

Aus der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Langzeitstudie des Air-Bone-Gap nach CO₂-Laserstapedotomie bei Otosklerose

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité-Universitätsmedizin Berlin

von

Aline Gruhlke

aus Berlin

Datum der Promotion: 26.06.2022

Meinem Vater Günter Gruhlke gewidmet

Inhaltsverzeichnis

KURZZUSAMMENFASSUNG	8
1 EINLEITUNG	10
1.1 DAS OHR	10
1.1.1 Anatomie und Physiologie des Ohrs.....	10
1.2 DAS KRANKHEITSBILD DER OTOSKLEROSE	12
1.2.1 Definition.....	12
1.2.2 Epidemiologie	12
1.2.3 Pathogenese	12
1.2.4 Symptome	12
1.2.5 Diagnostik.....	13
1.2.6 Therapie.....	13
1.2.7 Laserstapedotomie	14
1.2.8 Komplikationen	17
1.2.9 Fragestellung	17
2 MATERIAL UND METHODEN	18
2.1 PATIENTEN.....	18
2.2 CO ₂ -LASER UND LASEREINSTELLUNGEN	18
2.3 OPERATIONSTECHNIKEN.....	20
2.3.1 Freilegung der Mittelohrstrukturen	20
2.3.2 Prothese und ovale Nische.....	20
2.4 DATENERHEBUNG.....	22
2.4.1 Tonschwellenaudiometrie.....	22
2.4.2 Statistisches Vorgehen	23
3 ERGEBNISSE	24
3.1 PATIENTEN.....	24

3.2	PROTHESEN.....	28
3.3	HÖRERGEBNISSE.....	29
3.3.1	Gegenüberstellung prä- (T0) zu postoperativen Hörergebnissen.....	31
3.3.2	Gegenüberstellung postoperativer Hörergebnisse untereinander	41
3.4	REVISIONSFÄLLE	48
4	DISKUSSION	50
4.1	LIMITATIONEN DER STUDIE	55
5	SCHLUSSFOLGERUNG	56
6	REFERENZEN	57
7	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	60
8	LEBENS LAUF	61
9	DANKSAGUNG	63

VERZEICHNIS TABELLEN

Tabelle 1: Überblick der Anzahl bei Erstoperationen nach CO ₂ -Laserstapedotomie	25
Tabelle 2: Häufigkeit und Auftreten intraoperativer Nebenbefunde nach CO ₂ -Laserstapedotomie	26
Tabelle 3: In der Primäroperation eingebrachte Prothesen	28
Tabelle 4: Ergebnisse präoperativ (T0), sowie nach primärer CO ₂ -Laserstapedotomien nach 1–2,5 Jahre (T1–T2), 2,5–4,5 Jahre (T3–T4), 4,5–7,5 Jahre (T5–T6) und 7,5–12,5 Jahre (T7–T8) postoperativ	30
Tabelle 5: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 1 Jahr (T1) postoperativ	33
Tabelle 6: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 1,5–2,5 Jahren (T2) postoperativ	34
Tabelle 7: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 2,5–3,5 Jahren (T3) postoperativ	35
Tabelle 8: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 3,5–4,5 Jahren (T4) postoperativ	36
Tabelle 9: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 4,5–5,5 Jahren (T5) postoperativ	37
Tabelle 10: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 5,5–7,5 Jahre (T6) postoperativ	38
Tabelle 11: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 7,5–10Jahre (T7) postoperativ	39
Tabelle 12: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 10–12,5Jahren (T8) postoperativ	40
Tabelle 13: Postoperative Veränderung des Air–Bone–Gaps. Vergleich Primär-OP mit Revisionsfällen mit Hilfe Mann-Whitney-U-Test	49

VERZEICHNIS ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Laserschusstechniken unterschiedlicher Lasertypen	16
Abbildung 2: Fotodokumentation während eines CO ₂ -Laserstapedotomie-Eingriffs in der Charité-Universitätsmedizin Berlin.....	19
Abbildung 3: Laserstapedotomie und Einsatz einer Stapesprothese	21
Abbildung 4: Geschlechterverteilung der Patienten nach CO ₂ -Laserstapedotomie im Säulendiagramm.....	24
Abbildung 5: Altersverteilung der Patienten nach CO ₂ -Laserstapedotomie im Säulendiagramm.....	25
Abbildung 6: Geschlechter- und Altersverteilung der Patienten nach CO ₂ -Laserstapedotomie im Säulendiagramm	27
Abbildung 7: Seite des operierten Ohrs nach CO ₂ -Laserstapedotomie im Säulendiagramm	27
Abbildung 8: Verwendete Prothesen nach CO ₂ -Laserstapedotomie im Balkendiagramm....	28
Abbildung 9: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 1–12,5 Jahren (T1–T8)postoperativ in Form eines Säulendiagramms	29
Abbildung 10: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 1–12,5 Jahren (T1–T8) postoperativ in Form von Boxplots.....	31
Abbildung 11: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 1 Jahr (T1) postoperativ in Form von Boxplots.....	32
Abbildung 12: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 1,5–2,5 Jahren (T2) postoperativ in Form von Boxplots.....	34
Abbildung 13: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 2,5–3,5 Jahren (T3) postoperativ in Form von Boxplots.....	35
Abbildung 14: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 3,5–4,5 Jahren (T4) postoperativ in Form von Boxplots.....	36
Abbildung 15: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 4,5–5,5 Jahren (T5) postoperativ in Form von Boxplots.....	37
Abbildung 16: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 5,5–7,5 Jahren (T6) postoperativ in Form von Boxplots.....	38

Abbildung 17: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 7,5–10 Jahren (T7) postoperativ in Form von Boxplots.....	39
Abbildung 18: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 10–12,5 Jahren (T8) postoperativ in Form von Boxplots.....	40
Abbildung 19 a: 1 Jahr (T1) im Vergleich zu 1,5–12,5 Jahren (T2–T8) postoperativ in Form von Boxplots.....	42
Abbildung 19 b: 1,5–2,5 Jahre (T2) im Vergleich zu 2,5–12,5 Jahren (T3–T8) in Form von Boxplots.....	43
Abbildung 19 c: 2,5–3,5 Jahre (T3) im Vergleich zu 3,5–10 Jahre (T4-T7) in Form von Boxplots.....	44
Abbildung 19 d: 3,5–4,5 Jahre (T4) im Vergleich zu 5,5–10 Jahre (T6 und T7) in Form von Boxplots	45
Abbildung 19 e: 4,5–5,5 Jahre (T5) im Vergleich zu 5,5–7,5 und 10–12,5 Jahren (T6 und T8) in Form von Boxplots.....	46
Abbildung 20: Mittelwerte des ABG prä- und postoperativ nach 1 Jahr und 4,5–7,5 Jahren und 7,5–12,5 Jahren.....	47

VERZEICHNIS ABKÜRZUNGEN

ABG	Air-Bone-Gap
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
AAO-HNS Guidelines	American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery
Er:YAG-Laser	Erbium:YAG-Laser
KTP-Laser.	Kaliumtitanylphosphat-Laser
GBI	Glasgow Benefit Inventory
OBP	Operation Benefit Profile
HNO	Hals-Nasen-Ohren
dB	Dezibel

Kurzzusammenfassung

Die CO₂-Laserstapedotomie ist eine risikoarme und erfolgreiche Operationstechnik bei an Otosklerose erkrankten Patienten. Otosklerose beschreibt einen pathologisch verknöchernden Umbauprozess, der sich in der Labyrinthkapsel im Innenohr und Mittelohr abspielt und eine Schallleitungsschwerhörigkeit verursacht.

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden die Daten von 496 Patienten und daraus die von 303 Patienten der HNO-Abteilung der Charité-Universitätsmedizin Berlin seit 1998 ausgewertet. Ziel der Studie war es, die Langzeitergebnisse des postoperativen Air-Bone-Gaps zu analysieren. Nach präoperativer Diagnostik sind die Patienten operiert worden. Der Hörerfolg wurde im postoperativen Verlauf in festgelegten Zeitintervallen mittels Tonschwellenaudiogrammen kontrolliert.

Eine beachtliche Verbesserung zeigte der Air-Bone-Gap 1 bis 2,5 Jahre nach der Operation. Dieser verbesserte sich initial bei 97% der Patienten um ≤ 20 dB (0–10 dB bei 67%, 11–20 dB bei 30%). Nach einem Langzeit-Follow-Up von 7,5 bis 17,5 Jahren zeigte sich eine geringe Verschlechterung auf 85% der Patienten (0–10 dB bei 35%, 11–20 dB bei 50%).

In den untersuchten Zeiträumen zeigten nach 17,5 Jahren noch über 85% der Patienten eine verbesserte, postoperativ niedrigere Luftleitungshörschwelle. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist allerdings zu beachten, dass die Patientenzahl mit den Untersuchungsjahren abnahm.

Diese Langzeitergebnisse nach CO₂-Laserstapedotomie legen somit nahe, dass sich der berührungslose Eingriff hinsichtlich der Verbesserung des Hörvermögens langfristig lohnt.

Diese Ergebnisse beinhalten lediglich objektivierbare diagnostische Parameter, von Patienten, die regelmäßig an den Nachsorgeuntersuchungen teilnahmen. Die subjektiven Empfindungen der Patienten wurden hier nicht mit einbezogen. Die Lebensqualität spielt allerdings ebenfalls eine wichtige Rolle in der Analyse von Langzeitergebnissen nach einer Laserstapedotomie. Daher sollte dieser Bereich in den nächsten Studien berücksichtigt und vertieft werden.

Abstract

CO₂-laser stapedotomy is a low-risk and successful surgical technique in patients suffering from otosclerosis. Otosclerosis describes a pathologically ossified conversion process that takes place in the labyrinth capsule in the inner ear and middle ear and causes a conductive hearing loss.

In the present retrospective study, data from 496 patients and 303 patients from the ENT department of the Charité-Universitätsmedizin Berlin have been evaluated since 1998. The aim of the study was to analyse the long-term results of the postoperative air-bone-gap. After preoperative diagnosis, the patients have undergone surgery. Hearing success was controlled in the postoperative course at specified time intervals by means of sound threshold audiograms.

The air-bone-gap showed a considerable improvement 1 to 2.5 years after the operation. This initially improved by ≤ 20 dB in 97% of the patients (0–10 dB in 67%, 11–20 dB in 30%). After a long-term follow-up of 7.5 to 17.5 years, there was a slight deterioration in 85% of the patients (0–10 dB in 35%, 11–20 dB in 50%).

In the periods examined, over 85% of the patients still showed an improved, postoperatively lower air conduction hearing threshold after 17.5 years. When interpreting the results, however, it should be noted that the number of patients decreased with the years of the examination.

These long-term results after CO₂-laser stapedotomy therefore suggest that the contactless intervention with regard to the improvement of hearing is worthwhile in the long term.

These results only include objectifiable diagnostic parameters from patients who regularly participated in the follow-up examinations. The subjective feelings of the patients were not included here. However, the quality of life also plays an important role in the analysis of long-term results after a laser stapedotomy. Therefore, this area should be considered and deepened in the next studies.

1 Einleitung

1.1 Das Ohr

1.1.1 Anatomie und Physiologie des Ohrs

Das Ohr stellt das Hör- und Gleichgewichtsorgan des Menschen dar. Es ist unterteilt in das äußere Ohr, Mittelohr und Innenohr. Das äußere Ohr umfasst die Ohrmuschel, die als Aufgabe hat, den Schall zu filtern (1) und weiterzuleiten. Zusätzlich umfasst das äußere Ohr, den äußeren Gehörgang (9–11 mm breit), der eine leichte Krümmung nach hinten oben besitzt und somit als Schutz vor eindringenden Fremdkörpern dient. Der äußere Gehörgang (Meatus acusticus externus) reicht bis zum Trommelfell und besitzt zahlreiche Schutzhaare, die in das Lumen hineinragen und Ceruminal- und Talgdrüsen, die u.a. das Cerumen bilden, das zum Schutz vor Keimen und Schmutz dient. Es konnte bisher beobachtet werden, dass an Otosklerose erkrankte Patienten oft einen weiten Gehörgang besitzen, der weniger Cerumen enthält (2). Das Trommelfell trennt das äußere Ohr vom Mittelohr und formt sich trichterförmig nach innen gezogen zu einem Nabel (Umbo). Bei einfallendem Licht zeigt es sich taubengrau und glänzend mit Lichtreflex. Das Mittelohr beginnt hinter dem Trommelfell und besteht aus der Paukenhöhle mit Hammer (Malleus), Amboss (Incus) und Steigbügel (Stapes). Der Hammer verbindet das Trommelfell mit dem Amboss und bildet somit einen Teil des Schalleitungsapparates. Es folgt der Steigbügel, der fest mit einer Fußplatte (Basis stapes) und zwei Schenkeln (Crus anterior; Crus posterior) am ovalen Fenster (Fenestra ovalis) anschließt. Hier kann es durch pathologische Ossifikationen zu einer Minderbeweglichkeit der Gehörknöchelchenkette kommen die zu Schalleitungsstörungen führt.

Die Paukenhöhle ist ein mit Luft gefüllter Raum in dem die drei Knochenstrukturen den von außen an das Trommelfell treffenden Schall weiterleiten. Durch die schwingende Gehörknöchelchenkette (Ossicula auditus) wird die Steigbügel Fußplatte bewegt, welche das ovale Fenster wiederum in Bewegung versetzt und die hierdurch entstehende Perilymphwelle nachfolgend die Basilarmembran im Corti-Organ auslenkt. Die akustischen Wahrnehmungen werden so über das ovale Fenster bis an das Innenohr abgegeben. Die Paukenhöhle ist außerdem über die eustachische Röhre mit dem Mund- und Rachenraum verbunden. Sie verläuft schräg nach caudal und besitzt die Funktion der Belüftung, Drainage und Protektion des Mittelohrs.

Das Innenohr (Labyrinth) ist unterteilt in das Vestibularorgan und das Corti-Organ (Cochlea). Das Vestibularorgan besteht aus dem Utriculus, dem Sacculus und drei Bogengängen. Es sorgt für den Erhalt des Gleichgewichts. Die Cochlea formt sich wie eine Schnecke und wird als das

eigentliche Hörorgan definiert. Beide Organe sind von mit einem häutigen und knöchernen Labyrinth umgeben. Das häutige Labyrinth (Labyrinthus membranaceus) ist mit kaliumreicher Endolymphe gefüllt. In dem vestibulären Teil befinden sich in die Otolithenmembran eingebettete Sinneszellen mit feinen Härchen, die beispielsweise durch eine Kopfbewegung die Flüssigkeit und somit die Härchen in Bewegung versetzt und somit Information an die Sinneszellen weiterleiten. Diese Sinneszellen sind mit dem Nervus vestibularis verbunden und leiten die Information an das zentrale Nervensystem weiter. Das genannte zusammenhängende System führt zusammen mit anderen neuromuskulären Regelkreisen zum Gleichgewicht.

Auch die Cochlea besitzt Sinneszellen, die Informationen an den Nervus cochlearis weiterleiten, welcher dann die Hörinformation zur weiteren Verarbeitung an zentrale Hirnstrukturen leitet.

1.2 Das Krankheitsbild der Otosklerose

1.2.1 Definition

Die Otosklerose ist eine Erkrankung im Bereich des Mittel- und Innenohrs bei der es zu einem Knochenumbauprozess der knöchernen Labyrinthkapsel kommt (3, 4). Bevorzugt geschieht dies am ovalen Fenster (1, 5). Häufig ist der vordere Teil der Fußplatte betroffen, selten der hintere Anteil (6). Ist die gesamte ovale Nische betroffen, nennt sich dies obliterative Otosklerose (4). Die zunehmende Fixierung des Stapes, der am ovalen Fenster anschließt, verhindert die Schwingung der Gehörknöchelchen und führt somit klinisch zu einer Schalleitungsschwerhörigkeit (3).

1.2.2 Epidemiologie

Die Krankheit tritt fast doppelt so häufig bei Frauen als bei Männern auf (7). Sie manifestiert sich am häufigsten zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr (8) und erscheint gehäuft im Rahmen einer Schwangerschaft (5, 9). In sozioökologischen Studien zeigte sich eine Prävalenz von 0,04 bis 1% bei Kaukasiern, wohingegen sie unter Asiaten eher untypisch und bei Afrikanern sogar extrem selten auftritt (5, 10).

1.2.3 Pathogenese

Bislang ist die Ursache des Knochenumbauprozesses unbekannt (11) und vermutlich multifaktorieller Genese (12). Es zeigt sich eine familiäre Häufung, die auf eine genetische Ursache schließen lässt (3, 5, 13). Hierbei wird ein autosomal-dominanter Erbgang vermutet (7, 11, 14). Eine Zunahme der klinischen Symptome ist meist bedingt durch hormonelle Umstellungen z.B. Schwangerschaft oder Menopause bedingt. Östrogene spielen eine wichtige Rolle in der Osteozytose (5) und somit eine dominante Rolle in der Ossifikation der Steigbügelplatte (6). Eine weitere Hypothese besagt, dass persistierende Masernviren Einfluss auf die Entstehung der Otosklerose haben (3, 13). Hierbei wurden Paramyxovirus-ähnliche faserartige Strukturen an der Steigbügelplatte bei Otosklerose Patienten gefunden (10, 13).

1.2.4 Symptome

Durch die zunehmende Fixierung des Stapes an das ovale Fenster kommt es zur Schalleitungsschwerhörigkeit (4, 5). Zusätzlich kann eine Schallempfindungsstörung durch eine Verschlechterung der Resonanz im Mittelohr verursacht werden, die ihr Maximum bei 2

kHz hat, die sogenannte Carhart-Senke (4). In der Regel geht damit ein gemessener Hörverlust zwischen 5 bis 20 dB einher. In fortgeschrittenen Fällen kann es zu einer Innenohrschwerhörigkeit (5) und Schwindel mit Beteiligung der Cochlea und des Vestibulums kommen (10). Insgesamt ist eine langsam fortschreitende Schwerhörigkeit pathognomonisch (3). Sie tritt meist erst einseitig auf und oftmals im Verlauf bilateral (85%) auf (5, 8). Tinnitus, vestibuläre (4) und cochleäre Erscheinungsbilder können zusätzlich auftreten, letztere allerdings eher selten (7).

1.2.5 Diagnostik

Die Diagnose Otosklerose kann durch viele diagnostische Hilfsmittel gestellt und durch histologische Überprüfung bewiesen werden (15).

Zum einen kann der Stimmgabeltest nach Weber und Rinne durchgeführt werden. Bei der Otosklerose wird bei dem Weber-Versuch in das kranke Ohr lateralisiert und der Ton der Stimmgabel auf dem erkrankten Ohr lauter vernommen. Der Versuch nach Rinne ist negativ. (9). Der Gellé-Test und die Otoskopie sind weitere diagnostische Mittel (9). Mit der Otoskopie kann gelegentlich (10 % der Fälle) ein rötliches Durchschimmern am Trommelfell erkannt werden, das für einen aktiven Otoskleroseherd spricht (9). Dieses Phänomen nennt man das Schwartz-Zeichen (9). Zum anderen wird per Tonschwellenaudiogramm eine audiometrische Messung der Hörfähigkeit durchgeführt, die sich im Fall einer Otosklerose durch eine Schalleitungsstörung oder eine kombinierte Schwerhörigkeit äußert (9). Bei 20% der Patienten zeigt sich eine Carhart-Senke bei 2 kHz (2, 4). Das Tympanogramm zeigt eine unauffällige Compliance des Trommelfells, allenfalls mit abgeflachter Spitze der Kurve (2, 16).

Um Differentialdiagnosen auszuschließen, wurde traditionell ein Röntgenbild nach Schüller angefertigt (2). Heute wird zunehmend eine hochauflösende Computertomografie des Felsenbeins in Feinschichttechnik verwendet (17, 18). Diese kann Auskunft darüber geben, ob ein andauernder oder abgelaufener entzündlicher Prozess vorliegt (16), Verknöcherungsherde im Innenohrbereich sichtbar machen (2) und helfen zu klären, ob weitere Mittelohrpathologien oder Fehlbildungen vorliegen (18).

1.2.6 Therapie

Die Behandlung der Otosklerose kann einerseits operativ, andererseits konservativ durch eine Hörgeräteversorgung erfolgen (7). HNO-Ärzte sollten jeden Patienten individuell beraten, um ihn bei der Entscheidung, welche Behandlung am geeignetsten ist zu helfen.

1.2.6.1 Operative Therapie

1952 wurden die ersten Stapedektomien durchgeführt. Heutzutage, nach technischer Weiterentwicklung und Minimierung der Komplikationen, ist die Stapedotomie zur Therapie der Wahl bei an Otosklerose leidenden Patienten geworden (7, 13). Bei der Stapedotomie werden Trokare oder feinste Diamantbohrer benutzt, wohingegen bei der Laserstapedotomie die Perforation der Fußplatte berührungslos mit dem Laser erfolgt (4). In letzter Zeit ist das Interesse an Lasertechniken stark gewachsen. In den 70er Jahren war der Argonlaser Mittel der Wahl (7), seitdem hat sich die Bandbreite der verwendeten Lasertechniken um den KTP-, Erbium-, YAG- und CO₂-Laser erweitert (7). Heutzutage hat der CO₂-Laser den größten Stellenwert in der Laserstapedotomie (4, 19).

1.2.6.2 Konservative Therapie

Bis heute ist die Otosklerose nicht medikamentös heilbar. Liktor und Szekanecz et al. haben konservative Therapieansätze entwickelt, die in frühen Stadien der Otosklerose anwendbar sind (13), um den Verlauf der Krankheit zu verlangsamen (2). Dazu zählen die Natriumflorid- und Bisphosphonat-Therapie (5, 13) sowie die Masern-Impfung, da vermutet wird, dass die Otosklerose durch Masernviren getriggert werden könnte. (20). Ist die Otosklerose zu weit fortgeschritten, kann nur noch ein Cochlea Implantat helfen (21).

1.2.7 Laserstapedotomie

Wird die Lasertechnik für die Stapedotomie eingesetzt, reduziert sich das Risiko von Operationsschäden am Mittel- und Innenohr (19, 22); oft läßt sich dennoch eine potenziell schädigende Wärmeentwicklung nicht vermeiden (23, 24).

Bevor der Laser zum Einsatz kommt werden die Mittelohrstrukturen, wie im Kapitel 2.3.1 beschrieben wird, freigelegt.

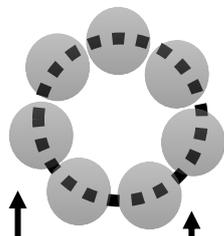
Anschließend erfolgt die Fußplattenperforation mittels Laser (19, 25). In diesen Studien wurden alle Patienten mit dem CO₂-Laser mit SurgiTouch™-Scanner behandelt. Es gibt jedoch unterschiedliche Lasertypen, die in der Mittelohrchirurgie angewandt werden. Sie unterteilen sich in zwei Gruppen: Zum einen Laser, die eine ähnliche, sichtbare Wellenlänge besitzen wie zum Beispiel der Argonlaser (488,514 nm) und der KTP- (Kalium Titanyl Phosphat) Laser (532 nm) (22); zum anderen sind es Laser mit Wellenlängen im unsichtbaren Frequenzbereich, wie der Er:YAG (2,12 µm) und der CO₂-Laser (10,6 µm) (4, 22, 26). Für den Eingriff sollte man möglichst einen Laser aussuchen, der einen effizienten Knochenabtrag, hohe Energieabsorption

in der Perilymphe, geringe Schallintensitäten, geringe Temperaturerhöhung des Gewebes, kleine Perforationsgröße und geringe Fokustiefe gewährleisten kann (Grevers, Baumgartner (25), (27, 28). Der CO₂-Laser erfüllt aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften diese Kriterien weitgehend und überzeugt daher mit großer Absorption und geringer Rate an Innenohrverletzungen (19, 25, 29). Kombiniert mit einem mikroprozessorgesteuerten Scanner, können die Laserstrahlen in kurzen Zeitintervallen mit Hilfe von rotierenden Spiegeln auf eine definierte Fläche appliziert werden (19, 30). Somit kann die „Ein-Schuss-Technik“ angewandt werden (19) (Abbildung 1). Auch der Er:YAG-Laser wird stark absorbiert und kann mit seiner hohen Laserleistung sehr präzise biologisches Gewebe abtragen (4, 25, 31). Die Strahlen werden jedoch bei Blutungen vollständig aufgenommen und der Laser erreicht nicht mehr das Zielgewebe (19). Außerdem werden höhere Schallpegel erzeugt, die zu Innenohrschäden und Tinnitus führen können (19).

Der Argonlaser sowie der KTP-Laser schneiden bezüglich der Schneidwirkung und thermischen Schäden schlechter ab (25, 27). Aufgrund der geringen Absorption kommt es zur Erwärmung der Perilymphe von bis zu 12 °C, bei direkter Einstrahlung sogar von 50 °C (25). Postoperativ wird mit Hilfe der Laserstapedotomie eine Hörverbesserung von > 90% erreicht und ein Tinnitus wird in 50% der Fälle behoben (9).

Abbildung 1: Laserschusstechniken unterschiedlicher Lasertypen

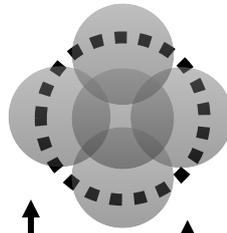
Rosetten-Technik,
KTP-, Argon-Laser



Perforationszone

Relativ großes,
rosettenförmiges
Bestrahlungsfeld mit
aneinandergesetzten
Laserapplikationen

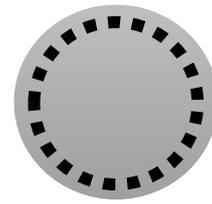
Mehrfach-Schuss-Technik,
CO₂-Laser



Perforationszone

Leicht überlappende
Laserapplikationen
sind möglich.

Ein-Schuss-Technik,
CO₂-Laser



Annähernd
identische
Perforations-
Und
Bestrahlungszone

Abbildung 1: Bildlich dargestellte Laserapplizierung bei Verwendung des KTP- und Argonlasers (Rosettentechnik) oder des CO₂-Lasers (Mehrfach-Schuss-Technik und Ein-Schuss-Technik). Die Applikationsfelder (grau) sind bei Anwendung des KTP- und Argonlasers kreisförmig gesetzt. Diese sollten sich nicht überschneiden, damit es zu keiner Innenohrschädigung kommt. Knochenrückstände werden durch Instrumente entfernt. Bei der Nutzung der Mehrfach-Schuss-Technik mit dem CO₂-Laser sind die Applikationen ebenfalls kreisförmig aneinandergesetzt, hierbei ist allerdings ein Überlappen möglich. Die Perilymphe kann die Strahlen absorbieren. Bei der Ein-Schuss-Laser-Technik wird nur ein Schuss benötigt, um eine gewünschte Perforationsgröße von 0,5–0,6 mm zu erzielen (gestrichelte Linie) (Abbildung aus (4)).

1.2.8 Komplikationen

Intraoperativ kann es durch den Bohrer zu einer Mobilisierung der Fußplatte kommen (25). Dies nennt man dann das „floating footplate“ Phänomen (25). Laut Jovanovic et al. lässt sich dies mit Hilfe des CO₂-Lasers vermeiden (19). Ebenfalls kann ein überhängender Nervus facialis den Eingriff verkomplizieren (23). Im Fall der obliterativen Otosklerose ist die Fußplattenperforation mittels Laser erschwert. Deshalb sollte die Stelle vorerst ausgedünnt werden, damit der Laser zum Einsatz kommen kann (32). Postoperativ können temporär starke Schwindelbeschwerden auftreten, die meist wieder abklingen. Bei < 1% besteht die Gefahr der Ertaubung (9). Kommt es zu schnellem oder schwankendem Hörverlust, Schwindel oder neu auftretendem Tinnitus, dann liegt meist eine zu lange Prothese, ein Frühgranulom oder eine Perilymphfistel (23) vor. Dies führt oft unweigerlich zu einer Stapesrevision (23). Wenn es nach circa zwei Jahren zu einer Wiederverschlechterung des Hörvermögens kommt, könnte der Grund eine Incusnekrose, aufgrund einer zu festen Prothese (9), eine Prothesendislokation/-lockerung oder erneut sklerosierendes ovales Fenster sein (23). Die Häufigkeit liegt hierfür bei 1% nach CO₂-Laserstapedotomie (19).

1.2.9 Fragestellung

Bislang gab es keine Langzeitstudie, die den Air-Bone-Gap nach CO₂-Laserstapedotomie bei an Otosklerose erkrankten Patienten über einen Zeitraum von 17,5 Jahren untersucht hat.

Hat sich der Air-Bone-Gap nach CO₂-Laserstapedotomie verbessert und sind die Hörergebnisse über die Jahre stabil geblieben?

Das primäre Ziel der Studie war es die Schallleitung und Knochenleitung im zeitlichen Verlauf nach primärer CO₂-Laserstapedotomie anhand retrospektiv gewonnener Daten zu untersuchen. Ergänzend wurden die Hörergebnisse der CO₂-Laserstapedotomie den Hörergebnissen der Revisionslaserstapedotomie gegenübergestellt. Besteht ein Unterschied in der Hörfunktion zwischen den beiden Gruppen nach Durchführung derselben Operationstechnik?

2 Material und Methoden

2.1 Patienten

Seit 1998 wurden in der HNO-Klinik, Campus Benjamin Franklin der Charité-Universitätsmedizin Berlin Patienten mit vorliegender Otosklerose mithilfe der CO₂-Laserstapedotomie nach der von Jovanovic et al. etablierten Methode operiert (19). Im Rahmen dieser Arbeit wurden von einem Patientenkollektiv das 496 Patienten umfasst, vorliegende Daten zunächst tabellarisch geordnet und statistisch ausgewertet. 303 der 496 Patienten wurden postoperativ tonaudiometrisch nachuntersucht.

2.2 CO₂-Laser und Lasereinstellungen

Die CO₂-Laserstapedotomie wird seit 1990 in der Charité-Universitätsmedizin Berlin in der HNO-Klinik mit der sogenannten Mehr-Schuss-Technik (Abbildung 1) angewandt. Neun Jahre später wurde ein Scannersystem entwickelt, der SurgiTouch™-Scanner (Fa. Lumenis, Tel Aviv, Israel), der die Spiegel mit Hilfe von Mikroprozessorsteuerung rotieren lässt. So ist es möglich, den Laser mit einem Schuss und punktgenau zu applizieren. Auf diese Weise wurde erstmalig die Ein-Schuss-Technik etabliert. Die Gewebssperforation sollte im Durchmesser zwischen 0,5–0,7 mm liegen. Die benötigte Energie zur Fußplattenperforation ist dabei von der Dicke der Fußplatte abhängig.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau des Lasers im Operationssaal. Die genaue Operationstechnik wird im Kapitel 1.2.7 Laserstapedotomie beschrieben.

Abbildung 2: Fotodokumentation während eines CO₂-Laserstapedotomie-Eingriffs in der Charité-Universitätsmedizin Berlin



Abbildung 2: Beispielhafter Geräteaufbau für eine CO₂-Laserstapedotomie: Operationsmikroskop mit Mikromanipulator, Scannersystem und Spiegelgelenkarm des CO₂-Lasers (Abbildung aus (4)).

2.3 Operationstechniken

2.3.1 Freilegung der Mittelohrstrukturen

Unter lokaler oder Intubationsanästhesie wird eine endaurale Öffnung geschaffen, um den äußeren Gehörgang zu vergrößern und dann den tympanomeatalen Lappen am Trommelfell anzulegen (33). Die Paukenhöhle wird eröffnet (23, 33). Nach dem Abschälen der seitlichen Attikwand ist das ovale Fenster zu erkennen (33). Durch zartes Berühren des Incus mit Nadel oder Häkchen wird eine vermeintliche Malleuskopffixation geprüft (2) bzw. die Diagnose Otosklerose mit fixiertem Stapes bestätigt.

2.3.2 Prothese und ovale Nische

Die Fußplattenperforation erfolgt mittels Laser (19, 25). Der Durchmesser der Perforation sollte 0,1 mm größer als der Durchmesser des Pistons sein und die Perilymphe sollte nach der Laserapplikation sichtbar sein. Die Stapesprothese, ca. 4,5 mm lang und von 0,4–0,8 mm Durchmesser wird am langen Incusschenkel angebracht (23). Um ein Dislozieren zu vermeiden ragen die Prothesen ca. 0,1–0,2 mm in die Perforation hinein. Die am häufigsten verwendeten Prothesen bestanden aus Platin-Teflon oder Titan. Das Vestibulum wird abschließend entweder mit Blutkoagel oder Bindegewebe abgedichtet (23).

Abbildung 3: Laserstapedotomie und Einsatz einer Stapesprothese

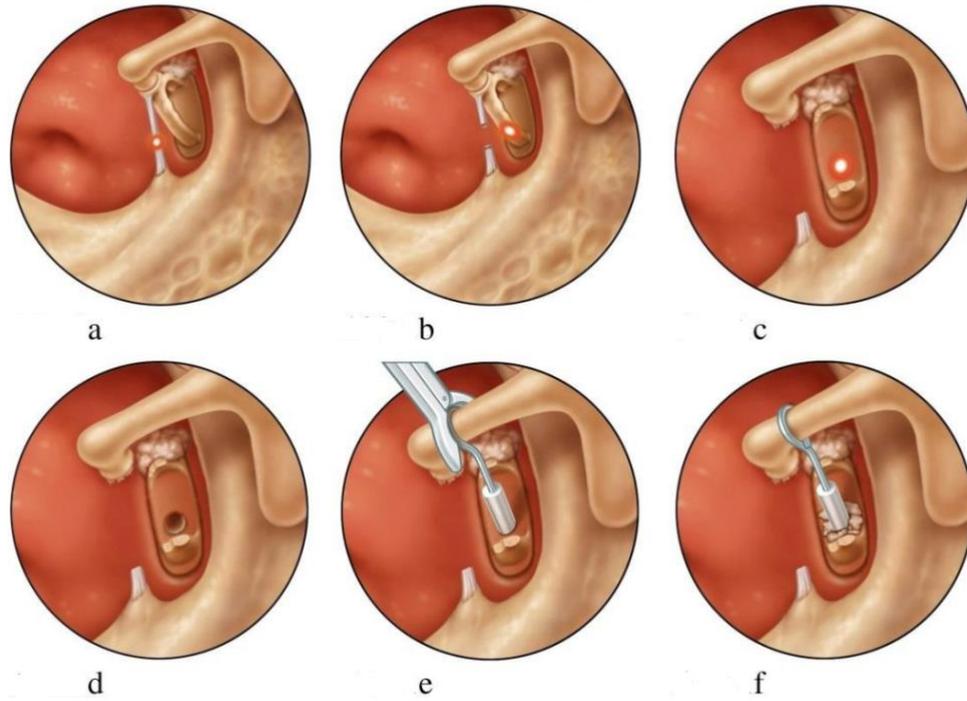


Abbildung 3 a-f: Schematische Darstellung der Laserstapedotomie und der Einsatz von Stapesprothese (Abbildung aus (19)).

2.4 Datenerhebung

Zur Bearbeitung der Studie dienten die in den Patientenakten vorhandenen prä- und postoperativen Tonaudiogramme sowie Operationsberichte mit detailliertem Protokoll der individuellen Laserparameter. Anfangs wurde die Vollständigkeit der Dokumentation überprüft und die Datenbank komplettiert. Die aktualisierte Patientendatenbank wurde in zwei Übersichtstabellen mit verschiedenen Parametern mittels Excel Tabellen dargestellt. In einer Tabelle wurden patientenbezogene Daten, wie Geschlecht, Alter, Operationszeitpunkt, Seite des operierten Ohrs und ob eine Erst-Operation oder eine Revision vorlag und operative Werte, wie der intraoperative Befund, Prothese, Prothesenlänge, Scanner, Prothesendurchmesser und Abdichten der ovalen Nische erfasst. Revisionen wurden aus der Studie ausgenommen. In der weiteren Tabelle wurde der Schwerpunkt auf die Hörentwicklung im postoperativen Verlauf gelegt. Hier wurde der ABG errechnet und im Follow-Up bis zu 17,5 Jahre postoperativ verglichen.

2.4.1 Tonschwellenaudiometrie

Die Tonschwellenaudiometrie dient der audiometrischen Messung der Hörschwelle bei spontan auftretender oder fortlaufender Schwerhörigkeit. Diese wird in reinen Sinusschwingungen bei Frequenzen zwischen 0,125 bis 8 kHz gemessen.

Bei normalen Hörleistungen und korrekter Durchführung sollten die Luftleitungs- und Knochenleitungs- kurven eng und weitestgehend übereinstimmend übereinander liegen. Wird eine höhere Lautstärke für die Wahrnehmung der Luft- als der Knochenleitung benötigt, driften die Luftleitungs- und Knochenleitungs- kurven auseinander. Es liegt dann eine Schallleitungsstörung vor. Die Differenz der beiden Kurven, wird als Air-Bone-Gap bezeichnet.

Bei der Schallempfindungsstörung unterscheiden sich die beiden Kurven fast nicht; die Hörschwelle ist in den höheren Frequenzen häufig angehoben.

Die kombinierte Schwerhörigkeit zeigt sich im Tonaudiogramm als Schallleitungsstörung mit einer erhöhten Hörschwelle der Knochenleitung. Eine Reintonaudiometrie wurde bei jedem Patienten ein bis zwei Tage vor der Operation durchgeführt. Bei 303 Patienten konnten postoperative Kontrollen der Innenohrfunktion nach einem Jahr und später durchgeführt werden.

Die Differenz der Knochen- und Luftleitungshörschwelle (Air-Bone-Gap) wurden bei den Frequenzen von 0,5, 1, 2, 3 und 4 kHz und die Mittelwerte dieser Frequenzen zur Beurteilung des Hörgewinns nach den AAO-HNS Guidelines berechnet.

2.4.2 Statistisches Vorgehen

Die prä- und postoperativen Mittelwerte der Air-Bone-Gaps wurden in Tabellen mittels Excel und SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) berechnet (negative Werte bedeuten eine bessere postoperative Hörschwelle). Es wurde der Mittelwert und die Standardabweichung, wie auch die intraindividuelle Differenz zwischen den prä- und postoperativen Luft- und Knochenleitungshörschwellen kalkuliert, um die Hörverluste auszuwerten. Zur Untersuchung der audiologischen Messwerte wurde der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben angewendet. Ein signifikanter Unterschied besteht bei $p < 0,05$.

3 Ergebnisse

Von 1998 bis 2015 wurden in der HNO-Klinik, Campus Benjamin Franklin, der Charité-Universitätsmedizin Berlin Patienten mit vorliegender Otosklerose mithilfe der CO₂-Laserstapedotomie nach der von Jovanovic et al. (19) etablierten und beschriebenen Methode operiert.

3.1 Patienten

Das Patientengut setzte sich aus 496 Patienten zusammen, aus denen 303 Patienten postoperativ nachuntersucht werden konnten. Davon sind 198 Personen Frauen (66%) und 105 Personen Männer (34%) (Abbildung 4).

Abbildung 4: Geschlechterverteilung der Patienten nach CO₂-Laserstapedotomie im Säulendiagramm

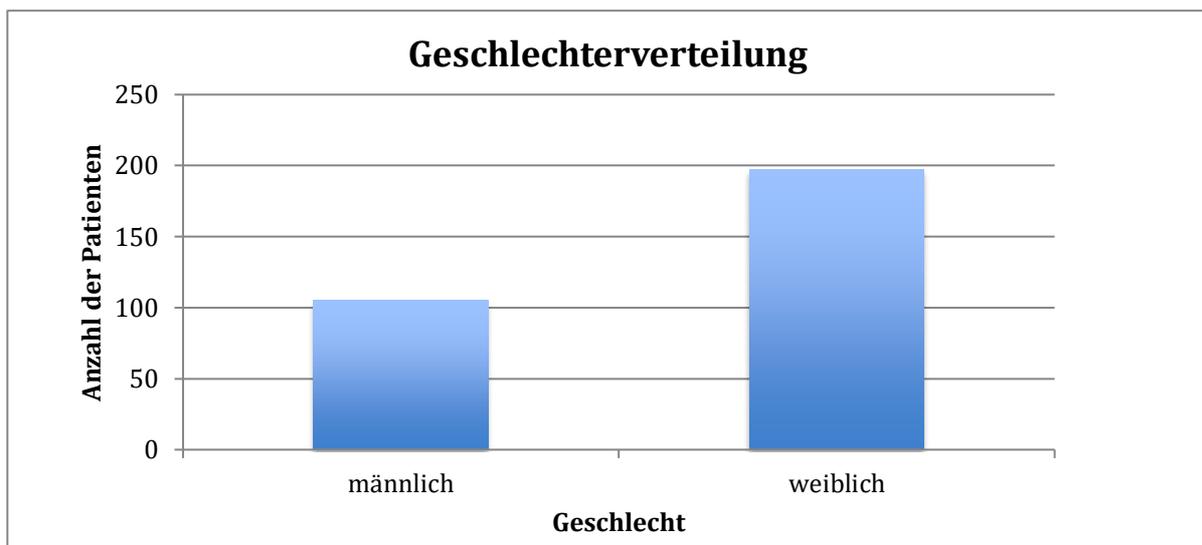


Abbildung 4: Geschlechterverteilung der Patienten mit CO₂-Laserstapedotomie (n = 303 postoperativ kontrolliert)

Abbildung 5: Altersverteilung der Patienten nach CO₂-Laserstapedotomie im Säulendiagramm

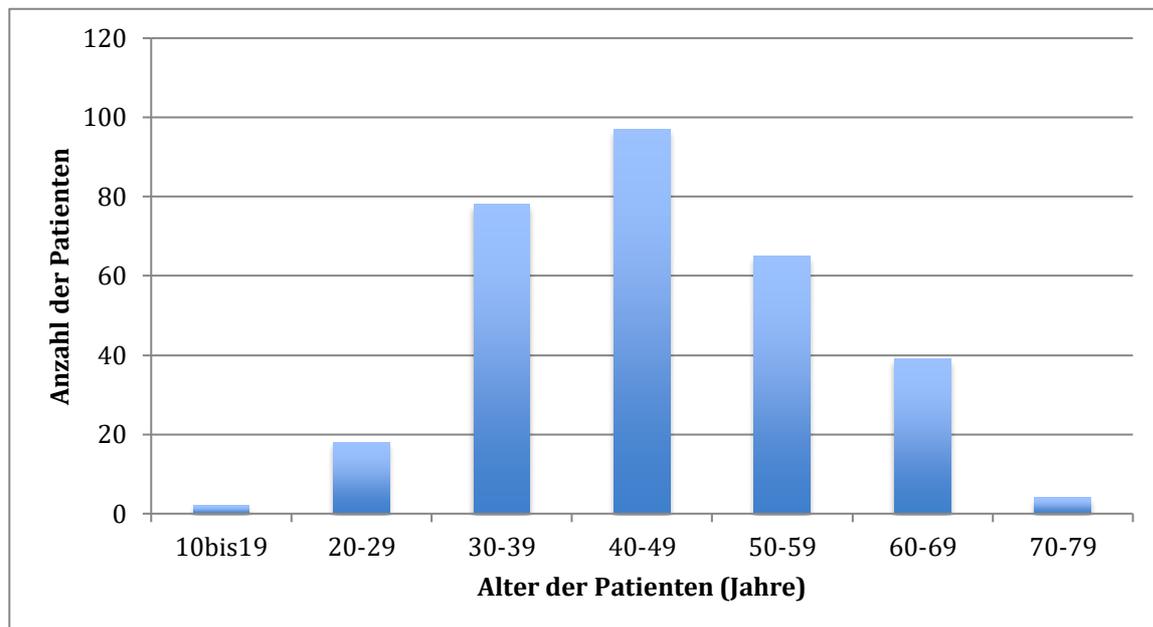


Abbildung 5: Verteilung des Lebensalters zum Operationszeitpunkt und damit Diagnosezeitpunkt (n = 303)

Das Durchschnittsalter dieser 303 Patienten lag bei 46 (18–74) Jahren, die Geschlechterverteilung ergab eine Relation zwischen Frauen zu Männern von 1,8:1 (198 Frauen und 105 Männer). Das Durchschnittsalter der Frauen lag bei 46 (22–73), das der Männer bei 45,6 (18–74) Jahren. In etwa 80% der Fälle wurden die Patienten von dem gleichen Arzt operiert (S. Jovanovic).

Tabelle 1: Überblick der Anzahl bei Erstoperationen nach CO₂-Laserstapedotomie

	Erstoperation	Postoperativ nachuntersucht
Gesamtzahl	496	303
Frauen	310	198
Männer	191	105
Rechtes Ohr/ linkes Ohr	278 / 223	157 / 146
Alter	45,0 (18–76)	46 (18–74)
Jüngster Patient	18	18
Ältester Patient	76	74

Intraoperativ stellten sich folgende Nebenbefunde dar. Bei 9% der Patienten trafen die Operateure auf eine obliterierende Otosklerose, bei 0,4% fand sich ein überhängendes Promontorium, bei 3,5% fand sich ein überhängender Nervus facialis und bei 0,8% eine floating footplate. Es wurde keine Exostose, keine Hammerkopffixation oder Stapesankylosen gefunden. Arosionen fanden sich in 0,4% der Fälle und auf dicke Fußplatten stieß man in 0,4%.

Tabelle 2: Häufigkeit und Auftreten intraoperativer Nebenbefunde nach CO₂-Laserstapedotomie

Intraoperativer Befund	Anzahl der Patienten / Angabe in Prozent
Obl. Otosklerose	23 / 9%
Überhängendes Promontorium	1 / 0,4%
Überhängender N. facialis	9 / 3,5%
floating footplate	2 / 0,8%
Exostose	0 / 0%
Arosion	1 / 0,4%
Stapesankylosen	0 / 0%
Dicke Fußplatte	1 / 0,4%
Hammerkopffixation	0 / 0%

Abbildung 6: Geschlechter- und Altersverteilung der Patienten nach CO₂-Laserstapedotomie im Säulendiagramm

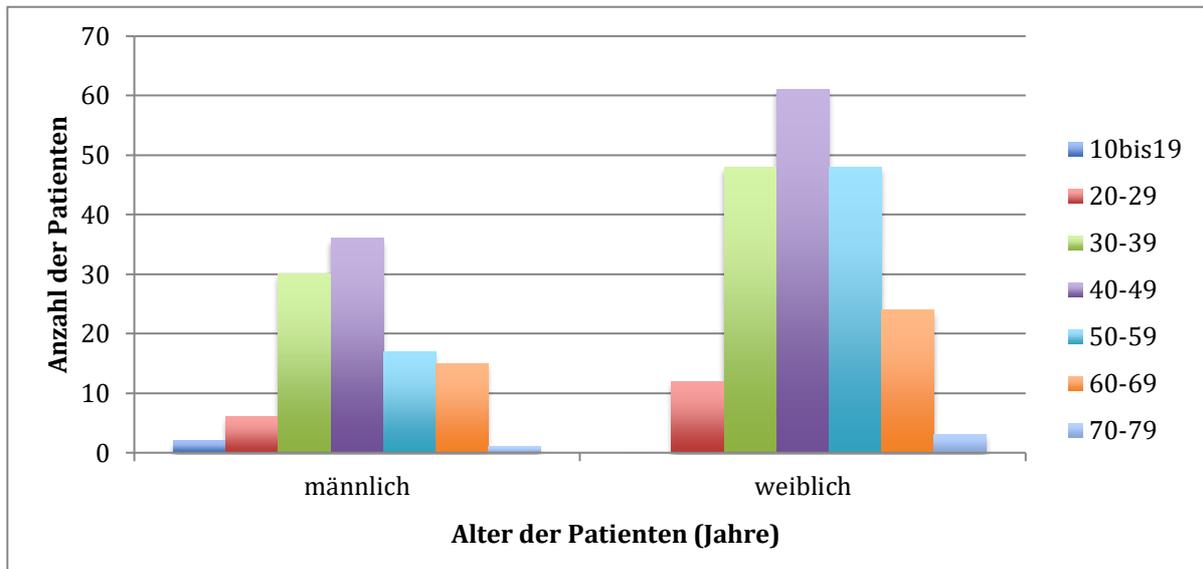


Abbildung 6: Altersverteilung der männlichen (n = 105) und weiblichen (n = 198) Patienten zum Operationszeitpunkt (n = 303)

Das rechte Ohr wurde mit 157 Fällen (52%) etwa gleich häufig operiert wie das linke Ohr (n = 146).

Abbildung 7: Seite des operierten Ohrs nach CO₂-Laserstapedotomie im Säulendiagramm

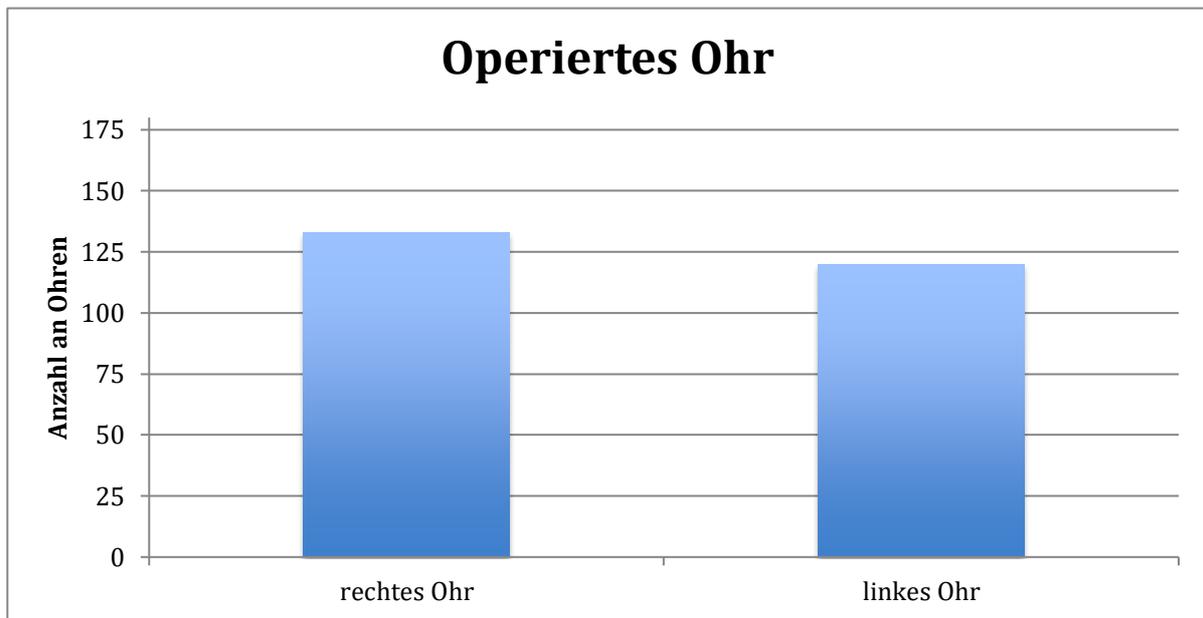


Abbildung 7: Seite des operierten Ohrs (n = 303)

3.2 Prothesen

Von 1998 bis 2015 wurden Prothesen eingesetzt, die sich vom Material unterscheiden (Abbildung 8).

Abbildung 8: Verwendete Prothesen nach CO₂-Laserstapedotomie im Balkendiagramm

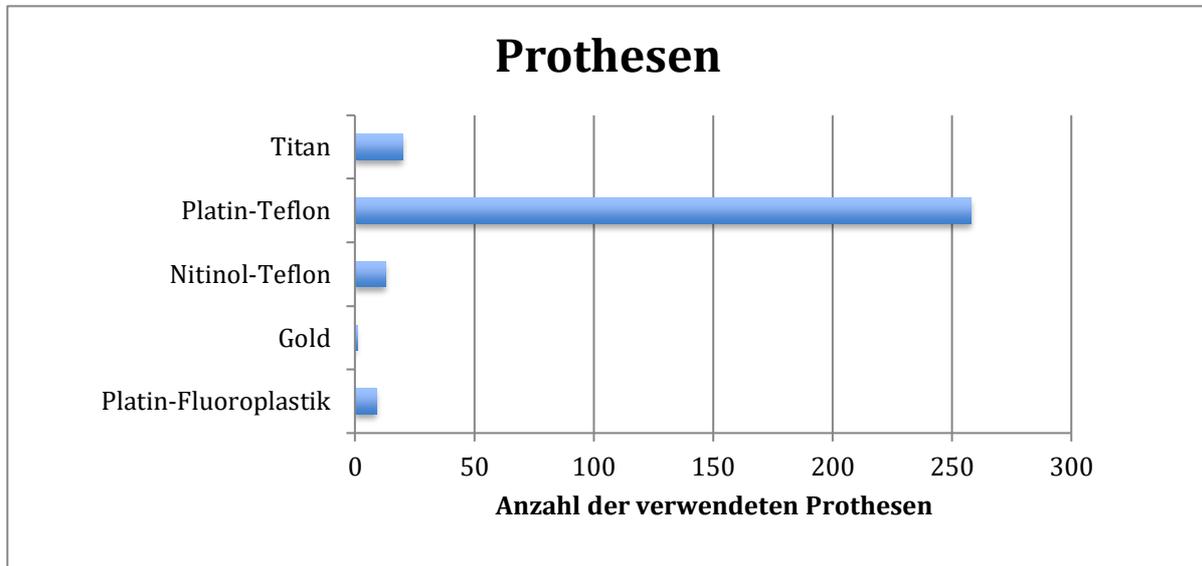


Abbildung 8: Eingesetzte Prothesen von 1998 bis 2015 (n = 301 (zwei wurden nicht dokumentiert))

In 85,7% der Fälle (n = 258) wurde die Platin–Teflon–Prothese mit einem Durchmesser von 0,4mm oder 0,6mm implantiert. In 20 Fällen (7%) wurde eine Titanprothese mit einem Durchmesser von 0,4mm verwendet. Bei 13 Patienten (4%) wurden Nitinol-, bei 9 Patienten (3%) Fluoroplastik– und bei 1 Patienten (0,3%) Gold–Prothesen eingesetzt (Tabelle 3). Bei 2 Patienten wurde keine Prothesenart dokumentiert. Die Prothesenlänge betrug beim Großteil (82%) der Patienten 4,5mm. Die restlichen eingesetzten Prothesenlängen wurden mit 4,75mm (12%), 4,25mm (4%) und 4/5,25/6mm (ca. 1,5%) angegeben.

Tabelle 3: In der Primäroperation eingebrachte Prothesen

Prothese	Anzahl der Patienten / Angabe in Prozent
Platin – Teflon – Piston	258 / 85,7%
Titan – Piston	20 / 7%
Gold – Piston	1 / 0,3%
Nitinol – Piston	13 / 4%
Fluoroplastik – Piston	9 / 3%

3.3 Hörergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse der Reintonaudiometrie zeigte eine signifikante Verbesserung des ABG für alle getesteten Frequenzen (Wilcoxon-Test, $p < 0,001$) (Abbildung 9).

Abbildung 9: Präoperativ (T0) im Vergleich zu 1–12,5 Jahren (T1–T8) postoperativ in Form eines Säulendiagramm

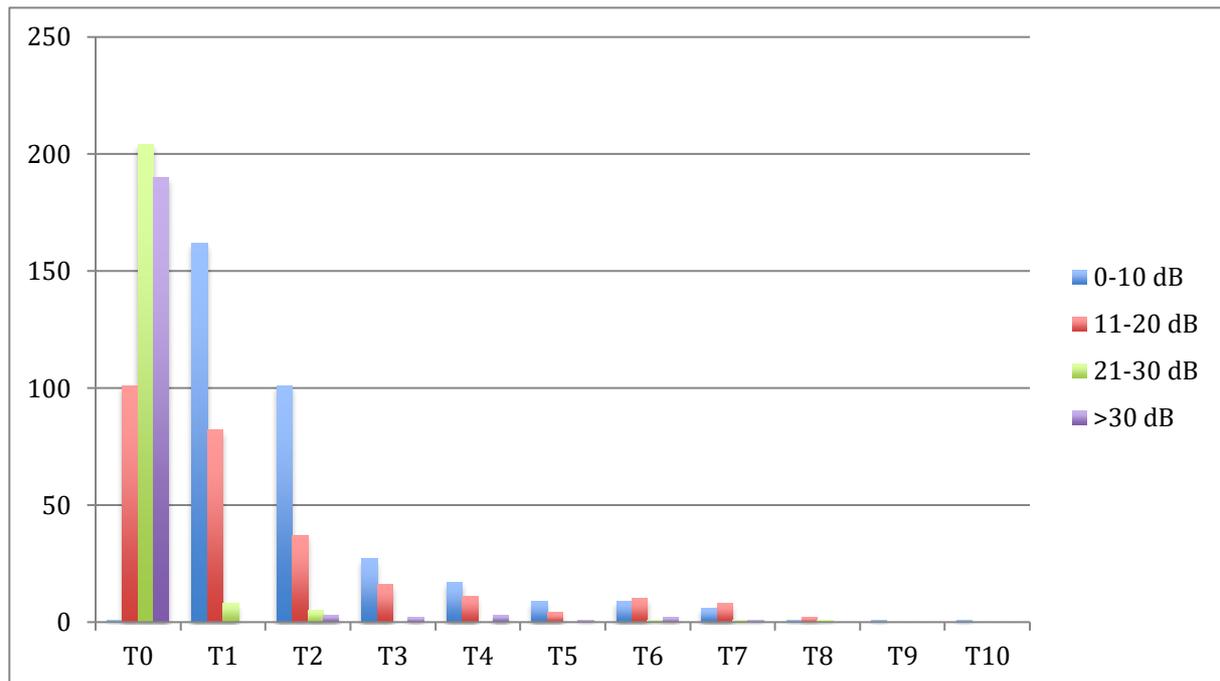


Abbildung 9: Verteilung der prä- und postoperativen Mittelwerte des Air-Bone-Gaps im Frequenzbereich von 0,5–4 kHz unterteilt in vier Gruppen von 0–10 dB, 11–20 dB, 21–30 dB und > 30 dB in einem Zeitraum von T0 (präoperativ) bis T10 (15–17,5 Jahre postoperativ); T1 = 1 Jahr postoperativ; T2 = 1,5–2,5 Jahre postoperativ; T3 = 2,5–3,5 Jahre postoperativ; T4 = 3,5–4,5 Jahre postoperativ; T5 = 4,5–5,5 Jahre postoperativ; T6 = 5,5–7,5 Jahre postoperativ; T7 = 7,5–10 Jahre postoperativ; T8 = 10–12,5 Jahre postoperativ; T9 = 12,5–15 Jahre postoperativ; T10 = 15–17,5 Jahre postoperativ.

In Abbildung 9 wird der mittlere präoperative dem postoperativen Air-Bone-Gap Wert von 303 Patienten in einem Follow-Up von 1 Jahr bis 17,5 Jahren (T1–T10) postoperativ gegenüber gestellt. Der Air-Bone-Gap verbesserte sich signifikant und blieb über 17,5 Jahre postoperativ stabil unter Berücksichtigung der kleiner werdenden Fallzahlen (Tabelle 4). Die Zeiträume in Tabelle 4 [Präoperativ (T0), 1–2,5 Jahre (T1–T2), 2,5–4,5 Jahre (T3–T4), 4,5–7,5 Jahre (T5–T6) und 7,5–12,5 Jahre (T7–T8) postoperativ] wurden gewählt, um ein ausreichend großes

Patientenkollektiv zu erhalten und den audiometrischen Langzeitverlauf genauer darstellen zu können.

Tabelle 4: Ergebnisse präoperativ (T0), sowie nach primärer CO₂-Laserstapedotomien nach 1–2,5 Jahre (T1–T2), 2,5–4,5 Jahre (T3–T4), 4,5–7,5 Jahre (T5–T6) und 7,5–12,5 Jahre (T7–T8) postoperativ

ABG	Präoperativ (n = 303)	1–2,5 Jahre postop. (n = 283)	2,5–4,5 Jahre postop. (n = 70)	4,5–7,5 Jahre postop. (n = 34)	7,5–12,5 Jahre postop. (n = 18)
0-10 dB	1%	63%	60%	53%	38%
11-20 dB	21%	32%	34%	38%	50%
21-30 dB	39%	4%	0%	6%	6%
> 30 dB	39%	1%	6%	3%	5%

Präoperativ verzeichneten 22% der Patienten ein Air-Bone-Gap von ≤ 20 dB. Nach 1–2,5 Jahren (T1–T2) postoperativ konnte bei 95% der Patienten einen mittleren Air-Bone-Gap von ≤ 20 dB gemessen werden. Nach 2,5–4,5 Jahren (T3–T4) betrug bei 94% der Patienten der Air-Bone-Gap ≤ 20 dB. Zwischen 4,5–7,5 Jahren (T5 und T6) hatten 91% der Patienten einen Air-Bone-Gap von ≤ 20 dB. Nach 7,5–12,5 Jahren (T7 und T8) hatten 88% der Patienten einen ABG von ≤ 20 dB. Innerhalb von 12,5 bis 17,5 Jahren (T9–T10) postoperativ konnten nur noch zwei Patienten nachkontrolliert werden. Somit genügte die Fallzahl nicht, um eine statistische Erhebung durchzuführen.

Bis 2,5–4,5 Jahre (T3–T4) postoperativ blieben die Werte annähernd stabil, danach verschlechterten sich die Ergebnisse, allerdings ohne ihr Signifikanzniveau zu beeinflussen.

3.3.1 Gegenüberstellung prä- (T0) zu postoperativen Hörergebnissen

In Abbildung 10 werden die präoperativen Hörergebnisse (T0) von 303 Patienten den postoperativen Hörergebnissen (T1–T8) in Form von Boxplots gegenüber gestellt.

Abbildung 10: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 1–12,5 Jahren (T1–T8) postoperativ in Form von Boxplots

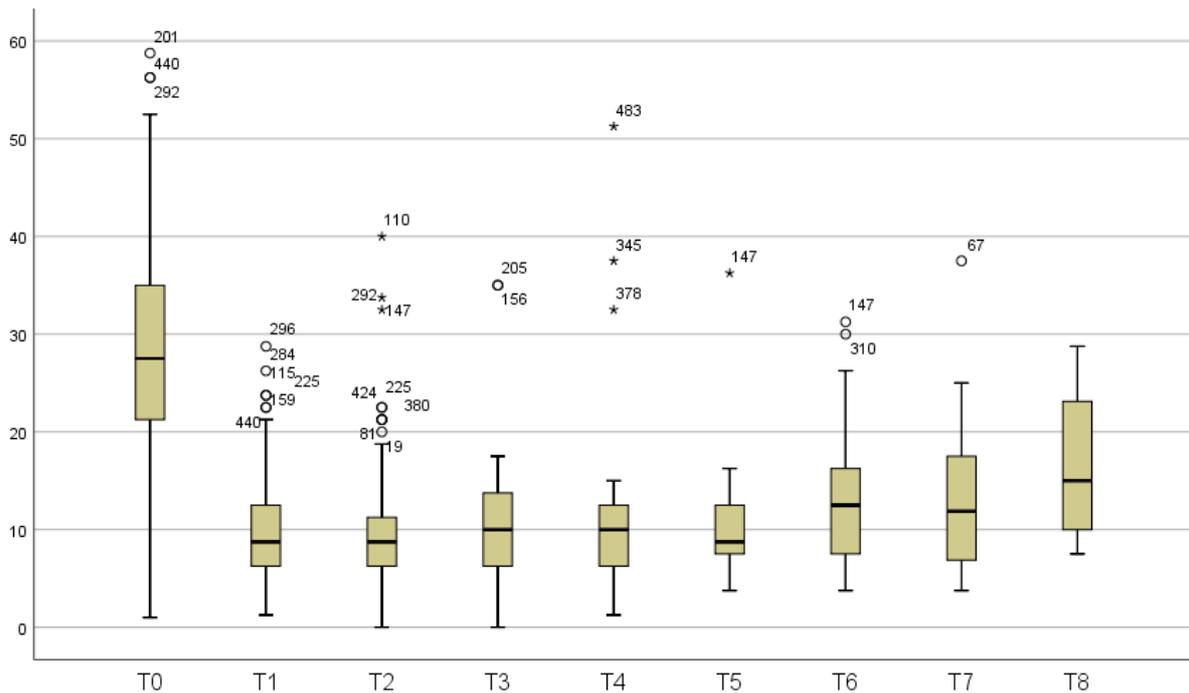


Abbildung 10: In dieser Darstellung wird der gemittelte ABG im Frequenzbereich 0,5-4 kHz von 303 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 1–12,5 Jahren (T1–T8) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0–T8, auf der y-Achse der gemittelten ABG von 0 bis 60 dB.

Es zeigte sich eine signifikante Verkleinerung des ABG, das sich über die Jahre hinweg stabil hält. Das Signifikanzlevel $p < 0,05$ ist bis auf den Vergleich mit T8 erreicht worden. Damit ist nach dem Wilcoxon-Test das Ergebnis hoch signifikant ($p < 0,001$). Insgesamt ist ein verbesserter ABG postoperativ beobachtet worden.

Im Anschluss werden die mittleren ABG von präoperativ (T0) mit den Ergebnissen von 1 bis 12,5 Jahren (T1–T8) postoperativ in einzelnen Grafiken als Boxplot dargestellt, um einen direkten Vergleich zu schaffen.

Abbildung 11: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 1 Jahr (T1) postoperativ in Form von Boxplots

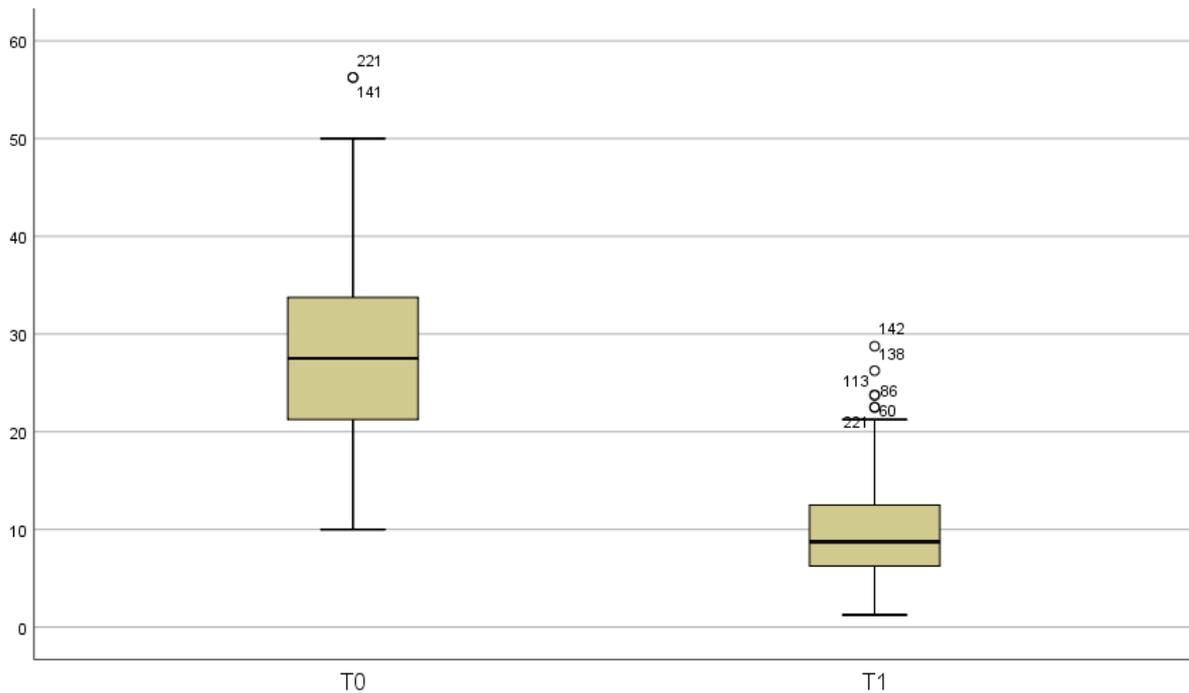


Abbildung 11: In dieser Darstellung wird der mittlere ABG von den Frequenzen 0,5-4 kHz von 253 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 1 Jahr (T1) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0 und T1, auf der y-Achse den ABG von 0 bis 60 dB.

Die Differenz zwischen Luft- und Knochenleitung verbesserte sich zwischen dem präoperativen Hörergebnis und dem ersten Jahr postoperativ (Wilcoxon-test, $p < 0,001$, Abbildung 11). Dies zeigte sich ebenfalls in den Langzeitergebnissen: Die nächsten Abbildungen bis Abbildung 18 und Tabelle 12 demonstrieren eine kontinuierliche Hörverbesserung im Verlauf vom ersten Jahr postoperativ bis zum 12,5 Jahr postoperativ (T1 bis T8). Tabelle 5 stellt die Messwerte von T0 und T1 tabellarisch gegenüber.

Tabelle 5: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 1Jahr (T1) postoperativ

ABG	Präop.	1 Jahr postop.
Untere Whisker	10 dB	1,25 dB
Untere Quartil	21,25 dB	6,25 dB
Median	27,5 dB	8,75 dB
Obere Quartil	35 dB	11,25 dB
Obere Whisker	50 dB	22,25 dB
Ausreißer	58,75 dB	28,75 dB

Abbildung 12: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 1,5–2,5 Jahren (T2) postoperativ in Form von Boxplots

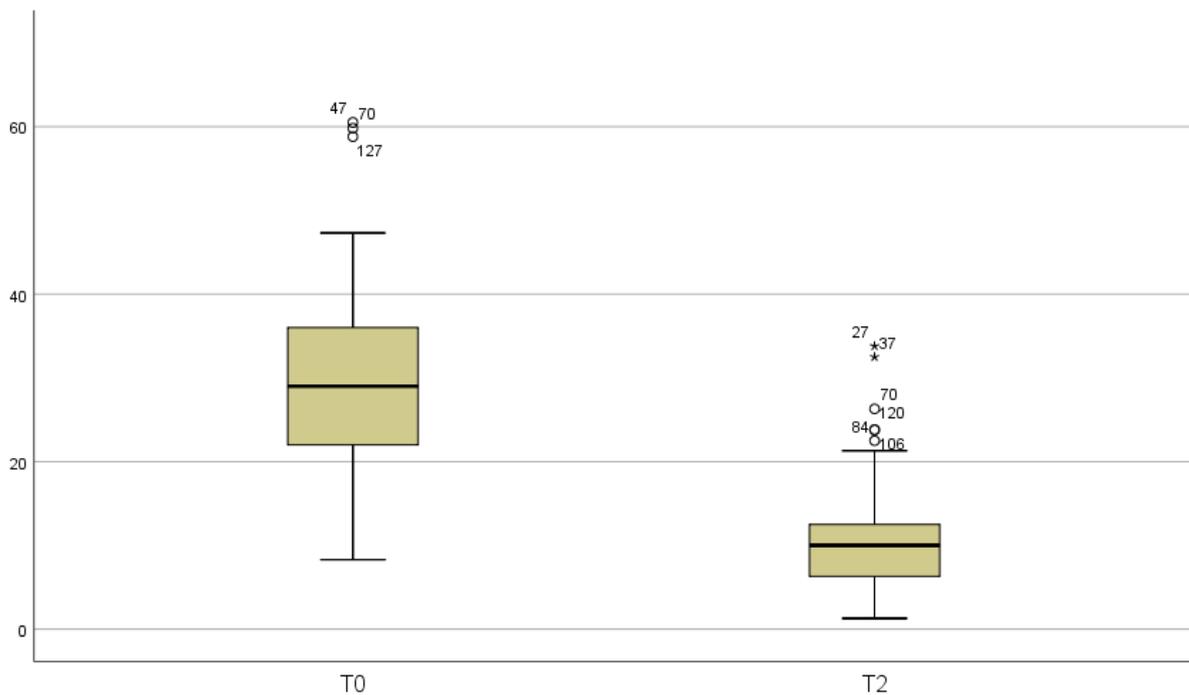


Abbildung 12: In dieser Darstellung wird der Mittelwert des ABG von den Frequenzen 0,5-4 kHz von 146 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 1,5-2 Jahren (T2) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0 und T2, auf der y-Achse den ABG von 0 bis 60 dB.

Tabelle 6 stellt die Messwerte von T0 und T2 tabellarisch gegenüber.

Tabelle 6: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 1,5–2,5 Jahren (T2) postoperativ

ABG	Präop.	1,5–2,5 Jahre postop.
Untere Whisker	10 dB	1,25 dB
Untere Quartil	21,25 dB	6,25 dB
Median	27,5 dB	8,75 dB
Obere Quartil	38 dB	11,25 dB
Obere Whisker	52 dB	21 dB
Ausreißer	61,75 dB	37,5 dB

Es fand sich eine signifikante Verkleinerung des ABG im Vergleich präoperativ (T0) zu 1,5–2,5 Jahren (T2) postoperativ.

Abbildung 13: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 2,5–3,5 Jahren (T3) postoperativ in Form von Boxplots

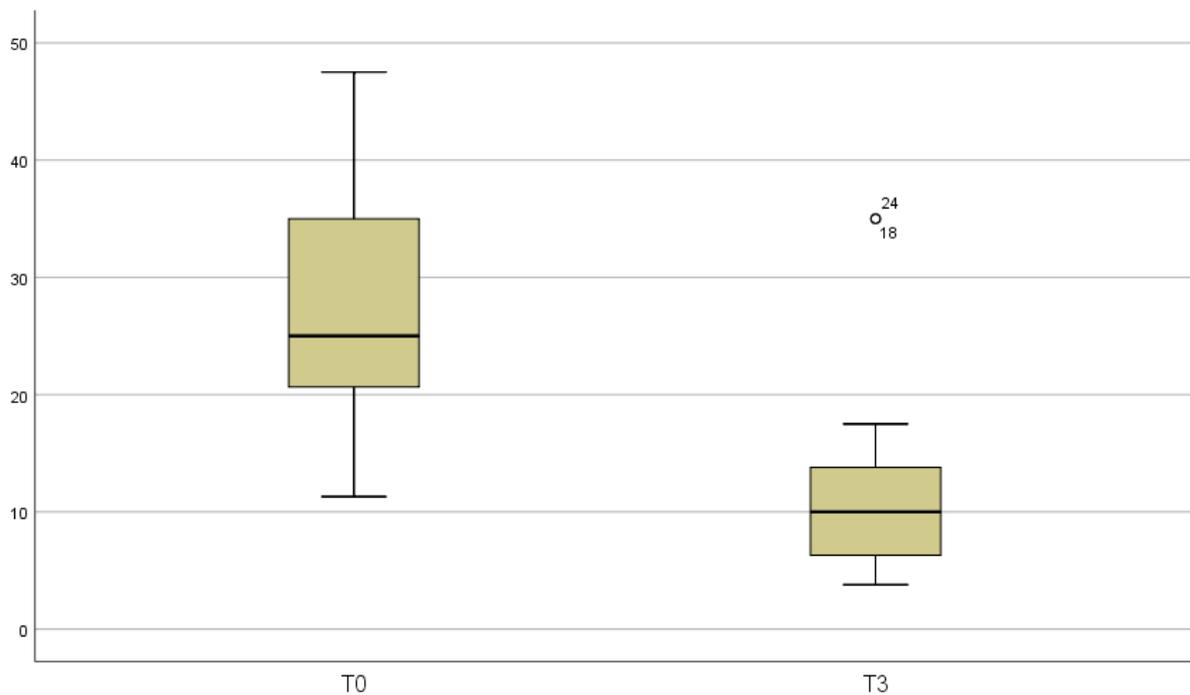


Abbildung 13: In dieser Darstellung wird der mittlere ABG von 45 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 2,5-3,5 Jahren (T3) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0 und T3, auf der y-Achse den ABG von 0 bis 60 dB.

Des Weiteren werden die Messwerte von T0 und T3 tabellarisch aufgeführt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 2,5–3,5 Jahren (T3) postoperativ

ABG	Präop.	2,5–3,5 Jahre postop.
Untere Whisker	12 dB	5 dB
Untere Quartil	21,25 dB	7,25 dB
Median	27,5 dB	10 dB
Obere Quartil	35 dB	13,75 dB
Obere Whisker	48 dB	17 dB
Ausreißer	-	35 dB

Es fand sich eine signifikante Verkleinerung des ABG im Vergleich präoperativ (T0) zu 2,5–3,5 Jahren (T3) postoperativ.

Abbildung 14: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 3,5–4,5 Jahren (T4) postoperativ in Form von Boxplots

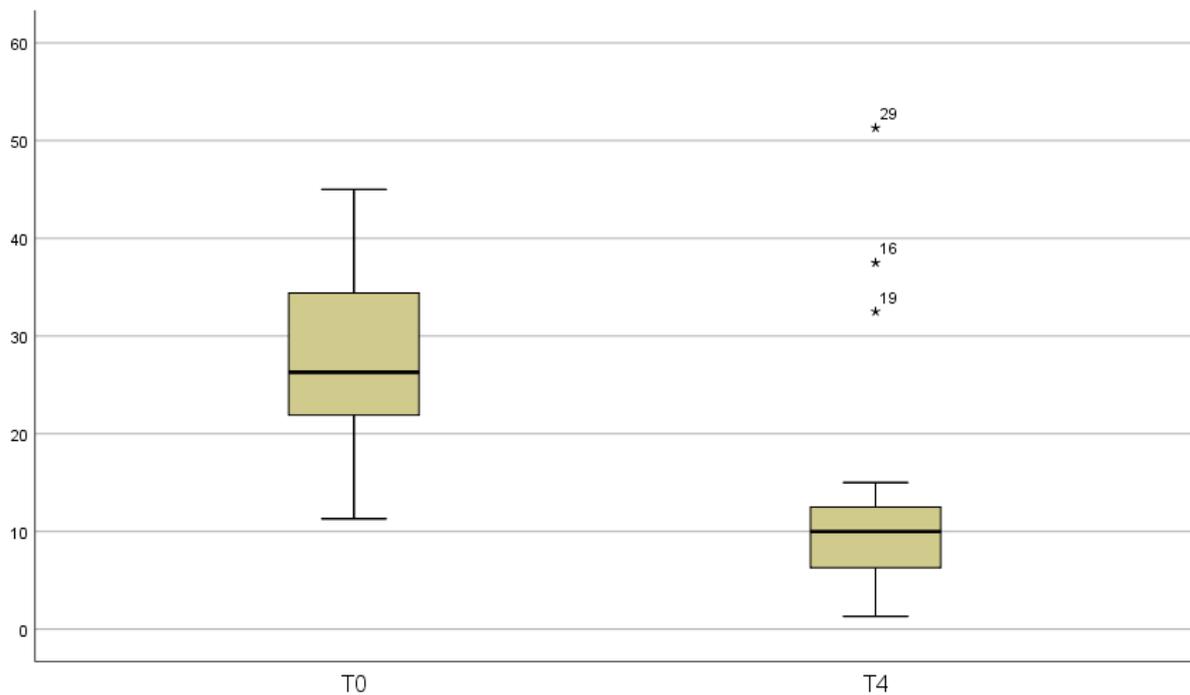


Abbildung 14: In dieser Darstellung wird der Mittelwert des ABG von 31 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 3,5-4,5 Jahren (T4) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0 und T4, auf der y-Achse den ABG von 0 bis 60 dB.

Des Weiteren werden die Messwerte von T0 und T4 tabellarisch gegenübergestellt (Tabelle 8).

Tabelle 8: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 3,5–4,5 Jahren (T4) postoperativ

ABG	Präop.	3,5–4,5 Jahre postop.
Untere Whisker	12 dB	1,25 dB
Untere Quartil	22,25 dB	6,25 dB
Median	27,5 dB	10 dB
Obere Quartil	35 dB	12,5 dB
Obere Whisker	45 dB	15 dB
Ausreißer	-	51,25 dB

Es fand sich eine signifikante Verkleinerung des ABG im Vergleich präoperativ (T0) zu 3,5–4,5 Jahren (T4) postoperativ.

Abbildung 15: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 4,5–5,5 Jahren (T5) postoperativ in Form von Boxplots

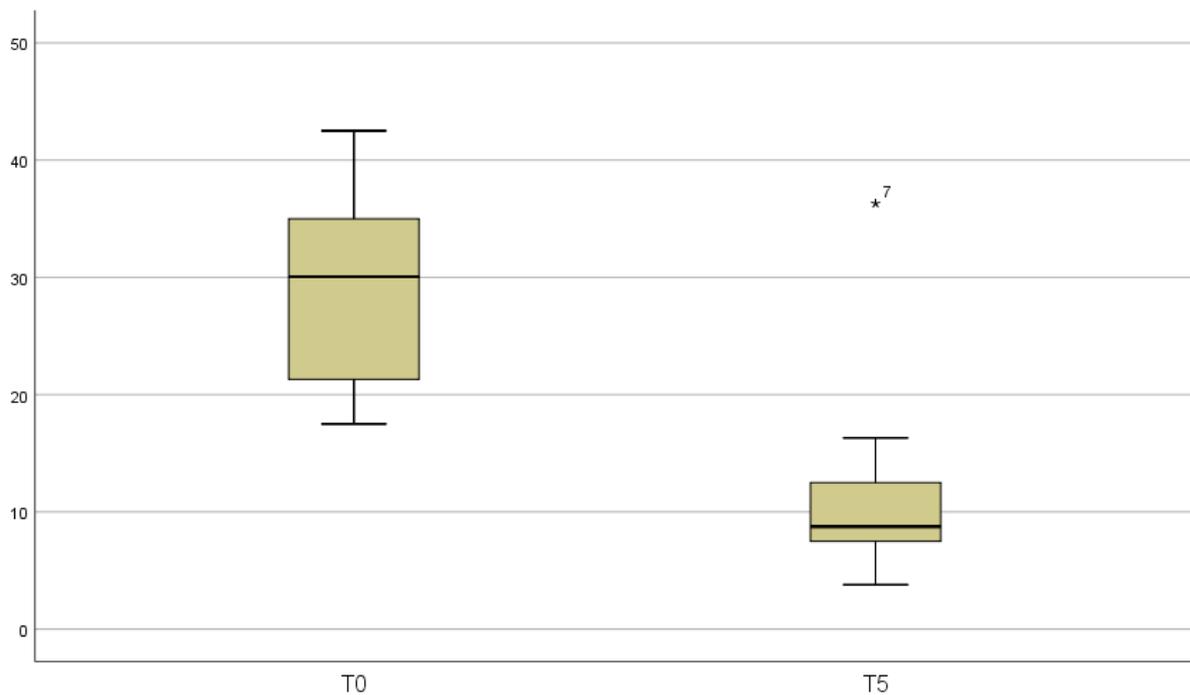


Abbildung 15: In dieser Darstellung wird der mittlere ABG von 14 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 4,5-5,5 Jahren (T5) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0 und T5, auf der y-Achse den ABG von 0 bis 60 dB.

Tabelle 9 stellt die Messwerte von T0 und T5 tabellarisch gegenüber.

Tabelle 9: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 4,5–5,5 Jahren (T5) postoperativ

ABG	Präop.	4,5–5,5 Jahre postop.
Untere Whisker	18 dB	3,75 dB
Untere Quartil	22,25 dB	7,5 dB
Median	30 dB	8,75 dB
Obere Quartil	35 dB	12,2 dB
Obere Whisker	43 dB	16 dB
Ausreißer	-	36,75 dB

Es fand sich eine signifikante Verkleinerung des ABG im Vergleich präoperativ (T0) zu 4,5–5,5 Jahren (T5) postoperativ.

Abbildung 16: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 5,5–7,5 Jahren (T6) postoperativ in Form von Boxplots

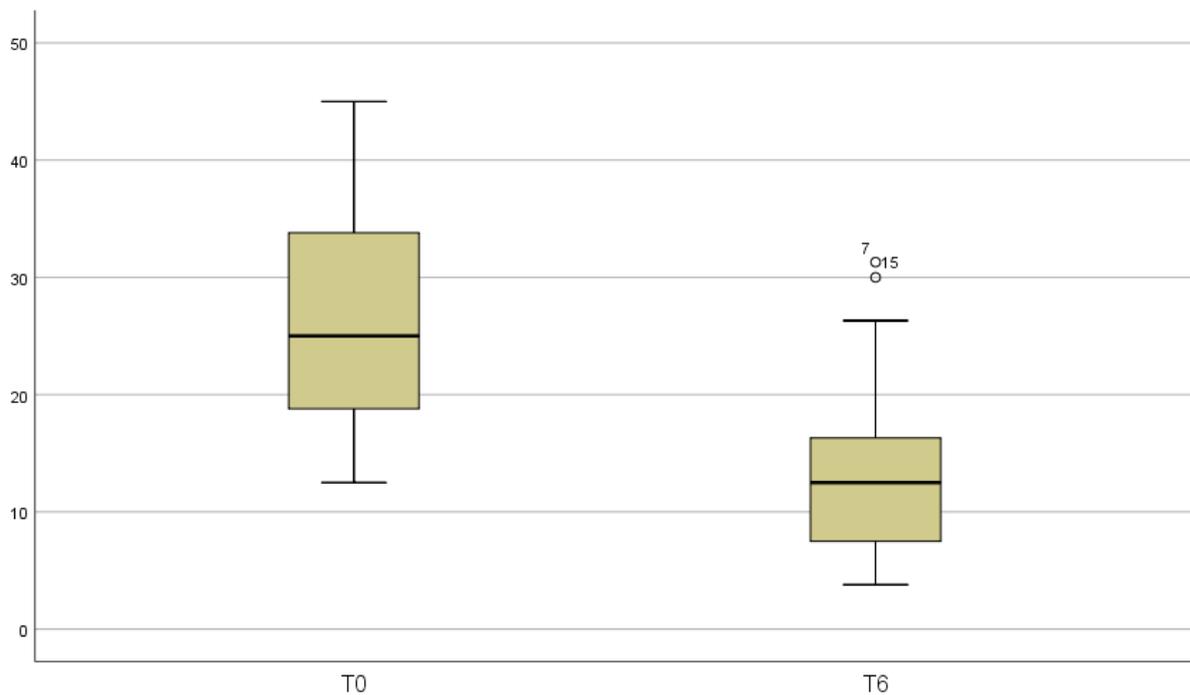


Abbildung 16: In dieser Darstellung wird der Mittelwert des ABG von 22 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 5,5-7,5 Jahren (T6) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0 und T6, auf der y-Achse den ABG von 0 bis 60 dB.

Des Weiteren werden die Messwerte von T0 und T6 tabellarisch aufgeführt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 5,5–7,5 Jahre (T6) postoperativ

ABG	Präop.	5,5–7,5 Jahre postop.
Untere Whisker	12 dB	3,75 dB
Untere Quartil	18,25 dB	7,5 dB
Median	25 dB	12,5 dB
Obere Quartil	34 dB	16 dB
Obere Whisker	45 dB	25 dB
Ausreißer	-	31,25 dB

Es fand sich eine signifikante Verkleinerung des ABG im Vergleich präoperativ (T0) zu 5,5–7,5 Jahren (T6) postoperativ.

Abbildung 17: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 7,5–10 Jahren (T7) postoperativ in Form von Boxplots

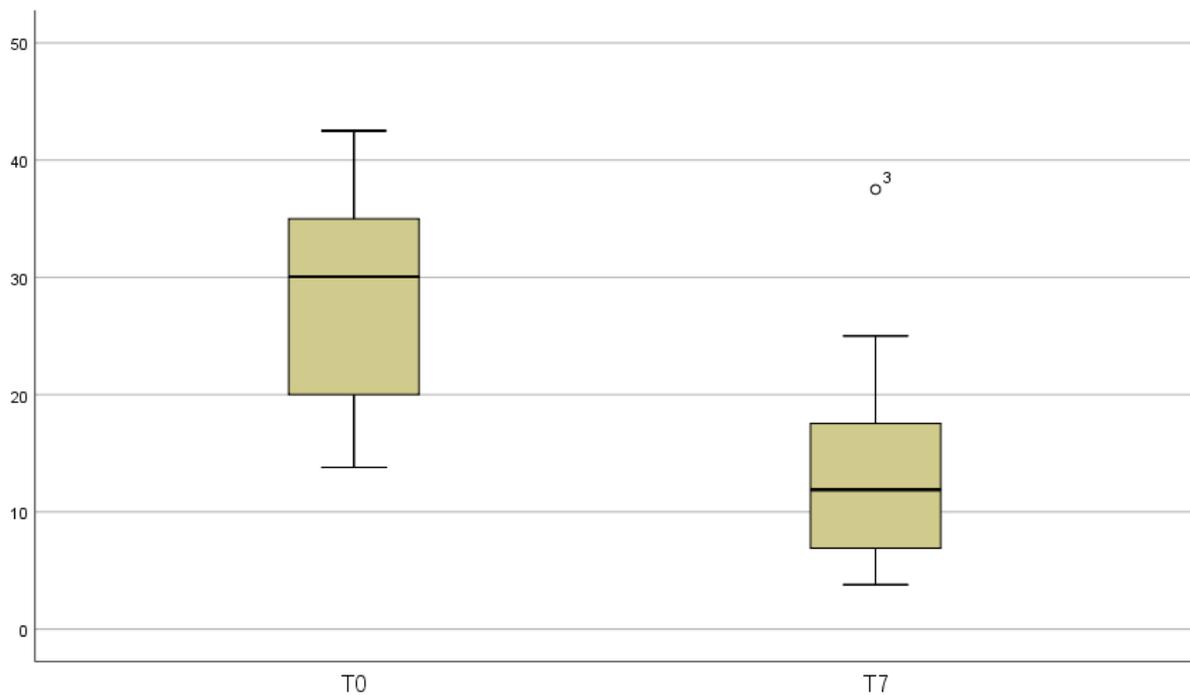


Abbildung 17: In dieser Darstellung wird der mittlere ABG von 16 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 7,5-10 Jahren (T7) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0 und T7, auf der y-Achse den ABG von 0 bis 60 dB.

Des Weiteren werden die Messwerte von T0 und T7 tabellarisch aufgeführt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 7,5–10Jahre (T7) postoperativ

ABG	Präop.	7,5–10 Jahre postop.
Untere Whisker	14 dB	3,75 dB
Untere Quartil	20 dB	7 dB
Median	30 dB	12 dB
Obere Quartil	35 dB	17 dB
Obere Whisker	42,5 dB	24 dB
Ausreißer	-	37,5 dB

Es fand sich eine signifikante Verkleinerung des ABG im Vergleich präoperativ (T0) zu 7,5–10 Jahren (T7) postoperativ.

Abbildung 18: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 10–12,5 Jahren (T8) postoperativ in Form von Boxplots

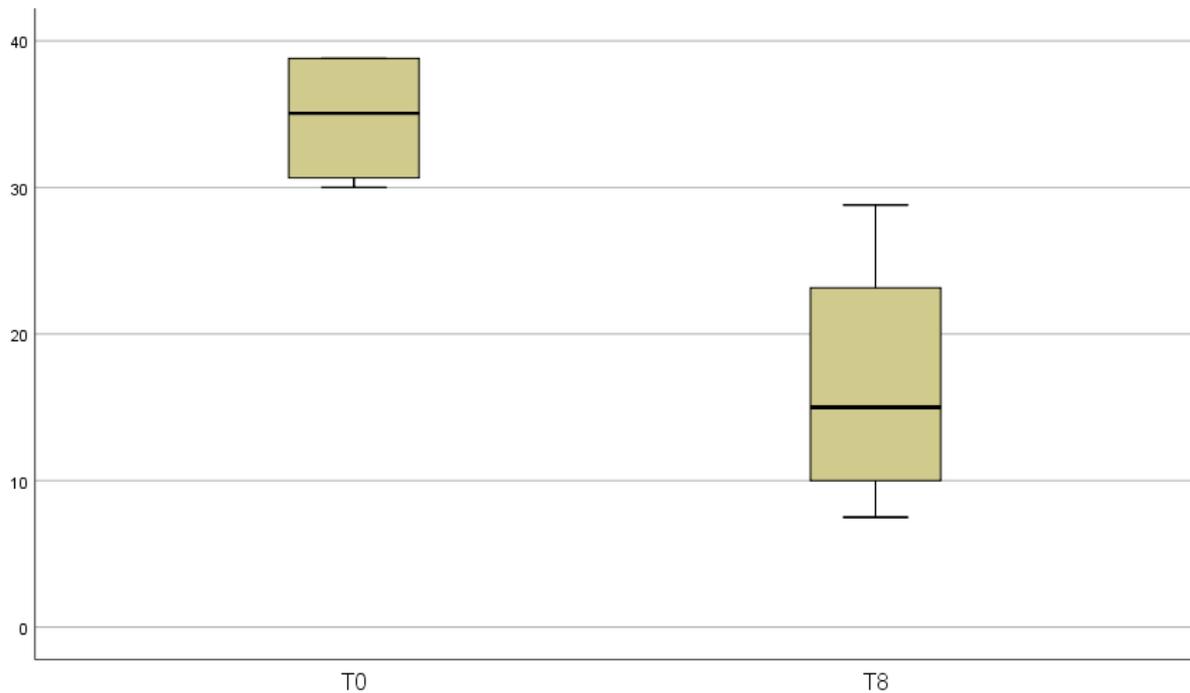


Abbildung 18: In dieser Darstellung wird der Mittelwert des ABG von 4 Patienten im präoperativen Befund (T0) im Vergleich zu 10-12,5 Jahren (T8) postoperativ in Form von Boxplots präsentiert. Auf der x-Achse befinden sich die Untersuchungszeiträume von T0 und T8, auf der y-Achse den ABG von 0 bis 60 dB.

Tabelle 12 stellt die Messwerte von T0 und T8 tabellarisch gegenüber.

Tabelle 12: Präoperativer ABG (T0) im Vergleich zu 10–12,5Jahren (T8) postoperativ

ABG	Präop.	10–12,5 Jahren postop.
Untere Whisker	30 dB	7,5 dB
Untere Quartil	31,25 dB	10 dB
Median	37,5 dB	15 dB
Obere Quartil	38 dB	23,25 dB
Obere Whisker	58,25 dB	28 dB
Ausreißer	-	-

Es fand sich eine signifikante Verkleinerung des ABG im Vergleich präoperativ zu 10–12,5 Jahren (T8) postoperativ. Von 12,5 bis 17,5 Jahren (T9–T10) postoperativ konnten nur noch zwei Patienten nachkontrolliert werden. Somit genügte die Fallzahl nicht, um eine statistische oder graphische Erhebung durchzuführen.

3.3.2 Gegenüberstellung postoperativer Hörergebnisse untereinander

Im Nachfolgenden wurden die einzelnen postoperativen Gruppen untereinander zur Analyse der Stabilität der Hörergebnisse verglichen.

Es wurden die postoperativen Hörergebnisse mit Berechnung des mittleren ABG nach einem Jahr (T1) mit den Ergebnissen nach 1,5–2,5 Jahren (T2), 2,5–3,5 Jahren (T3), 3,5–4,5 Jahren (T4), 4,5–5,5 Jahren (T5), 5,5–7,5 Jahren (T6), 7,5–10 Jahren (T7) und 10–12,5 Jahren (T8) verglichen. Das Signifikanzlevel $p < 0,05$ wurde hier nicht eingehalten, somit ist nach dem Wilcoxon-Test das Ergebnis nicht signifikant. Hierdurch konnte bestätigt werden, dass sich die signifikant besseren Hörergebnisse nach der Operation nicht wieder verschlechtern, sondern langfristig stabil bleiben (Abbildung 21).

Der Vergleich der postoperativen Gruppen nach 1,5–2,5 Jahren (T2) zu 2,5–3,5 Jahren (T3), 3,5–4,5 Jahren (T4), 4,5–5,5 Jahren (T5), 5,5–7,5 Jahren (T6), 7,5–10 Jahren (T7) und 10–12,5 Jahren (T8) zeigten ebenfalls stabile Hörergebnisse. Es bestand kein signifikanter Unterschied, somit auch keine signifikante Hörverschlechterung. Anschließend folgten die Vergleiche der postoperativen Gruppen nach 2,5–3,5 Jahren (T3) zu 3,5–4,5 Jahren (T4), 4,5–5,5 Jahren (T5), 5,5–7,5 Jahren (T6), 7,5–10 Jahren (T7) und nach 3,5–4,5 Jahren (T4) zu weiteren postoperativen Gruppen. Jedoch ist der statistische Vergleich von 3,5 bis 4,5 Jahren (T4) zu 4,5 bis 5,5 Jahren (T5) postoperativ wegen zu kleiner Patientenzahl nicht mehr erhebbar. Wiederum gelang es von 5,5–7,5 Jahren (T5) und 5,5–7,5 Jahren (T6) postoperativ einen statistischen Vergleich zu schaffen. Hier bestand kein signifikanter Unterschied.

Es werden nun im Einzelnen die ABG von 253 Patienten im früh-postoperativen Befund von 1 Jahr (T1) im Vergleich zu 1,5-12,5 Jahren (T2–T8) postoperativ grafisch in Boxplots in einer Übersichtsabbildung zusammengefasst (Abbildung 19 a). Es folgen daraufhin in Abbildungen 19 b–e die Vergleiche der postoperativen Ergebnisse von 1,5–2,5 Jahren (T2) im Vergleich zu 3,5–12,5 Jahren (T3–T8), von 2,5–3,5 Jahren (T3) im Vergleich zu 3,5–7,5 Jahren (T4–T7), von 3,5–4,5 Jahren (T4) im Vergleich zu 5,5–7,5 Jahren (T6) und 4,5–5,5 Jahren (T5) im Vergleich zu 5,5–7,5 Jahren (T6) ebenfalls in Form von Boxplots in Übersichtsdarstellungen.

Abbildung 19 a: Mittlerer ABG 1 Jahr (T1) im Vergleich zu 1,5–12,5 Jahren (T2–T8) postoperativ in Form von Boxplots

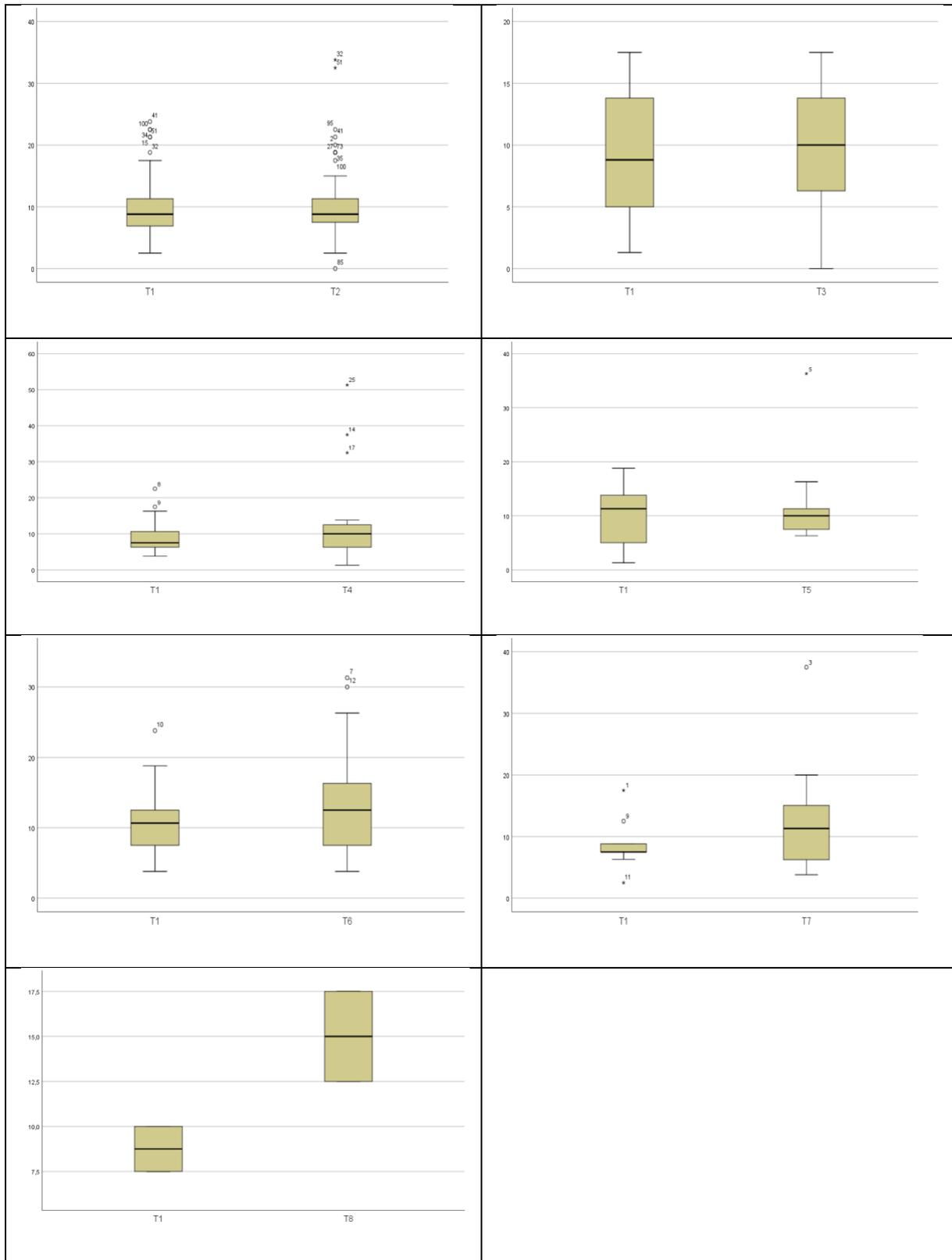


Abbildung 19 a: Postoperative Hörergebnisse von 116 Patienten zusammengefasst aus Mittelwerten des ABG von 0,5; 1; 2; 3; 4 kHz nach 1 Jahr (T1) im Vergleich mit den

Hörergebnissen nach 1,5–12,5 Jahren postoperativ (T2–T8). Diese sind grafisch als Boxplot mit dem unteren und oberen Quartil, Median, Whiskern und Ausreißern dargestellt.

Abbildung 19 b: Mittlerer ABG 1,5–2,5 Jahre (T2) im Vergleich zu 2,5–12,5 Jahren (T3–T8) in Form von Boxplots

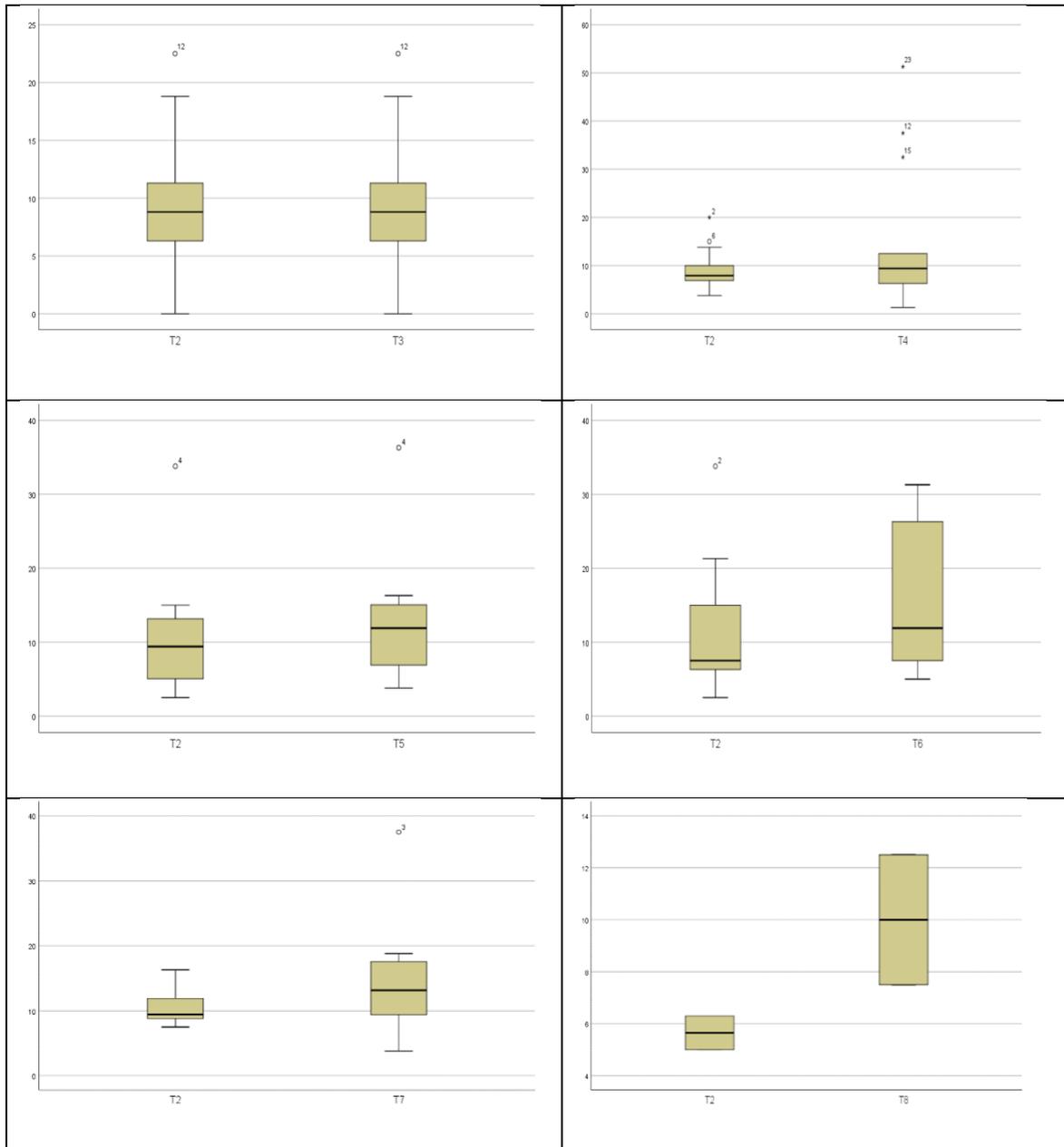


Abbildung 19 b: Postoperative Hörergebnisse von 58 Patienten zusammengefasst aus Mittelwerten des ABG von 0,5; 1; 2; 3; 4 kHz nach 1,5–2,5 Jahren (T2) im Vergleich mit den Hörergebnissen nach 2,5–12,5 Jahren postoperativ (T3–T8). Diese sind grafisch als Boxplot mit dem unteren und oberen Quartil, Median, Whiskern und Ausreißern dargestellt.

Abbildung 19 c: Mittlerer ABG 2,5–3,5 Jahre (T3) im Vergleich zu 3,5–10,5 Jahre (T4-T7) in Form von Boxplots

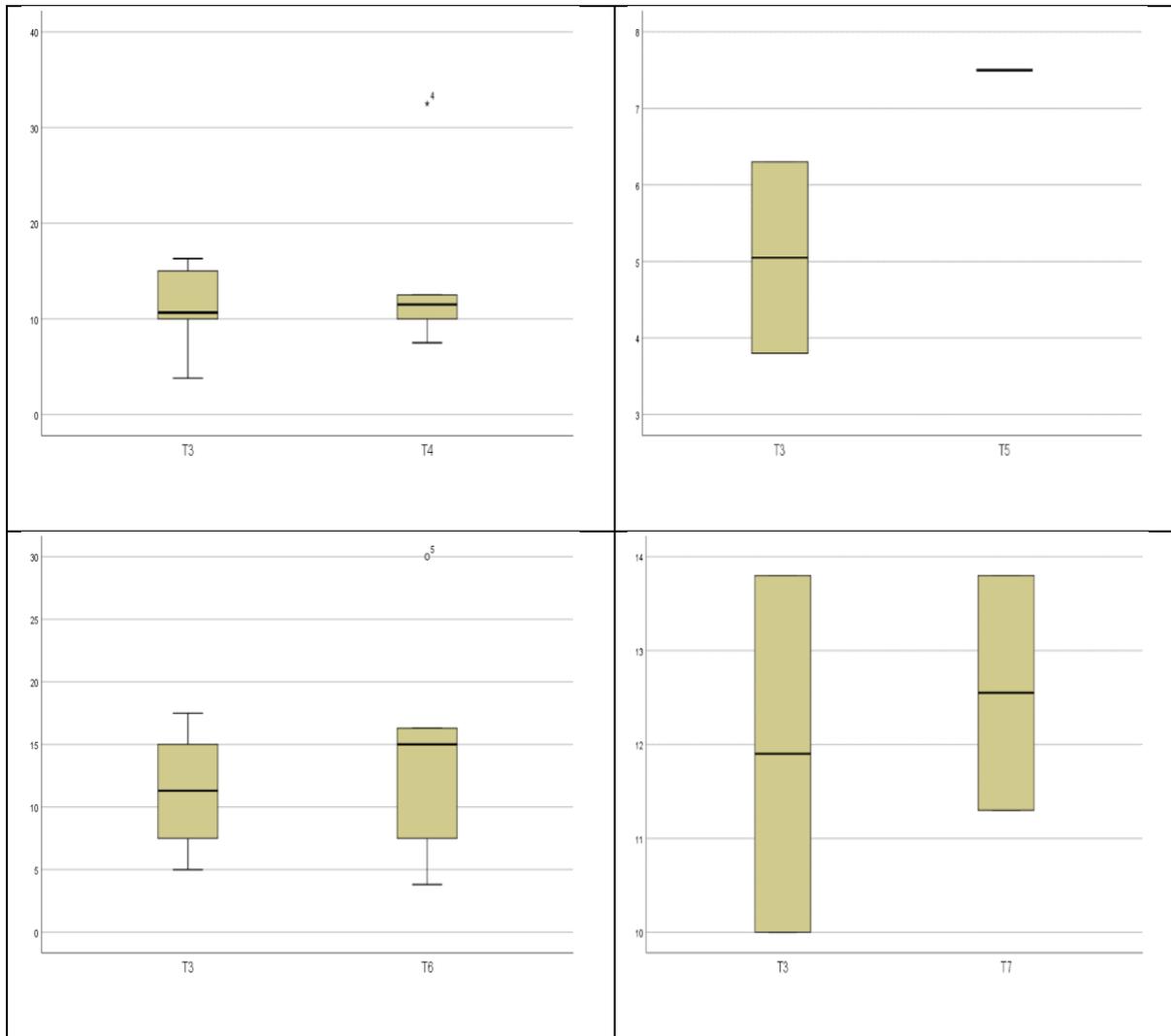


Abbildung 19 c: Postoperative Hörergebnisse von 14 Patienten zusammengefasst aus Mittelwerten des ABG von 0,5; 1; 2; 3; 4 kHz nach 2,5–3,5 Jahren (T3) im Vergleich mit den Hörergebnissen nach 3,5–10,5 Jahren postoperativ (T4–T7). Diese sind grafisch als Boxplot mit dem unteren und oberen Quartil, Median, Whiskern und Ausreißern dargestellt.

Abbildung 19 d: Mittlerer ABG 3,5–4,5 Jahre (T4) im Vergleich zu 5,5–10,5 Jahre (T6 und T7) in Form von Boxplots

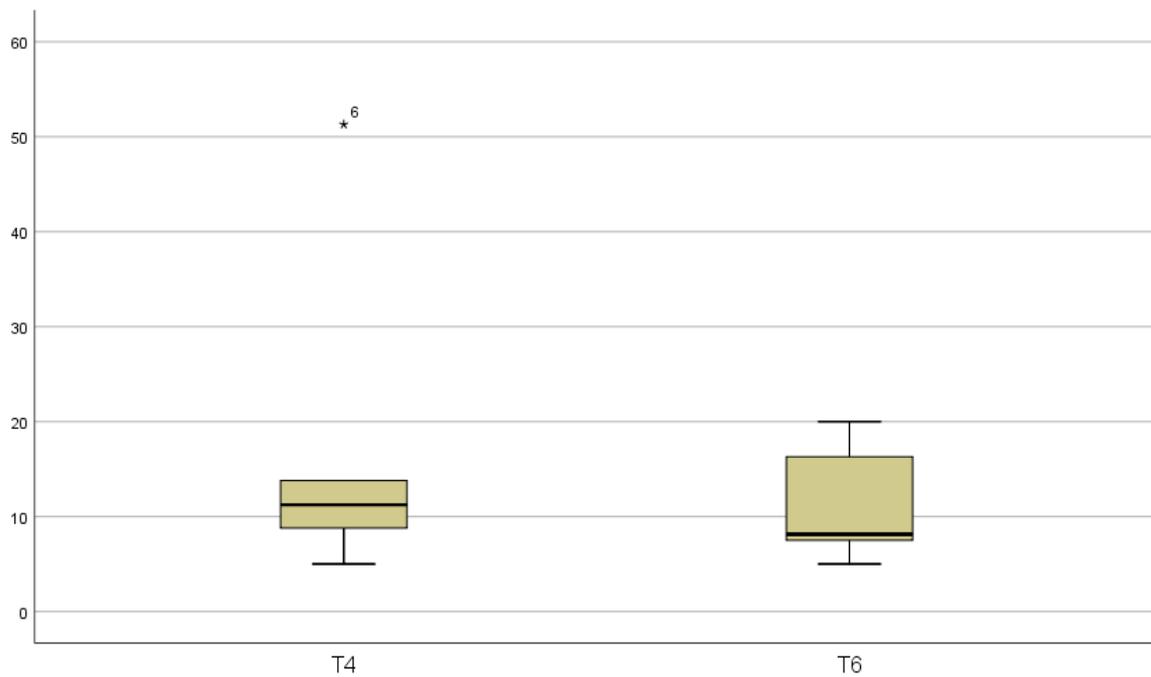


Abbildung 19 d: Postoperative Hörergebnisse von 7 Patienten zusammengefasst aus Mittelwerten des ABG von 0,5; 1; 2; 3; 4 kHz nach 3,5–4,5 Jahren (T4) im Vergleich mit den Hörergebnissen nach 5,5–10,5 Jahren postoperativ (T6). Diese sind grafisch als Boxplot mit dem unteren und oberen Quartil, Median, Whiskern und Ausreißern dargestellt.

Ein Vergleich zwischen T4 und T5, sowie T4 und T7 konnte aufgrund zu niedriger Fallzahlen nicht durchgeführt werden.

Abbildung 19 e: Mittlerer ABG 4,5–5,5 Jahre (T5) im Vergleich zu 5,5–6,5 Jahre (T6) in Form von Boxplots

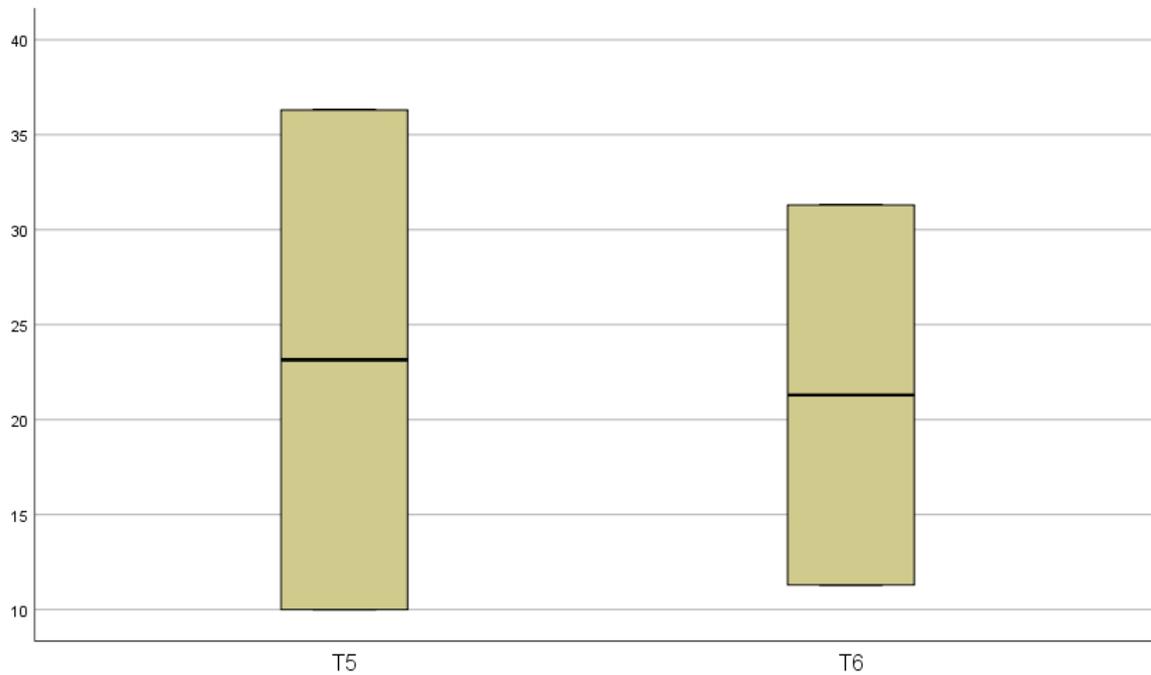


Abbildung 19 e: Postoperative Hörergebnisse von 2 Patienten zusammengefasst aus Mittelwerten des ABG von 0,5; 1; 2; 3; 4 kHz nach 4,5–5,5 Jahren (T5) im Vergleich mit den Hörergebnissen nach 5,5–6,5 Jahren postoperativ (T6). Diese sind grafisch als Boxplot mit dem unteren und oberen Quartil, Median, Whiskern und Ausreißern dargestellt.

Es fand sich bei keinem der statistischen Vergleiche ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Der postoperativ verbesserte Air-Bone-Gap blieb über die Jahre hinweg stabil. Ab 3,5–4,5 Jahre (T4) postoperativ muss auf die stetige Reduktion der Patientenzahl hingewiesen werden. Hierfür ursächlich wurden am ehesten zufriedenstellende postoperative Hörergebnisse ohne Notwendigkeit der Nachkontrolle, als auch Nachkontrollen durch den niedergelassenen HNO Arzt angeführt. Somit konnte ab 7,5–17,5 Jahren (T7-T10) postoperativ keine graphische Darstellung erfolgen.

In Abbildung 20 wurden die Mittelwerte des ABG bei 0,5 bis 4 kHz wie in einem Tonaudiogramm von 1 Jahr, 4,5–7,5 Jahre und 7,5–12,5 Jahre postoperativ in Linien übereinandergelegt. Die Zeiträume wurden gewählt, um ein ausreichend großes Patientenkollektiv zu erhalten. Im ersten postoperativen Jahr und nach 4,5–7,5 Jahren präsentieren sich stabile Hörergebnisse. Nach 7,5–12,5 Jahren postoperativ verschlechtern sich die Messergebnisse leicht, ohne ihr Signifikanzniveau zu verschlechtern. Dies ist auf die Reduktion der Patientenzahl zu führen.

Abbildung 20: Mittelwerte des ABG prä- und postoperativ nach 1 Jahr und 4,5–7,5 Jahren und 7,5–12,5 Jahren

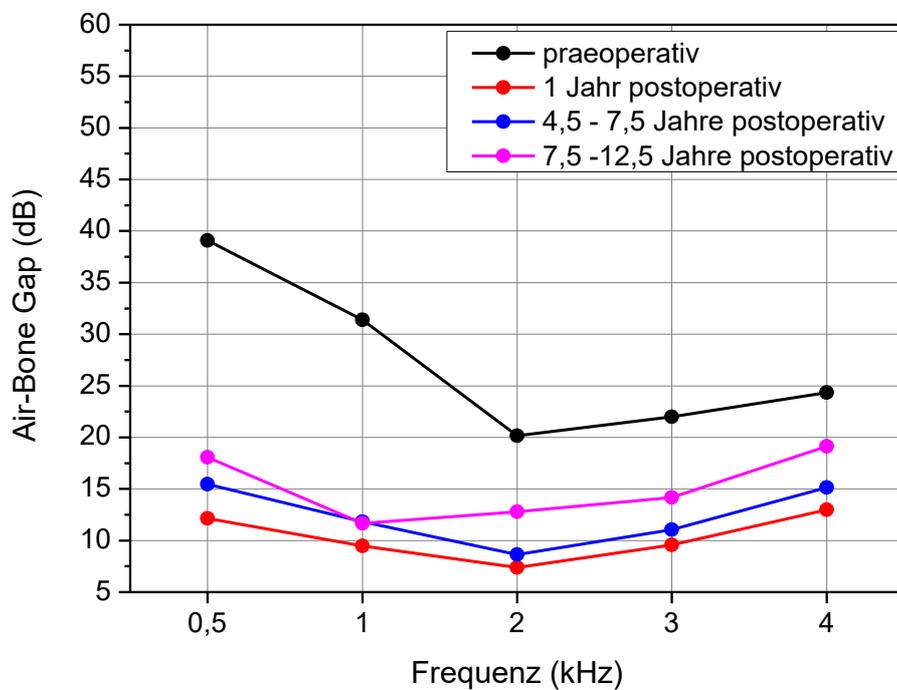


Abbildung 20: Mit Hilfe dieses Liniendiagramms wurden die präoperativen Mittelwerte des ABG bei 0,5, 1, 2, 3, und 4 kHz mit den Mittelwerten des ABG von 1 Jahr, 4,5–7,5 Jahren und 7,5–12,5 Jahren postoperativ übereinander gelegt und so miteinander verglichen.

3.4 Revisionsfälle

Aus unserem Patientenkollektiv haben von 496 Patienten 48 Patienten eine CO₂-Laserstapedotomierevision nach der Jovanovic et al. Technik erhalten (19). Die Revisionsfälle sind zu Beginn der Datenerfassung von 496 Patienten extrahiert worden und sind nicht Teil der hier aufgeführten Erstoperationen (n = 303). Die häufigsten Symptome, die zu einer Revision führten, waren eine Schallleitungsschwerhörigkeit (80%), sowie Schwindel (18%). Die Hörergebnisse der Revisionen wurden im prä- und postoperativen Vergleich mit den Primäroperationen im Rahmen einer anderen Dissertationsarbeit gegenübergestellt und analysiert.

Die an dieser Stelle der Vollständigkeit halber erfolgte Aufführung der Revisionsfälle dient dem Vergleich mit den Primäroperationen und sorgt hinsichtlich der stabil bleibenden postoperativen Hörergebnisse für eine stärkere Aussagekraft unserer Ergebnisse. In beiden Fällen (sowohl in der Primärooperations-, sowie in der Revisionsituation) wurde mit der gleichen Operationstechnik operiert und über einen langen Zeitraum verglichen. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse zur besseren Verdeutlichung erfolgt in Tabelle 13. Hier zeigt sich keine signifikante Veränderung. Die postoperativen Ergebnisse bleiben stabil.

Auch die Analyse des ABG nach operativer Revision zeigte, im Sinne einer Hörverbesserung, einen signifikanten Unterschied zwischen den präoperativen (vor der Revision) zu den postoperativen (nach der Revision) Fällen. Hier wurden die Werte ebenfalls in einem Abstand von 1–1,5 Jahren verglichen. Bei den postoperativen Vergleichsgruppen entstand wiederum kein signifikanter Unterschied im ABG. Es kann somit auch bei Revisionsoperationen von einem stabilen Ergebnis ausgegangen werden (Tabelle 13).

Ab den 5,5–7,5 postoperativen Jahren (T6) standen nicht ausreichend Daten zur Verfügung, sodass die Vergleichsreihe beendet werden musste.

Tabelle 13: Postoperative Veränderung des Air–Bone–Gaps. Vergleich Primär-OP mit Revisionsfällen mit Hilfe Mann-Whitney-U-Test

Zeitspanne	Primär-OP	Revision	Signifikanzniveau (p = 0,05)
T1–T0	253	48	0,4
T2–T0	146	35	0,8
T3–T0	45	20	0,02
T4–T0	31	9	0,055
T5–T0	14	12	0,15
T6–T0	22	11	1,0
T7–T0	16	3	0,9
T8–T0	4	2	1,0
T9–T0	1	1	
T10–T0	1		

4 Diskussion

Die Auswertung unserer Langzeitstudie von Patienten mit Otosklerose nach CO₂-Laserstapedotomie zeigte postoperativ eine Verbesserung der Differenz zwischen Luft- und Knochenleitungshörvermögen. Im Rahmen der Langzeituntersuchung wurde die Stabilität dieses Ergebnisses über 17,5 Jahre untersucht und zeigte bis 4,5 Jahre postoperativ eine signifikante und statistisch unveränderte Verbesserung der Air-Bone-Gap. Nach 4,5 Jahren postoperativ stellte sich eine geringfügige Verschlechterung der Hörergebnisse dar, die sich aber als nicht signifikant erwies. Der Air-Bone-Gap blieb über die Jahre stabil.

Mit Hilfe unserer Langzeitstudie ist es möglich, eine stabile Verbesserung des Hörvermögens nach CO₂-Laserstapedotomie hervorzuheben.

Eine CO₂-Laserstapedotomie und somit ein Studieneinschluss von Patienten erfolgte bei klinisch hochgradigem Verdacht auf Otosklerose bei vorliegender Schalleitungsstörung mit ausgefallenen Stapediusreflexen und Cahart-Senke. Die Bestätigung der Diagnose erfolgte intraoperativ durch Prüfung der Kettenbeweglichkeit. Insgesamt erfüllten 496 Patienten die Einschlusskriterien und von 303 Patienten lagen postoperative Daten zur Auswertung vor. Alle Patienten wurden im gleichen Krankenhaus und von dem gleichen Operationsteam nach der von Jovanovic et al. standardisierten Operationstechnik behandelt (19). Es fand keine detaillierte Auswertung der einzelnen Operateure statt. Auch die Tonaudiometrien wurden vom selben Team der Audiologen über einen Zeitraum von 17,5 Jahren durchgeführt, konnten aber aufgrund zu kleiner Fallzahlen ab dem 12,5 Jahr hinsichtlich des Signifikanzniveaus nicht weiter ausgewertet werden.

Bei der Mehrzahl der Patienten traten Symptome während des 30.–49. Lebensjahres auf. Der Anteil weiblicher Patienten lag mit 66% (198 Patientinnen) deutlich höher als der männliche Anteil (34%, 105 Patienten). Das durchschnittliche Lebensalter betrug bei Frauen 46 Jahre und bei Männern 45,6 Jahre. Grund für diese Verteilung ist einerseits die hormonelle Umstellung (5, 9) und andererseits verschiedene Umweltfaktoren und genetische Ursachen (12). Die Schalleitungsschwerhörigkeit konnte dabei meist durch die CO₂-Laserstapedotomie verringert werden.

Mehrere Studien zeigten bereits, dass im Vergleich zu anderen Operationstechniken, die CO₂-Laserstapedotomie mit der Ein-Schuss-Technik entscheidende Vorteile bietet. Zum einen werden die Mittelohrstrukturen präziser dargestellt, der Stapes weniger manipuliert das wiederum zu geringeren Schäden am Mittel- und Innenohr führt (27-29, 35-38). Zudem kann

die Prothese passgenau im Perforationsbereich der Stapesfußplatte eingesetzt werden (23). Dadurch verbessert sich die Stabilität der eingebrachten Prothese und die Schallübertragung (29). Weiterhin besteht eine niedrigere Komplikationsrate im Bereich des Innenohrs als auch ein verbessertes Hörvermögen durch Reduzierung des Traumas während der Operation (24, 39). Folgende postoperative Komplikationen können dabei in erster Linie auftreten: Schalleitungsschwerhörigkeit, Schwindel, Tinnitus, Dislokation der eingesetzten Prothese oder vorübergehende Geschmacksstörungen (19). Postoperative Komplikationen wurden in dieser Arbeit nicht untersucht. Diese Patienten haben eine Revisionsoperation erhalten und sind Bestandteil einer anderen Arbeit.

Die angeführte Operationstechnik der CO₂-Laserstapedotomie wurde bereits in der Vergangenheit von unserer Arbeitsgruppe genutzt (19). Der Laserstrahl wird fokussiert und kontrolliert über die Stelle der Stapesfußplatte mit Hilfe eines Mikromanipulators und einem Scannersystem gelenkt und durch Einsatz des CO₂-Lasers perforiert (19). Mechanische Traumata können intraoperativ vermindert werden, da der CO₂-Laser auch Bindegewebe vaporisieren kann und so mechanische Manipulationen auf ein Minimum reduziert werden können (19, 27, 28, 35-38).

In dieser Arbeit wurden unterschiedliche Prothesen und Prothesenlängen verwendet. Es wurden vor allem Platin-Teflon, Titan und Nitinol Prothesen verwendet. In der Literatur wird häufig der Einfluss der verwendeten Prothesen in der Stapesoperation diskutiert. In den Studien wird unter anderem auf die Prothesenart und die Aufhängung am langen Ambossschenkel eingegangen. In der Studie von Rajan et al., wurden Nitinol mit Titan Prothesen verglichen. Hier konnte ein signifikant besserer ABG für die Nitinol Prothese nachgewiesen werden, die ABG-Stabilität blieb aber zwischen den beiden Gruppen gleich (54). Des Weiteren haben auch Huber et al. Nitinol-, Platin-Teflon und Titan Prothesen verglichen und stellten ebenfalls fest, dass die Nitinol Prothesen einen signifikant besseren ABG postoperativ aufzeigten (55). Brar et al. hingegen konnten keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des postoperativen ABG oder Veränderungen des ABG beim Vergleich von Nitinol und Teflon Prothesen feststellen (56). Gouveris et al. legten hier ebenfalls keinen signifikanten Unterschied in der Verwendung zwischen Teflon-Platin und Nitinol Prothesen dar (57).

Die meisten Studien legen also nahe, dass die Verwendung unterschiedlicher Prothesen keinen wesentlichen Einfluss auf die postoperativen Ergebnisse hat (54,56-57). In der vorliegenden Studie wurde dies allerdings basierend auf der Tatsache, dass zu 85,7% eine Platin-Teflon Prothese verwendet wurde, nicht untersucht.

Die in unserer Arbeit meist verwendete Prothesenlänge von 4,5mm (82%) wurde in Abhängigkeit intraoperativer Messung eingesetzt. Geyer et al. (62) verweisen hierbei darauf, dass man sich grundsätzlich aufgrund der anatomischen Gegebenheiten an einer Prothesenlänge von 4,5mm orientieren sollte. Im Rahmen der Literaturrecherche konnten mehrere Studien gefunden werden, die die Prothesenlänge im Rahmen von Stapesoperationen näher betrachteten. Zum einen untersuchten Portmann et al. die Prothesenlänge in der Stapedektomie (59). Hier wiesen die Kollegen keine postoperative Schallempfindungsschwerhörigkeit nach Einsetzen von Prothesenlängen zwischen 3,5-5mm aus, wobei 70,6% der Kohorte (100 Patienten) mit einer Prothesenlänge von 4,5mm oder 4,75mm versorgt wurden. Husain et al. hingegen zeigten in ihrer Studie im Rahmen der Stapedotomie bei 227 Patienten unter Verwendung von Prothesenlängen zwischen 3,75-4,75mm, dass die stärkste Verbesserung des postoperativen Air-Bone-Gaps bei einer Prothesenlänge von 4,25mm und die geringste Verbesserung bei einer Prothesenlänge von 3,75mm beobachtet wurde (60). Dies jedoch ohne statistisch das Signifikanzniveau zu erreichen. Unsere Literaturrecherche zeigt hiermit das unabhängig vom operativen Verfahren meist Prothesenlängen zwischen 4,25-4,75mm unter Berücksichtigung der intraoperativen Messung verwendet werden (59, 60, 61, 62). Auf Grund der unterschiedlichen Operationstechniken kann hier jedoch keine direkte Vergleichbarkeit zu unserer Arbeit geschaffen werden.

Die bestmögliche Operationstechnik in der Stapeschirurgie hängt auch immer mit dem kleinstmöglichen Risiko an Innenohrschäden zusammen (29). Für die Auswertung ist das postoperative Tonschwellenaudiogramm vonnöten. Vergleicht man die präoperative Differenz zwischen Luft- und Knochenleitungshörvermögen nach CO₂-Laserstapedotomie mit den postoperativen Hörergebnissen bei einem Frequenzbereich von 0,5–3 kHz so stellt man fest, dass sich die Hörfunktion signifikant verbessert. Abbildungen 11 bis 19 und Abbildung 21 präsentieren eindrucksvoll, wie sich der Air-Bone-Gap im Laufe der postoperativen Jahre zunehmend verringert und sich das Hörvermögen damit insgesamt verbesserte. Im postoperativen Vergleich der Gruppen unterschieden sich die Hörergebnisse nicht signifikant und deuten somit auf eine weitreichende Sicherheit der Anwendung des CO₂-Lasers sowie stabile postoperative Messergebnisse hin (Abbildung 20 a–d).

Im Vergleich mit der in der Literatur verwendeten Lasertypen zeigte sich im Allgemeinen eine vergleichbare postoperative Hörverbesserung des Air-Bone-Gap (34, 37, 40). Einen deutlichen Unterschied zum CO₂-Laser hinsichtlich der Anwendungssicherheit bot der Er:YAG-Laser. Die in den klinischen Studien erfassten erhöhten Schallpegel führten zu Tinnitus oder

Innenohrschäden (41). Somit ist der Er:YAG-Laser nicht hinreichend sicher in der Anwendung der Stapeschirurgie.

Einen Vergleich zwischen Laser- und konventioneller Stapeschirurgie bezüglich der Hörergebnisse lässt sich in der Literatur nur erschwert ziehen, da in der Vergangenheit Hörfrequenzen von 0,5–2 kHz ermittelt wurden, währenddessen heutzutage von 0,5–4 kHz untersucht werden. Wegner et al. konnte in einer Literaturlauswertung feststellen, dass Schallempfindungsschwerhörigkeiten und Fußplattenbrüche häufigere Komplikationen in der konventionellen Stapeschirurgie sind, als bei der Verwendung eines Lasers (58). Hierbei wurden Studien untersucht, die unterschiedliche Lasertypen, Pistontypen und –größen verwendeten, sowie verschiedene Tonaudiometriefrequenzen und Nachbeobachtungszeiträume festhielten. Zudem bestand ein Großteil der untersuchten Studien nur aus kleinen Patientengruppen. Um eine stichhaltige Aussage zur besseren Operationstechnik bezüglich Otosklerose zu treffen, sind sowohl ein großes Patientenkollektiv und vergleichbare Methoden vonnöten. Somit ist der Vergleich zwischen Laser- und konventioneller Stapeschirurgie erschwert (55). Singh et al. verglichen zwar den CO₂-Laser mit konventionellen Stapesoperationstechniken, aber mit Hilfe einer anderen Untersuchungsmethode, der statischen Posturographie. Hier wird die CO₂-Lasertechnik gegenüber anderen Stapesoperationen empfohlen (56).

In dieser Studie zeigte sich bei 91% der Patienten eine konstante Hörverbesserung mit langfristiger Reduktion des mittleren Air-Bone-Gaps auf ≤ 20 dB (Frequenzbereich von 0,5 - 4 kHz) nach 7,5 Jahren postoperativ. Nach 12,5 Jahren war dies noch bei 88% der Patienten der Fall.

Nach bestem Wissen ist dies die erste Studie, die an einem großen Patientenkollektiv über Langzeitergebnisse bis 17,5 Jahre nach der CO₂-Laserstapedotomie nach Jovanovic et al. berichtet. Die Studien von Boonchoo et al. (42, 43) und Sergi et al. (44) berichten vergleichbare Ergebnisse, jedoch waren die Untersuchungszeiträume deutlich kürzer. In der Studie von Boonchoo et al. (42) wurden 26 Patienten in einem Zeitraum von 36 Monaten untersucht, von Sergi et al. (44) 198 Patienten über 45 Monate. Die meisten bisher in Literatur verfügbaren Studien berichten über die Ergebnisse nach Laserstapedotomien in einem Zeitraum von einem Jahr (26, 45-48). So konnte in den Studien nicht erkannt werden, dass sich nach einem Zeitraum von 4,5–7,5 Jahren postoperativ die Hörergebnisse wieder etwas verschlechterten. Es zeigte sich allerdings in keinem Vergleich ein signifikanter Unterschied.

In 9,6% der Fälle kam es zu Revisions-CO₂-Laserstapedotomien nach Primäreingriffen. Dies lässt sich mit Angaben aus anderen Literaturquellen unterstützen (5–10% Revisionen aus vorangegangenen Primäroperationen) (49). Die Auswertung dieser Daten ist Gegenstand einer anderen Dissertation bezüglich Langzeithörergebnissen nach CO₂-Revisions-Laserstapedotomie und wird hier lediglich zu Vergleichszwecken zwischen Langzeithörergebnissen nach primärer CO₂-Laserstapedotomie zu CO₂-Revisionslaserstapedotomie herangezogen. Auch hier wurden die präoperativen Fälle, den postoperativen Hörergebnissen gegenübergestellt und verglichen. Wie auch bei unseren Daten zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen.

Im Vergleich der postoperativen Hörergebnisse untereinander zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Die postoperative Differenz zwischen Luft- und Knochenleitungshörvermögen nach CO₂-Primär-Laserstapedotomie als auch nach Revisionseingriffen hat sich verbessert und blieb über mindestens 10 Jahre stabil.

Mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests konnte dargestellt werden, dass sich die Hörergebnisse im Vergleich von prä- zu postoperativ bei den Primäroperationen zu den Ergebnissen von den Revisionsoperationen nicht unterschieden. Die Messergebnisse waren nach beiden Eingriffen stabil gut. Hiernach lässt sich belegen, dass die CO₂-Laserstapedotomie eine sichere Operationstechnik auch bei der Revision mit signifikant guten und stabilen postoperativen Hörergebnissen ist.

Im Rahmen der Beratung und Therapieentscheidung durch den Operateur sollte dieser zusätzlich den Einfluss auf die Lebensqualität durch die operative Intervention berücksichtigen. Oftmals haben Arzt und Patient unterschiedliche Endpunkte bezüglich einer gut verlaufenden Operation. Für den Patienten zählt primär das subjektive Hörempfinden mit Verbesserung des Hörens beziehungsweise Verstehens über einen möglichst langen Zeitraum bei geringer Belastung durch Schwindel oder Tinnitus (50). Der Operateur hingegen leitet überwiegend den operativen Erfolg an Hand guter postoperativer Messergebnisse aus dem Tonschwellenaudiogramm und komplikationslosem intra- und postoperativen Verlauf ab. Um dieser Diskrepanz entgegenzuwirken wurden Fragebögen erstellt, welche die subjektive Lebensqualität nach HNO-ärztlichen Eingriffen erfassen. Hier sind unter anderem der Glasgow Benefit Inventory (GBI) (51) und der Operation Benefit Profile (OBP) (52) zu nennen. Die Lebensqualität wurde hierbei hinsichtlich des *handicap*, *benefit*, *residual disability* und *satisfaction* nach HNO-ärztlichen Eingriffen bewertet. Hierbei konnte eine Verbesserung der Lebensqualität durch die operative Intervention in verschiedenen Alltagssituationen gezeigt

werden (51). Das Patientenwohl sollte prinzipiell im Vordergrund stehen, womit ein stabiles Hörergebnis über Jahre hinweg einen wichtigen Faktor hinsichtlich der Lebensqualität einnimmt. Langzeitstudien, die derartige postoperative Hörergebnisse erfassen, sind damit essentiell in der Beurteilung von Therapieerfolg oder –misserfolg (53).

In unserer Studie zeigte sich im zeitlichen Verlauf eine stetige Reduktion der Patientenzahl mit auswertbaren postoperativen Messergebnissen. Von initial 496 Patienten präoperativ konnten 253 Patienten im ersten Jahr nachkontrolliert werden. Danach ist die Anzahl der Patienten im Jahresabstand von 1–17,5 Jahren stetig gesunken. Jedoch ist erst nach 12,5 Jahren postoperativ das Patientenkollektiv zu klein, um signifikante Ergebnisse zu erzielen.

Anhand der vorliegenden Daten ließen sich erstmalig objektivierbar Hörverbesserung oder -verschlechterung über einen langen Zeitraum feststellen. Die oben genannten Resultate können somit zur Therapieentscheidung und Beratung von Patienten herangezogen werden. Die Beurteilung der subjektiven Hörverbesserung wurde jedoch nicht näher beleuchtet. Der Einfluss der Operation auf die Lebensqualität anhand validierter Fragebögen sollte dabei im Fokus zukünftige Langzeitstudien stehen.

4.1 Limitationen der Studie

Aufgrund sinkender Patientenzahlen im zeitlichen postoperativen Verlauf von 0–17,5 Jahren ergaben sich Einschränkungen hinsichtlich der Prüfung des Signifikanzniveaus. Es konnte in der grafischen Gegenüberstellung der postoperativen Gruppen untereinander ab T8 kein eindeutiges Signifikanzniveau erreicht werden. Lediglich der direkte Vergleich des ABG (Tabelle 4) zeigt eindeutig stabile Hörergebnisse nach CO₂-Laserstapedotomie. Auch der direkte Vergleich der Dezibelparameter zwischen den spätpostoperativen Hörergebnissen ließ darauf schließen, dass eine Hörverbesserung des ABG nach 12,5 bis 17,5 Jahren weiterhin vorliegt bzw. das postoperative Hörergebnis stabil blieb.

Des Weiteren konnte nicht erfasst werden, weshalb manche Patienten nicht zur Nachkontrolle erschienen sind. Ursächlich hierfür wurde angenommen, dass einige der Patienten bei gleichbleibendem guten subjektivem Hörvermögen die Kontrollen extern durchführen ließen oder zu gar keiner der Kontrollen mehr erschienen sind.

Im Vergleich zwischen der prä- und postoperativen Gruppe zeigten sich nach 4,5 Jahren milde Hörverschlechterungen. Die Annahme, dass dies der sinkenden Patientenzahl geschuldet war,

ließ sich schlussendlich nicht beweisen. Zudem wurde die sich physiologisch einstellenden Altersschwerhörigkeit beim älterwerdenden Patientenkollektiv nicht berücksichtigt. Des Weiteren wurden andere Erkrankungen nicht erfasst, die sich auf das Hörvermögen negativ auswirken könnten.

5 Schlussfolgerung

Die Auswertung unserer retrospektiven Daten zeigten, dass die CO₂-Laserstapedotomie bis 4,5 Jahren postoperativ eine signifikante und statistische Verbesserung des Air-Bone-Gap präsentierte, sich aber nach 4,5–7,5 Jahren postoperativ leicht verschlechterte. Diese Hörergebnisse befinden sich allerdings noch unter dem Signifikanzlevel von $p < 0,05$ und sind somit als signifikant gute Messergebnisse zu werten.

Die subjektive Hörverbesserung mit Evaluation der Lebensqualität an Hand von oben genannten Fragebögen wurde hier nicht beleuchtet und wäre damit ein interessanter Ansatz weiterer zukünftiger Studien.

Dennoch kann aufgrund unseres großen Patientenkollektivs mit signifikant verbesserten Hörergebnissen über einen langen Nachbeobachtungszeitraum hinweg die Operationstechnik der CO₂-Laserstapedotomie empfohlen werden.

6 Referenzen

1. Boenninghaus H-G. Hals-Nasen-Ohrenheilkunde für Medizinstudenten. 3., überarb. Aufl. ed. Berlin, New York,: Springer-Verlag; 1974. xvii, 322 p. p.
2. Strutz J, Mann WJ, Arndt O. Praxis der HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. ed. Strutz J, Mann WJ, Arndt O, editors. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2010.
3. Probst R, Grevers G, Iro H. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. In: Probst R, Grevers G, Iro H, editors. Stuttgart [u.a.]: Thieme2008.
4. Albers AE, Wagner W, Stolzel K, Schonfeld U, Jovanovic S. [Laser stapedotomy]. HNO. 2011;59(11):1093-102.
5. Rudic M, Keogh I, Wagner R, Wilkinson E, Kiros N, Ferrary E, et al. The pathophysiology of otosclerosis: Review of current research. *Hear Res.* 2015;330(Pt A):51-6.
6. Arnold W, Niedermeyer HP, Altermatt HJ, Neubert WJ. [Pathogenesis of otosclerosis. "State of the art"]. HNO. 1996;44(3):121-9.
7. Souza JC, Bento RF, Pereira LV, Ikari L, Souza SR, Della Torre AA, et al. Evaluation of Functional Outcomes after Stapes Surgery in Patients with Clinical Otosclerosis in a Teaching Institution. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2016;20(1):39-42.
8. Purohit B, Hermans R, Op de Beeck K. Imaging in otosclerosis: A pictorial review. *Insights Imaging.* 2014;5(2):245-52.
9. Franzen A. HNO. 1. Aufl. ed. Ulm [u.a.]: Fischer; 1996.
10. Komune N, Ohashi M, Matsumoto N, Kimitsuki T, Komune S, Yanagi Y. No evidence for an association between persistent measles virus infection and otosclerosis among patients with otosclerosis in Japan. *J Clin Microbiol.* 2012;50(3):626-32.
11. Menger DJ, Tange RA. The aetiology of otosclerosis: a review of the literature. *Clin Otolaryngol Allied Sci.* 2003;28(2):112-20.
12. Markou K, Goudakos J. An overview of the etiology of otosclerosis. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2009;266(1):25-35.
13. Karosi T, Szekanecz Z, Sziklai I. Otosclerosis: an autoimmune disease? *Autoimmun Rev.* 2009;9(2):95-101.
14. Ealy M, Smith RJ. The genetics of otosclerosis. *Hear Res.* 2010;266(1-2):70-4.
15. Martini A, Vespasiani F. [Concentration of various bioelements in the serum of otosclerosis patients]. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac.* 1985;102(1):69-71.
16. Naumann HH. Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis. In: Naumann HH, editor. Stuttgart ; New York: Thieme; 1998.
17. Hong R, Yin Y, Pan Y, Sha Y. [High-resolution CT with multi-planar reformation in diagnosis of stapedial otosclerosis]. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi.* 2015;50(11):925-8.
18. Anand V, Udayabhanu HN, Subramaniam BS. Obliquity of the Stapes in Otosclerosis: A New Radiological Sign. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2016;20(2):94-8.
19. Jovanovic S, Schonfeld U, Scherer H. CO2 laser stapedotomy with the "one-shot" technique--clinical results. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2004;131(5):750-7.
20. Liktor B, Szekanecz Z, Batta TJ, Sziklai I, Karosi T. Perspectives of pharmacological treatment in otosclerosis. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2013;270(3):793-804.
21. Abdurehim Y, Lehmann A, Zeitouni AG. Stapedotomy vs Cochlear Implantation for Advanced Otosclerosis: Systematic Review and Meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2016.

22. Kamalski DM, Wegner I, Tange RA, Vincent R, Stegeman I, van der Heijden GJ, et al. Outcomes of different laser types in laser-assisted stapedotomy: a systematic review. *Otol Neurotol.* 2014;35(6):1046-51.
23. Theissing J. *HNO-Operationslehre. 4., vollständig überarb. und erw. Aufl. ed.* Theissing J, Theissing G, Hoppe F, editors. Stuttgart: Thieme; 2006.
24. Jovanovic S, Schonfeld U, Fischer R, Doring M, Prapavat V, Muller G, et al. [Thermal stress of the inner ear during laser stapedotomy. I: Continuous-wave laser]. *HNO.* 1995;43(12):702-9.
25. Grevers G, Baumgartner R, Leunig A. *Laser im Kopf-Hals-Bereich:* Springer; 2001.
26. Jovanovic S, Schonfeld U, Prapavat V, Berghaus A, Fischer R, Scherer H, et al. Effects of continuous-wave laser systems on stapes footplate. *Lasers Surg Med.* 1996;19(4):424-32.
27. Lesinski SG. Lasers for otosclerosis--which one if any and why. *Lasers Surg Med.* 1990;10(5):448-57.
28. Lesinski SG, Palmer A. CO2 laser for otosclerosis: safe energy parameters. *Laryngoscope.* 1989;99(6 Pt 2 Suppl 46):9-12.
29. Schonfeld U, Weiming H, Hofmann VM, Jovanovic S, Albers AE. CO2 laser stapedotomy safety: influence of laser energy and time on bone-conduction hearing levels. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2017;274(12):4131-9.
30. Cuda D, Murri A, Mochi P, Solenghi T, Tinelli N. Microdrill, CO2-laser, and piezoelectric stapedotomy: a comparative study. *Otol Neurotol.* 2009;30(8):1111-5.
31. Szyfter W, Mielcarek-Kuchta D, Mietkiewska-Leszniowska D, Laczowska-Przybylska J, Mlodkowska A. Long-term results of the Er-Yag laser used in stapes surgery. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2015;272(1):61-75.
32. Hughes GB, Pensak ML. *Clinical Otology:* Thieme Medical Pub; 2007.
33. Theissing J. [Surgical techniques. Stapes surgery - stapedectomy]. *Laryngorhinotologie.* 2013;92(3):209-14.
34. Buchman CA, Fucci MJ, Roberson JB, Jr., De La Cruz A. Comparison of argon and CO2 laser stapedotomy in primary otosclerosis surgery. *Am J Otolaryngol.* 2000;21(4):227-3
35. Horn KL, Gherini S, Griffin GM, Jr. Argon laser stapedectomy using an endo-otoprobe system. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1990;102(2):193-8.
36. McGee TM. The argon laser in surgery for chronic ear disease and otosclerosis. *Laryngoscope.* 1983;93(9):1177-82.
37. Shabana YK, Allam H, Pedersen CB. Laser stapedotomy. *J Laryngol Otol.* 1999;113(5):413-6.
38. Vernick DM. A comparison of the results of KTP and CO2 laser stapedotomy. *Am J Otol.* 1996;17(2):221-4.
39. Jovanovic S, Anft D, Schonfeld U, Berghaus A, Scherer H. Influence of CO2 laser application to the guinea-pig cochlea on compound action potentials. *Am J Otol.* 1999;20(2):166-73.
40. Motta G, Moschillo L. Functional results in stapedotomy with and without CO(2) laser. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* 2002;64(5):307-10.
41. Hausler R, Schar PJ, Pratisto H, Weber HP, Frenz M. Advantages and dangers of erbium laser application in stapedotomy. *Acta Otolaryngol.* 1999;119(2):207-13.
42. Boonchoo R, Puapermpoonsiri P. Early and late hearing outcomes after CO2 laser stapedotomy. *J Med Assoc Thai.* 2007;90(8):1647-53.
43. Boonchoo R, Puapermpoonsiri P. Results of CO2 laser stapedotomy with Teflon piston prosthesis and autologous blood seal. *J Med Assoc Thai.* 2007;90(10):2097-103.
44. Sergi B, Lucidi D, De Corso E, Paludetti G. Long-term follow-up after "one-shot" CO2 laser stapedotomy: is the functional outcome stable during the years? *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2016;273(11):3623-9.

45. Bauchet St Martin M, Rubinstein EN, Hirsch BE. High-frequency sensorineural hearing loss after stapedectomy. *Otol Neurotol.* 2008;29(4):447-52.
46. Brase C, Keil I, Schwitulla J, Mantsopoulos K, Schmid M, Iro H, et al. Bone conduction after stapes surgery: comparison of CO2 laser and manual perforation. *Otol Neurotol.* 2013;34(5):821-6.
47. Antonelli PJ, Gianoli GJ, Lundy LB, LaRouere MJ, Kartush JM. Early post-laser stapedotomy hearing thresholds. *Am J Otol.* 1998;19(4):443-6.
48. Vincent R, Bittermann AJ, Oates J, Sperling N, Grolman W. KTP versus CO2 laser fiber stapedotomy for primary otosclerosis: results of a new comparative series with the otology-neurotology database. *Otol Neurotol.* 2012;33(6):928-33.
49. Wiet RJ, Kubek DC, Lemberg P, Byskosh AT. A meta-analysis review of revision stapes surgery with argon laser: effectiveness and safety. *Am J Otol.* 1997;18(2):166-71.
50. Stewart MG, Coker NJ, Jenkins HA, Manolidis S, Bautista MH. Outcomes and quality of life in conductive hearing loss. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2000;123(5):527-32.
51. Hazenberg AJ, Hoppe FF, Dazert S, Minovi A. [Measurement of quality of life following stapes surgery]. *HNO.* 2013;61(3):233-8; quiz 8-9.
52. Tan FM, Grolman W, Tange RA, Fokkens WJ. Quality of perceived sound after stapedotomy. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2007;137(3):443-9.
53. Redfors YD, Olaison S, Karlsson J, Hellgren J, Moller C. Hearing-related, health-related quality of life in patients who have undergone otosclerosis surgery: a long-term follow-up study. *Int J Audiol.* 2015;54(2):63-9.
54. Rajan G P, Diaz J, Blackham R, Eikelboom R H, Atlas M D, Shelton C, Huber A M: Eliminating the limitations of manual crimping in stapes surgery: mid-term results of 90 patients in the Nitinol stapes piston multicenter trial. *The Laryngoscope*, 117: 1236-1239 (2007)
55. Huber A M, Veraguth D, Schmid S, Roth T, Eiber A: Tight stapes prosthesis fixation leads to better functional results in otosclerosis surgery. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 29: 893-899 (2008)
56. Brar T, Passey J C, Agarwal A K: Comparison of hearing outcome using a Nitinol versus Teflon prosthesis in stapedotomy. *Acta Oto-Laryngologica*, 132: 1151-1154 (2012)
57. Gouveris H, Toth M, Koutsimpelas D, Schmidtman I, Mann W J: Short-term hearing results after primary stapedotomy with nitinol and teflon-platinum prostheses for otosclerosis. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*, 270: 2201-2205 (2013)
58. Inge Wegner, Digna MA Kamalski, Rinze A Tange, Robert Vincent, Inge Stegeman, Geert JM van der Heijden, Wilko Grolman. Laser versus conventional fenestration in stapedotomy for otosclerosis: a systematic review. *The Laryngoscope* 124 (7), 1687-1693, 2014
59. Portmann D, Alcantara M, Vianna M. La longueur du piston dans la chirurgie de l'otospongiose [The length of the piston in otosclerosis surgery]. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)*. 2007;128(1-2):55-8. French. PMID: 17633666
60. Husain Q, Lin KF, Selesnick SH. Stapes prosthesis length and hearing outcomes. *Laryngoscope*. 2018 Mar;128(3):722-726. doi: 10.1002/lary.26700. Epub 2017 May 31. PMID: 28561306
61. Eftekharian A, Roozbahany NA, Shomali S. The distance between stapedial footplate and incus in otosclerosis surgery. *J Otol.* 2015 Mar;10(1):18-20. doi: 10.1016/j.joto.2015.07.002. Epub 2015 Aug 20. PMID: 29937777; PMCID: PMC6002554
62. Geyer, G. Materialien zur Rekonstruktion des Schalleitungsapparats. *HNO* 47, 77–91 (1999)

7 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Aline Gruhlke, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Langzeitstudie des Air-Bone-Gap nach CO₂-Laserstapedotomie bei Otosklerose selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité–Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

8 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

9 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. Andreas Albers für die Überlassung des Promotionsthemas, seine jederzeit gewährte fachliche Beratung, Motivation, Geduld und unkomplizierte Betreuung trotz räumlicher Entfernung.

Ich danke Herrn Dr. Uwe Schönfeld für das freundliche Mitwirken bei der Erhebung der klinischen Daten, statistischen Beratung, sowie seine Geduld und Unterstützung bei der Auswertung der Messdaten.

Ferner möchte ich mich herzlich bei meinem Schwiegervater Christoph Sparwasser, meinem guten Freund David Gaertner und meiner Schwester Julia Gohlisch für das Korrekturlesen bedanken.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern Christa und Günter Gruhlke und meiner Familie, die mir meinen Lebensweg, das Studium und die Promotion ermöglicht und mich in allen Lebenslagen unterstützt haben.

Zuletzt möchte ich meinem Ehemann Peter für seine unermüdliche Aufmunterung zum Abschluss dieser Arbeit danken.