidezähne als Hindernis eine Rolle spielen. Die unterschiedliche akustische Qualität resultiere aus der unterschiedlichen Lokalisation des Luftaufpralls auf die Zahnreihe.

Bezüglich der Produktion von /x/ wird von Mooshammer et al. (1995) über eine recht große artikulatorische Varianz berichtet. Eine mögliche Ursache ist, dass sich dieser Laut im Phonemsystem des Deutschen phonetisch gesehen leicht von benachbarten Lauten abgrenzen lässt. Somit ist die auditive Verwechslungsgefahr gering. Ausgehend von Kohler (1995) wurde für das Testwort *Tuch* eine velare Realisierung statt einer uvularen erwartet.

Der Lateral // wird durch das Zusammenziehen der Zunge in der Querrichtung gebildet, wodurch auf einer oder beiden Seiten die Luft frei durchströmen kann, was zur Entstehung eines sonoren Lautes mit einer deutlichen Formantstruktur führt. Vor einem tiefen Vokal wie im Testwort *lang* ist im Deutschen eine apikale Realisierung des alveolaren Laterals zu erwarten, was mit einer flachen Zungenrückenform sowie einer pharyngalen Verengung einhergeht. Akustisch sollte dies zu tieferen F2-Werten als bei laminaler Artikulation führen.

In Kapitel 4 ging es einerseits darum, geeignete Merkmale für die Beschreibung der hier untersuchten Konsonanten zu finden, die im zweiten Schritt anhand der Konsonantenproduktion nach Glossektomie auf ihre Gültigkeit überprüft wurden. Getestet wurden Parameter, die für die gesunde Artikulation als maßgeblich bezeichnet werden, ferner solche, die für unterschiedliche Fehlartikulationen bei Dysgnathien oder habituellem Sigmatismus als distinktiv herausgearbeitet worden sind (Daniloff, Wilcox & Stevens, 1980, Lee et al., 2002, Karlsson et al., 2002).

Akustisch distinktive Merkmale zwischen /z/ und /ʃ/ (bei einer Minimierung des Stimmhaftigkeitsunterschieds durch die Vernachlässigung des unteren Frequenzbereichs zwischen 0 und 1 kHz) waren die Position des ersten Gipfels (G1), das Centre of Gravity (CoG) sowie die Dispersion (Dis). Parameter wie absolute und relative (an der Wortlänge normierte) Dauer, absolute und relative Intensität sowie Friktionsbandbreite des ersten Gipfels eigneten sich im Datenmaterial weder zur /z/-/ʃ/-Distinktion, noch zeigten sie eine Korrelation mit der postoperativen Einteilung auf auditiver, d. h. ohrenphonetischer Basis. Das Parameter G1 erwies sich nicht robust genug gegenüber postoperativen Veränderungen, da die spektrale Struktur hier oft stark verändert oder schwer definierbar war. Als wenig aussagekräftig zeigte sich die Ermittlung von Formantwerten, die bereits in den präoperativen Spektren keine ausreichende Differenzierung zwischen /z/ und /ʃ/ ermöglichten und postoperativ oft gar nicht erkennbar waren.

Kapitel 5 beinhaltete eine qualitative und eine quantitative Analyse von Aufnahmen mit Echtzeit-MRT. Der qualitativen Beschreibung lagen MRT-Scans, die den jeweiligen Konsonanten abbildeten, zugrunde. Analysiert wurden Position und Länge der Verengung, Zungenform sowie Unterkiefer- und Lippenöffnung. Grundlage für die quantitative Analyse bildeten die in einem semipolaren Koordinatensystem abgebildeten Distanzen von Zunge einerseits, Alveolen, Gaumen und Rachenraum andererseits (ZAGR-Kurven) sowie die daraus erstellten Steigungskurven. Untersucht wurden Parameter zur Erfassung der Position und Länge der Verengung sowie der Zungenform (flach vs. gewölbt).

In Kapitel 6 wurde die allgemeine Verständlichkeit mit Hilfe des Münchner Verständlichkeitsprofils (Ziegler, Hartmann & Wiesner, 1992, Ziegler & Hartmann, 1993) evaluiert. Dieses Verfahren erlaubt eine Gegenüberstellung der objektiven Verständlichkeit (Anzahl falsch identifizierter Wörter) und der subjektiven Bewertung von Störungsgrad des Sprechens, Deutlichkeit der Artikulation, Stimmqualität sowie Sprechtempo. Ferner ist ein Modul im Test erhalten, das allgemeine Aussagen über problematische Artikulationsstellen und -modi der einzelnen Patienten ermöglicht.

Die Ergebnisse der auditiven, akustischen und artikulatorischen Analyse wurden in Kapitel 5 (Sibilanten /z/ und /ʃ/: 5.2.3, Lateral /l/: 5.3.4, velarer Frikativ /x/: 5.4.3, Hypothesenprüfung: 5.6) zusammengeführt und im Zusammenhang mit der Physiologie diskutiert. An dieser Stelle sollen daher lediglich die wichtigsten Erkenntnisse noch einmal zusammengefasst werden. Dabei wird wie in den Kapiteln 4 und 5 vorgegangen, indem die Lautproduktion der Patienten, ausgehend von der auditiven Bewertung, gruppenweise beschrieben wird.

7.1 Die Sibilanten /z/ und /ʃ/

Für die akustische Analyse der Sibilanten wurde das Signal tiefpassgefiltert, erstens um den Effekt der Stimmhaftigkeitsdifferenz zu minimieren, zweitens um Artefakte durch den mit Störgeräuschen behafteten Bereich unterhalb von 1 kHz auszuschließen. Da ein Teil der Aufnahmen mit einer Abtastrate von 11 Hz durchgeführt wurde, ging lediglich der Bereich von 1 bis 5,5 kHz in die Analyse ein. (Die vollständig verfügbaren Daten wurden in Kapitel 4 ebenfalls ausgewertet, auf deren Diskussion an dieser Stelle der Übersichtlichkeit halber nur kurz verwiesen wird.) Die Grundlage für die akustische Analyse von /z/ und /ʃ/ bildeten die in 4.1.1 beschriebenen Parameter Centre of Gravity (= spektraler Schwerpunkt) sowie Dispersion (= Standardabweichung der Frequenzen um den spektralen Schwerpunkt). Die Mittelwerte für das Centre of Gravity (CoG) betragen präoperativ für /z/ 3391 Hz, für /ʃ/ 2684 kHz, der Unterschied war auf dem 0,05-Niveau nicht signifikant. Das Maß differenzierte zwischen den beiden Sibilanten im intraindividuellen, jedoch nicht in jedem Fall im interindividuellen Vergleich, d. h. CoG-Werte mancher Patienten für /z/ lagen tiefer, als CoG-Werte für /ʃ/ bei anderen Patienten.

Für ein Spektrum, in dem der größte Gipfel charakteristischerweise breit ausfällt, ist eine größere Standardabweichung der Frequenzen um den spektralen Schwerpunkt herum zu erwarten. Entsprechend wurde für /z/ eine größere Dispersion erwartet als für /ʃ/, dessen Spektrum oft zweigipflig ist, wobei der Bereich mit großer Intensität schmaler als bei /z/ ausfällt. Die präoperativen Werte entsprachen der erwarteten Tendenz nur teilweise (985 Hz für /z/, 795 Hz für /ʃ/), was vermutlich mit dem Wegfall des Bereiches oberhalb von 5,5 kHz zusammenhängt. (Die Filterung allein kann jedoch keine Erklärung für die geringere Trennschärfe der Dispersionswerte sein, da diese auch bei einer Frequenzbreite von 1 bis 11 kHz nicht ausreichend differenziert waren.)

Die artikulatorische Differenzierung von /z/ und /ʃ/ basierte auf den ZAGR-Kurven sowie auf den Steigungskurven. Aus den artikulatorischen Unterschieden zwischen den beiden Sibilanten ergaben sich für die ermittelten Parameter folgende Erwartungen: (1) das Minimum der Distanzkurve für /ʃ/ liegt weiter hinten als für /z/, (2) die Anzahl der

Winkelpunkte, die vor und hinter dem Minimum einen stagnierenden Kurvenverlauf zeigen, ist bei /ʃ/ höher als bei /z/, (3) der Anstieg der Kurve hinter dem Punkt der minimalen Entfernung ist für /ʃ/ flacher als für /z/, und (4) die Differenz zwischen Minimum und Maximum im Bereich vor der Uvula ist für /ʃ/ kleiner als für /z/.

Die Analyse der präoperativen Realisierungen bestätigte tendenziell die Annahme, dass das Kurvenminimum für /ʃ/ weiter hinten lokalisiert sein muss als für /z/, was jedoch nur bei vier von acht Patienten durchgehend war. Die Verengungslänge, auf die aus der Stagnation der Kurve gefolgert wurde, war durchschnittlich ebenfalls länger für /ʃ/, die Tendenz ließ sich jedoch auch hier nur bei vier Patienten eindeutig nachweisen.

Eindeutiger war die Differenzierung anhand der parametrisierten Zungenform: die größeren Maxima für /z/, die zwischen Alveolen und Uvula gemessen wurden, deuteten auf eine flache midsagittale Zungenform bei /z/ im Gegensatz zur gewölbten Zungenform bei /ʃ/ hin (bei sieben von acht Patienten). Ebenso aussagekräftig war die Differenz zwischen Minimum und Maximum der ZAGR-Distanz-Kurve im vorderen Mundhöhlenbereich: sie fiel bei sieben von acht Patienten für /z/ größer aus, was ebenfalls als Beweis für die präoperativ flachere Zungenform gewertet wurde. Ferner zeigte sich, dass der Querschnitt der Verengung, d. h. der minimale Abstand zwischen Zungenspitze und Alveolen, für /z/ in sechs von acht Fällen kleiner war.

Entsprechend der Abbildung 3-1 zeichnet sich /z/ ferner durch eine midsagittal tiefe Rille aus, was zum einem zweiten Minimum der Kurve führte. Dieses, nur für /z/ charakteristische, Merkmal war an allen präoperativen ZAGR-Distanz-Kurven erkennbar.

Im Folgenden werden die postoperativen Ergebnisse für die Sibilantenproduktion vorgestellt. Der erste Schritt war die auditive, d. h. ohrenphonetische Bewertung der prä- und postoperativen Lautproduktion. Zwischen den beeinträchtigten Realisierungen zeigten sich zuweilen starke Ähnlichkeiten: sofern der Ziellaut /z/ zwar beeinträchtigt, aber dennoch identifizierbar war, so entstand beim Zuhören der Eindruck, der Laut sei palatalisiert. Der Ziellaut /ʃ/ wurde im Falle einer leichten bis mittelschweren Beeinträchtigung lateralisiert gesprochen. Die Beeinträchtigung der beiden Ziellaute war bei den Patienten in etwa gleich schwer, d. h. eine palatalisierte /z/-Produktion ging meist mit einer lateralisierten /ʃ/-Produktion einher.

Die postoperativen Sibilantenrealisierungen wurden bei drei Patienten auditiv als normal, und bei vier Patienten als leicht bis mittelschwer beeinträchtigt eingestuft. Bei einem Patienten konnten die Ziellaute nicht identifiziert werden. Diese Einteilung bildete die Grundlage für die Auswertung der Akustik und der Artikulation.

7.1.1 Gruppe I

Diejenigen Patienten (GL3, GL4, GL6), bei denen ohrenphonetisch keine postoperative Beeinträchtigung der Sibilantenrealisierungen festgestellt werden konnte, wurden zusammenfassend als Gruppe I bezeichnet.⁴³

Anatomie:

Gemeinsam für die drei Patienten aus der Gruppe I war, dass sie an kleinen, als T1 klassifizierten Tumoren litten, sowie dass die obere Zahnreihe erhalten war. Während die Zunge von GL3 postoperativ weitgehend frei beweglich war, wurde sie bei GL4 und GL6 im vorderen Mundhöhlenbereich am Mundboden fixiert.

⁴³ Obwohl die /ʃ/-Realisierung bei einem Patienten (GL6) gegenüber der präoperativen Realisierung leicht verändert war, wurde er aufgrund der normalen /z/-Produktion ebenfalls zu dieser Gruppe gezählt.

Akustik:

Die akustischen Korrelate der auditiv als normal wahrgenommenen Sibilantenproduktion glichen den präoperativ ermittelten Parametern: die CoG-Werte für /z/ und /ʃ/ wichen postoperativ nicht wesentlich von den präoperativen Werten ab. Die Differenzierung zwischen den beiden Sibilanten war problemlos möglich, wobei in einigen Fällen der spektrale Bereich oberhalb von 5,5 kHz mit berücksichtigt werden musste.

Bei den Patienten der Gruppe 1 waren die postoperativen Dispersionen für /z/ unverändert, während sich für /ʃ/ keine einheitliche Tendenz beobachten ließ (niedrigere Werte für GL3 und GL4, höhere Werte für GL6). Eine Differenzierung zwischen /z/ und /ʃ/ war nur anhand des Frequenzbereiches von 1 bis 11 kHz, nicht jedoch bis 5 kHz möglich, wobei Dis für /ʃ/ erwartungsgemäß kleiner als CoG ausfiel.

Artikulation:

Der Verlauf der ZAGR-Distanz-Kurven wies bei GL3 und GL6 die für die präoperativen Kurven charakteristischen Merkmale auf: bei /z/ ein steilerer Anstieg der Kurve sowie eine zweite Verengung, die auf die mittsagittale Rillenbildung hindeutet. Die postoperativen Kurven von GL4 erlauben keine eindeutigen Aussagen, da die Qualität der MRT-Aufnahmen beeinträchtigt und die Scans dadurch unscharf sind.

Die Auswertung der artikulatorischen Parameter zeigte, dass die Konstriktion für /z/ bei den Patienten der Gruppe 1 nicht durchgehend weiter vorn als für /ʃ/ lokalisiert war, die Verengung war jedoch in jedem Fall kürzer als bei /ʃ/.

7.1.2 Gruppe 2

Zu Gruppe 2 gehörten diejenigen Patienten (GL1, GL2, GL7, GL8), bei denen eine leichte bis mittelschwere Palatalisierung von /z/ sowie eine Lateralisierung von /ʃ/ beobachtet wurde.

Anatomie:

Alle Patienten in dieser Gruppe hatten einen T2-Tumor (Durchmesser zwischen 2 und 4 cm), von denen zwei am Mundboden und zwei an der Zunge lokalisiert waren. Im Zuge der primären Rekonstruktion war die Zunge bei GL1, GL2 und GL7 vorn und/oder seitlich, bei GL8 in der gesamten Länge am Mundboden fixiert.

Akustik:

Die Veränderung zeichnete sich akustisch dadurch aus, dass die postoperativen CoG-Werte für /z/ bei drei Patienten deutlich tiefer als die präoperativen ausfielen. Bei Patient GL2, bei dem sich die Beeinträchtigung eher durch eine Affrizierung als durch eine Palatalisierung auszeichnete, war der CoG-Wert hingegen unverändert. Die Veränderungen der postoperativen CoG-Werte für /ʃ/ im Vergleich zu den präoperativen Messungen waren unsystematisch. Alle Spektren zeigten postoperativ eine weitgehende Neutralisierung der CoG-Werte für /z/ und /ʃ/.

Die Dispersionswerte für /z/ fielen postoperativ mehrheitlich kleiner als präoperativ aus. Für /ʃ/ waren sie in drei Fällen unverändert, lediglich GL7 hatte postoperativ deutlich kleinere Werte. Es ist etwas schwierig, den postoperativen Vergleich zwischen den Dispersionswerten für /z/ und /ʃ/ zu interpretieren. Werden der Analyse die gefilterten Spektren zugrunde gelegt, so zeigen sich für die Gruppe 2 meist (außer bei GL8) kleinere Dispersionen für /ʃ/, während sie für Spektren bis 11 kHz mit den Werten für /z/ weitgehend identisch sind.

Artikulation:

Der anhand der akustischen Analyse entwickelte Eindruck der Neutralisierung von /z/ und /ʃ/ in der Gruppe 2 wurde durch die qualitative Auswertung der ZAGR-Distanz-Kurven weitgehend bestätigt. Bei drei von vier Patienten war der Kurvenverlauf für die beiden

Konsonanten ähnlich, und die Kurven glichen eher den präoperativen /ʃ/-Kurven, indem sie nach dem Minimum flach anstiegen und keine sekundäre Verengung im präuvularen Bereich aufwiesen. Demnach war die Zungenform bei beiden Sibilanten gewölbt, und eine mitt-sagittale Rillenbildung konnte nicht beobachtet werden.

Bei einem Patienten, GL1, der /z/ mit der für die Gruppe 2 typischen Palatalisierung produzierte, konnte der auditive Eindruck und das akustische Ergebnis anhand der ZAGR-Distanz-Kurven nicht bestätigt werden. Die Kurve für /z/ wies wie präoperativ nach dem Minimum einen steilen Anstieg auf, und die Konstriktion war an der gleichen Stelle lokalisiert wie präoperativ. Der Unterschied zum präoperativen Kurvenverlauf bestand darin, dass der Anstieg hinter der Konstriktionsstelle nicht unterbrochen wurde, somit war keine sekundäre Verengung erkennbar. Da dies als Korrelat der Rillenbildung interpretiert wurde, scheint hier demnach ein wichtiger Bestandteil der /z/-Produktion zu fehlen. Es ist interessant, dass das akustische Ergebnis sich bei diesem Patienten dennoch nicht von den anderen Patienten der Gruppe 2 unterscheidet, d. h. die Klänge von /z/ und /ʃ/ sind auch bei ihm neutralisiert.

Vor dem Hintergrund, dass die Lokalisierung der Enge für /z/ präoperativ weiter vorn als für /ʃ/ lokalisiert war, ist es überraschend, dass dieses Verhältnis postoperativ umkehrt: der Punkt, ab dem der Anstieg der ZAGR-Distanz-Kurve beginnt, liegt bei allen vier Patienten dieser Gruppe weiter hinten für /z/ als für /ʃ/. Des Weiteren ist die Konstriktionslänge bei drei Patienten (nicht bei GL1) länger für /z/ als für /ʃ/. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Produktion von /z/ postoperativ in größerem Maße verändert ist als die von /ʃ/. Erhalten blieb hingegen die für die minimale Entfernung festgestellte Reihenfolge: bei allen Patienten war die Zunge bei der Produktion von /z/ näher an den Alveolen als bei /ʃ/.

7.1.3 Gruppe 3

Gruppe 3 bestand aus einem einzigen Patienten (GL5), bei dem die Identifizierung der Ziellaute nicht möglich war.

Anatomie:

GL5 litt an einem Mundbodenkarzinom der Größe T2, wobei die Resektion den Mundboden sowie die Zungenunterseite in ihrer gesamten Länge betraf. Entsprechend wurde die Zunge längs am Mundboden und an der Innenseite der Unterlippe fixiert. Dies führte zu starken motorischen Einschränkungen.

Akustik:

Bei GL5 lag das Centre of Gravity für /z/ postoperativ nicht nur deutlich tiefer als bei den präoperativen /z/-Realisierungen, sondern auch deutlich tiefer als die (kaum veränderten) CoG-Werte für die postoperativen /ʃ/-Laute.

Die postoperative Dispersion war bei diesem Patienten für /z/ kleiner, für /ʃ/ größer als präoperativ. Die Differenz war im postoperativen Vergleich praktisch neutralisiert.

Artikulation:

Die ZAGR-Distanz-Kurven zeigten ein entsprechendes Bild: die Kurven für /z/ und /ʃ/ verliefen praktisch parallel zueinander. Sie unterschieden sich lediglich durch ihre anfängliche Höhe, mit anderen Worten lag die Zunge bei /ʃ/ etwas weiter weg von den Alveolen und vom harten Gaumen.

Dies war auch der einzige messbare Unterschied in der parametrisierten Auswertung, d. h. die minimale Entfernung war für /ʃ/ größer als für /z/. Da eine Verengung im alveolaren Bereich fehlte, konnte in der Position der Konstriktionsbildung oder der Konstriktionslänge sinngemäß kein Unterschied festgestellt werden. Die Zungenform war bei den beiden Sibilanten ebenfalls gleich.

7.1.4 Diskussion der Ergebnisse

Vor dem Hintergrund der hier vorgestellten Ergebnisse lassen sich drei Hypothesen diskutieren (s. auch 5.6), die sich der Frage widmen, warum /s/⁴⁴ und /ʃ/, die sich in ihrer Produktion nur geringfügig unterscheiden, bezüglich ihrer spektralen Charakteristika dennoch stark voneinander abweichen. Die Hypothese von Perkell, Boyce und Stevens (1979), die bei der Differenzierung zwischen /s/ und /ʃ/ einem sublingualen Hohlraum entscheidende Bedeutung beimessen, erscheint anhand der hier vorgestellten Ergebnisse unwahrscheinlich, da der Patient GL4 trotz der anterioren Zungenfixierung postoperativ ein unauffälliges /ʃ/ produzieren kann. Möglich ist dennoch, dass GL4 rechts oder links von der midsagittalen Ebene den für /ʃ/ erforderlichen sublingualen Hohlraum bildet und dadurch das gewünschte akustische Ergebnis erreichen kann.

Das von Shadle (1990) vorgeschlagene Modell schreibt dem Aufprall des Luftstroms an einem Hindernis eine zentrale Rolle zu, wobei bei der /s/-Produktion die oberen, bei der /ʃ/-Produktion die unteren Schneidezähne als Hindernis dienen sollen. Demnach müsste das Fehlen der unteren Zahnreihe zu Beeinträchtigungen der /ʃ/-Bildung führen. Dagegen sprechen jedoch erneut die Ergebnisse bei GL4, die nach der Entfernung der unteren Zahnreihe dennoch eine unbeeinträchtigte Produktion von /ʃ/ belegen. Denkbar ist natürlich, dass der untere Zahndamm die Funktion des Hindernisses übernehmen kann. Diese Annahme führt jedoch zu der Frage, warum dies im Falle der Patienten der Gruppe 2, bei denen die mittleren Zähne der obere Zahnreihe fehlen, nicht passiert, d. h. warum der obere Zahndamm bei ihnen nicht die Rolle des Hindernisses übernehmen kann, was zu einer unbeeinträchtigten /z/-Produktion führen könnte.

Die dritte Hypothese, die von Narayanan, Alwan & Haker (1995) formuliert wurde, geht ebenfalls von der Wichtigkeit des Luftstromaufpralls an einem Hindernis aus, was nach ihrer Vermutung sowohl für /s/ als auch für /ʃ/ die obere Zahnreihe sein müsste. Der akustische Unterschied entstünde demnach in Abhängigkeit von der Stelle des Aufpralls. Im Falle von /s/ erreiche der Luftstrom die obere Zahnreihe aufgrund der Rillenbildung weiter unten als während der /ʃ/-Produktion, bei der die Luft oberhalb der gewölbten Zunge entlang strömt und weiter oben auf die obere Zahnreihe trifft.

Während die Hypothese von Perkell, Boyce & Stevens (1979) experimentell untermauert und die von Shadle (1990) auf ein akustisches Modell bezogen wurde, lagen der Hypothesenbildung von Narayanan, Alwan & Haker (1995) lediglich Vermutungen zugrunde. Eine Verifizierung oder Falsifizierung der Hypothesen ist daher anhand der hier vorgestellten Ergebnisse sicher nicht möglich, zumal bei den pathologischen Daten vom Einfluss weiterer, indirekt erschließbarer oder komplexer Faktoren ausgegangen werden muss. So ist hier beispielsweise möglich, dass die erfolgreiche Produktion von /z/ und /ʃ/ nicht allein auf das Vorhandensein der oberen bzw. unteren Zahnreihe oder eines sublingualen Hohlraums zurückzuführen ist, sondern auf den Erhalt der allgemeinen motorischen Fähigkeiten oder das Ausmaß der Resektion. Eine eingehende Untersuchung weiterer Glossektomiepatienten bezüglich dieser Hypothesen wäre daher wünschenswert.

7.2 Produktion des Laterals //

Bei der Analyse der Laterale lag das Gewicht auf der Überprüfung der Gültigkeit normal-sprachlicher Parameter für die apikale vs. laminale Artikulation sowie auf dem artikulatorischen Vergleich zwischen den Koronallauten //, /z/ und /ʃ/.

In Kapitel 3 wurde die // -Artikulation mit folgenden artikulatorischen und akustischen Merkmalen korreliert:

⁴⁴ Da die stimmlose Ausprägung des alveolaren Frikativs weit häufiger als die hier untersuchte stimmhafte Realisierung ist (s. die Begründung in 3.1.2), beziehen sich Hypothesenbildungen stets auf /s/ und nicht auf /z/.

- apikal:** (1) pharyngale Verengung, (2) flache Zungenform, (3) niedrigerer F1 und F2, (4) größere F2-F3-Differenz, (5) abrupte Transitionen;
- laminal:** (1) pharyngale Öffnung, (2) gewölbte Zungenform, (3) höherer F1 und F2, (4) kleinere F2-F3-Differenz sowie (5) allmähliche Transientenübergänge.

Präoperativ wurde bei allen Patienten eine apikale // -Artikulation festgestellt. Die Bereiche für die einzelnen Formanten ließen sich gut voneinander abgrenzen.

Die apikale Artikulation zeichnete sich durch einen steilen Kurvenverlauf hinter der minimalen ZAGR-Distanz aus, die im Allgemeinen kleiner als bei den Sibilanten ausfiel. Entgegen den unter 3.3 und 5.3.1 formulierten Hypothesen war die Variabilität der ZAGR-Distanz-Kurven im anterioren Mundhöhlenbereich kleiner als bei den Sibilanten, für die im Allgemeinen eine konstante Bildungsweise angenommen wird.

Postoperativ blieb die apikale Bildung nur in einem Fall erhalten. Bei vier Patienten lag eine laminal, leicht palatalisierte Artikulation mit einer medialen Verschlusslösung vor, drei Patienten realisierten einen Approximanten ohne Verschlusslösung. Die akustischen und artikulatorischen Ergebnisse werden im Folgenden für diese drei Gruppen getrennt diskutiert. Da beim Parameter ‚abrupte vs. allmähliche Transientenübergänge‘ kein systematischer Unterschied zwischen den prä- vs. und postoperativen bzw. apikalen vs. laminalen Realisierungen erkennbar war, wird er bei dem folgenden Überblick nicht berücksichtigt.

7.2.1 Gruppe 1

Gruppe 1 wurde durch den Patienten GL3 gebildet, bei dem auditiv keine Veränderung in der postoperativen // -Produktion gegenüber dem präoperativen Ergebnis festgestellt wurde.

Anatomie:

Der Tumor von GL3 war an der Zungenseite lokalisiert. Aufgrund der kleinen Tumorausdehnung betraf die Resektion lediglich den lateralen Zungenkörper, und der Defekt wurde in sich vernäht, ohne Hinzuziehung weiterer Gewebestrukturen wie Mundboden oder Platysmalappen. Dadurch behielt die Zunge und insbesondere die Zungenspitze eine weitgehende Bewegungsfreiheit bei.

Akustik:

Der erste Formant war postoperativ unverändert, der zweite lag etwas höher als präoperativ. Aufgrund des höheren F2 war die Differenz zwischen F2 und F3 etwas kleiner.

Artikulation:

Der postoperative Kurvenverlauf glich weitgehend dem präoperativen, außer der Tatsache, dass die Öffnung im pharyngalen Bereich größer war. Dies korreliert mit den postoperativ erhöhten Werten für F2. Die Stelle und Länge der minimalen Verengung waren prä- und postoperativ gleich.

7.2.2 Gruppe 2

In dieser Gruppe wurden diejenigen Patienten (GL1, GL2, GL4 und GL6) zusammengefasst, bei denen das Segment als Lateral identifiziert werden konnte, jedoch einen laminalen Charakter aufwies.

Anatomie:

Die Gruppe war hinsichtlich der Tumorgröße inhomogen. Gemeinsam für die Patienten war, dass die Rekonstruktion den vorderen mittleren Zungenanteil betraf, wodurch die Zungenspitze in ihren Bewegungen eingeschränkt war. (Bei GL1 wurde die Zungenspitze von der Resektion erfasst; hier wurde lateral eine neue Zungenspitze gebildet.)

Akustik:

Bei drei Patienten wurde postoperativ, entsprechend den Erwartungen, ein höherer F1 beobachtet, während der Wert bei GL1 tiefer lag. F2 war bei zwei Patienten tendenziell höher (GL1 und GL2), während die Veränderung bei GL 4 und GL6 nicht systematisch war. Die postoperative F2-F3-Differenz war bei GL1, GL2 und GL4 kleiner, bei GL6 unverändert.

Artikulation:

Der Kurvenanstieg war bei drei Patienten postoperativ deutlich flacher als präoperativ, bei GL1 zeigte sich keine Veränderung. Bei GL4 und GL6 ließ sich eine pharyngale Verengung beobachten, bei GL1 war die Öffnung größer, bei GL2 unverändert.

Die Enge war postoperativ bei drei Patienten nach hinten verschoben, bei GL1 blieb sie unverändert. Die Verengung war in drei Fällen (GL2, GL4, GL6) länger als präoperativ, bei GL1 jedoch kürzer. Die minimale Distanz war bei drei Patienten verkleinert (GL1, GL4, GL6) und bei GL2 geringfügig vergrößert.

7.2.3 Gruppe 3

Drei Patienten (GL5, GL7 und GL8) konnten postoperativ kein als Lateral erkennbares Segment produzieren. Die Realisierung hatte eher den Charakter eines Approximanten und war nicht eindeutig identifizierbar.

Anatomie:

Bei zwei Patienten, GL5 und GL8 war die Zunge in ihrer gesamten Länge am Mundboden fixiert. Bei GL7 betraf die Resektion den vorderen Zungenanteil sowie die Zungenspitze. Alle Patienten hatten einen Tumor der Größe T2.

Akustik:

F1 war bei GL5 postoperativ etwas höher, bei GL8 etwas tiefer und bei GL7 gleich hoch wie präoperativ. F2 fiel bei GL5 und GL7 etwas höher aus, bei GL8 war er unverändert. Die F2-F3-Differenz war bei GL5, wie für die laminalen Artikulation erwartet, kleiner, bei GL7 hingegen größer, während die Werte von GL8 weit verstreut waren.

Der Mangel an eindeutigen Tendenzen in dieser Gruppe zeigt, dass die Beeinträchtigung sich anhand der untersuchten Parameter nicht erfassen lässt, da hier nicht von Lateralproduktion gesprochen werden kann. Dies bestätigt auch das sonographische Bild, das ein verwaschenes Segment mit einer unklaren Formantenstruktur zeigt. Transientenübergänge lassen sich im Sonagramm nicht eindeutig nachweisen, sie sind eher der Formantenstruktur des nachfolgenden Vokals⁴⁵ angepasst.

Artikulation:

Die postoperativen ZAGR-Distanz-Kurven von GL7 und GL8 unterschieden sich nicht wesentlich von denen der Gruppe 2: sie zeigten ebenfalls einen flacheren Anstieg hinter der Stelle der minimalen Distanz, die etwas weiter hinten als präoperativ lokalisiert war. Aufgrund des Gewebeverlustes bei GL8 und der anterioren Zungenfixierung bei GL7 war im pharyngalen Raum eine Öffnung zu beobachten. Die Kurve von GL5 war unspezifisch, indem sie sich kaum von der /z/- sowie /ʃ/-Kurve unterschied. Der Anstieg war nur geringfügig flacher, jedoch wesentlich kürzer als bei allen anderen Patienten.

Die Verengung wurde von GL7 und GL8 deutlich weiter hinten als präoperativ produziert. Bei GL5 war die Kontaktstelle nach vorn verlagert, was sich auf die Fixierung der Zunge im vordersten Bereich des Mundbodens zurückführen lässt. Die minimale Distanz war bei GL8 etwas größer, bei GL5 wesentlich größer und bei GL7 deutlich kleiner als präoperativ.

⁴⁵ Der Ziellaut kam im Testwort *lang* in initialer Position vor.

7.2.4 Diskussion der Ergebnisse

Die freie Beweglichkeit der Zungenspitze scheint für die Produktion des apikalen // unerlässlich zu sein, anders als für die Produktion der laminalen Sibilanten /z/ und /ʃ/.

Ein Vergleich der akustischen und artikulatorischen Parameter zeigt, dass der Wechsel von der apikalen zur laminalen Artikulation akustisch in einem Anstieg der F1-Werte resultieren kann. Dies legen sowohl die unveränderten Werte des postoperativ apikal artikulierenden Patienten GL3 als auch die Werte von GL2, GL4 und GL6 mit einer laminalen und palatalisierten // -Produktion nahe. Dass die F1-Werte von GL1, dessen // auditiv zwar ebenfalls als palatalisiert eingestuft wurde, diesem Muster nicht entsprechen, ist nicht verwunderlich, da die postoperative Zungenform bei ihm trotz eindeutig laminaler Artikulation nicht die erwartete gewölbte Form annahm.

Es ist schwierig, zwischen den artikulatorischen Größen laminal vs. apikal bzw. pharyngale Öffnung vs. Verengung einerseits und den Veränderungen von F2 andererseits eine direkte Verbindung herzustellen. Die laminal und palatalisierte Artikulation sollte nämlich – im Sinne der Formantverschieber (vgl. Ungeheuer, 1962, Tillmann & Mansell, 1980, Pompino-Marschall, 1995), zu einem erhöhten F2 führen, ebenso eine größere pharyngale Öffnung. Wird der pharyngale Raum jedoch postoperativ verengt, wirkt dies der palatalisierungsbedingten F2-Erhöhung entgegen.

Dies lässt sich an den Ergebnissen der Gruppe 1 und 2 gut demonstrieren. Die postoperativen F2-Werte (bzw. die geringere F2-F3-Differenz) von GL3 gehen mit einer Vergrößerung der pharyngalen Weite. Ein postoperativ höherer F2 wurde bei zwei weiteren Patienten (GL1 und GL2) beobachtet, bei denen der pharyngale Raum postoperativ entweder vergrößert (GL1) oder unverändert (GL2) war. Aufgrund der entgegengesetzt wirkenden Tendenzen (postoperative Palatalisierung bzw. Veränderung des pharyngalen Raumes) waren die postoperativen F2-Werte unsystematisch verteilt.

Eine geringere F2-F3-Differenz wurde bei sechs von acht Patienten beobachtet, eine Korrelation war mit der pharyngalen Enge, nicht jedoch mit der Apikal-laminal-Alternation zu beobachten.

Ein Zusammenhang zwischen abrupten Transientenübergängen und der apikalen Artikulation konnte nicht nachgewiesen werden. Fehlende Übergänge waren jedoch das wichtigste akustische Merkmal von Realisierungen in der Gruppe 3, die auditiv als Approximant klassifiziert wurden. Obwohl die Artikulation von GL7 und GL8 laminal war, ging sie nicht mit höheren F1-Werten einher. Auch hier galt die Tendenz, dass eine größere pharyngale Öffnung mit höheren F2-Werten einhergeht.

In 3.2 wurde auf Ergebnisse hingewiesen, die für Laterale eine größere artikulatorische Varianz sowie eine größere Lippen- bzw. Kieferwinkelöffnung feststellten als für Sibilanten. Anhand der ZAGR-Distanz-Kurven zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung demgegenüber eine größere Präzision und eine geringere Varianz bei der präoperativen // -Artikulation als bei den Sibilanten /z/ und /ʃ/. Der Kieferwinkel wurde parametrisch nicht erfasst, da die unterschiedlichen vokalischen Umgebungen der Ziellaute einen direkten Vergleich nicht als sinnvoll erscheinen ließen. Zwar wurde in den MRT-Scans für // präoperativ mehrheitlich eine größere Kieferöffnung festgestellt, doch ist dies wegen der Nachbarschaft zum tiefen Vokal /a/ im Vergleich zu den Umgebungen /o:zi:/ und /ʃε:/ nicht eindeutig auf das unterschiedliche artikulatorische Verhalten der Laterale gegenüber Frikativen zurückzuführen.

7.3 Der velare Frikativ /x/

Aufgrund der geringfügigen Verwechselbarkeit von /x/ mit anderen deutschen Konsonantenphonemen wurden prä- wie postoperativ eine recht große Produktionsvariation sowie grö-

Bere Zungen-Velum-Distanzen vorhergesagt. Ferner wurde in Anlehnung an Kohler (1995) in /u:-Umgebung eine velare anstatt einer uvularen Produktion angenommen.

Präoperativ wurden die meisten /x/-Phoneme friktionslos und mit wenig strukturierten Spektren realisiert. Artikulatorisch wurde eine Variation von velaren und uvularen Realisierungen festgestellt.

Mit Ausnahme von GL5 war auditiv bei keinem Patienten eine Beeinträchtigung wahrzunehmen. Die Realisierungen unterschieden sich jedoch akustisch durch das Vorhandensein oder Fehlen einer Friktion und artikulatorisch durch die Artikulationsstelle velar bzw. uvular. Aus diesem Grunde konzentrierte sich die akustische und artikulatorische Analyse auf die Parametrisierung dieser Eigenschaften.

Akustik:

Realisierungen mit einer hörbaren Friktion zeichneten sich durch ein deutlich strukturiertes Spektrum sowie durch das Vorhandensein von spektralen Maxima oberhalb von 3 kHz aus. Segmente mit schwacher Friktion hatten flache Spektren mit geringer Intensität in den höheren Frequenzbereichen. Für die akustische Unterscheidung haben sich die Parameter Centre of Gravity und Dispersion als nützlich erwiesen.

Artikulation:

Die Standardabweichung der ZAGR-Distanz-Kurven war deutlich größer als bei den koronalen Lauten /z/, /ʃ/ und /l/, und die minimale Entfernung betrug 10 mm gegenüber 5 mm bei den Alveolarlauten.

Die Einzelanalyse zeigte präoperativ in drei Fällen eine rein uvulare oder velar-uvulare Artikulationsstelle, postoperativ wurde diese fünfmal beobachtet. Da für die uvulare Artikulation eine geringfügigere Anhebung des Zungenkörpers ausreicht, wurde der postoperative Wechsel zur uvularen Produktion bei zwei Patienten als kompensatorischer Mechanismus interpretiert.

Die minimale Distanz war bei den uvularen Realisierungen etwas kleiner als bei den velaren. Überraschend war, dass die postoperative uvulare Artikulation mit deutlich kürzeren Verengungslängen einherging als die präoperative velare oder uvulare Bildung.

Akustik und Artikulation:

Die Korrelierung akustischer und artikulatorischer Parameter erwies sich als recht komplex: ein flaches Spektrum indizierte ein friktionsarmes Klangbild, ein langsam abfallendes oder strukturiertes Spektrum war ein Zeichen für eine Friktion und/oder eine uvulare Artikulation, die Lokalisierung eines Gipfels bei 4,5 kHz zeigte eine velare, bei 3,5 kHz eine uvulare Artikulation an.

In einem Fall (GL6) deutete das spektrale Bild eindeutig auf eine uvulare Realisierung hin, während auf dem zugehörigen MRT-Scan desselben Patienten eine velare Artikulation erkennbar war. Daher wurde angenommen, dass die große artikulatorische Varianz im Falle von /x/ nicht nur im interindividuellen, sondern auch im intraindividuellen Vergleich gilt.

7.4 Konsonantenproduktion im Vergleich

Bei den koronalen Konsonanten waren der Zungen-Alveolen-Distanz und Verengungslänge bei /l/ am kleinsten, gefolgt von /z/ und von /ʃ/. Die Artikulationsstelle lag erwartungsgemäß bei /l/ am vordersten, bei /ʃ/ am hintersten Punkt, was im Kontext der apikal-laminalen Gegenüberstellung des Laterals und der Frikative nicht überrascht (s. Dart, 1991). Die Position der Zungenmitte war bei /l/ am tiefsten und bei /ʃ/ am höchsten. Bezüglich der hinteren Frikative wurde für /x/ eine weitere Konstriktion als für /χ/ ermittelt. Die Verengungslänge war für den velaren Frikativ ebenfalls größer als für die uvulare Realisierung. In den postoperativen Realisierungen erwies sich der Parameter Konstriktionsöffnung am robustesten, er blieb selbst bei schweren Produktionsstörungen erhalten. Die anderen Parameter ergaben post-

operativ nur bei relativ guten Realisierungen oder selbst dort nicht das für Normalartikulation geltende Muster.

7.5 Münchner Verständlichkeitsprofil

Die perzeptive Beurteilung des Sprechens wurde mit einem komplexen, computergestützten und validierten Verfahren, dem Münchner Verständlichkeitsprofil, durchgeführt (Ziegler, Hartmann & Wiesner, 1992, Ziegler & Hartmann, 1993). Die postoperativ aufgenommenen Wörter und Sätze wurden von je sechs sog. naiven (unbeteiligten) Hörern bewertet.

Der Test enthält zum Einen ein Modul, in dem die Kategorien Grad der Sprechstörung, Deutlichkeit der Artikulation, Stimmqualität und Sprechtempo auf einer Skala bewertet werden sollen. Die Punktzahlen für den Grad der Störung sowie die Deutlichkeit der Artikulation wurden zusammenfassend als subjektive Verständlichkeit bezeichnet.

Das zweite Modul besteht aus einem Identifikationstest mit 72 Items. Dabei müssen die von den Patienten gesprochenen (und über Kopfhörer dargebotenen) Wörter, die isoliert oder in variierten Trägersätzen kontextneutral eingebettet vorkommen können, auf einer Liste von zwölf Wörtern markiert werden. Der prozentuale Anteil der Fehlidentifikationen seitens der Hörer ergibt den Kehrwert der objektiven Verständlichkeit.

Die zwölf Wörter, die den Hörer zu jedem Zielwort zur Verfügung stehen, unterscheiden sich um ein oder zwei Segmente vom Zielwort, so dass die Antworten der Hörer nicht nur über die objektive Verständlichkeit, sondern auch über die mögliche Fehlerquelle eine Auskunft geben können. Werden beispielsweise Labiale mehrfach nicht erkannt oder richtig identifiziert, deutet dies auf eine Störung der Lippenmotorik beim Patienten hin.

Es ist aus früheren Untersuchungen (Ziegler & Hartmann, 1993, Mády et al., 2003) bekannt, dass das nicht pathologische Sprechen zu Fehlidentifikationen bis zu 7 % führen kann. Eine schlechtere Verständlichkeit wurde in der hier vorgestellten Patientengruppe bei GL1, GL2, GL5 und GL8 festgestellt. Am schwersten gestört war die Verständlichkeit bei GL5 (Anteil fehlerhafter Identifikationen: knapp 40 %).

Warum es bei perzeptiven Bewertungen unbedingt erforderlich ist, zwischen subjektiver (1. Modul) und objektiver (2. Modul) Verständlichkeit zu unterscheiden, wird schnell deutlich, wenn die Verteilung der Fehlidentifikationen mit den Punktzahlen für den Grad der Störung verglichen wird (s. Abbildung 6-1). Dabei zeigt sich, dass Patienten, deren objektive Verständlichkeit noch im normalen Bereich (< 7 %) lag, von den Hörern auf der siebenstufigen Skala alle Bewertungen zwischen Null und fünf Punkten erhalten konnten (,0' deutete auf keine Störung, ,6' auf eine schwere Störung hin). Mit anderen Worten können bereits relativ geringfügige, die Verständlichkeit nicht oder kaum beeinflussende Abweichungen von der Sprechnorm dazu führen, dass das Sprechen von klinisch nicht geschulten Gesprächspartnern als stark gestört bzw. sehr undeutlich wahrgenommen wird. Dies zeigt sich auch in der recht geringen Korrelation zwischen objektiven und subjektiven Verständlichkeitswerten. Andererseits zeigt sich, dass selbst Patienten mit schwersten Sprechstörungen (GL5) nicht komplett unverständlich sind – im Gegenteil, auch die Äußerungen dieses Patienten konnten über die Hälfte richtig identifiziert werden.

Die Werte für die objektive Verständlichkeit fielen bei einem Patienten, GL4, deutlich schlechter aus als die subjektive Beurteilung seitens der Hörer. Dies könnte evtl. an seinem postoperativ stark erhöhten Sprechtempo liegen, das auf einer Skala von -3 bis +3 im Mittel die Punktzahl 2 erhielt.

Die Auswertung der problematischen Artikulationsstellen zeigte, dass die am stärksten problembehafte Artikulationsstelle die alveolare war. Da das Deutsche in diesem Bereich über weit mehr Konsonanten verfügt als im labialen oder dorsalen Bereich, hat dies für die Verständlichkeit vermutlich schwerwiegende Konsequenzen. Ein direkter Vergleich

mit den in Kapitel 4 und 5 untersuchten Segmenten war nicht möglich, da das Münchner Verständlichkeitsprofil keine Differenzierung zwischen den einzelnen Konsonanten (in Bezug auf /z/, /ʃ/ und /l/) zulässt.

7.6 Anatomische Strukturen und Konsonantenproduktion

Die allgemeine Beurteilung der Auswirkungen von Tumorgröße und -resektion sowie der Rekonstruktion führte vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Kapitel 4, 5 und 6 zu folgenden Konklusionen (eine Zusammenfassung der Vorhersagen findet sich in Tabelle 2-4).

In der hier untersuchten Patientengruppe konnte ein direkter Zusammenhang zwischen Tumorgröße und Konsonantenproduktion, insbesondere der Sibilantenproduktion, sowie Verständlichkeit beobachtet werden. Eine Rolle der Tumorlokalisierung (Zunge vs. Mundboden) war für die Konsonantenbildung oder Verständlichkeit nicht erkennbar.

Die Durchtrennung oder Entfernung des anterioren M. genioglossus wirkte sich vor allem auf die Produktion des apikalen /l/ aus. Eine apikale Lautbildung gelang keinem Patienten, bei dem eine Beeinträchtigung des M. genioglossus vorlag.

Infolge der Neck dissection ist der M. digastricus, der der wichtigste Kieferöffner ist, bei allen Patienten entfernt worden. Dennoch war damit nicht notwendigerweise ein Trismus (Einschränkung der Kieferöffnung) verbunden. Die Muskelfunktion konnte offensichtlich von den übrigen Muskeln, die an der Kieferöffnung ebenfalls mitwirken, kompensiert werden.

Die Patienten, bei denen die oberen Schneidezähne erhalten waren, konnten die Sibilanten (nahezu) perfekt produzieren. Die unteren Schneidezähne waren lediglich bei einem Patienten vorhanden, dennoch wurde bei zwei weitere Patienten ohne untere Schneidezähne eine unbeeinträchtigte Sibilantenproduktion festgestellt.

Die Zunge wurde nur bei einem Patienten nicht fixiert. Bei ihm war eine apikale /l/-Artikulation möglich. Der unmittelbare Einfluss der Rekonstruktion mit oder ohne Platysma ließ sich anhand der hier untersuchten Patientengruppe nicht beurteilen, da das Platysma meistens eher bei den größeren Defekten verwendet wurde.

Eine Einschränkung der Unterkieferfunktion zeigt keine eindeutigen Zusammenhänge mit der Konsonantenproduktion. Sie wurde jedoch nicht bei allen Patienten erfasst. Die Lippenfunktion war bei fünf Patienten gestört, der Einfluss auf die labiale Konsonantenproduktion ist jedoch anhand der Verständlichkeitsprofile nicht erkennbar.

Vertikale Zungenbewegungen konnten nur die zwei Patienten durchführen, die gleichzeitig eine ungestörte Sibilantenproduktion aufwiesen. Da die Lautproduktion dieser Patienten durch zahlreiche weitere Faktoren begünstigt wurde, können in diesem Zusammenhang keine konkreten Aussagen formuliert werden.

7.7 Evaluierung der Untersuchungsmethodik

Die Kombination von akustischer Analyse und Echtzeit-MRT wurde im Rahmen des Projektes zum ersten Mal für die Untersuchung pathologischen Sprechens eingesetzt. Vergleichbare frühere Untersuchungen von glossektomiertem Sprechen basierten auf bildgebenden Verfahren wie Palatometrie, Elektropalatographie (EPG), elektromagnetische mitsagittale Artikulographie (EMMA), Röntgenkinematographie oder Ultraschall. Alle Methoden hatten jedoch erhebliche Nachteile bzw. Einschränkungen: eine schädigende Wirkung auf die Patienten oder schlechte Verträglichkeit (Röntgen, EPG, EMMA), problematische Quantifizierbarkeit (Palatometrie, Röntgenkinematographie, Ultraschall) bzw. die Beschränkung auf die mitsagittale Ebene (EMMA, Röntgen).

Die Vorteile der Magnetresonanztomographie gegenüber Röntgenaufnahmen ist die Nichtinvasivität. Sie ist für frisch operierte Patienten besser verträglich als palatometrische oder palatographische sowie EMMA-Aufnahmen, und sie bietet eine weitaus bessere Orien-

tierung in den anatomischen Strukturen als der Ultraschall. Nachteilig erwies sich in der Untersuchung die Beschränkung auf die midsagittale Ebene, die relativ schlechte zeitliche Auflösung (bisher max. acht Bilder/s) sowie die fehlende Abbildung nichtwasserhaltiger Strukturen (Knochen).

Im vergangenen Jahrzehnt wurden vermehrt artikulatorische Untersuchungen mittels MRT mit gesunden Probanden durchgeführt, in denen versucht wurde, diese Probleme zu umgehen. Es wurden zahlreiche Studien zur dreidimensionalen Ansatzrohrkonfiguration mit gehaltenen Einzellauten, vor allem Vokalen, durchgeführt (Shadle et al., 1999, Hoole et al., 2003, Narayanan et al., Passim.). Das Problem der fehlenden Darstellung der Zähne wurde von Narayanan, Alwan & Haker (1995) durch Anfertigung von Gipsabdrücken umgangen, die bei der 3D-Modellierung Berücksichtigung fanden.)

In weiteren Studien wurde versucht, die zurzeit technisch mögliche zeitliche Auflösung durch Synchronisationsverfahren zu verbessern, denen viele Wiederholungen der gleichen Lautfolge zugrunde lagen (Masaki, 1999, Kim, 2003). Eine vielversprechende Kombination ist die sog. ‚tagged MRI‘, bei der ein über die Scans projiziertes Gitter eine dreidimensionale Darstellungen in Echtzeit ermöglicht (Stone et al., 2003, NessAiver et al., 2003, Öztürk et al., 2001).

Es ist jedoch fraglich, ob die Adaptation dieser Verfahren für klinische Untersuchungen sinnvoll und ethisch vertretbar ist. Für die statischen dreidimensionalen Aufnahmen ist eine Phonation über die Dauer der Sequenz (die je nach Schichtdicke 14 bis 43 Sekunden lang sein kann) notwendig, was phonetisch untrainierten Personen nicht zuzumuten ist. Ferner ist postoperativ nicht davon auszugehen, dass die Muskelspannung über längere Zeit angehalten werden kann, was statische Aufnahmen aufgrund von Bewegungsartefakten grundsätzlich ausschließt. Für die synchronisierten Aufnahmen sowie tagged MRI ist eine recht hohe Zahl an Wiederholungen (100 oder mehr) notwendig, um ausreichende Daten für die Modellierung zu erhalten. Dies kann von einem freiwilligen Probanden, jedoch nicht von einem Patienten, und erst gar nicht im Rahmen einer größeren Untersuchungsreihe, erwartet werden.

Im klinischen Zusammenhang könnte der Einsatz von Ultraschall sinnvoll sein, der Informationen außerhalb der midsagittalen Ebene erfassen kann und mit einem relativ geringen technischen Aufwand funktioniert. Der größte Nachteil dieses Verfahrens ist die schwierige Objektivierbarkeit sowie die schlechte Vergleichbarkeit zwischen zwei verschiedenen Aufnahmen. Hier könnten evtl. Systeme, die den Kopf und Schallkopf fixieren und deren relative Position zueinander erfassen, eingesetzt werden (s. Stone et al., 1988, Stone & Davis, 1995, Angerstein, 1994). Ultraschall hat jedoch den gleichen Nachteil wie die MRT, dass knöcherne Strukturen wie Zähne nicht abgebildet werden können.

Der Aufbau dieser Studie war primär durch das Interesse an den Zusammenhängen zwischen anatomischen Veränderungen der Mundhöhle und die dadurch ausgelösten motorischen Einschränkungen motiviert. Um darüber statistisch verwertbare Ergebnisse zu bekommen, wäre eine weitaus größere Patientengruppe notwendig. Eine groß angelegte Untersuchung müsste mehrere Kliniken umfassen, um eine ausreichende Variabilität der Operationstechniken und eine statistisch relevante Patientenzahl sicherzustellen. Obwohl die Notwendigkeit einer solchen Zusammenarbeit des Öfteren betont wird, ist die Koordination und besonders eine einheitliche Protokollierung aufgrund unterschiedlicher Forschungs- und Interessenschwerpunkte (je nach chirurgischer, phonetischer oder sprechtherapeutischer Ausrichtung) sehr schwierig. Eine vollständige Evaluation der Operationsergebnisse müsste ferner langfristige Untersuchungen beinhalten, um die Entwicklung der Funktionalität in größeren Zusammenhängen beurteilen zu können.

8 Literatur

- Al-Rajhi, N. et al. (2000): Early stage carcinoma of oral tongue: prognostic factors for local control and survival. *Oral Oncology* **36**, 508–514.
- Angerstein, W. (1994): Ultraschallgestützter Untersuchungsgang zur Beurteilung der Zungenbeweglichkeit. *Sprache – Stimme – Gehör* **18**, 80–84.
- AWMF (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften) online (1999): Onkologie des Kopf-Hals-Bereiches. AWMF-Leitlinien-Register, Nr. 017/067.2. <http://uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/hno-1672.htm>.
- Barth, Klaus (2000): Funktionelle postoperative Befunde bei Patienten mit oropharyngealen Tumoren. Unveröff. Diss., Medizinische Fakultät Charité der Humboldt-Universität zu Berlin.
- Bérzin, F. (1995): Electromyographic analysis of the sternohyoid muscle and anterior belly of the digastric muscle in head and tongue movements. *Journal of Oral Rehabilitation* **22**, 825–829.
- Bole, Charles T. H. & Lessler, Milton A. (1966): Electromyography of the genioglossus muscles in man. *Journal of Applied Physiology* **21**, 1695–1698.
- Breitbart, William & Holland, Jimmy C. (1988): Psychosocial aspects of head and neck cancer. *Seminars in Oncology* **15**, 61–69.
- Breitbart, William & Holland, Jimmy C. (1989): Head and neck cancer. In: J. C. Holland & J. H. Rowland (Hrsg.), *Handbook of psychooncology*. Oxford: Oxford University Press, 232–239.
- Bressmann, Tim, Whitehill, Tara, Sader, Robert, Samman, Nabil & Hoole, Phil (2002): Quantitative aspects of glossectomy speech production. In: F. Windsor, M. L. Kelly & N. Hewlett (Hrsg.), *Investigations in clinical phonetics and linguistics*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 351–363.
- Bressmann, Tim, Uy, Catherine & Irish, Jonathan C. (2004): Analysing normal and partial glossectomee tongues using ultrasound. *Clinical Linguistics and Phonetics* **18**, 1–20.
- Brown, J. S. (1999): T2 tongue: reconstruction of the surgical defect. *British Journal Oral Maxillofac Surg* **37**, 194–199.
- Chuanjun, Chen, Zhiyuan, Zhang, Shaopu, Gao, Xinquan, Jiang & Zhihong, Zhang (2002): Speech after partial glossectomy: a comparison between reconstruction and nonreconstruction patients. *Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* **60** (4), 404–407.
- Cornelius, Carl Peter, Ehrenfeld, Michael & Mast, Gerson (1992): Zur Problematik der elektiven (prophylaktischen) Neck dissection bei Mundhöhlenkarzinomen am Beispiel einer Gegenüberstellung prä- und postoperativer Halslymphknotenbefunde. *Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie* **37**, 111–115.
- Daniloff, Raymond G., Wilcox, Kim, Stephens, M. Irene (1980): An acoustic-articulatory description of children's defective /s/ productions. *Journal of Communication Disorders* **13**, 347–363.
- Dart, Sara (1991): Articulatory and acoustic properties of apical and laminal articulations. *UCLA Working Papers in Phonetics* **79**.

- Demolin, Dider, Metens, Thierry & Soquet, Alain (2000): Real time MRI and articulatory coordinations in vowels. *Proc. 5th Seminar on Speech Production*, 93–96.
- Eckstein, Peter P. (2000): *Angewandte Statistik mit SPSS: praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler*, 3. Aufl. Wiesbaden: Gabler.
- Ehrenfeld, Michael et al. (1992): Besteht aus onkologischer Sicht eine Indikation zur Sofortrekonstruktion beim Mundhöhlenkarzinom? *Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie* **37**, 50–53.
- Enderby, Pam & John, Alexandra (1997): *Therapy outcome measures (TOM): speech and language therapy*. San Diego & London: Singular.
- Engelke, W., Schönle, P. W. & Engelke, D. (1990): Zwei objektive Verfahren zur Untersuchung motorischer Funktionen nach Eingriffen an Zunge und Velum. *Deutsche Zeitschrift Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie* **14**, 348–358.
- Engleder, R. & Fries, R. (1992): Zur chirurgischen Therapie der Halslymphknoten-Metastasen bei Mundhöhlenkarzinomen. In: K. Vinzenz & H. W. Waclawiczek (Hrsg.), *Chirurgische Therapie von Kopf-Hals-Karzinomen*. Wien/New York: Springer, 143–154.
- Engleder, R., Springer, R. & Friedl, H. P. (1992): Zur Epidemiologie der Karzinome der Lippen, der Mundhöhle und des Oropharynx. In: K. Vinzenz & H. W. Waclawiczek (Hrsg.), *Chirurgische Therapie von Kopf-Hals-Karzinomen*. Wien/New York: Springer, 3–9.
- Esclamado, Ramon M. et al. (1994): The platysma myocutaneous flap: indications and caveats. *Archive Otolaryngology Head Neck Surgery* **120**, 32–35.
- Espy-Wilson, C. Y. (1992): Acoustic measures for linguistic features distinguishing the semivowels /wjr/ in American English. *Journal Acoustic Society America* **92**, 736–757.
- Fairclough, Diane L. (2002): *Design and analysis of quality of life studies in clinical trials*. Boca Raton: Chapman & Hall.
- Fant, Gunnar (1960): *Acoustic theory of speech production*. Hague/Paris: Mouton.
- Fletcher, Samuel G. (1988): Speech production following partial glossectomy. *Journal of Speech and Hearing Disorders* **53**, 232–238.
- Fletcher, Samuel G. et al. (1991): Rehabilitation of head and neck cancer patients: consensus on recommendations from the international conference on rehabilitation of the head and neck cancer patient: Speech production. *Head & Neck* **13**, 8–9.
- Frenz, Marcus, Howaldt, Hans-Peter & Pitz, Harald (1992): Statistische Aspekte zur Überlebensanalyse bei Kopf-Hals-Tumoren. *Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie* **37**, 10–13.
- Fröhlich, Michael et al. (1992): Zur Epidemiologie der Lippen- und Mundhöhlenmalignome. *Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie* **37**, 1–3.
- Furia, Christina L. B., Kowalski, Luiz P., Latorra, Maria R. D. O., Angelis, Elisabete C., Martins, Nívia M. S., Barros, Ana P. B. & Ribeiro, Karina C. B. (2001): Speech intelligibility after glossectomy and speech rehabilitation. *Archive Otolaryngology Head Neck Surgery* **127** (7), 877–883.
- Georgian, D. A., Logemann, J. A. & Fisher, H. B. (1982): Compensatory articulation patterns of a surgically treated oral cancer patient. *Journal of Speech and Hearing Disorders* **47**, 154–159.

- Geumann, Anja (2001): Vocal intensity: acoustic and articulatory correlates. *Proc. 4th Int. Speech Motor Conf.*, Nijmegen, 70–73.
- Geumann, Anja, Kroos, Christian & Tillmann, Hans G. (1999): Are there compensatory effects in natural speech? In: *Proc. 14th International Congress of Phonetic Sciences*, San Francisco, 399–402.
- Gibbon, Fiona and Nicolaidis, K. (1999): Palatography. In: Hardcastle, W.J. and Hewlett N. (Hrsg.), *Coarticulation in speech production: theory, data, and techniques*. Cambridge: Cambridge University Press, 229–245.
- Giles, S. B. & Moll, K. L. (1975) : Cinefluorographic study of selected allophones of English //l. *Phonetica* **31**, 206–227.
- Hamlet, Sandra L., Mathog, Robert H. , Patterson, Robin L., & Fleming, Susan M. (1990): Tongue mobility in speech after partial glossectomy. *Head & Neck* **12**, 210–217.
- Hardcastle, William (1984): New methods of profiling lingual palatal contact patterns with electropalatography. *University of Reading Phonetics Laboratory Work in Progress* **4**, 1–40.
- Haribhakti, Vijay V., Kavarana, Naozer M. & Tibrewala, Anil N. (1993): Oral cavity reconstruction: an objective assessment of function. *Head & Neck* **15**, 119–124.
- Heller, Keith S., Levy, Joan & Sciubba, James J. (1991): Speech patterns following partial glossectomy for small tumors of the tongue. *Head & Neck* **13**, 340–343.
- Hellstrand (1981): The neuromuscular system of the tongue. In: *Proc. Int. Symp. Speech Motor Control*, Stockholm, 141–157.
- Hindle, I. et al. (2000): Is alcohol responsible for more intra-oral cancer? *Oral Oncology* **36**, 328–333.
- Hoole, Philip, Ziegler, Wolfram, Hartmann, Erich & Hardcastle, William (1989): Parallel electropalatographic and acoustic measures of fricatives. *Clinical Linguistics & Phonetics* **3**, 59–69.
- Hoole, Philip, Nguyen-Trong, Noël & Hardcastle, William (1993): A comparative investigation of coarticulation in fricatives: electropalatographic, electromagnetic, and acoustic data. *Language and Speech* **36**, 235–260.
- Hoole, Philip, Zierdt, Andreas, Geng, Christian (2003): Beyond 2D in articulatory data acquisition and analysis. In: *Proc. 15th International Congress of Phonetic Sciences*, Barcelona, 265–268.
- Imai, Satoko & Michi, Ken-ichi (1992): Articulatory function after resection of the tongue and floor of the mouth: palatometric and perceptual evaluation. *Journal of Speech and Hearing Research* **35**, 68–78.
- Jackson, Mary S., Wrench Alan A., Soutar, David S. & Robertson, A. G. (Carcinoma of the tongue: the speech therapist's perspective. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* **37**, 200–204.
- Jacobson, Marlene Carno, Franssen, Edmee, Fliss, Dan M., Birt, B. Derek & Gilbert, Ralph, W. (1995): Free forearm flap in oral reconstruction: functional outcome. *Archives of Otolaryngology Head Neck Surgery* **121** (9), 959–964.
- Jassem, Wiktor (1968): Acoustical description of voiceless fricatives in terms of spectral parameters. In: Wiktor Jassem (Hrsg.), *Speech analysis and synthesis*, Bd. I. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 189–206.

- John, Alexandra & Enderby, Pam (2000): Reliability of speech and language therapists using therapy outcome measures. *International Journal of Language & Communication Disorders* **35** (2), 287–302.
- Johnson, Keith (1997): *Acoustic and auditory phonetics*. Cambridge MA: Blackwell.
- Karlsson, Heather B., Shriberg, Lawrence D., Flipsen, Peter Jr. & McSweeney, Jane L. (2002): Acoustic phenotypes for speech–genetics studies: toward an acoustic marker for residual /s/ distortions. *Clinical Linguistics & Phonetics* **16** (6), 403–424.
- Kent, R. & Moll, K. (1972): Cinefluorographic analyses of selected lingual consonants. *Journal of Speech and Hearing Research* **15**, 453–473.
- Kim, Hyunsoon (2003): Cine MRI data of Korean affricates: implications for their place of articulation. In: Proc. 15th International Congress of Phonetic Sciences, Barcelona, 1767–1770.
- Knuuttila, H., Pukander, J., Maatta, T., Pakarinen, L. & Vilkmann, E. (1999): Speech articulation after subtotal glossectomy and reconstruction with a myocutaneous flap. *Acta Otolaryngologica* **119**, 621–626.
- Kohler, Klaus J. (1995): *Einführung in die Phonetik des Deutschen*, 2., neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt.
- Konstantinović, V. S. & Dimić, N. D. (1998): Articulatory function and tongue mobility after surgery followed by radiotherapy for tongue and floor of the mouth cancer patients. *British Journal of Plastic Surgery* **51**, 589–593.
- Koppetsch, Sabine (2004): *Orofaziale Rekonstruktion nach Mundboden- und Zungenteilresektion*. Univ. Diss. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Koppetsch, Sabine & Dahlmeier, Klaus (2003): Phonetic analysis of functional disorders of vocal articulation in cases of intra-oral carcinoma – a pre- and postoperative long-term study. In: Proc. 15th International Congress of Phonetic Sciences, Barcelona, 3249–3252.
- Kühnert, Barbara, Ledl, C., Hoole, Philip, Tillmann, Hans G. (1991): Tongue-jaw interactions in lingual consonants. *PERILUS* **14**, Stockholm, 21–25.
- Ladefoged, Peter & Maddieson, Ian (1996): *The sounds of the world's languages*. Oxford: Blackwell.
- Ladefoged, Peter (1957): Use of palatography. *Journal of Speech and Hearing Disorders* **22**: 764–774.
- Ladefoged, Peter (1996): *Elements of acoustic phonetics*, 2. Aufl. Chicago & London: University of Chicago Press.
- Lee, Alice S. Y. et al. (2002): Acoustic and perceptual analysis of the sibilant sound /s/ before and after orthognatic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* **60** (4), 364–372.
- Lee, S., Beckmann, M. & Jackson, M. (1994): Jaw targets for strident fricatives. *Proc. Int. Conf. Spoken Lang. Processing, Yokohama*, 37–40.
- Lehiste, Ilse (1964): Acoustical characteristics of selected English consonants. *Folklore and Linguistics* **34**, 10–50.
- Libermann, A. M., Delattre, P., Cooper, F. S. & Gerstmann, L. J. (1954): The role of consonant-vowel transition in the perception of the stop and nasal consonants. *Psychological Monographs* (68), 1.

- Lindblad, Per & Lundqvist, Sture (1999): How and why do the tongue gestures of [t], [d], [l], [n], [s], and [r] differ? *Proc. 14th International Congress of Phonetic Sciences San Francisco* (1), 417–420.
- Logemann, Jeri A., Pauloski, Barbara Roa, Rademaker, Alfred W., McConnel, Fred M. S., Heiser, Mary Anne, Cardinale, Salvatore, Shedd, Donald, Stein, David, Beery, Quinter, Johnson, Jonas & Baker, Theresa (1993): Speech and swallow function after tonsil/base of tongue resection with primary closure. *Journal of Speech and Hearing Research* **36**, 918–926.
- Lundqvist, Sture & Lindblad, Per (1999): The production of coronals in hyper and hypo speech. *Proc. 14th International Congress of Phonetic Sciences San Francisco* (1), 421–424.
- Lydiatt, Daniel D. & Lydiatt, William M. (1997): Advances in the surgical management of carcinoma of the oral cavity. *Oral Maxillofacial Surgery Clinics North America* **9**, 375–383.
- Machelett, Kirsten (1996): Das Lesen von Sonagrammen I–IV. <http://www.phonetik.uni-muenchen.de/SGL/SGLHome.html>.
- Mackenzie Beck, Janet, Wrench, Alan, Jackson, Mary, Soutar, David, Robertson, A. Gerry & Laver, John (1998): Surgical mapping and phonetic analysis in intra-oral cancer. In: W. Ziegler & K. Deger (Hrsg.), *Clinical Phonetics and Linguistics*, London: Whurr, 481–492.
- Mády, Katalin, Sader, Robert, Beer, Ambros, Hoole, Philip, Zimmermann, Angela & Hannig, Christian (2003a): Consonant articulation in glossectomee speech evaluated by dynamic MRI. In: *Proc. 15th International Congress of Phonetic Sciences, Barcelona*, 3233–3236.
- Mády, Katalin, Sader, Robert, Hoole, Philip, Zimmermann, Angela & Horch, Hans-Henning (2003b): Speech evaluation and swallowing ability after intra-oral cancer. *Clinical Linguistics & Phonetics* **17** (4–5), 411–420.
- Maeda, Shinji (1990): Compensatory articulation during speech: evidence from the analysis and synthesis of vocal-tract shapes using an articulatory model. In: W. J. Hardcastle & A. Marchal (Hrsg.), *Speech production and speech modelling*. Dordrecht: Kluwer, 131–149.
- Masaki, S., Tiede, M., Honda, K., Shimada, Y., Fujimoto, I., Nakamura, Y. & Ninomiya, N. (1999): MRI based speech production study using a synchronized sampling method. *Journal Acoustic Society Japan* (E) **20**, 375–379.
- Massengill, Raymond, Maxwell, Susan & Pickrell, Kenneth (1970): An analysis of articulation following partial and total glossectomy. *Journal of Speech and Hearing Disorders* **35** (2), 170–173.
- McConnel, Fred, Teichgraeber, John F. & Adler, Richard K. (1987): A comparison of three methods of oral reconstruction. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* **113**, 496–500.
- Metelmann, H. R. (1998): Tumoren im Kopf-Halsbereich. In: H.-H. Horch (Hrsg.), *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie*, Bd. 2. München/Wien/Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 249–328.
- Michi, Ken-ichi, Imai, Satoko, Yamashita, Yukari & Suzuki, Noriko (1989): Improvement of speech intelligibility by a secondary operation to mobilize the tongue after glossectomy. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* **17**, 162–166.

- Mooshammer, Christine, Hoole, Phil & Kühnert, Barbara (1995): On loops. *Journal of Phonetics* **23**, 3–21.
- Mooshammer, Christine, Geumann, Anja, Hoole, Phil, Alfonso, Peter, Lieshout, Pascal van & Fuchs, Susanne (2003): Coordination of lingual and mandibular gestures for different manners of articulation. In: Proc. 15th International Congress of Phonetic Sciences, Barcelona, 81–84.
- Morrish, L. (1984): Compensatory vowel articulation of the glossectomee: acoustic and videofluoroscopic evidence. *British Journal of Disorders of Communication* **19**, 125–134.
- Narayanan, Shrikanth S., Alwan, Abeer A. & Haker, Katherine (1995): An articulatory study of fricative consonants using magnetic resonance imaging. *Journal Acoustic Society America* **98** (3), 1325–1347.
- Narayanan, Shrikanth, Kaun, Abigail, Byrd, Dani, Ladefoged, Peter & Alwan, Abeer (1996): Liquids in Tamil. In: Proc. International Conference on Speech and Language Processing, Philadelphia, 797–800.
- Narayanan, Shrikanth, Alwan, Abeer A. & Haker, Katherine (1997): Toward articulatory-acoustic models for liquid approximants based on MRI and EPG data I: the laterals. *Journal Acoustic Society America* **101** (2), 1064–1077.
- Narayanan, Shrikanth, Byrd, Dani & Kaun, Abigail (1999): Geometry, kinematics, and acoustics of Tamil liquid consonants. *Journal Acoustic Society America* **106** (4), 1993–2007.
- Neppert, Joachim & Pétursson, Magnús (1992): Elemente einer akustischen Phonetik. 3., durchges. Aufl. Hamburg: Buske.
- NessAiver, M., Parthasarathy, V., Prince, J. L. & Stone, Maureen (2003): Magnitude image C-SPAMM reconstruction (MICSR) and HARP analysis of tongue motion. Proc. Int. Society of Magnetic Resonance in Medicine **11**, 927.
- Nguyen-Trong, N., Hoole, P. & Marchal, A. (1991): Articulatory-acoustic correlations in the production of fricatives. *Actes XII. Conges Int. Sciences Phonetiques* (1), Aix-de-Provence, 18–21.
- Noltenius, Harald (1987): Tumor-Handbuch: Pathologie und Klinik der menschlichen Tumoren, 2., neubearb. und erw. Aufl, Bd. 2. München/Wien/Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- Ohala, John J. (1983): The origin of sound patterns in vocal tract constraints. In: P.-F. McNeilage (Hrsg.), *The production of speech*. New York: Springer, 189–216.
- Ohala, John (1997): The relation between phonetics and phonology. In: W. Hardcastle & J. Laver (Hrsg.), *Handbook of phonetic sciences*. Oxford, Cambridge: Blackwell, 686–689.
- Ostry, David J. und Vatikiotis-Bateson, Eric (1994): Jaw motion in speech are controlled in (at least) three degrees of freedom. In: Proc. International Conference Speech and Language Processing, Yokohama, 41–44.
- Ostry, David J., Shiller, Douglas M. & Laboissiere, Rafael (2001): Kinematic variation in jaw movement reflects the biomechanical behavior of the jaw. In: Proc. International Speech Motor Conference, Nijmegen, 20–23.

- Öztürk, Cengizhan, Stone, Maureen, Unay, Devrim, Lundberg, Andrew & McVeigh, Elliot (2001): Real-time MR Imaging with tagging for tongue motion analysis during speech. *Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med.* **9**, 1609.
- Pauloski, Barbara R., Rademaker, Alfred W., Logemann, Jerilyn A. & Colangelo, Laura A. (1998): Speech and swallowing in irradiated and nonirradiated postsurgical oral cancer patients. *Otolaryngology Head & Neck Surgery* **118**, 616–624.
- Perkell, Joseph S., Boyce, Susanne E. & Stevens, Kenneth N. (1979): Articulatory and acoustic correlates of the [s-š] distinction. In: *Speech Communication Papers presented at the 97th meeting of the Acoustical Society of America*, hrsg. von J. J. Wolf & D. K. Klatt. New York: Acoustical Society of America, 109–113.
- Perkell, Joseph S. (1996): Properties of the tongue help to define vowel categories: hypotheses based on physiologically oriented modeling. *Journal of Phonetics* **24**, 3–22.
- Perrier, Pascal, Savariaux, Christophe, Lebeau, Jacques & Magana, G. (1999): Speech production after tongue surgery and tongue reconstruction. In: *Proc. 14. International Congress of Phonetic Sciences, San Francisco, 1805–1808*.
- Perrier, Pascal, Payan, Yohan, Zandipour, Majid & Perkell, Joseph (2003): Influences of tongue biomechanics on speech movements during the production of velar stop consonants: a modeling study. *Journal of Acoustic Society of America* **114** (3), 1582–1599.
- Pétursson, Magnús & Neppert, Joachim (1991): *Elementarbuch der Phonetik*. Hamburg: Buske.
- Pompino-Marschall, Bernd (1995): *Einführung in die Phonetik*. Berlin & New York: de Gruyter.
- Prüssmann, K. P., Weiger, M., Scheidegger, M. B. & Bösiger, P. (1999): SENSE: sensitivity encoding for fast MRI. *Magnetic Resonance in Medicine* **42**, 952–962.
- Pschyrembel (1994): *Klinisches Wörterbuch*, 257. Aufl. Berlin/New York: de Gruyter.
- Reinboth, Alexandra (2001): *Klinische Studie zur Messung der Lebensqualität von Patienten mit Karzinomen der Mundhöhle unter Verwendung neuer standardisierter, multikulturell einsetzbarer Messsysteme*. Diss. TU München.
- Rentschler, Gary, Arbor, Ann & Mann, Mary B. (1980): The effects of glossectomy on intelligibility of speech and oral perceptual discrimination. *Journal of Oral Surgery* **38**, 348–354.
- Reuther, J. & Bill, J. S. (1998): Plastische und rekonstruktive Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. In: H.-H. Horch (Hrsg.), *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie*, Bd. 2. München/Wien/Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 329–365.
- Reuther, J. (1992): Die chirurgische Therapie der Karzinome im Bereich der kaudalen Mundhöhle. In: K. Vinzenz & H. W. Waczlawiczek (Hrsg.), *Die chirurgische Therapie der Karzinome im Bereich der kaudalen Mundhöhle*, Berlin: Springer, 57–76.
- Salvatori, P. et al. (2000): Platysma myocutaneous flap in oral cavità reconstruction. *Acta Otorhinolaryngol Ital* **20** (4), 260–266.
- Savariaux, Christophe, Perrier, Pascal, Pape, Daniel & Lebeau, Jacques (2001): Speech production after glossectomy and reconstructive lingual surgery: a longitudinal study. In: *Proc. 2nd Int. Workshop Models & Anal. Voc. Em. for Biomed. Appl.* Firenze, Italy (veröff. als Abstract sowie auf CD).

- Schliephake, H., Schmelzeisen, R., Schönweiler, R., Schneller, T. & Altenbernd, C. (1998): Speech, deglutition and life quality after intraoral tumour resection: a prospective study. *Int. Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* **27**, 99–105.
- Schumacher, Gert-Horst (1991): Anatomie: Lehrbuch und Atlas, Bd. I. Leipzig & Heidelberg: Barth.
- Shadle, Christine H. (1990): Articulatory-acoustic relationships in fricative consonants. In: Speech production and speech modelling, W. J. Hardcastle & A. Marchal (Hrsg.). Dordrecht: Kluwer, 187–209.
- Shadle, Christine H., Moulinier, André, Dobelke, Christian U. & Scully, Celia. (1992): Ensemble averaging applied to the analysis of fricative consonants. In: Proc. International Conference on Speech and Language Processing, Bd. 1, 53–56.
- Shadle, Christine H., Mohammad, Mohammad, Carter, John N. & Jackson, Ohillip J. B. (1999): Multi-planar dynamic magnetic resonance imaging: new tools for speech research. In: Proc. 14. International Congress of Phonetic Sciences, San Francisco, Bd. 1, 623–626.
- Skelly, Madge, Donaldson, Robert C., Solovitz Fust, Rita & Townsend, Diana (1972): Changes in phonatory aspects of glossectomee intelligibility through vocal parameter manipulation. *Journal of Speech and Hearing Disorders* **37**, 379–389.
- Stevens, Kenneth N. (2000): Acoustic phonetics. Cambridge, MA/London, UK: MIT Press.
- Stone, Maureen, Shawker, Thomas H., Talbot, Thomas L. & Rich, Alan H. (1988): Cross-sectional tongue shape during the production of vowels. *Journal Acoustic Society of America* **83**, 1586–1596.
- Stone, Maureen & Davis, Edward P. (1995): A head and transducer support system for making ultrasound images of tongue/jaw movement. *Journal Acoustic Society of America* **98** (6), 3107–3112.
- Stone, Maureen & Lundberg, A. (1996): Three-dimensional tongue surface shapes of English consonants and vowels. *Journal Acoustical Society of America* **99**, 3728–3737.
- Stone, Maureen, Parthasarathy, Vijay, Iskarous, Khalil, NessAiver, Moriel & Prince, Jerry L. (2003): Tissue strains and tongue shapes: combining tMRI and ultrasound. In: Proc. 15th International Congress of Phonetic Sciences, Barcelona, 273–276.
- Stevens, Peter (1960): Spectra of fricative noises in human speech. *Language and Speech* **3**, 32–49.
- Subosits, István (1984): Beszédakusztika. [Sprechakustik.] Budapest: Tankönyvkiadó.
- Takemoto, H. (2001): Morphological analyses of the human tongue musculature for three-dimensional modeling. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* **44**, 95–107.
- Tillmann, HansG. & Mansell, Phil (1980): Phonetik: lautsprachliche Zeichen, Sprachsignale und lautsprachlicher Kommunikationsprozess. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Truelson, John M. & Pearce, Angela N. (1997): Tongue reconstruction procedures for treatment of cancer. *AORN J* **65**, 528–551.
- Ungeheuer, G. (1962): Elemente einer akustischen Theorie der Vokalartikulation. Berlin.
- Vatikotis-Bateson, Eric, Stone, Maureen & Unser, Michael (199): An examination of the jaw's contribution to lingual stability. *Actes XII. Conges Int. Sciences Phonetiques* (2), Aix-de-Provence, 358–359.

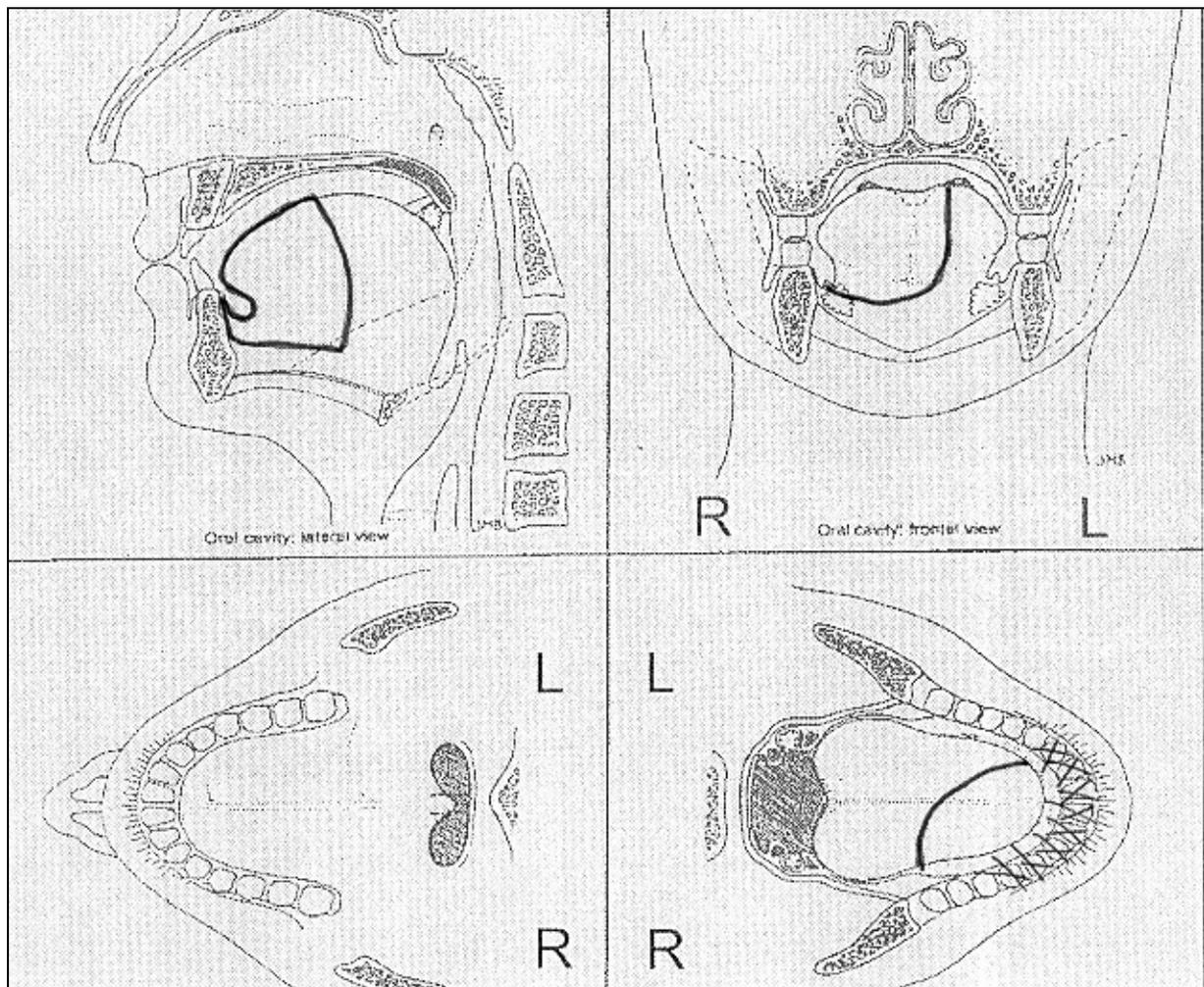
- Vlaardingerbroek M. T. & den Boer J. A. (1997): Magnetic resonance imaging: theory and practice. Berlin: Springer.
- Wakumoto, M., Ohno, K., Imai, S., Yamashita, Y., Akizuki, H. & Michi, K.-I. (1996): Analysis of the articulation after glossectomy. *Journal of Oral Rehabilitation* **23**, 764–770.
- Waldeyer, Anton & Mayet, Anton (1986): Anatomie des Menschen: für Studierende und Ärzte dargestellt nach systematischen, topographischen und praktischen Gesichtspunkten, Bd. 2, 15. Aufl.
- Wängler, Hans-Heinrich (1974): Atlas deutscher Sprachlaute, 5. Aufl. Berlin: Akademischer Verlag.
- Wilk, Randall M. & Potter, Bryce E. (1997): Soft-tissue reconstruction of tumor defects in the head and neck. *Oral Maxillofacial Surgery Clinics North America* **9**, 477–488.
- Zimmermann, Angela (2003): Untersuchung über die Auswirkungen einer Mundhöhlentumorbehandlung (Zunge, Mundboden) auf die sprechsprachliche Leistung. Unver. Diss., Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Zimmermann, Angela, Mooshammer, Christine, Sader, Robert, Mády, Katalin & Hoole, Philip (2003): Changes in intrinsic pitch after glossectomy: a consequence of surgery or a mechanism to enhance the intelligibility? In: Proc. 15th International Congress of Phonetic Sciences, Barcelona, 3253–3256.
- Ziegler, Wolfram & Hartmann, E. (1993): Das Münchner Verständlichkeitsprofil (MVP): Untersuchungen zur Reliabilität und Validität. *Nervenarzt* **64**, 653–658.
- Ziegler, Wolfram, Hartmann, E. & Wiesner, I. (1992): Dysarthriediagnostik mit dem „Münchner Verständlichkeits-Profil“ (MVP) – Konstruktion des Verfahrens und Anwendungen. *Nervenarzt* **63**, 602–608.

9 Anhang

Operationsprotokolle

GLI-I

Resektion

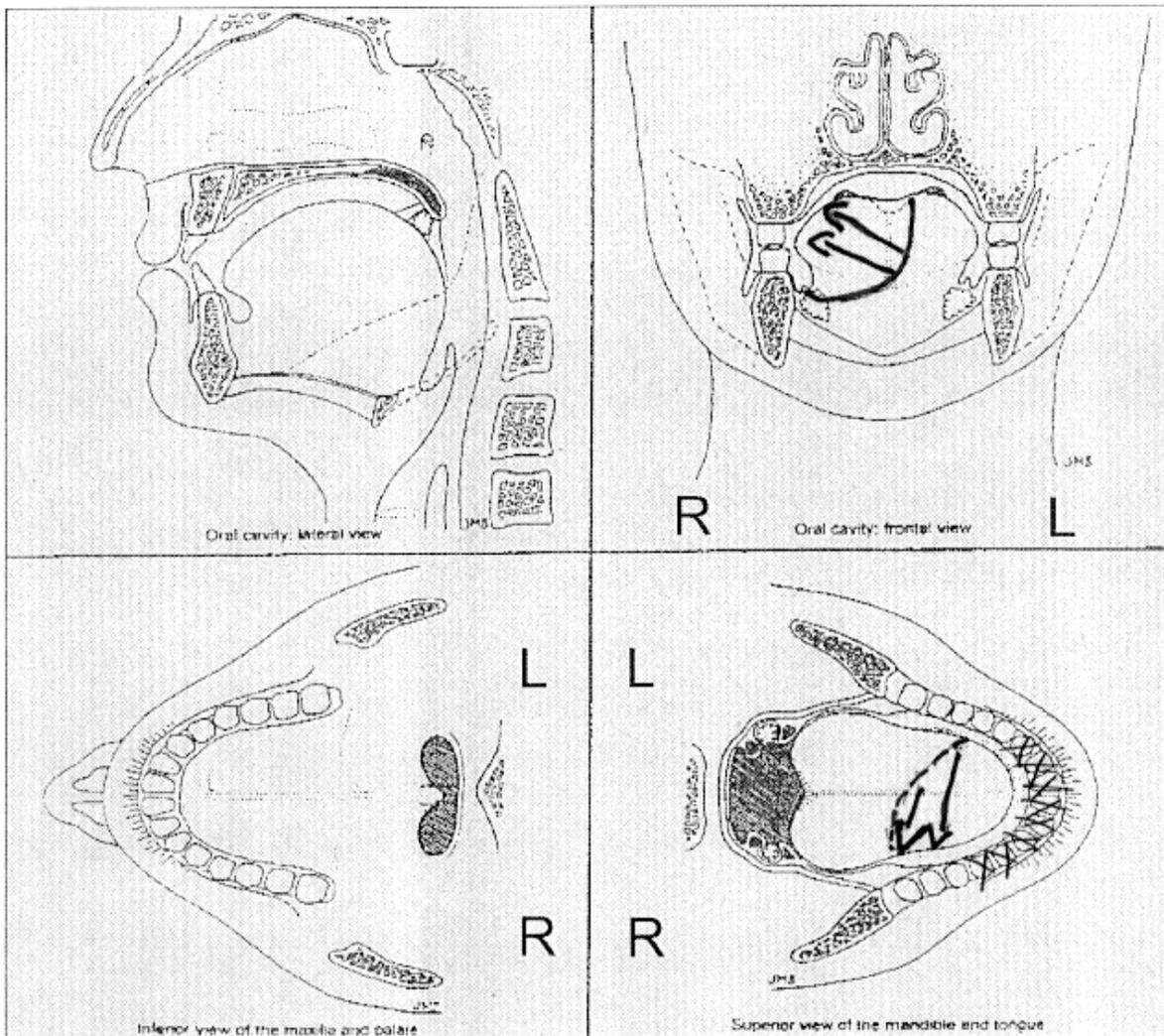


GLI-2

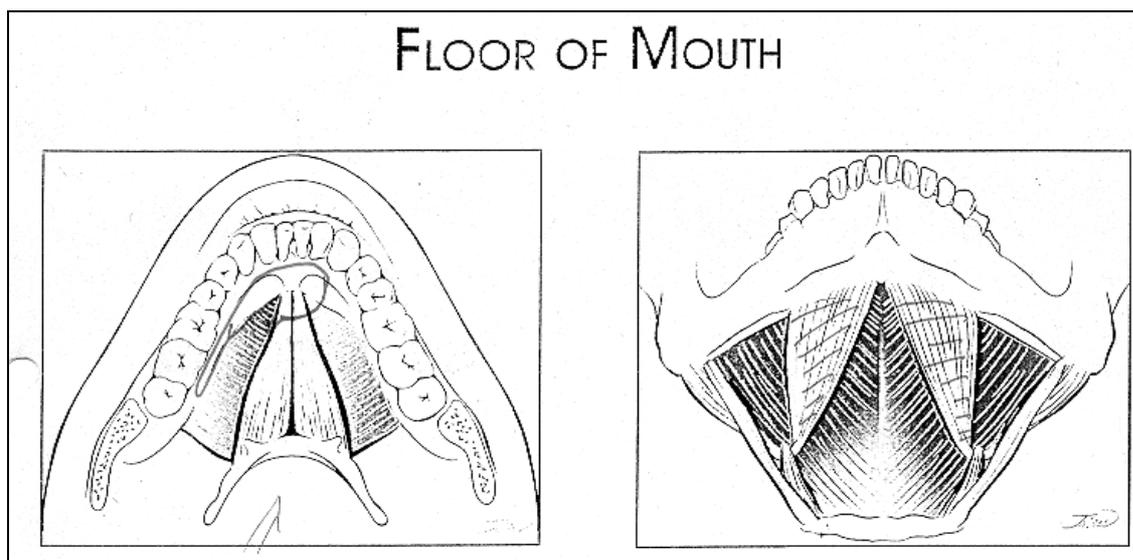
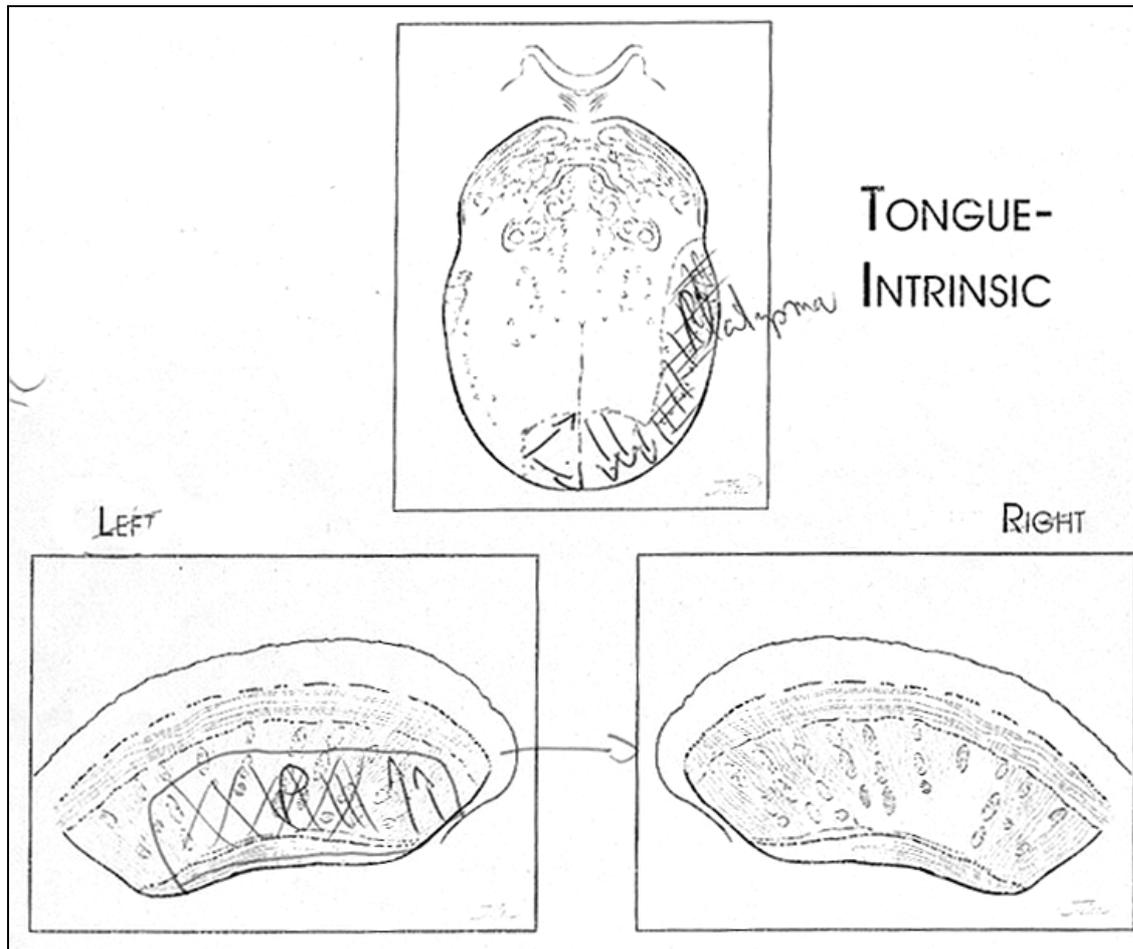
Reconstruction Mapping

Closure	<input type="checkbox"/> resection only	<input type="checkbox"/> local flap closure describe: _____
	<input checked="" type="checkbox"/> primary closure	<input checked="" type="checkbox"/> transplant describe: <u>Platysma</u>

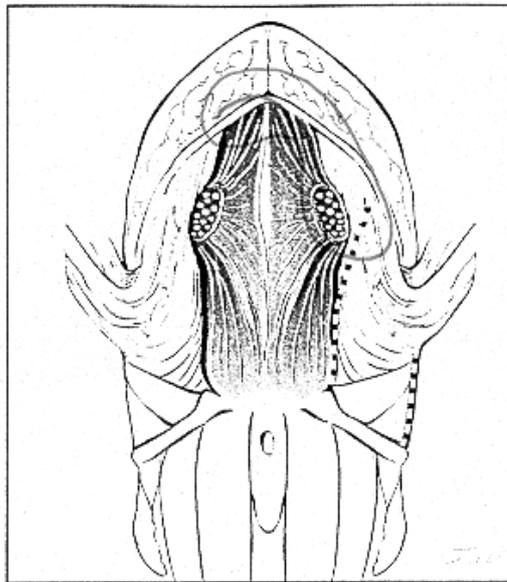
b) Reconstruction



GL2-1



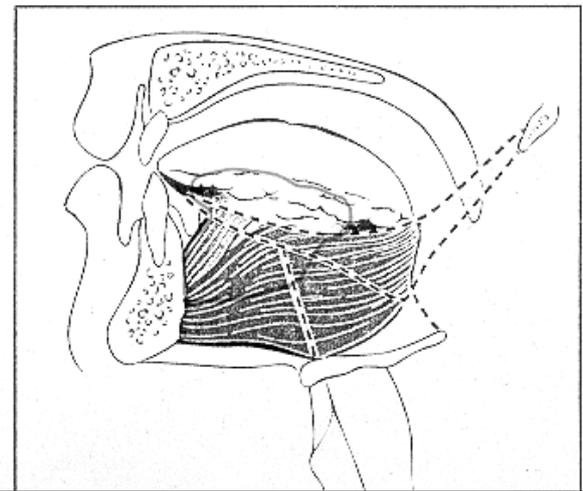
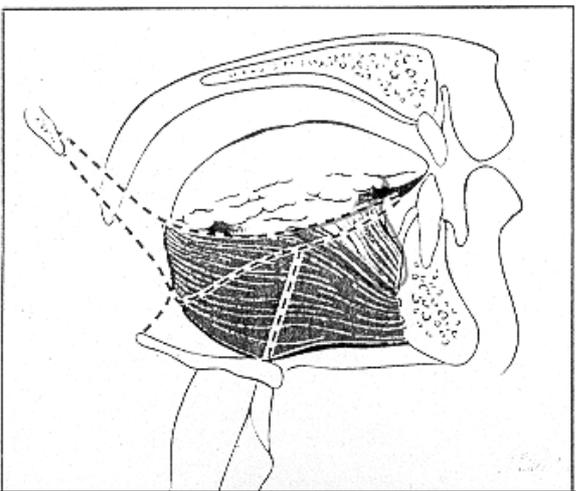
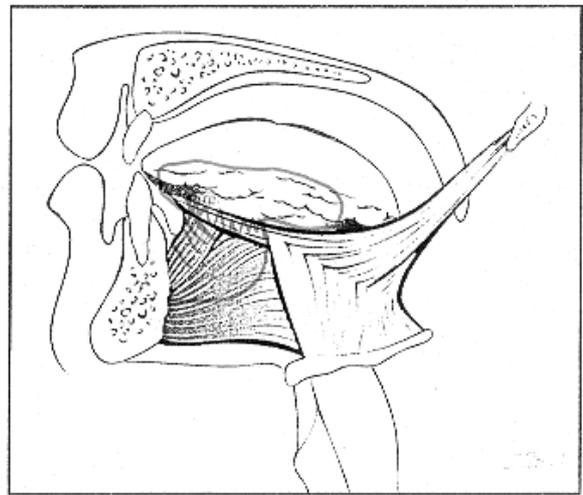
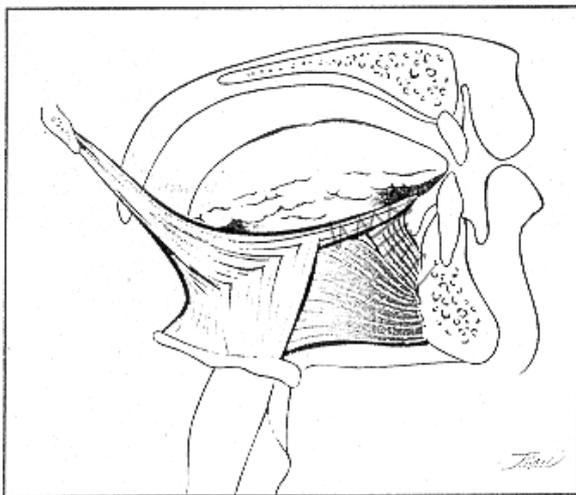
GL2-2



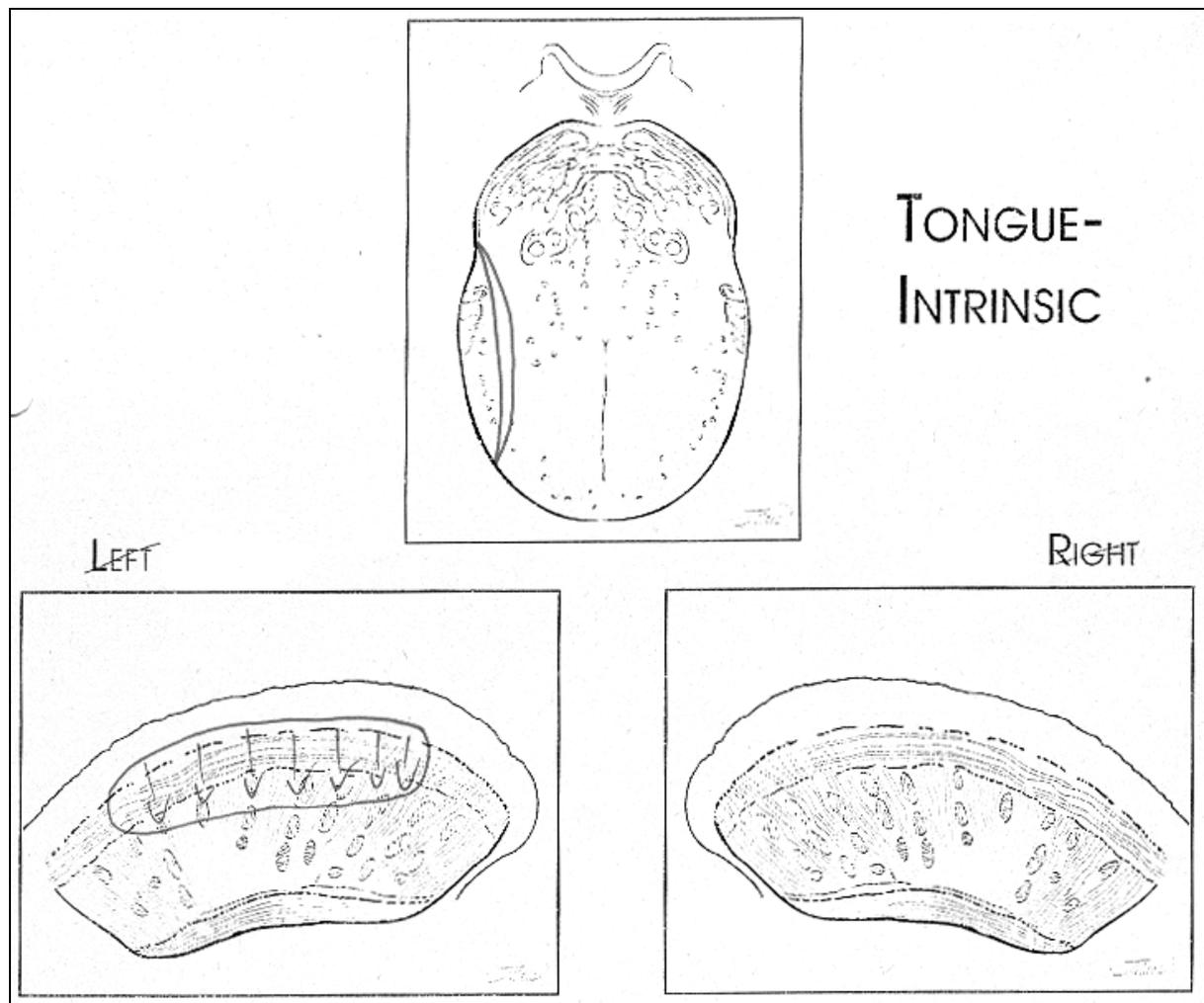
TONGUE-
EXTRINSIC

RIGHT

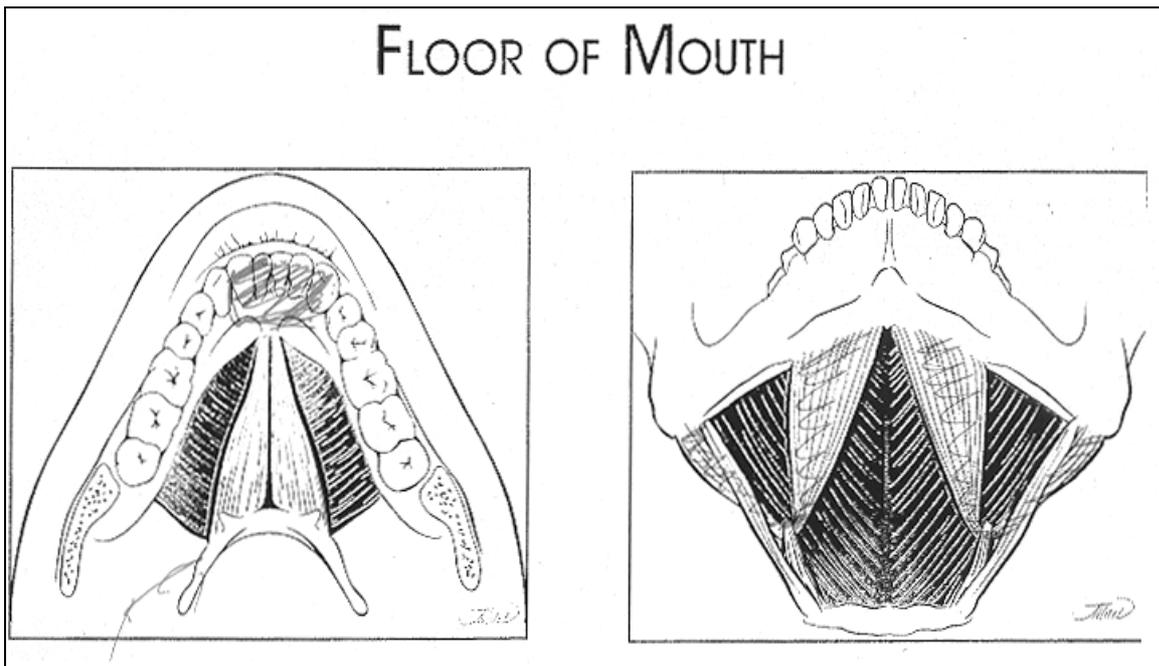
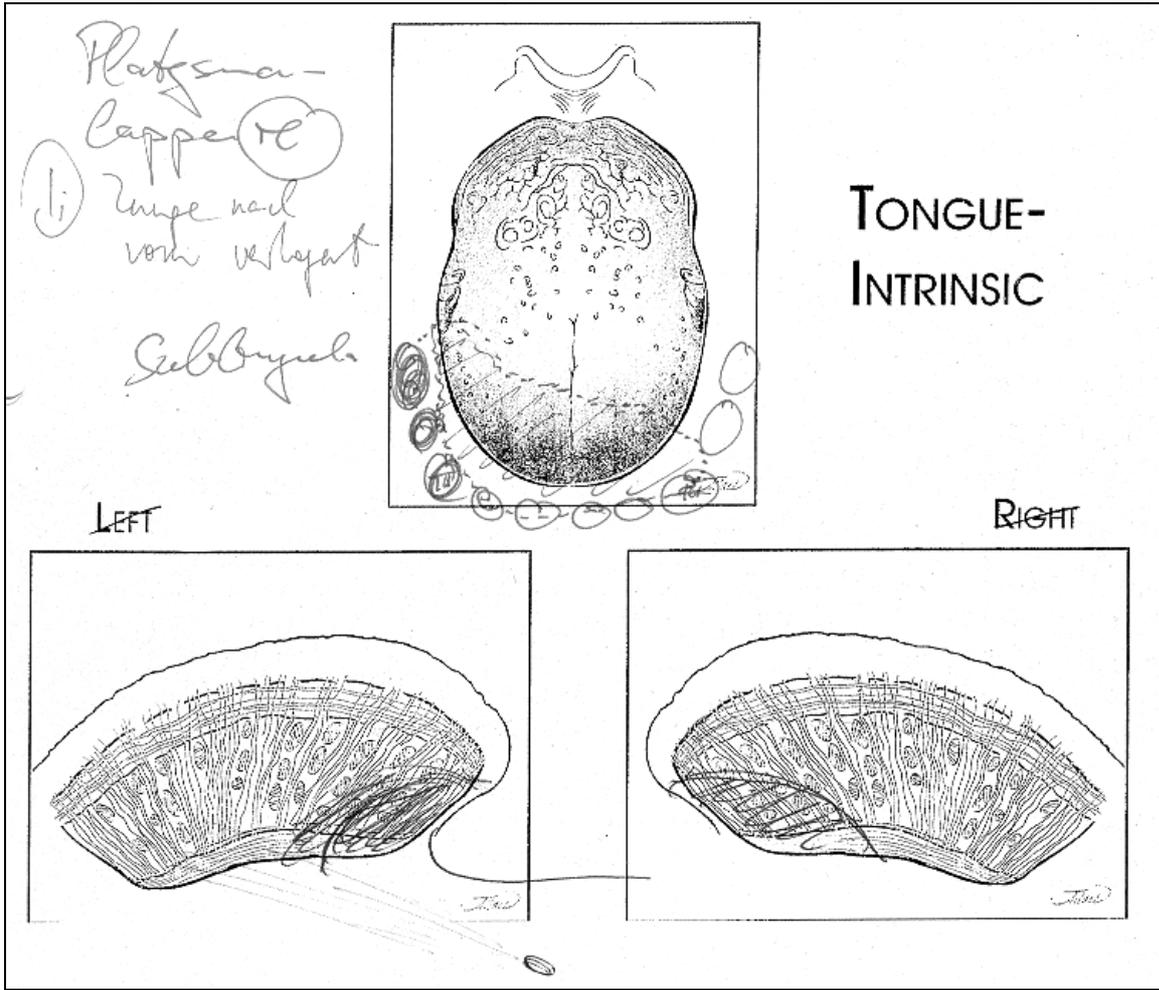
LEFT



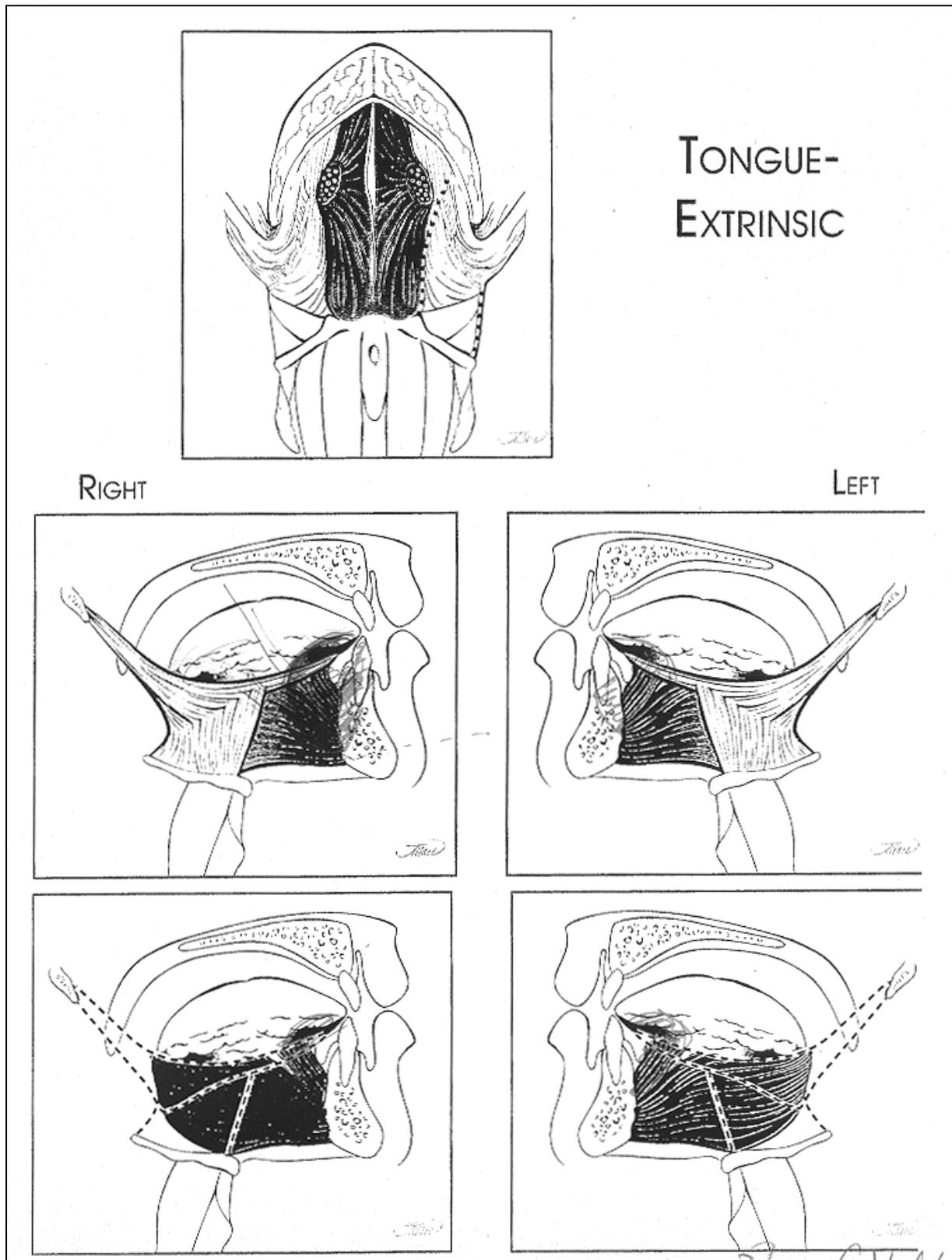
GL3



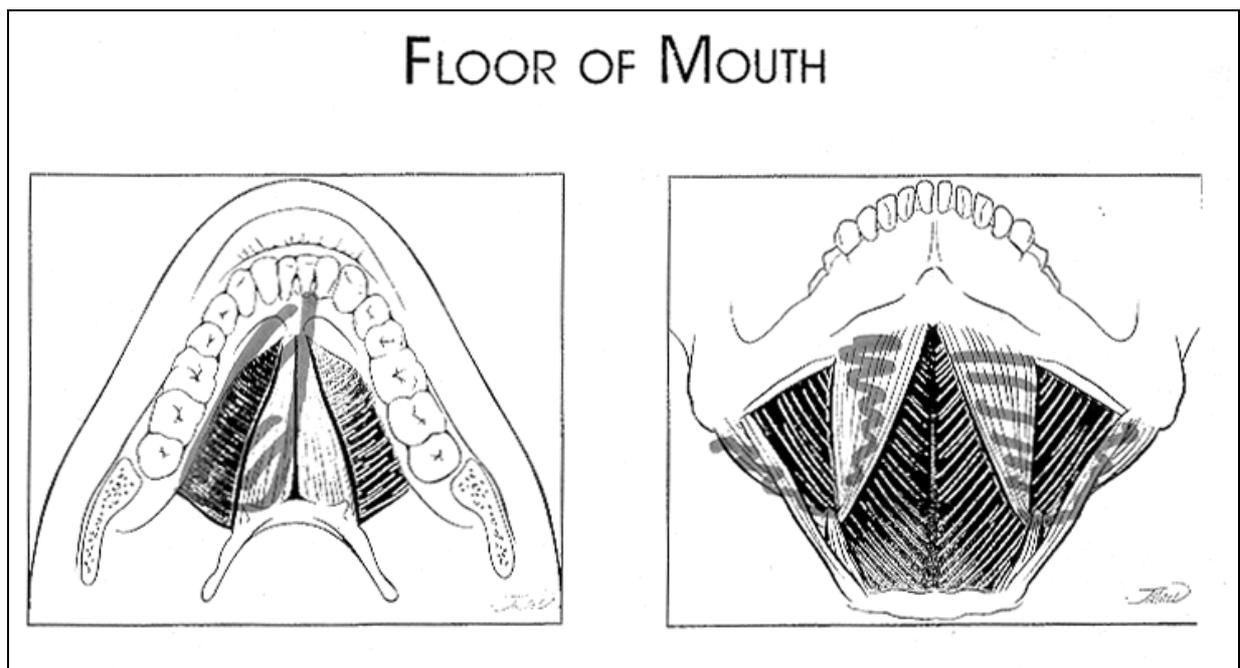
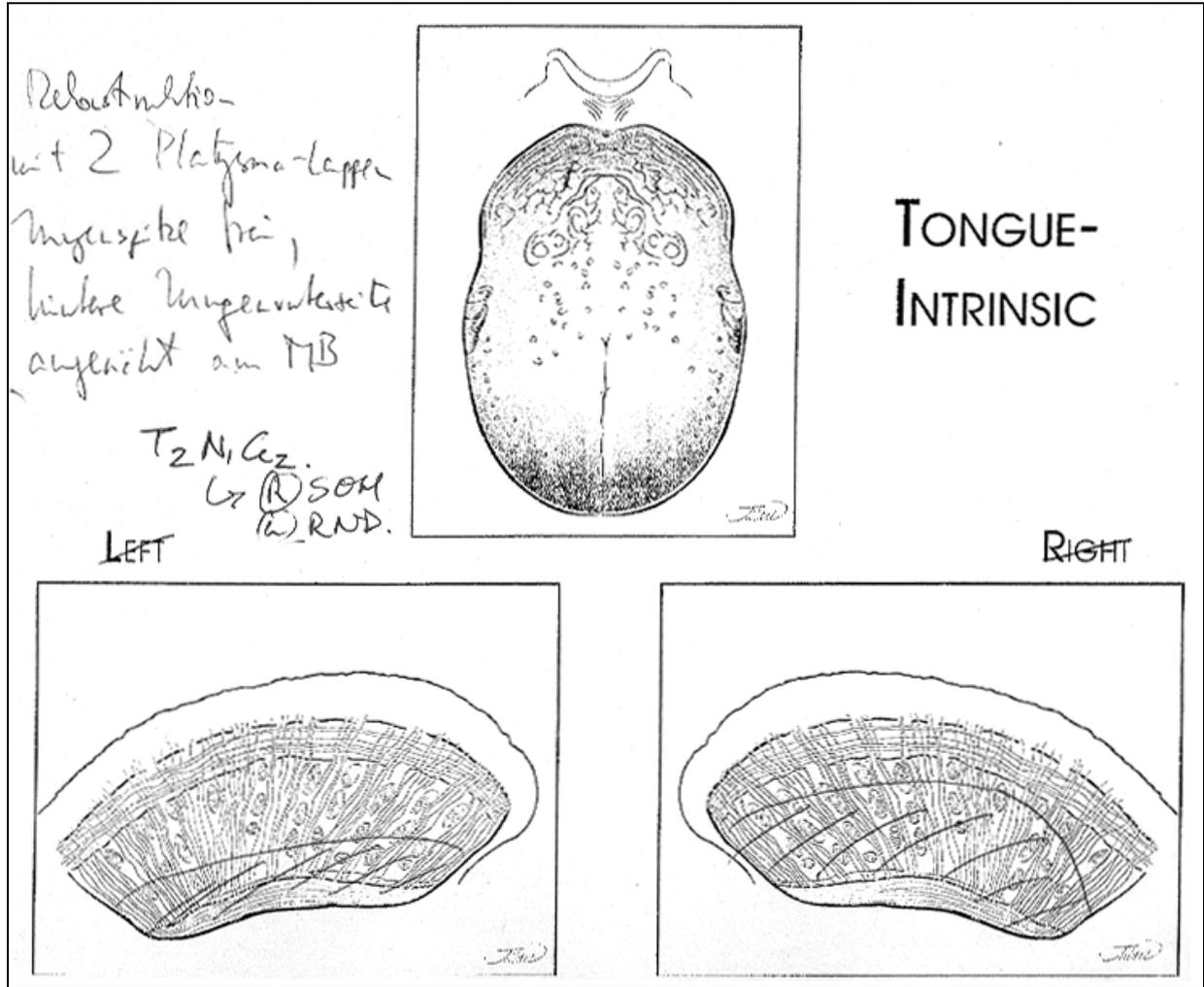
GL4-I



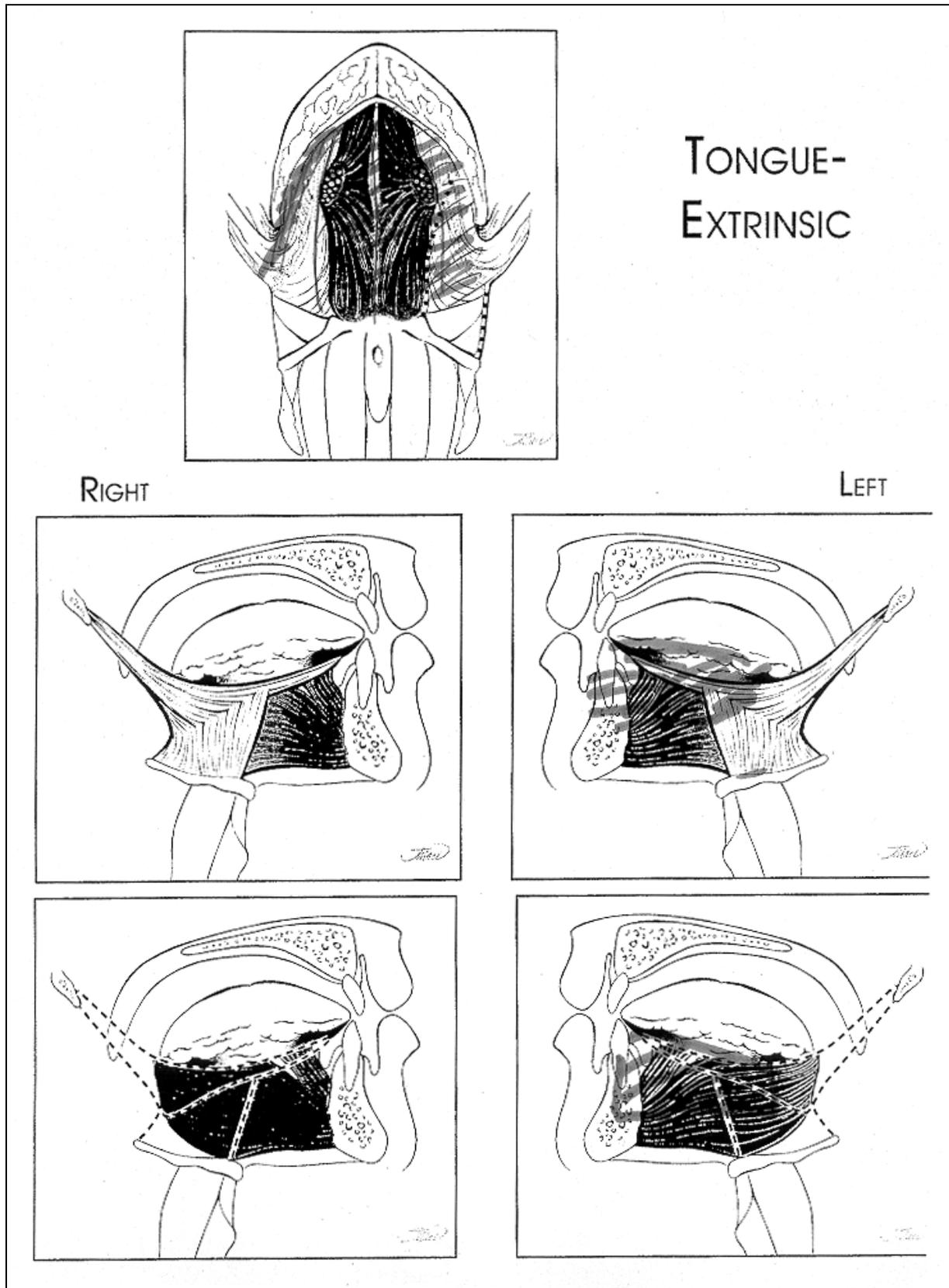
GL4-2



GL5-I

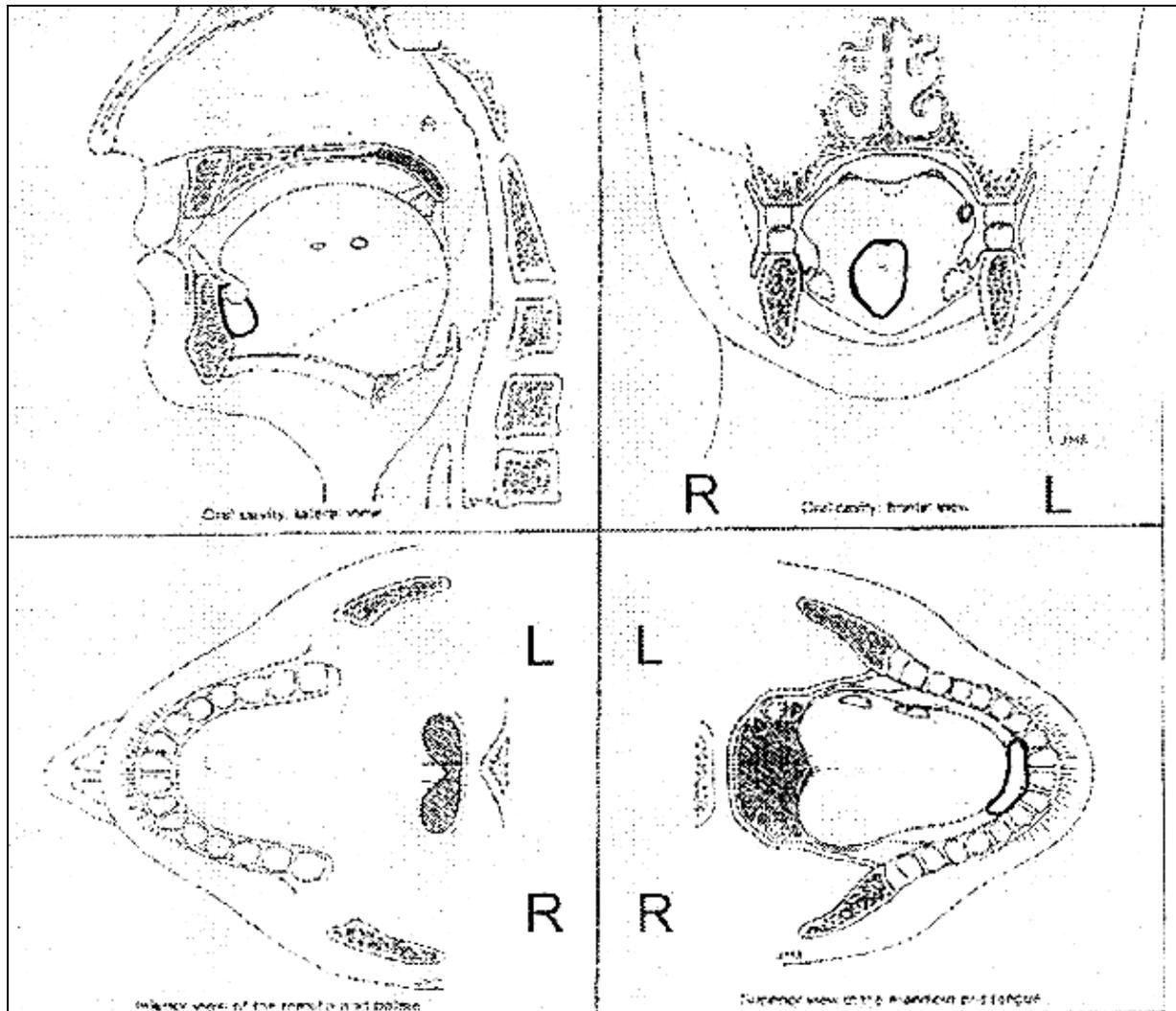


GL5-2



GL6-I

Resektion

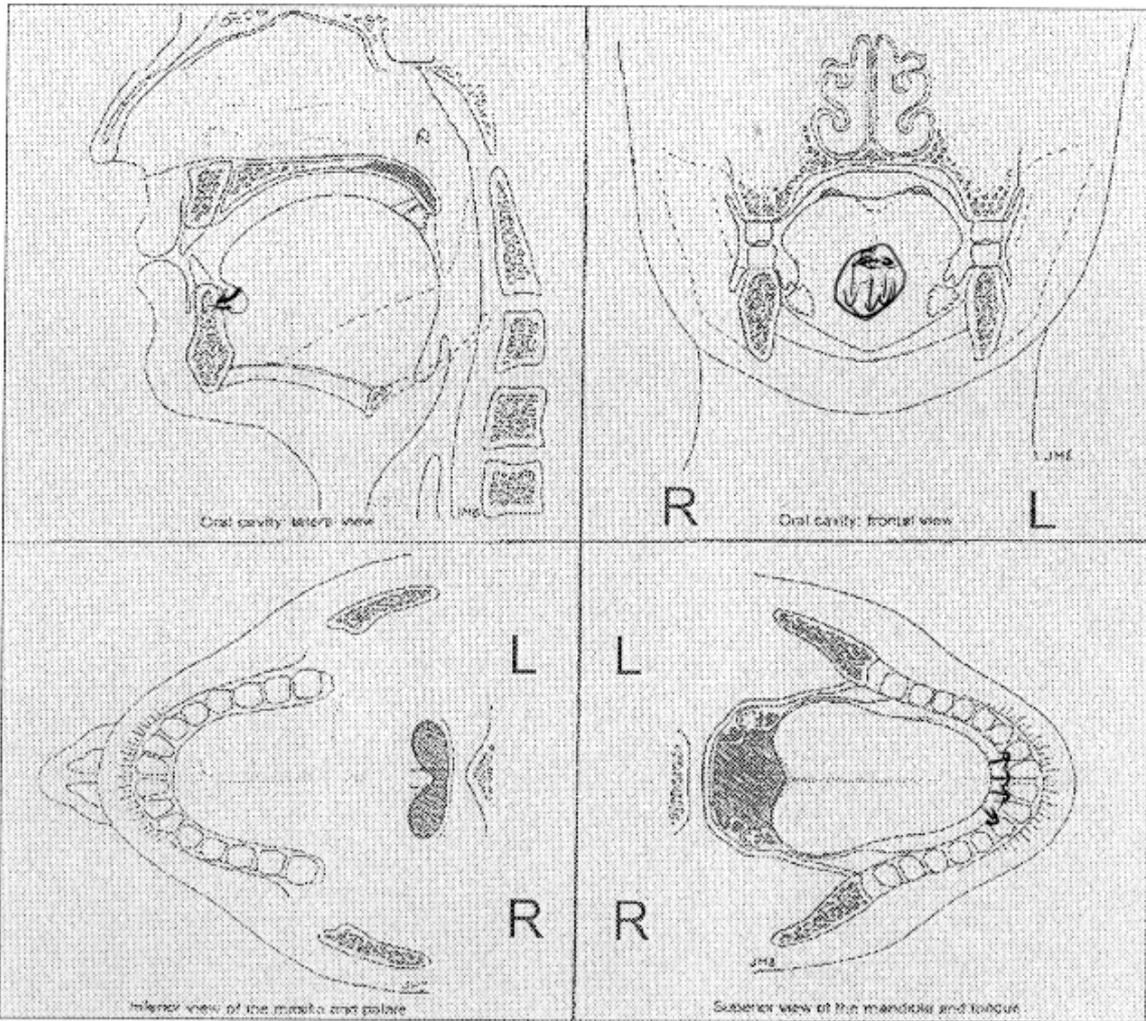


GL6-2

Reconstruction Mapping

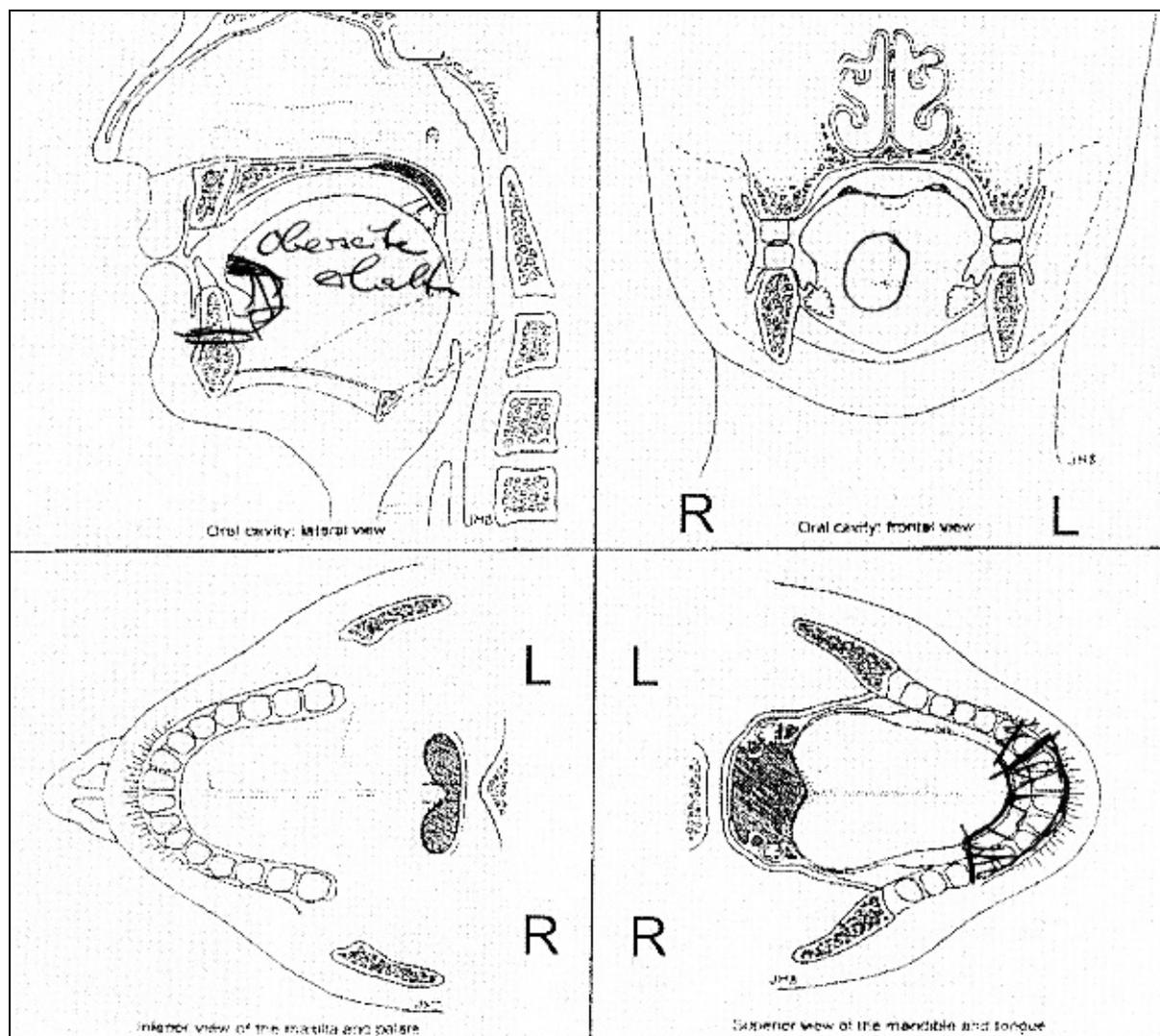
Closure	<input type="checkbox"/> resection only	<input type="checkbox"/> local flap closure describe: _____
	<input checked="" type="checkbox"/> primary closure	<input type="checkbox"/> transplant describe: _____

b) Reconstruction



GL7-I

Resektion

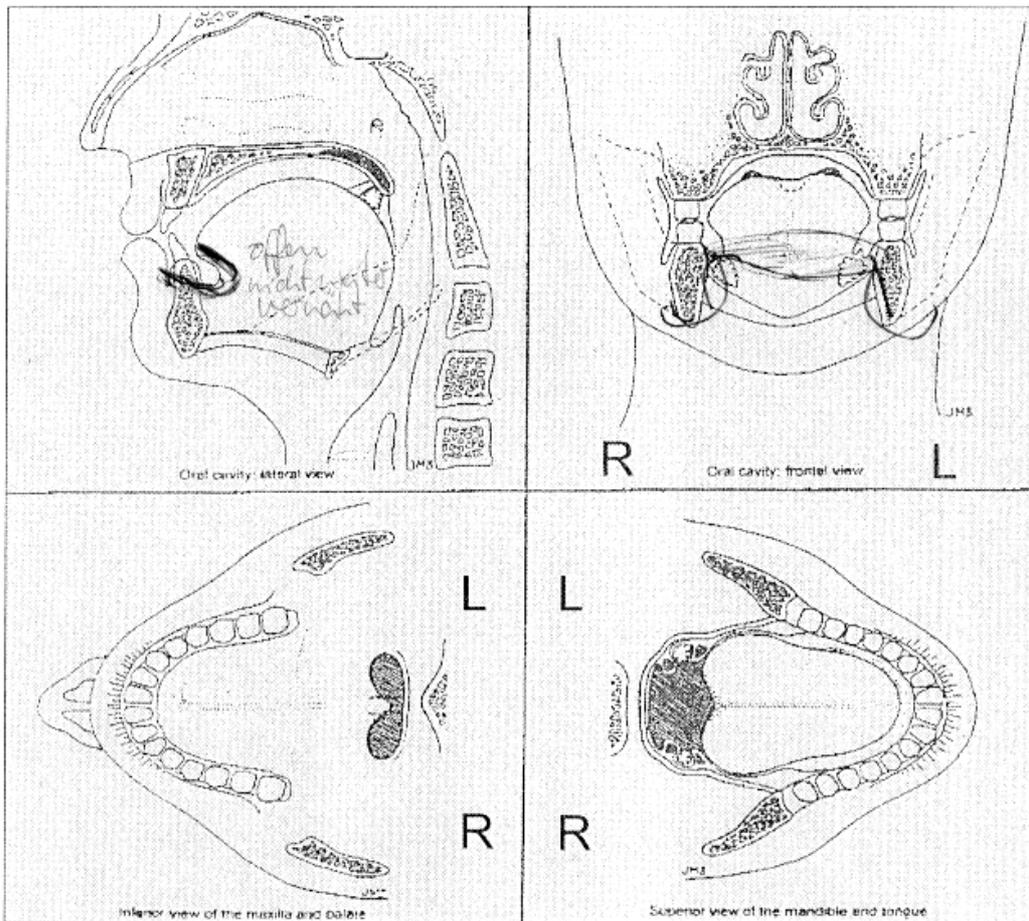


GL7-2

Reconstruction Mapping

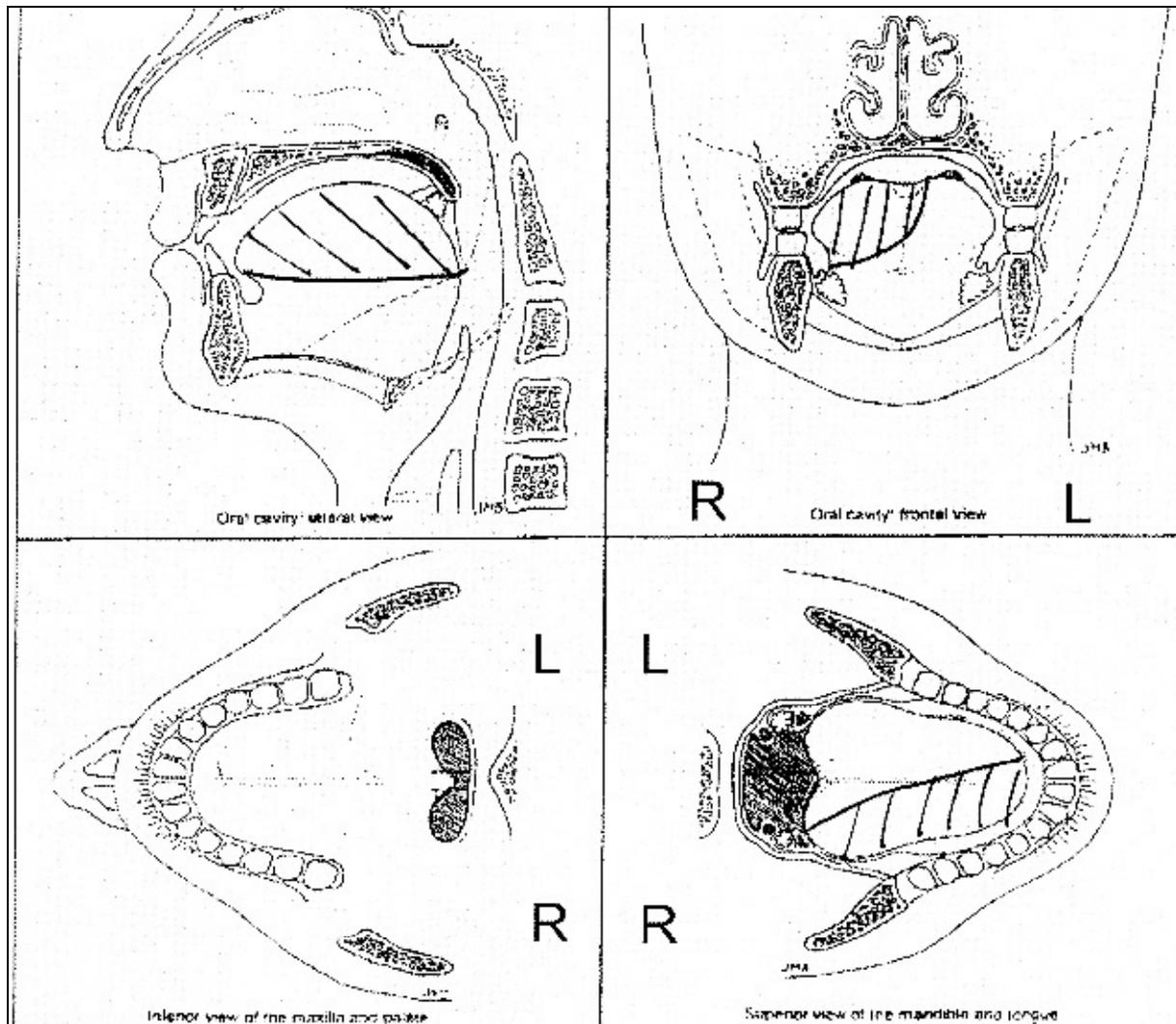
Closure	<input type="checkbox"/> resection only	<input type="checkbox"/> local flap closure describe: _____
	<input checked="" type="checkbox"/> primary closure	<input checked="" type="checkbox"/> transplant describe: <u>Flapsmaleppe Cd</u>

b) Reconstruction



GL8-I

Resektion

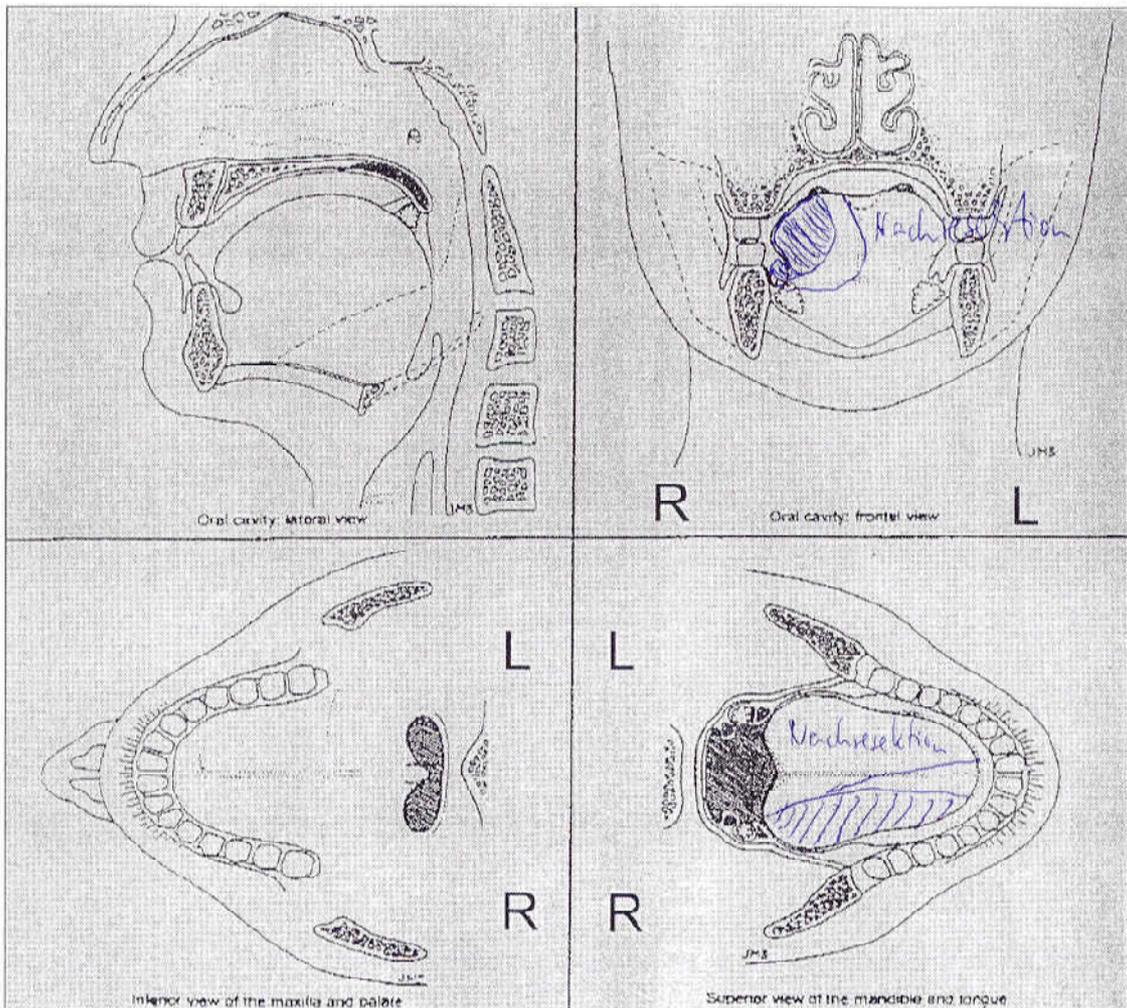


GL8-2

Reconstruction Mapping

Closure	<input type="checkbox"/> resection only	<input type="checkbox"/> local flap closure describe: <u>Platysma</u>
	<input type="checkbox"/> primary closure	<input type="checkbox"/> transplant describe: _____

b) Reconstruction





Lebenslauf

Name: Katalin Mády.
 Geboren: am 24. September 1970 in Budapest (Ungarn).
 Familienstand: ledig.

Ausbildung

1977–1985 Grundschole an der Sopron út, Budapest.
 1985–1989 Praktikumsghymnasium Endre Ságvári, Budapest. Abschluss: Abitur (mit Auszeichnung).
 1989–1991 Studium der Germanistik, Anglistik, Skandinavistik, Nederlandistik und Finnougristik an der Wissenschaftsuniversität Loránd Eötvös, Budapest.
 1991–1998 Studium der Phonetik, Skandinavistik und Deutscher Sprache an der Universität Hamburg. Abschluss: Magister (Note: 1,6).
 2000–2003 Promotion im Fach Phonetik an der Ludwig-Maximilians-Universität München mit den Nebenfächern Psycholinguistik und Germanistische Linguistik (Note: 0,75).

Beruflicher Werdegang

09. 1998–08. 2000 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Germanistischen Institut der Katholischen Péter-Pázmány-Universität, Piliscsaba (Ungarn).
 10. 2000–09. 2002 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Rahmen des DFG-Projektes „Entwicklung von standardisierten Parametern für die Zungenrekonstruktion nach ablativer Tumorchirurgie auf der Basis von phonetischen, chirurgischen und psychosozialen Aspekten“ in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am Klinikum rechts der Isar, TU München.
 seit 09. 2003 Feste wissenschaftliche Mitarbeiterin am Germanistischen Institut der Katholischen Péter-Pázmány-Universität, Piliscsaba, (Ungarn).

Stipendien

1991–1992 TEMPUS Jahresstipendium.
 1996–1997 Stiftung für Wissenschaft, Kultur und Leben, Hamburg.
 1997–1998 Jahresstipendium der Alfred Toepfer Stiftung F.V.S., Hamburg.