
**Durchführbarkeit und Genauigkeit der manuellen Segmentierung des
Nervus facialis in hochauflösenden CT-Bildern im Vergleich
mit einer semi-automatischen Segmentierung**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Dr.med.

an der Medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig

Eingereicht von: Christoph Aumeier
geboren am 10.Juni 1979 in Weiden

angefertigt an: Medizinische Fakultät der Universität Leipzig,
Klinik und Poliklinik für HNO-Heilkunde/Plastische
Operationen/Innovation Center Computer Assisted
Surgery (ICCAS)
Universitätsklinikum Leipzig

Betreuer: Prof. Dr. med. habil. Gero Strauß (ICCAS)

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 18.03.2014

Bibliografische Beschreibung:

Aumeier, Christoph

Durchführbarkeit und Genauigkeit der manuellen Segmentierung des Nervus facialis in CT – Bildern im Vergleich mit einer semi – automatischen Segmentierung

Universität Leipzig, Dissertation

152 S., 134 Lit., 31 Abb., 12 Tab., 1 Fußn.

Referat:

Die vorliegende Arbeit untersuchte die Durchführbarkeit und Genauigkeit der manuellen Segmentierung des Nervus facialis in hochauflösenden CT – Bildern im Vergleich mit einer semi – automatischen Segmentierung durch verschiedene Probanden. Die Untersuchung erfolgte für beide Segmentierformen Software gestützt. Zusätzlich wurde das subjektive Vertrauen der Probanden in die eigene Segmentierung abgefragt.

Die beiden in dieser Arbeit untersuchten Methoden wiesen keinen signifikanten Unterschied für die Genauigkeit auf. Dabei betrug die mittlere quadratische Abweichung für die manuelle Segmentierform 0,53 mm und 0,42 mm für den semi-automatischen Ansatz.

Die semi – automatische Segmentierung benötigte zudem mit einer mittleren Segmentierzeit/Datensatz von $t = 94$ sec deutlich weniger Zeit als die Probanden der manuellen Segmentierung mit einer mittleren Segmentierzeit/Datensatz von $t = 219,5$ sec.

Anhand einer Korrelationsanalyse konnte festgestellt werden, dass bei der manuellen Segmentierung die Höhe der Abweichung (in mm) nicht mit der Segmentierzeit (in sec) korrelierte.

Für den semi-automatischen Ansatz ergab sich auch lediglich für den zweiten Durchlauf eine Korrelation zwischen Höhe der Abweichung (in mm) und der Segmentierzeit (in sec) auf Signifikanzniveau ($p < 0,01$): Je mehr Zeit der Proband für seine Segmentierung in Anspruch nahm, desto höher fiel die Abweichung vom Referenzverlauf aus.

Die Abfrage des subjektiven Segmentierungsvertrauens zeigte deutlich, dass sich die Probanden in ihrer Festlegung des Fazialisverlaufes sicher waren. Des Weiteren traten keine Unterschiede des Segmentierungsvertrauens zwischen den verschiedenen Durchläufen auf.

Im Ergebnis zeigen die manuelle und die semi-automatische Segmentierung keine signifikanten Genauigkeitsunterschiede im Vergleich zur Referenz und können genutzt werden, um vor Eingriffen am Felsenbein eine sichere Identifikation des Nervus facialis zu liefern.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Bildgebung Felsenbein	1
1.2 Hintergrund der Computerassistierten Chirurgie (CAS)	1
1.3 Assistenzsysteme in der HNO-Chirurgie.....	3
1.4 Navigated Control (NC).....	3
1.5 Problemstellung	4
1.6 Zielstellung der Arbeit	6
1.7 Hypothesen.....	8
2. Material und Methoden	9
2.1 Patientenauswahl.....	9
2.2 Bildgebung.....	10
2.3 Technische Vorbereitungen	10
2.4 Probanden	11
2.5 Aufgabenstellung der Probanden manuelle Segmentierung	11
2.6 Segmentierung.....	12
2.6.1 Software	12
2.6.2 Referenzverlauf Nervus facialis	14
2.6.3 Manuelle Segmentierung	15
2.6.4 Semi-automatische Segmentierung.....	16
2.7 Vergleich der beiden Herangehensweisen	17
2.8 Bestimmung des subjektiven Segmentierungsvertrauens	19
3. Ergebnisse.....	20
3.1 Gesamtheit der Messungen.....	20
3.2 Manuelle Segmentierung	20
3.2.1 Zeit.....	20
3.3 Semiautomatische Segmentierung	25
3.3.1 Zeit.....	25
3.4 Vergleich manuelle und semiautomatische Segmentierung	27
3.4.1 Verlauf des Nervus facialis	27
3.4.2 Zeit für die Segmentierung	31
3.5 Subjektives Segmentierungsvertrauen	36
3.5.1 Erster Durchlauf.....	36
3.5.2 Zweiter Durchlauf.....	37
3.5.3 Vergleich beider Durchläufe.....	39
4. Schlussfolgerung.....	41
4.1 Manuelle Segmentierung	41
4.1.1 Segmentierzeiten.....	41
4.1.2 Präzision/Abweichungen (manuelle Segmentierung)	42
4.2 Korrelationsanalyse	42
4.2.1 manuelle Segmentierung.....	42

4.2.2	semi – automatische Segmentierung.....	46
4.3	Semi-automatische Segmentierung	50
4.3.1	Segmentierzeiten.....	50
4.3.2	Abweichungen (semi-automatische Segmentierung).....	50
4.4	Vergleich manuelle und semiautomatische Segmentierung	51
4.4.1	Vergleich der Abweichungen	51
4.4.2	Vergleich der Segmentierzeiten.....	51
4.5	Subjektives Segmentierungsvertrauen	52
4.5.1	Manuelle Segmentierung	52
4.6	Kritische Anmerkungen.....	55
4.6.1	Anzahl der Studienteilnehmer.....	55
4.6.2	Artefakte	56
4.6.3	Anzahl der zu segmentierenden Schichten	56
5.	Anhang.....	57
5.1	Messwerte manuelle Segmentierungen.....	57
	Proband 1	57
5.2	Messwerte semi – automatische Segmentierung	104
	(Zeitangaben in sec)	104
5.3	Messwerte Identifikationssicherheiten/ Segmentierzeiten.....	105
5.4	Daten Präzision/ manuelle Segmentierung/ erster Durchlauf	107
5.5	Daten Präzision/manuelle Segmentierung/ zweiter Durchlauf ...	113
5.6	Daten Präzision/ semi – automatische Segmentierung.....	
	(Erster/ Zweiter Durchlauf)	120
5.7	Auswertung manuelle Segmentierung	
	(Schichten 100 % Sicherheit).....	127
5.8	Auswertung semi-automatische Segmentierung.....	
	(Schichten 100 % Sicherheit).....	127
6.	Zusammenfassung der Arbeit	128
7.	Literaturverzeichnis.....	132
8.	Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit	147
9.	Lebenslauf und Beruflicher Werdegang	148
10.	Danksagung	152

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bspw.	beispielsweise
CT	Computertomographie
getroff.	getroffen
hinsichtl.	hinsichtlich
HNO	Hals-Nasen-Ohren
kV	kiloVolt
mAs	Milliampersekunden
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
sec.	Sekunden
Tab.	Tabelle
Verl.	Verlauf
z.B.	zum Beispiel

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Liste der Patienten	8
Tab. 2: mittlere Zeitdauer/ Patientendatensatz, manuelle	
Segmentierung, erster Durchlauf	19
Tab. 3: mittlere Zeitdauer/ segmentierte Schicht, manuelle	
Segmentierung, erster Durchlauf	21
Tab. 4: Zeitdauer/ Patientendatensatz, manuelle Segmentierung	
zweiter Durchlauf	22
Tab. 5: Zeitdauer/ segmentierte Schicht, manuelle Segmentierung.....	
zweiter Durchlauf	23
Tab. 6: Zeitdauer/ segmentierte Schicht, semi-automatische	
Segmentierung, erster Durchlauf	24
Tab. 7: Zeitdauer/ Patientendatensatz, semi-automatische	
Segmentierung, zweiter Durchlauf	25
Tab. 8: Vergleich mittlere Segmentierzeit/ Datensatz, erster	
Durchlauf	30
Tab. 9: Vergleich mittlere Segmentierzeit/ Datensatz, zweiter	
Durchlauf	31
Tab. 10: Segmentierzeiten/ Datensatz für die manuelle.....	
Segmentierung.....	33
Tab. 11: Subjektives Segmentiervertrauen (in %), erster Durchlauf...35	
Tab. 12: Subjektives Segmentiervertrauen (in %), zweiter	
Durchlauf	36

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Markierung des Nervus facialis anhand der Farb-Tools in..... der Voxim-Software, verschiedene Farben stehen für verschiedene Probanden	11
Abb.2: Workflow-Schnittstellen zur Voxim-Software	12
Abb.3: Workflow-Software zur Aufzeichnung der Segmentierungen..	13
Abb.4: Benutzeroberfläche manuelle Segmentierung	14
Abb.5: Benutzeroberfläche semi-automatische Segmentierung.....	15
Abb.6: 3-D-Modell des Nervus facialis in der Voxim-Software	
in starker Vergrößerung	16
Abb.7: Abweichung zweier mastoidaler Verläufe des segm. Nerv	
in Polyworks-Software	17
Abb.8: Computertasten zur Prozentrangangabe	18
Abb.9: Segmentierzeit/ Datensatz, manuelle Segmentierung,	
erster Durchlauf	20
Abb.10: Segmentierzeit/ Datensatz, manuelle Segmentierung,	
zweiter Durchlauf	22
Abb.11: benötigte Zeit/ Datensatz, semi-automatische Segmen-.....	
tierung, erster Durchlauf	24
Abb.12: benötigte Zeit/ Datensatz, semi-automatische Segmen-.....	
tierung, zweiter Durchlauf	25
Abb.13: Vergleich manuelle/ semi-automatische Segmentierung	
hinsichtl. Präzision, erster Durchlauf	26
Abb.14: Standardabweichung manuelle/ semi-automatische Segmentierung, erster Durchlauf	27
Abb.15: Vergleich manuelle/ semi-automatische Segmentierung	
hinsichtl. Präzision, zweiter Durchlauf.....	28
Abb.16: Standardabweichung manuelle/ semi-automatische	
Segmentierung, zweiter Durchlauf	29
Abb.17: Zeitvergleich der Segmentierformen, erster Durchlauf.....	30
Abb.18: Zeitvergleich der Segmentierformen, zweiter Durchlauf	31
Abb.19: Zeitvergleich manuelle/ semi-automatische Segmentierung.	32
Abb.20: Vergleich Segmentierzeiten, manuelle Segmentierung	33
Abb.21: Vergleich Segmentierzeiten, semi-automatische	
Segmentierung.....	34
Abb.22: Identifikationssicherheit, manuelle Segmentierung,	
erster Durchlauf	36
Abb.23: Identifikationssicherheit, manuelle Segmentierung,	
zweiter Durchlauf	37
Abb.24: Vergleich Subjektives Segmentierungsvertrauen	
(erster versus zweiter Durchlauf)	38
Abb.25: Vergleich mittlere Sicherheit	
(erster versus zweiter Durchlauf)	39
Abb.26: Korrelationsanalyse, manuelle Segmentierung,.....	
erster Durchlauf	43
Abb.27: Korrelationsanalyse, manuelle Segmentierung,.....	
zweiter Durchlauf	44
Abb.28: Korrelationsanalyse, manuelle Segmentierung,.....	
beide Durchläufe.....	45

Abb.29: Korrelationsanalyse, semi-automatische Segmentierung,	
erster Durchlauf	47
Abb.30: Korrelationsanalyse, semi-automatische Segmentierung,	
zweiter Durchlauf	48
Abb.31: Korrelationsanalyse, semi-automatische Segmentierung,	
beide Durchläufe.....	49

1. Einleitung

1.1 Bildgebung Felsenbein

Im Allgemeinen klinischen Standard zählt die Computertomographie (CT) in hochauflösender Technik zu den etablierten Standarduntersuchungstechniken des Felsenbeins. Alternativ stehen Volumentomographen, bzw. sogenannte Cone Beam CT (CBCT) zur Verfügung, die eine Auflösung von 0,125mm erreichen können. Obwohl diese Cone Beam CT eine bessere Auflösung als die konventionelle CT liefern könnte, kann die CBCT aufgrund ihrer vielfach geringeren Verbreitung und des vergleichbar kleinen untersuchbaren Volumens (Zylinder zwischen 6-17cm Durchmesser) jedoch nicht zum Standard gezählt werden.

Eine klinisch dennoch adäquate Auflösung ermöglichen Multi-slice CT (MSCT) im Gegensatz zur Single-slice CT (SSCT). MSCT bieten nicht nur eine sehr gute anatomische Detailauflösung in der x- und y-Achse, sondern auch in der z-Achse. Der Vorteil ist eine deutlich verbesserte anatomische Auflösung mit einer verbesserten Detailerkennbarkeit anatomischer Strukturen in den primär axial aber vor allem überlappend akquirierten Bildern, in den Rekonstruktionen von koronaren oder sagittalen Bildern von hoher diagnostischer Qualität. (Ohnesorge et al. 1999, Böhme et al. 2003, Metzger et al. 2007, Liebl et al. 2004, Beltle et al. 2006, Bartling et al. 2005).

Deshalb werden heutzutage im Bereich der Felsenbeinbildgebung aufgrund der Kompaktheit und der geringen Größe der Risikostrukturen hochauflösende Multislice-CTs eingesetzt.

1.2 Hintergrund der Computerassistierten Chirurgie (CAS)

In den letzten 30 Jahren ist ein klarer Trend hin zu unterstützenden Assistenzsystemen in der Medizin festzustellen. Für die Chirurgie bedeutete bereits die Einführung der Computertomographie (CT) im Jahr 1971 den Beginn der Computerassistenz. Informationen des Patienten wurden digital und maschinenlesbar abgebildet (Hofer et al. 2010).

Dadurch ist es vor allem möglich, eine Vielzahl von Patienteninformation schnell und kompakt zur Verfügung zu stellen.

Im Kopf-Hals-Bereich wurde diese Entwicklung vor allem von Neurochirurgen und HNO-Ärzten vorangetrieben. Beispielhaft seien an dieser Stelle Reinhardt, Basel; Watanabe,

Tokio; Roberts/Friets, Hanover, New Hampshire für die Neurochirurgie und Schlöndorff/Mösgeles, Aachen für die HNO genannt.

(Reinhardt et al. 1999, Watanabe et al. 1991, Watanabe et al. 1987, Roberts et al. 1986, Brodwater et al. 1993).

Schlöndorff formulierte konkret eine „computerisierte Assistenz“ in Form eines passiven chirurgischen Navigationssystems und grenzte es somit von Entwicklungen vollautomatischer Robotersysteme durch andere Gruppen ab (Schlöndorff et al. 1989, Klimek et al. 1999).

Für die chirurgische Navigation ist ein Modell des zu navigierenden Objektes notwendig. Für die Nasennebenhöhlen und laterale Schädelbasischirurgie wird in der Regel präoperativ ein Computertomographie-Datensatz erstellt. Intraoperativ wird die Instrumentenposition im Patient in den Navigationsdatensatz (Computertomographie – Datensatz) übertragen. Den Operateur werden primär die Instrumentenpositionen in Abgrenzung zu einer Risikostruktur interessieren. Entsprechend müssen die Risikostrukturen im Modell, das heißt im Navigationsdatensatz, erkennbar sein (Strauß et al. 2005).

Neben der Erkennbarkeit ist vor allem die Genauigkeit wichtig, mit der die Risikostruktur abgebildet wird. Unter Beachtung des tatsächlichen Einsatzzwecks bewerten die meisten Nutzer eine Abweichung von bis zu 2mm als tolerabel (Strauss et al. 2006).

Gerade in den letzten Jahren wurden die Einsatzbereiche von Navigationssystemen ausgeweitet. Da die technische Verbesserung von CT- und MRT-Geräten diese immer leistungsfähiger machte, lassen sich heute sehr präzise Bilddatensätze erstellen. Somit ist die Voraussetzung für die Anwendung Computergestützter Chirurgie auch in Regionen mit sehr feinen anatomischen Strukturen erfüllt. Die Planung, Simulation und Umsetzung operativer Eingriffe in entsprechenden Regionen kann daher mittlerweile realisiert werden (Majdani et al. 2003, Winkler et al. 2004).

Letztlich verfolgen die meisten Arbeitsgruppen der computerassistierten Chirurgie das Ziel, durch Bildgebung, Navigation und Visualisierung die chirurgische Orientierung zu verbessern und die Patientensicherheit zu erhöhen (Caversaccio et al. 2009).

1.3 Assistenzsysteme in der HNO-Chirurgie

Die häufigste Anwendung finden Assistenz-/Navigationssysteme in der HNO bei der Funktionellen Endoskopischen Nasennebenhöhlenchirurgie (FESS) (Strauß et al. 2005, Kacker et al. 2005, Pirner et al. 2008).

Das Konzept der navigierten Chirurgie kommt in der HNO-Chirurgie, aber auch bei Eingriffen an der lateralen Schädelbasis und im Bereich des Felsenbeins zur Anwendung. Insbesondere bei Patienten, bei denen die normale Anatomie aufgrund früherer Operationen, Malformationen, erlittener Traumata oder durch Voranschreiten einer Tumorerkrankung verändert wurde, besteht ein erhöhtes OP-Risiko. Unter derartigen Bedingungen kommt den Navigationssystemen eine erhebliche Bedeutung zu um diese Strukturen zu identifizieren und damit deren Verletzung intraoperativ vermeiden zu können (Caversaccio et al. 2007).

1.4 Navigated Control (NC)

Lüth beschrieb im Jahre 2001 erstmals das Prinzip „Navigated Control“ (Strauß et al. 2001).

Es beinhaltet einen kontinuierlichen Abgleich zwischen der aktuellen Position eines kraftgetriebenen (in der Regel abtragenden) Instruments (Fräse) und einer präoperativ definierten Resektionsgrenze. Ziel ist es, die Leistung chirurgischer Instrumente zu minimieren, wenn sie gemäß eines präoperativ definierten Arbeitsraumes falsch positioniert sind (Hofer et al., 2007, Dittrich et al. 2007, Pirner et al. 2008, Strauss et al. 2007).

Der Operateur kann mit einem navigiert kontrolliertem Instrument auf übliche Weise frei operieren. Die Leistungsintensität des Instruments verringert sich jedoch automatisch sobald es vom Operateur über das Ziel hinaus positioniert wird. Sollte ein akustisches Warnsignal nicht wahrgenommen werden, greift ein weiterer Sicherheitsmechanismus, der die Stromzufuhr vollständig unterbricht. Der Anwender kann demnach die Fräse nicht zur Anwendung bringen solange eine schützenswerte anatomische Struktur in der Nähe des Fräskopfes liegt (Strauss et al. 2007, Strauss et al. 2004, Dittrich et al. 2007).

1.5 Problemstellung

Felsenbeinchirurgie

Aufgrund der komplexen, unübersichtlichen und schwer zugänglichen Region des Felsenbeines, drängt sich der Einsatz der computerassistierten Chirurgie in dem Bereich nahezu auf (Heermann et al. 2001, Hassfeld et al. 1998, Caversaccio et al. 2002, Riechmann et al. 2007).

Generell besteht bei Eingriffen der lateralen Schädelbasis die Gefahr, dass Strukturen, die hier auf engstem Raum angrenzen, wie der Sinus sigmoideus, das Labyrinth, die Gehörknöchelchenkette, die Dura und vor allem der Nervus facialis verletzt werden können.

Die Felsenbeinchirurgie ist mit einem signifikanten Risiko für die Schädigung des Nervus facialis verbunden. Dieses Risiko wird je nach Zugang und Umfang des Eingriffs zwischen 1 % und 6 % angegeben (Strauss et al. 2008, Hofer et al. 2007).

Der Nervus facialis ist in seinem tympanalen und mastoidalen Verlauf äußerst schwer von den umgebenden knöchernen Strukturen des Felsenbeins abzugrenzen. Zusätzlich erschweren die individuell sehr unterschiedlichen Verläufe des Nervs dessen Identifizierung.

Aufgrund fehlender oder schwer erreichbarer Landmarken (ovales Fenster, Dura, hintere Gehörgangswand) erfordert das Aufsuchen und Darstellen des Nervs während ohrchirurgischer Eingriffe relativ viel Zeit im Verhältnis zur Gesamtdauer der Operation (Strauss et al. 2008, Strauss et al. 2007).

Eine Verletzung des Nervus facialis durch die Fräse ist mit weit reichenden Konsequenzen für den Patienten verbunden. Das klinische Bild einer Fazialisparese führt zu zahlreichen Dysfunktionen bzw. Ausfällen der vom Gesichtsnerv innervierten Strukturen. Der daraus resultierende Leidensdruck für die Betroffenen ist enorm und zumeist begleitet die Parese die Patienten lebenslang (Mippi et al. 2001, Arnold et al. 2008, Berghaus et al. 1996, Hassfeld et al. 1998).

Segmentierung

Segmentieren bedeutet das Markieren von bestimmten Strukturen in einem Datenvolumen. Diese Strukturen können zum Beispiel Gefäße, Nerven oder Organe sein (Bettle et al. 2006, Shin et al. 2000, Truc et al. 2010).

Eine 3-dimensionale Darstellung des Nervus facialis könnte das Risiko von Verletzungen erheblich vermindern (Heinonen et al. 1998, Riechmann et al. 2007).

Die präoperative Segmentierung von gefährdeten Strukturen zur Arbeitsraumdefinition für den Operateur hat sich in den letzten Jahren im Bereich der HNO-Chirurgie entwickelt. Die technischen Verbesserungen der bildgebenden Verfahren mit Entwicklung von hoch auflösenden CT- und MRT-Anwendungen bildeten dafür die Grundlage (Qazi et al. 2011, Hofer et al. 2010, Hofer et al. 2008, Strauss et al. 2008, Strauss et al. 2007, Strauss et al. 2006, Bevilacqua et al. 2006, Strauß et al. 2005).

Eine Segmentierung kann mit Hilfe einer speziellen Computer-Software manuell (das Einzeichnen einer Struktur Punkt für Punkt zum Beispiel mit Hilfe der Eingabemaske), semi-automatisch (Markieren von wenigen Punkten, anschließend automatisches Markieren der Reststruktur) oder vollautomatisch (bspw. automatisches Erkennen und Markieren von Strukturen durch eine Computersoftware) durchgeführt werden.

Die rein manuelle Segmentierung stellt einen enormen Arbeits- und Zeitaufwand für den Operateur dar, wenngleich in der Regel ein erforderliches Maß an Präzision erreicht wird. Vollautomatische Systeme arbeiten vergleichsweise schnell, sie haben aber das Problem insbesondere in Grenzbereichen (z.B. bei Abgrenzung von Tumorausläufern zu umliegendem gesunden Gewebe) nur unzureichend genau zu arbeiten. Einfacher sind hierbei Segmentierung mit klaren Grenzen (z.B. kontrastmittelaufnehmende Gefäße, Weichgewebe innerhalb von Knochenstrukturen). Einen guten Kompromiss stellen semiautomatische Ansätze dar. Es wird üblicherweise die zu segmentierende Struktur an wenigen Stellen markiert, um die grobe Ausdehnung festzulegen. Anschließend generieren spezielle Softwarealgorithmen die restliche Segmentierung. Häufig werden hierfür Interpolationen¹ angewandt (Shin et al. 2000, Luccichenti et al. 2005, Bruyant et al. 2000, Pianykh et al. 2008, Liao et al. 2010, Hill et al. 2000, Fantoni et al. 2008).

¹ Hochrechnungsverfahren zur näherungsweisen Bestimmung unbekannter Informationen innerhalb einer Anordnung vorhandener Werte. Verwendung bei Bildverarbeitung um durch eine Erhöhung der Auflösung die Bildqualität zu verbessern

Ziel ist es, dem Nutzer eine bestmögliche Assistenz für die Segmentation unter erschwerten anatomischen Bedingungen an die Seite zu stellen. Es wird angestrebt, sowohl den prä-Arbeitsablauf zu beschleunigen als auch die Präzision bzw. Genauigkeit der Verfahren zu verbessern.

Im Jahre 2007 hatten Tingelhoff et al. im Hinblick auf Eingriffe in der Nasenhöhle und in den Paranasalsinus auf Grundlage von CT-Bildern einen Vergleich der manuellen Segmentierungsform mit einer neu eingeführten semi-automatischen Methode vorgenommen. Ihr Ziel bestand darin, den hohen zeitlichen Aufwand beim manuellen Verfahren durch einen innovativen automatischen Ansatz bedeutend zu verringern. Im Ergebnis zeigte sich eine deutliche Beschleunigung des Arbeitsvorganges durch das semi-automatische Segmentierverfahren (Tingelhoff et al. 2007).

Bis zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine klinisch etablierte Methode die Segmentierung des Nervus facialis semi-automatisch oder sogar automatisch durchzuführen. Dies lässt sich sicherlich damit begründen, dass keine Assistenzsysteme verfügbar sind, die auf die Fazialissegmentierung zurückgreifen. Eine Ausnahme stellt mittlerweile das „Distance Control“[®] System im Rahmen der Navigationssoftware der Karl Storz Navigation Panel Unit dar (KST NPU, Karl Storz, Tuttlingen).

Zur sicheren Identifikation und Markierung des Nervus facialis innerhalb eines CT-Datensatzes darf gegenwärtig von der manuellen Form der Segmentierung als aktuellem Goldstandard ausgegangen werden (Riechmann et al. 2007, Heath et al. 2009, Leinung et al. 2007, Majdani et al. 2007, Baron et al. 2010, Tingelhoff et al. 2007, Noble et al. 2009, Noble et al. 2008, Yushkevich et al. 2006).

1.6 Zielstellung der Arbeit

Es ist das Ziel dieser Arbeit, zu zeigen, dass die manuelle Segmentierung des Nervus facialis als Risikostruktur des Felsenbeins innerhalb von hochauflösenden CTs möglich ist. Des Weiteren soll geprüft werden, ob eine semi-automatische Segmentierung durchführbar ist, welche die gleiche Genauigkeit der manuellen Segmentierung erreicht und möglichst in geringerem Zeitaufwand umsetzbar ist.

Zusätzlich soll die subjektive Bewertung hinsichtlich der sicheren Nervenidentifikation im CT untersucht werden. Diesbezüglich werden subjektive Einschätzungen von

Probanden sowohl für die manuelle als auch die semi-automatische Segmentierung ermittelt und gegenübergestellt werden.

1.7 Hypothesen

Aus der Zielstellung der Arbeit ergeben sich folgende Hypothesen:

- I Es ist möglich in hochauflösenden Computertomographien (nach speziellem Felsenbeinprotokoll) den Nervus facialis reproduzierbar zu identifizieren und damit zu segmentieren
- II Es besteht kein klinisch relevanter Genauigkeits-Unterschied zwischen der semi- automatischen Segmentierung und der manuellen Segmentierung
- III Die Gesamtzeit für die semi-automatische Segmentierung wird diejenige der manuellen Segmentierung unterschreiten
- IV Für die semi-automatische Segmentierung sind 10 manuell festgelegte Punkte inklusive Start- und Endpunkt, ausreichend
- V Die Probanden identifizieren den Fazialisverlauf im CT subjektiv sicher

2. Material und Methoden

2.1 Patientenauswahl

Für die Untersuchungen der vorliegenden Studie wurden Datensätze von 10 Patienten ausgewählt, die mit einem hoch auflösenden multi-slice Computertomographen (CT) wegen einer Otitis media chronica untersucht wurden und sich in Behandlung der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Leipzig befanden.

<i>Patient</i>	<i>Geschlecht</i>	<i>Geburtsjahr</i>
Patient 1	Männlich	1980
Patient 2	Männlich	1948
Patient 3	Weiblich	2003
Patient 4	Männlich	1998
Patient 5	Männlich	1928
Patient 6	Männlich	1963
Patient 7	Weiblich	1991
Patient 8	Weiblich	1945
Patient 9	Weiblich	1923
Patient 10	Weiblich	1932

Tab. 1: Liste der Patienten

2.2 Bildgebung

In dieser Studie wurden ausschließlich Aufnahmen des linken Ohres bearbeitet. Alle Patienten wurden mit demselben 256-Zeiler multi-slice Computertomographen untersucht (Somatome Volume Zoom, Siemens, Erlangen).

Protokolle:

Innenohr-Spiral-CT

Schichtdicke: 0.5 mm überlappend

Rekonstruktion: 0,16 mm x 0,16 mm x 0.3 mm

Kernel: U70u

FOV: 100 mm x 100 mm

120 kV, 80 mAs

Die 10 CT-Datensätze wurden mit einer Voxelgröße von 0,16 x 0,16 x 0,3 mm rekonstruiert. Die gewonnenen Datensätze wurden im DICOM Standard 3.0 (Akronym für „Digital Imaging and Communications in Medicine“) gespeichert und auf CD-Rom archiviert (Klapan et al. 2006).

2.3 Technische Vorbereitungen

Vor Beginn der Versuchsreihen:

- Installation der Software Lizenz für Voxim und coDiagnostix auf einem mobilen Rechner (Laptop mit 15"-Bildschirm) für den Einsatz in verschiedenen Instituten
- Installation und Integration einer Workflowanalyse Software
- Übertragung von CT-Datensätzen im DICOM 3.0 Format auf ein CD-R Medium
- Import der CT-Datensätze in die Voxim Software
- Festlegung der Referenz-Fazialisverläufe in 10 CT-Felsenbeindatensätzen

2.4 Probanden

Im Rahmen der Studie wurde die manuelle Segmentierung von fünf Probanden durchgeführt. Der Probandenpool bestand aus HNO-Chirurgen (HNO-Chirurg I, HNO-Chirurg II), einem Neurochirurgen, einem Radiologen, sowie einem Anatom. Die Teilnehmer wiesen aufgrund ihrer langjährigen Tätigkeit in der jeweiligen Fachrichtung umfassende Kenntnisse hinsichtlich der Anatomie der Felsenbeinregion auf. Des Weiteren waren sie mit der Interpretation und Analyse von CT-Bildern im Bereich der lateralen Schädelbasis aufgrund ihrer klinischen Spezialisierung (HNO, Neurochirurg, Neuroradiologe) bzw. ihrer wissenschaftlichen Ausrichtung (Anatom) hoch vertraut.

2.5 Aufgabenstellung der Probanden manuelle Segmentierung

Jeder Proband hatte den Fazialisverlauf vom Austritt aus dem inneren Gehörgang bis zum Foramen stylomastoidum in zehn Patientendatensätzen im Rahmen einer Sitzung zu segmentieren. Dabei waren Start- und Endpunkt der Segmentierung festgelegt und für alle Probanden gleich. Die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Datensätze durch die Probanden abgearbeitet wurden, war zufällig gewählt. Für die Sitzungen wurden individuell Termine mit einem (für alle Sitzungen gleichen) Versuchsleiter vereinbart. Die gesamte Software befand sich auf einem Laptop. Insofern bestand keine örtliche Gebundenheit.

Zunächst wurde das Procedere durch den Versuchsleiter erläutert.

Anschließend, nach Ablauf einer Orientierungsphase von 30 Sekunden, in welcher sich der Proband durch Auf- und Abscrollen mit dem Datensatz und den Start- und Endpunkten der Segmentierung vertraut machen konnte, wurde mit der Segmentierung und der Zeitmessung begonnen.

Nach einem festgelegten zeitlichen Intervall von zehn Tagen erfolgte in einem zweiten Durchlauf erneut die manuelle Segmentierung der zehn Patientendatensätze, wieder in zufälliger Reihenfolge. Letztlich war die manuelle Segmentierung nach Bearbeitung von insgesamt 20 Patientendatensätzen abgeschlossen.

2.6 Segmentierung

2.6.1 Software

Mit der Voxim-Software war es möglich, die DICOM-Datensätze der Patienten-CDs zu importieren und sie in drei Ebenen (sagittal, koronar und axial) zu visualisieren. Zudem konnte anhand eines Farb-Tools mit der Eingabemaus die Segmentierung des Verlaufs des Nervus facialis vorgenommen werden (Abb.1). Der Durchmesser des Nervs war auf 2mm festgelegt (die 2mm entsprachen durchschnittlich dem Innendurchmesser des Fallopiokanals).

Der in der Voxim-Software segmentierte Verlauf des Nervus facialis wurde als 3D-STL Datei gespeichert. Die Software Polyworks 9.0.2 (Innovmetric, Quebec, Canada) wurde zur Evaluation des räumlichen Verlaufs des segmentierten Nerven genutzt. Anschließend konnte der vom Probanden segmentierte Verlauf

1. Im Vergleich zu einer Referenzsegmentierung
2. Im Vergleich der Probanden untereinander (interindividuelle Abweichungen) als Genauigkeit bzw. als Abweichung angegeben werden.

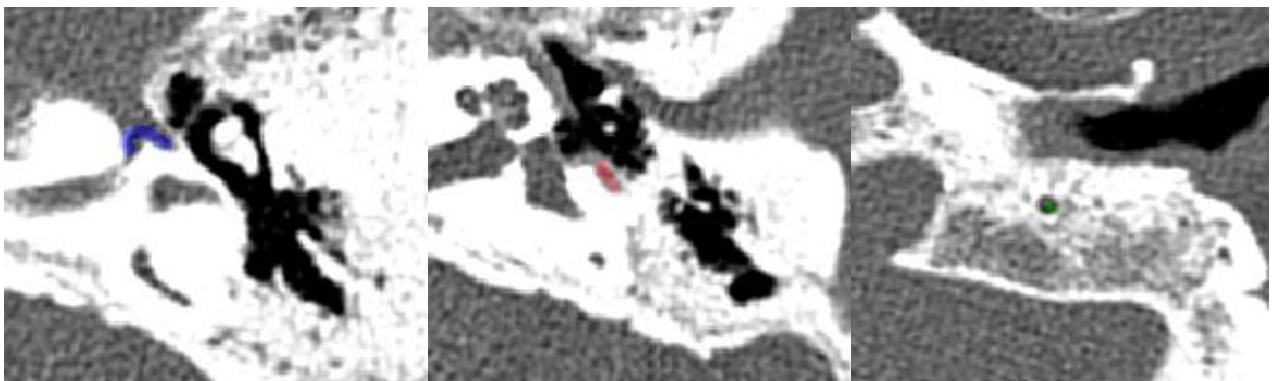


Abb. 1: Markierungen des Nervus facialis anhand der Farb-Tools in der Voxim-Software, verschiedene Farben stehen für verschiedene Probanden

Die Voxim Software wurde zusätzlich um eine Workflow-Schnittstelle erweitert (Abb.2). Diese Surgical Workflow Software (SWAN GmbH, Leipzig) ermöglichte es, alle Segmentierungsvorgänge, die von den Probanden durchgeführt wurden, durch das Senden von URL-Meldungen entlang einer mitlaufenden Zeitmessung (time stamps) aufzuzeichnen (Abb.3). Die Aufzeichnung der Ereignisse während der Segmentierungen durch den Workflow im Hintergrund gestattete den Testpersonen ein kontinuierliches Arbeiten ohne messbedingte Unterbrechungen

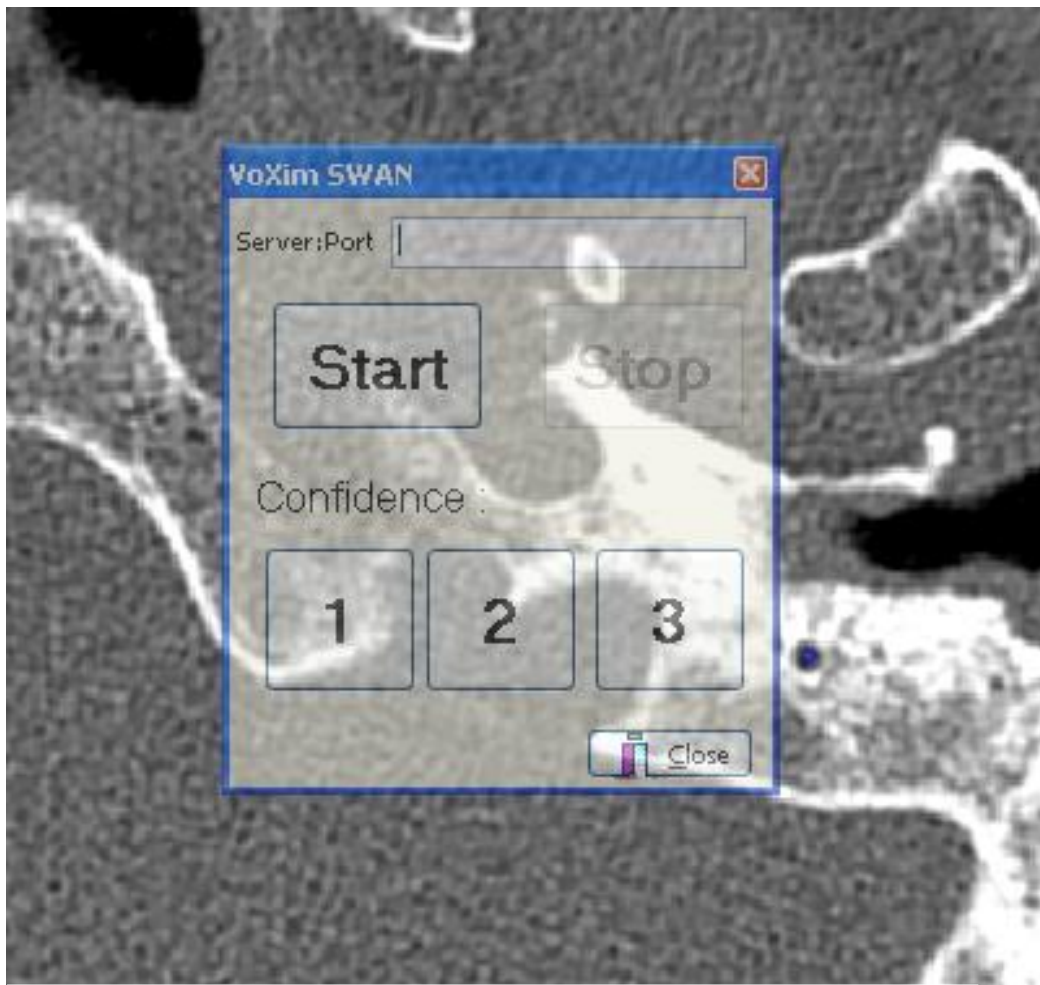


Abb. 2: Workflow - Schnittstelle zur Voxim - Software

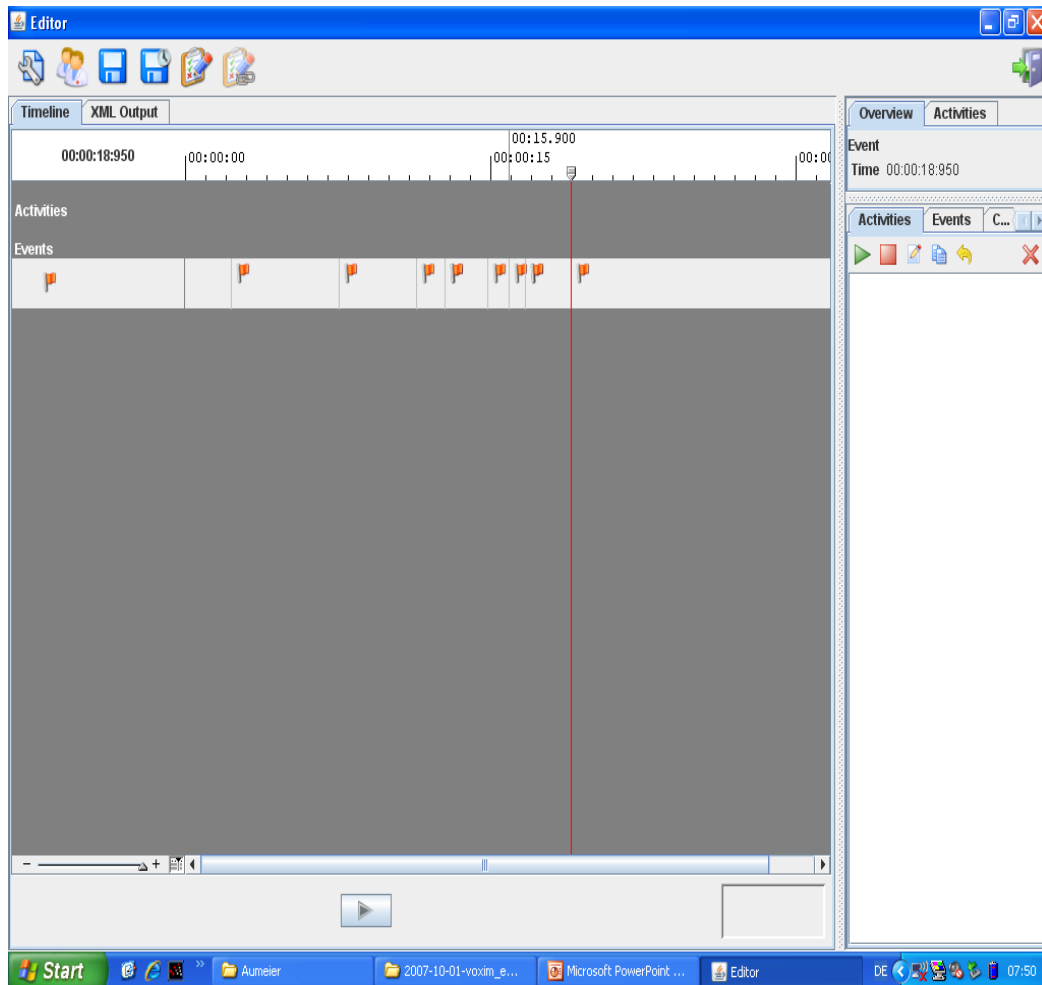


Abb. 3: Workflow – Software zur Aufzeichnung der Segmentierungen

Als Referenz der manuellen Segmentierungen diente eine Mastersegmentierung. Nach interdisziplinärer Interpretation und Segmentierung des Nervus facialis erfahrener Ärzte aus HNO, Neurochirurgie und Radiologie, die sich von den Probanden unterschieden. Davon ausgehend ließ sich später für jeden Teilnehmer die individuelle Abweichung bezüglich des Referenzverlaufs des Nervus facialis berechnen und auch grafisch darstellen. Des Weiteren waren die Startschicht und Endschicht in jedem Datensatz festgelegt und für den Probanden unveränderlich, um gleiche Rahmenbedingungen für alle Probanden zu schaffen.

2.6.3 Manuelle Segmentierung

Für den manuellen Segmentierungsvorgang wurde eine modifizierte und für die vorliegende Arbeit entwickelte Version der Software Voxim (Version 5.6, IVS Solutions AG, Chemnitz) verwendet (Abb.4).

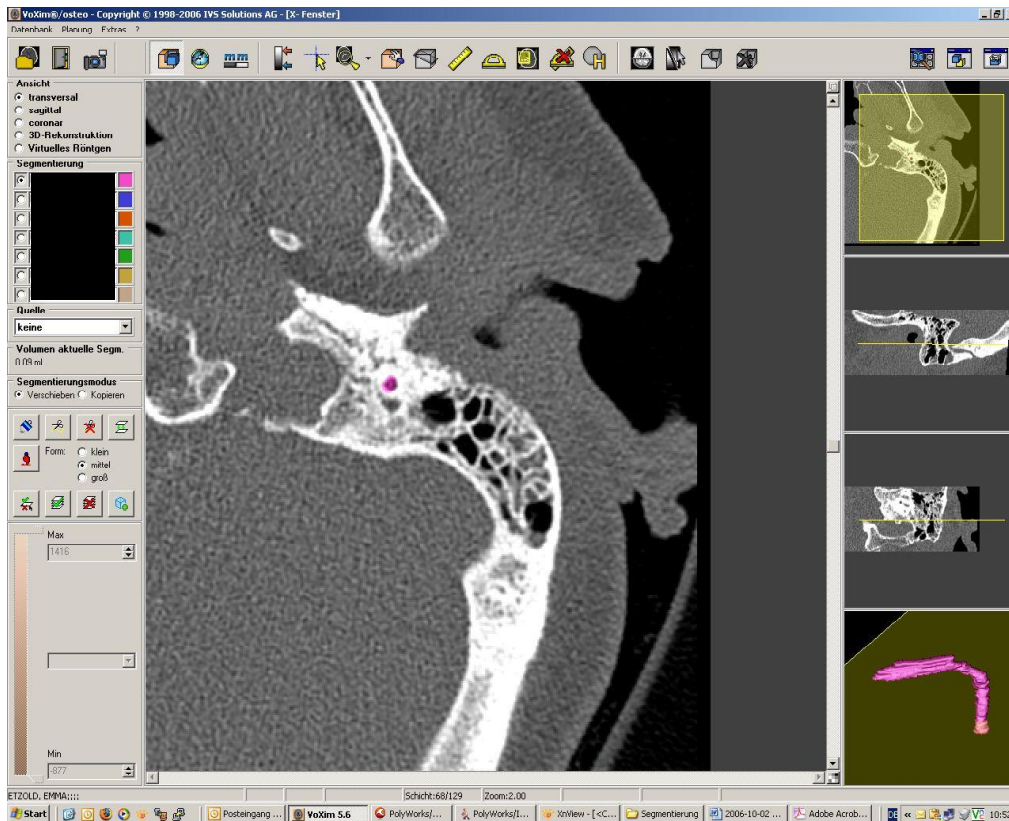


Abb. 4: Benutzeroberfläche manuelle Segmentierung

Die Segmentierung fand generell unter Nutzung der axialen Ebene im Bearbeitungsfenster statt. Es musste stets der gesamte Nervenkanal farblich gekennzeichnet werden. Diese Markierung konnte durch Betätigung der linken Maustaste vorgenommen werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Auswertung erhielt jeder Proband eine eigene Farbe zugewiesen. Es war möglich, Korrekturen vorzunehmen. Der Proband konnte sich mittels Auf- und Abscrollen durch die CT-Schichten eines Datensatzes bewegen. Hinsichtlich der Bearbeitung der einzelnen Schichten gab es keine vorgegebene Reihenfolge.

Die zehn Datensätze wurden nach einem festgelegten Zeitintervall von zehn Tagen von jedem Probanden ein zweites Mal segmentiert.

2.6.4 Semi-automatische Segmentierung

Die semi-automatische Segmentierung erfolgte mit dem CoDiagnostix-Modul von Voxim (IVS Solutions AG) (Abb.5).

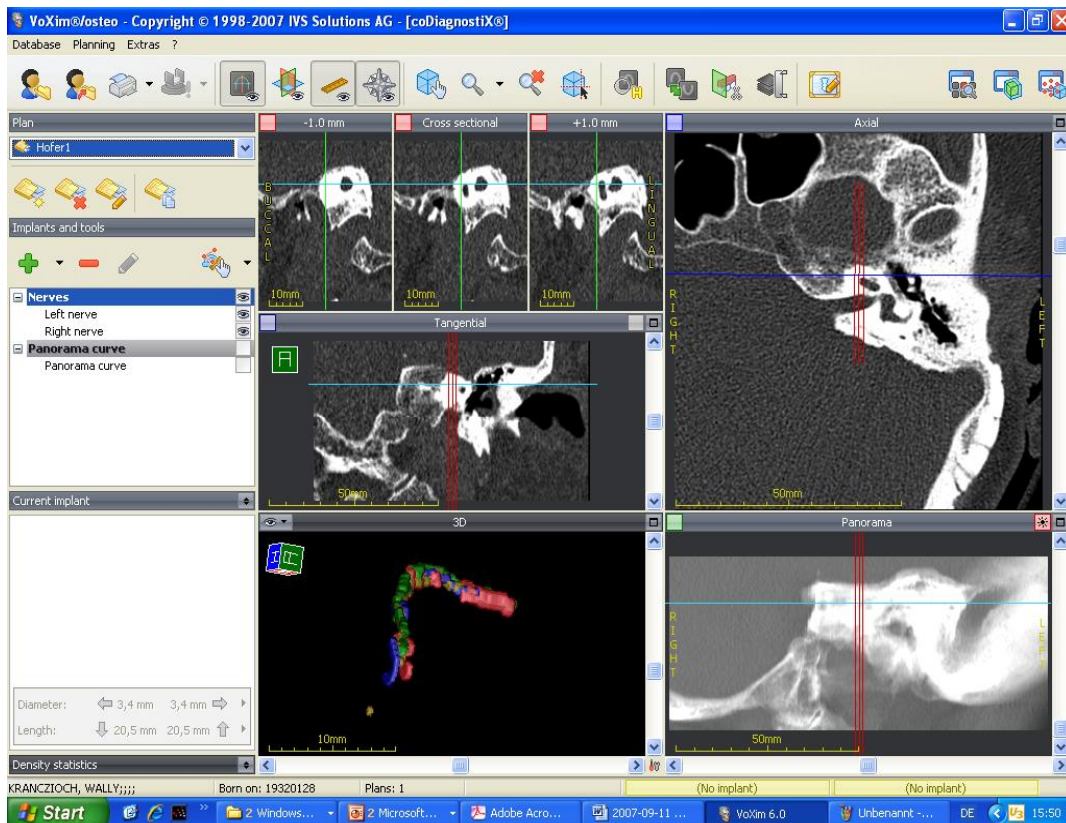


Abb. 5: Benutzeroberfläche semi - automatische Segmentierung

Auch für die semi-automatische Segmentierung wurde der Durchmesser des Nervs festgelegt (2mm) und die Lage über zehn Stützstellen definiert. Die 2mm entsprachen durchschnittlich dem Innendurchmesser des Fallopiokanals, sowohl im pyramidalen, labyrinthären, tympanalen und mastoidalen Verlauf. Es wurde generell für jeden Patientendatensatz diesselbe Start- und Endschicht entsprechend der manuellen Segmentierung festgelegt. Der Proband (weiterer und von der manuellen Segmentierung verschiedener HNO-Chirurg II) nahm ebenfalls eine farbliche Markierung des Nervus Facialis per Mausclick vor. Es war ihm überlassen, die zehn zur Verfügung stehenden Punkte innerhalb des Datensatzes frei und ohne Bindung an bestimmte Schichten zu setzen. Auch bei der semi-automatischen Segmentierung wurde die Zeit gemessen, die der Proband zur Bearbeitung der Datensätze benötigte.

2.7 Vergleich der beiden Herangehensweisen

Durch die via Voxim-Software generierten 3D-Modelle des Nervus facialis konnten die Modelle des Gesichtsnervs mit Hilfe der reverse-engineering Software Polyworks (Innovmetric, Kanada) miteinander verglichen werden. Als Referenz diente die Referenzsegmentierung.

Die aufgezeichneten Verläufe des Nervs wurden in Form einer 3D-STL-Datei exportiert. Die Polyworks-Software errechnete aus den Schicht für Schicht gesetzten Markierungen der Probanden für jeden Patienten einen individuellen und vollständigen Verlauf des Nervus Facialis (Abb.6). Zudem bot sie die Möglichkeit, diese Probandenspezifischen Nervenverläufe in einem Bild übereinander zulegen und somit interindividuelle Abweichungen auch graphisch zu veranschaulichen.

Mit Polyworks ließen sie sich die Segmentierungen zum einen grafisch darstellen und zum anderen konnten die individuellen positionellen Abweichungen der Fazialisverläufe in Zahlen ausdrücken (Abb.7).

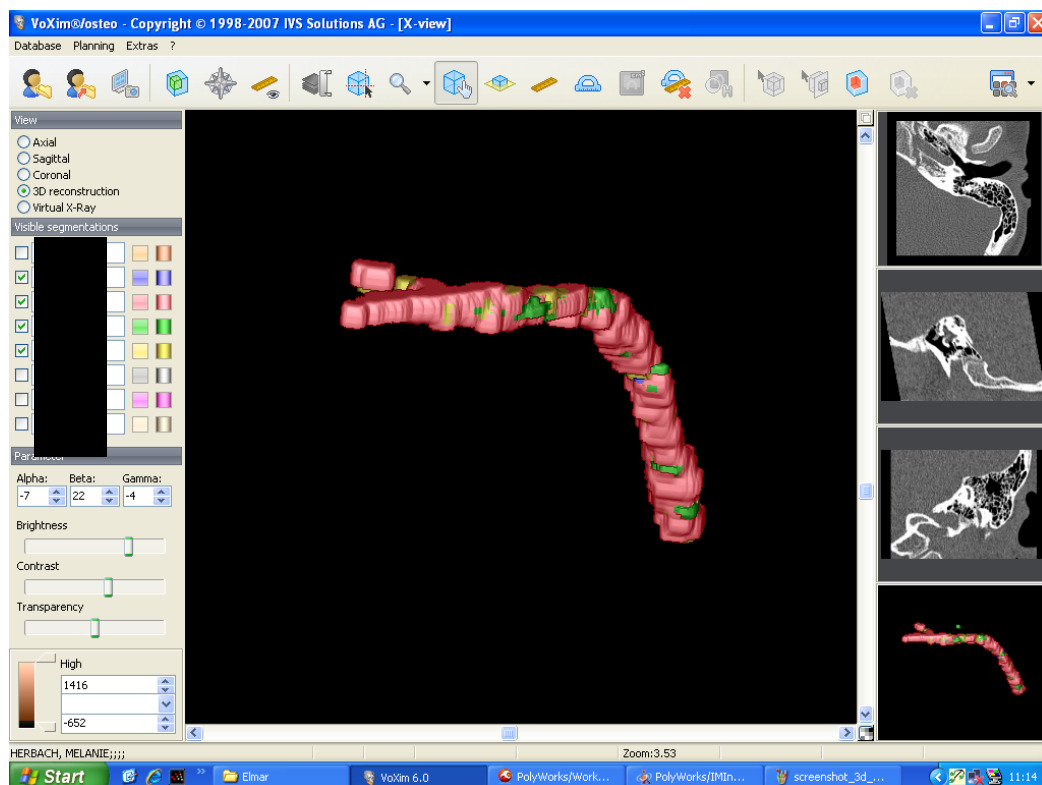


Abb. 6: 3 – D - Modell des Nervus facialis in der VoXim – Software in starker Vergrößerung

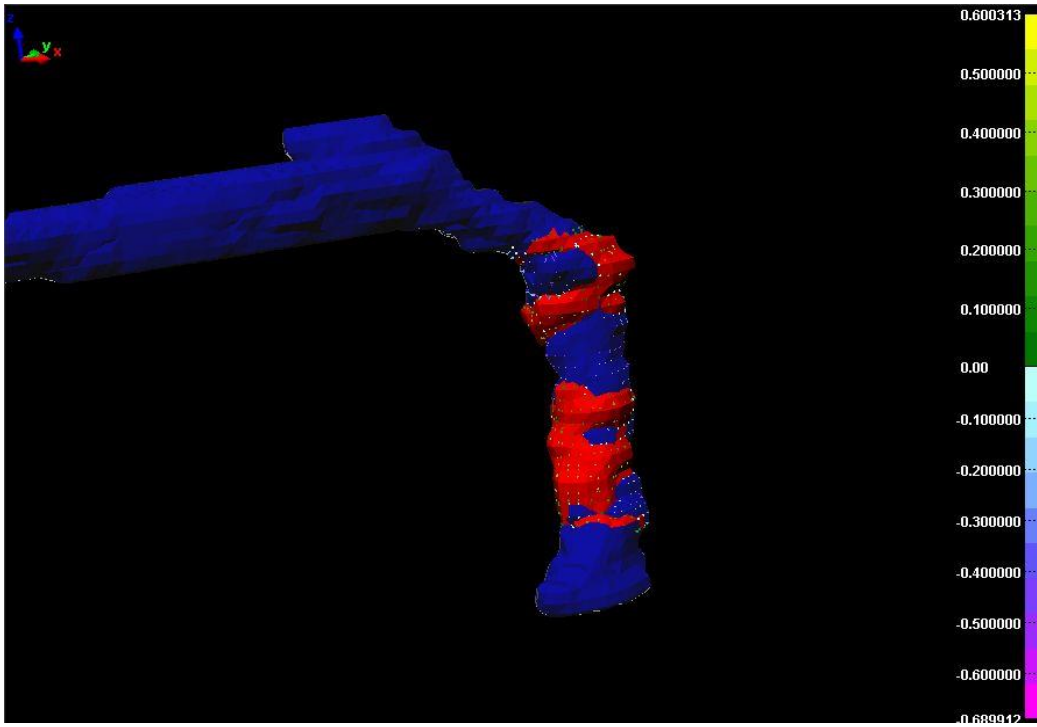


Abb. 7: Abweichung zweier mastoidaler Verläufe des segm. Nervs in Polyworks - Software

2.8 Bestimmung des subjektiven Segmentierungsvertrauens

Die Messung der Sicherheit hinsichtlich der Identifizierung des Nervs erfolgte unter Angabe eines festgelegten Prozentranges für jede segmentierte Schicht. Für die Beurteilung wurden den Probanden folgende Parameter zur Verfügung gestellt:

0%: „Ich kann den Nervus Facialis **nicht** identifizieren.“

50%: „Ich bin nicht vollkommen sicher, wo sich der Nerv befindet.“

100%: „Ich kann den Nerv eindeutig identifizieren.“

Die Eingabe erfolgte nach Abfrage des Probanden nach jeder Segmentierung und wurde vom Studienleiter wie unten dargestellt über die entsprechenden Tasten der Computertastatur eingegeben (Abb.8) und durch die Workflowsoftware zu der entsprechenden Segmentierung korreliert.



Taste 1: 0%



Taste 2: 50%



Taste 3: 100%

Abb. 8: Computertasten zur Prozentrangangabe

Sämtliche Eingaben wurden von der Surgical Workflow Software (SWAN GmbH, Leipzig) aufgezeichnet und ausgewertet.

Eine Korrektur der Eingaben konnte jederzeit vorgenommen werden, indem für die entsprechende Segmentierschicht erneut die 0%-, 50%- oder 100%- Tasten betätigt wurden.

3. Ergebnisse

3.1 Gesamtheit der Messungen

Es wurden insgesamt 4380 CT-Schichten durch die teilnehmenden Probanden segmentiert.

Die Anzahl der in den einzelnen Datensätzen zu segmentierenden Schichten reichte von einem Minimum von 23 Schichten bis zu einem Maximum von 61 Schichten.

3.2 Manuelle Segmentierung

3.2.1 Zeit

3.2.1.1 Erster Durchlauf

	<i>Zeitdauer pro Patientendatensatz (Mittelwert in sec)</i>	<i>Standardabweichung pro Patientendatensatz (in sec)</i>
HNO-Chirurg I	157	40,37
Radiologe	104,9	49,75
Anatom	647,9	485,84
Neurochirurg	130,3	43,73

Tab. 2: mittlere Zeitdauer/Patientendatensatz, manuelle Segmentierung, erster Durchlauf

Es wurden für jeden Studienteilnehmer die Mittelwerte (in Sekunden) mit den dazugehörigen Standardabweichungen für alle zehn Patientendatensätze berechnet.

Der HNO-Chirurg I benötigte im Mittel für die Segmentierung eines Datensatzes 157 sec, wobei die Standardabweichung bei 40,37 sec lag. Beim Radiologen dauerte es durchschnittlich 104,9 sec bis er einen Datensatz segmentiert hatte. Die Standardabweichung lag bei 49,75 sec. Der Anatom brauchte im Schnitt 647,9 sec für die Segmentierung des Nervs. Die Standardabweichung betrug 485,84 sec. Der Neurochirurg benötigte für die Segmentierung eines Datensatzes eine Zeit von 130,3 sec. Die Standardabweichung lag bei 43,73 sec (Tab.2).

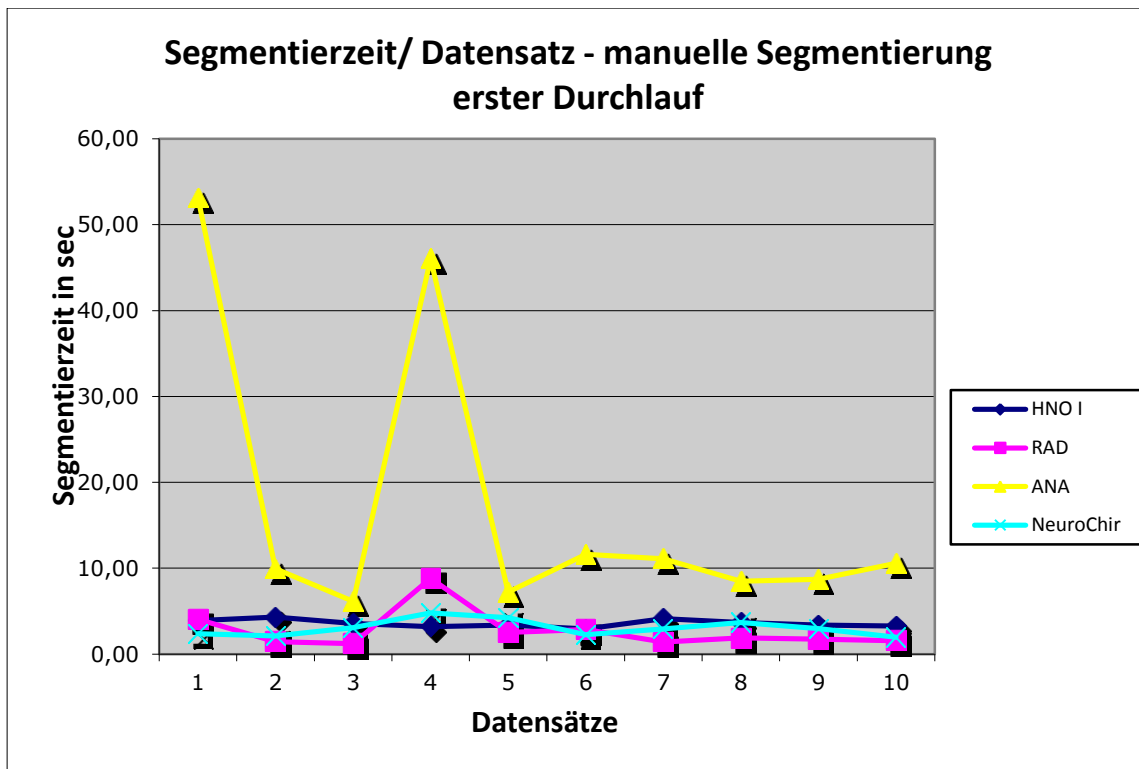


Abb. 9: Segmentierzeit/ Datensatz, manuelle Segmentierung, erster Durchlauf

3.2.1.2 Zeitdauer pro Schicht/ erster Durchlauf

Im ersten Durchlauf benötigte der HNO-Chirurg pro segmentierter CT-Schicht im Mittel 3,6 sec, die Standardabweichung lag bei 0,43 sec. Der Radiologe segmentierte eine CT-Schicht im Durchschnitt in 2,8 sec, mit einer Standardabweichung von 2,3 sec. Der Anatom brauchte durchschnittlich 17,3 sec, bei einer Standardabweichung von 17,2 sec. Und der Neurochirurg benötigte im Mittel 3,0 sec für die Bearbeitung einer Schicht. Die Standardabweichung betrug 0,94 sec (Tab.3).

	<i>Zeitdauer pro segmentierter Schicht (Mittelwert in sec)</i>	<i>Standardabweichung pro segmentierter Schicht (in sec)</i>
HNO-Chirurg I	3,6	0,43
Radiologe	2,8	2,3
Anatom	17,3	17,2
Neurochirurg	3,0	0,94

Tab. 3: mittlere Zeitdauer/ segmentierte Schicht, manuelle Segmentierung, erster Durchlauf

3.2.1.3 Zweiter Durchlauf

Im zweiten Durchlauf benötigte der HNO-Chirurg I im Mittel 192 sec, die Standardabweichung lag bei 137,52 sec. Die Segmentierung des Radiologen dauerte im Schnitt 117,4 sec, mit einer Standardabweichung von 50,10 sec. Der Anatom benötigte durchschnittlich 280,8 sec um einen Datensatz zu segmentieren. Dabei betrug die Standardabweichung 71,23 sec. Für den Neurochirurgen erforderte es im Mittel 125,5 sec für einen Patienten, mit einer Standardabweichung von 47,94 sec (Tab.4).

	<i>Zeitdauer pro Patientendatensatz (Mittelwert in sec)</i>	<i>Standardabweichung pro Patientendatensatz (in sec)</i>
HNO-Chirurg I	192	137,52
Radiologe	117,4	50,10
Anatom	280,8	71,23
Neurochirurg	125,5	47,94

Tab. 4: mittlere Zeitdauer /Patientendatensatz, manuelle Segmentierung, zweiter Durchlauf

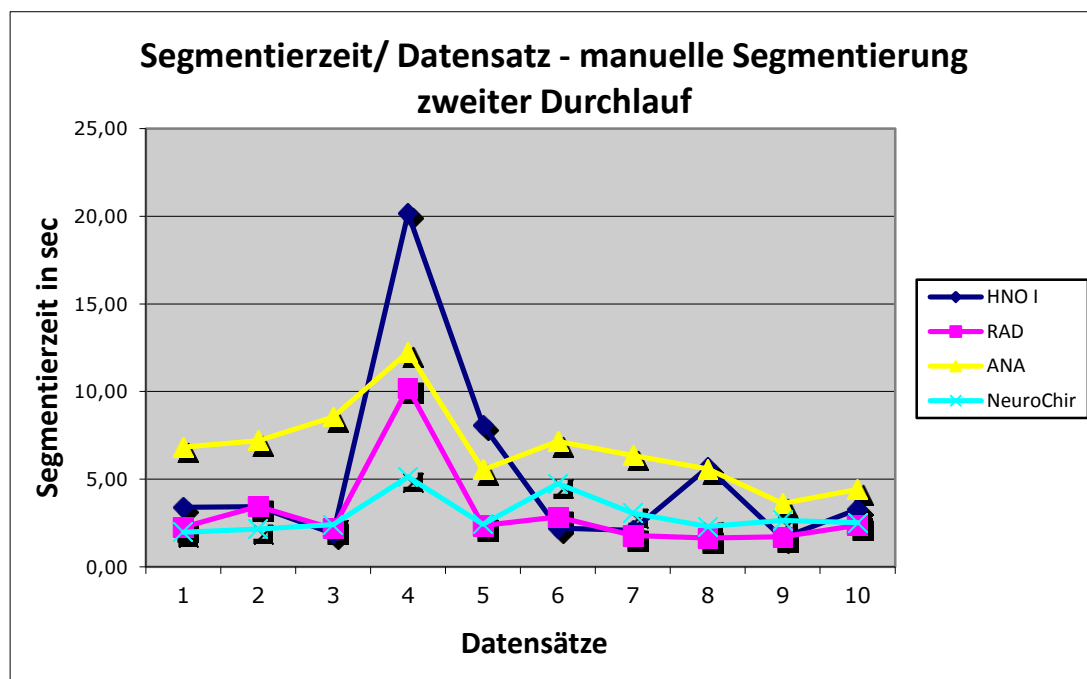


Abb. 10: Segmentierzeit/ Datensatz, manuelle Segmentierung, zweiter Durchlauf

3.2.1.4 Zeitdauer pro Schicht/ zweiter Durchlauf

Im zweiten Durchlauf lag die Segmentierzeit pro Schicht für den HNO-Chirurg I bei 5 sec. Die dazugehörige Standardabweichung war 5,63 sec. Der Radiologe erzielte im Schnitt eine Zeit von 3,1 sec und die Standardabweichung belief sich auf 2,56 sec. Beim Anatom ergab sich eine Durchschnittszeit von 6,7 sec, sowie eine Standardabweichung von 2,4 sec. Der Neurochirurg benötigte im Mittel 2,9 sec. pro segmentierte Schicht, bei einer Standardabweichung von 1,10 sec (Tab.5).

Die Hypothese Ic (Die durchschnittliche Zeit für die Segmentierung pro Schicht wird vier Sekunden nicht überschreiten) gilt auch für den zweiten Durchlauf als teilerfüllt. Der Radiologe und der Neurochirurg blieben unter 4 Sekunden. Der HNO-Chirurg I erzielte mit durchschnittlich fünf sec pro Schicht ein schlechteres Ergebnis als im ersten Durchlauf. Der Anatom konnte sich gegenüber dem ersten Durchgang deutlich verbessern.

	<i>Zeitdauer pro segmentierter Schicht (Mittelwert in sec)</i>	<i>Standardabweichung pro segmentierter Schicht (in sec)</i>
HNO-Chirurg I	5	5,63
Radiologe	3,1	2,56
Anatom	6,7	2,4
Neurochirurg	2,9	1,10

Tab. 5: Zeitdauer/ segmentierte Schicht, manuelle Segmentierung, zweiter Durchlauf

3.3 Semiautomatische Segmentierung

3.3.1 Zeit

3.3.1.1 Erster Durchlauf

Auch für den separaten Probanden (HNO-Chirurg II) der semi-automatischen Segmentierung wurden die durchschnittliche Zeitdauer (in Sekunden) und die dazugehörige Standardabweichung für alle Patientendatensätze berechnet.

Im ersten Durchlauf benötigte er im Mittel 120 sec für die Segmentierung eines Datensatzes. Die Standardabweichung lag bei 17,73 sec (Tab.6).

	<i>Zeitdauer pro Patientendatensatz (Mittelwert in sec)</i>	<i>Standardabweichung pro Patientendatensatz (in sec)</i>
HNO-Chirurg II	120	17,73

Tab. 6: Zeitdauer/ Patientendatensatz, semi-automatische Segmentierung, erster Durchlauf

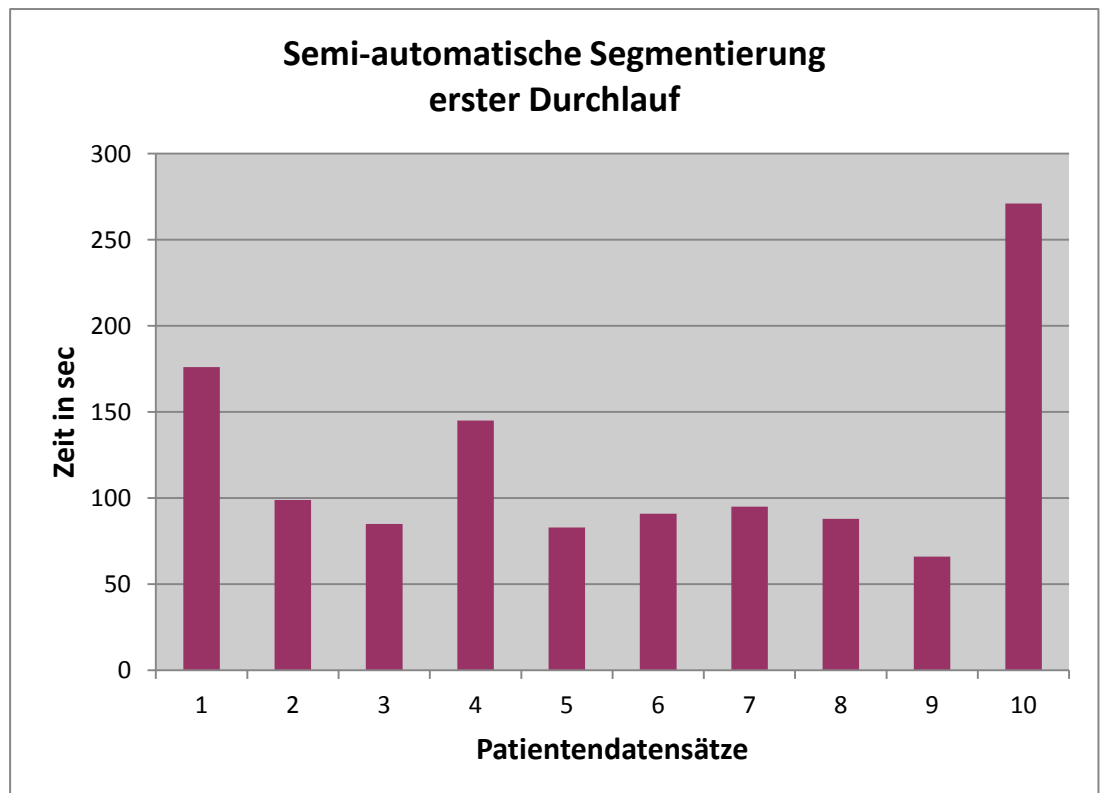


Abb.11: benötigte Zeit/ Datensatz, semi-automatische Segmentierung, erster Durchlauf

3.3.1.2 Zweiter Durchlauf

Im zweiten Durchlauf benötigte der Proband durchschnittlich 68 sec für die Segmentierung eines Datensatzes. Die Standardabweichung lag bei 62,75 sec (Tab.6).

	<i>Zeitdauer pro Patientendatensatz (Mittelwert in sec)</i>	<i>Standardabweichung pro Patientendatensatz (in sec)</i>
HNO-Chirurg II	68	62,75

Tab. 7: Zeitdauer/ Patientendatensatz, semi-automatische Segmentierung, zweiter Durchlauf

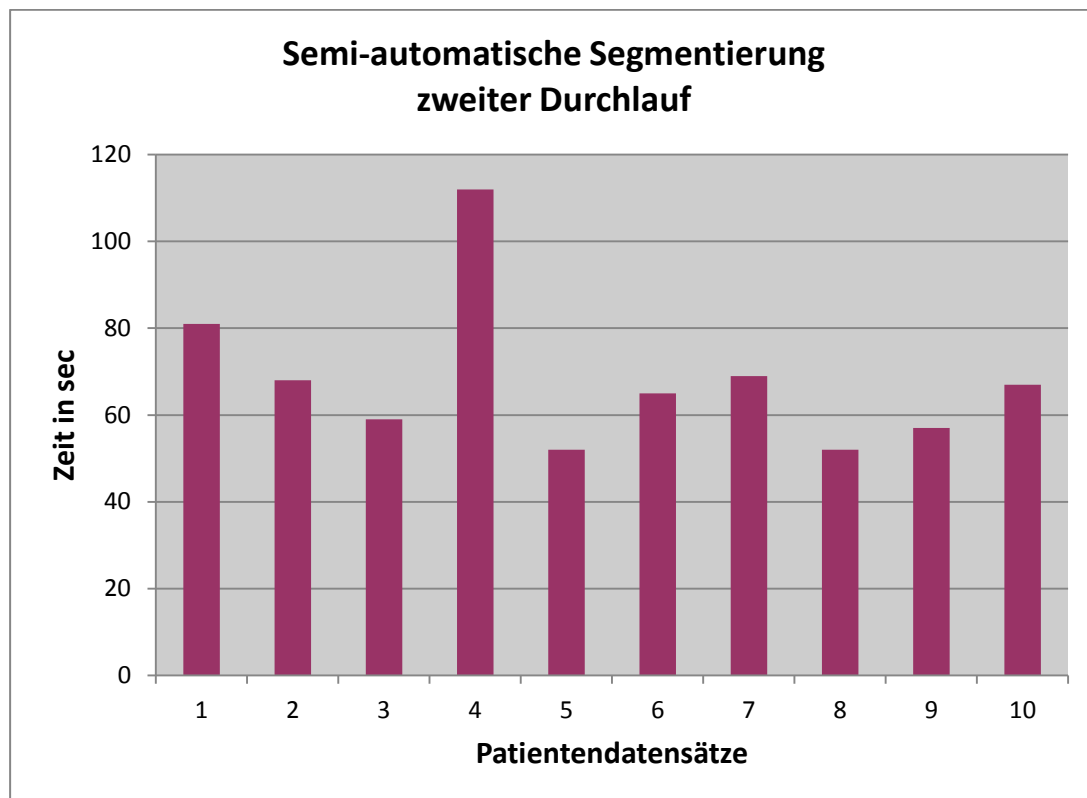


Abb. 12: benötigte Zeit/Datensatz, semi-automatische Segmentierung, zweiter Durchlauf

3.4 Vergleich manuelle und semi-automatische Segmentierung

3.4.1 Verlauf des Nervus facialis

3.4.1.1 Erster Durchlauf/ mittlere quadratische Abweichung (Varianz)

Für den ersten Durchlauf erbrachte ein Vergleich der manuellen mit der semi-automatischen Segmentierung folgende Ergebnisse: Die mittlere quadratische Abweichung der Oberflächenmodelle über die zehn Datensätze liegt im Durchschnitt bei 0,5 mm. Eine maximale interindividuelle Abweichung von 6,5 mm lag an der fehlerhaften Erkennung des mastoidalen Nervanteils in einem Datensatz. Die Höhe der Abweichung korrelierte nicht mit der Segmentierzeit.

Die semi-automatische Segmentierung führt zu Abweichungen in derselben Größenordnung wie der manuelle Ansatz. Im ersten Durchlauf lag die exakte quadratische mittlere Abweichung bei 0,46 mm, während die manuelle Form einen Wert von 0,54 mm aufwies (Abb.13).

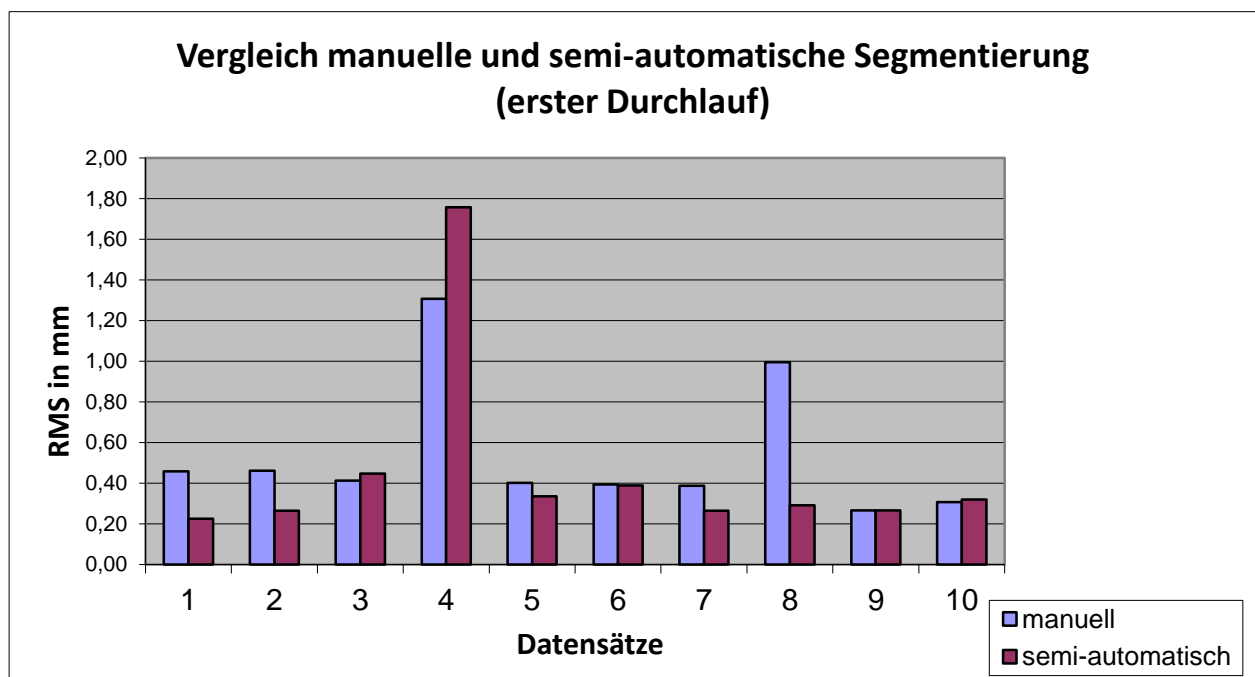


Abb. 13: Vergleich manuelle/ semi-automatische Segmentierung hinsichtl. Präzision, erster Durchlauf

Manuelle Segmentierung (Mittel n=10): 0,54 mm

Semi-automatische Segmentierung (Mittel n=10): 0,46 mm

3.4.1.2 Erster Durchlauf/ Standardabweichung

Die Standardabweichung der manuellen Segmentierung im ersten Durchlauf lag im Mittel bei 0,40 mm. Der Proband der semi-automatischen Segmentierung erreichte im Durchschnitt diesbezüglich einen Wert von 0,37 mm (Abb.14).

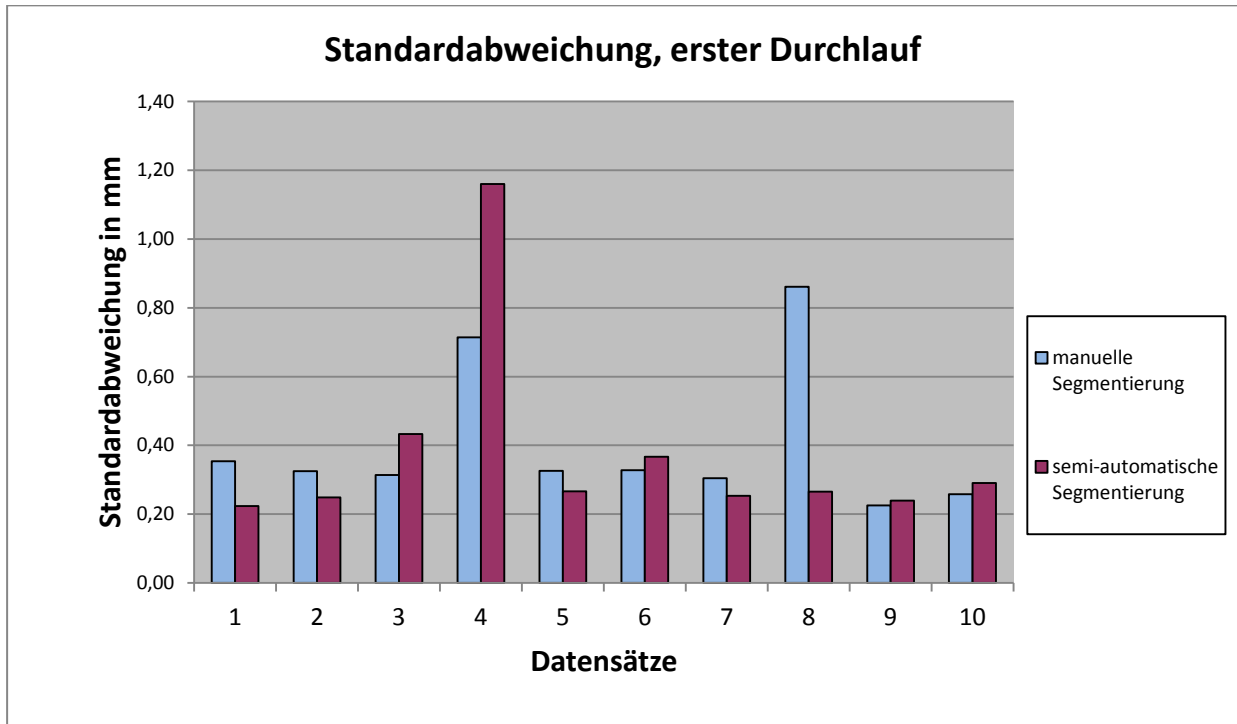


Abb. 14: Standardabweichung manuelle/ semi-automatische Segmentierung, erster Durchlauf

Manuelle Segmentierung (Mittel n=10): 0,40

Semi-automatische Segmentierung (Mittel n=10): 0,37

3.4.1.3 Zweiter Durchlauf/ mittlere quadratische Abweichung (Varianz)

Auch für den zweiten Durchlauf zeigte sich im Hinblick auf die mittlere quadratische Abweichung unter Betrachtung der exakten Werte eine geringere Abweichung von 0,37 mm für das semi-automatische Verfahren im Vergleich zu einer Abweichung von 0,52 mm für die manuelle Segmentierung (Abb.15).

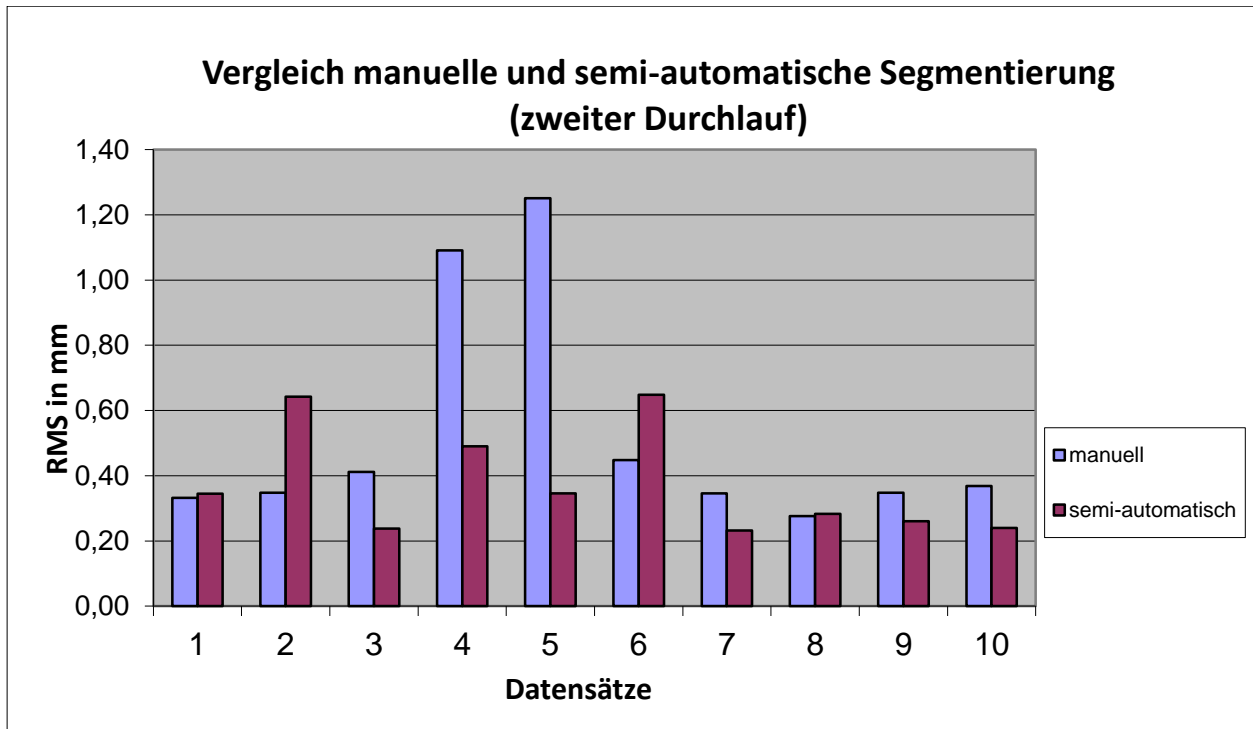


Abb. 15: Vergleich manuelle/ semi-automatische Segmentierung hinsichtl. Präzision, zweiter Durchlauf

Manuelle Segmentierung (Mittel n=10): 0,52 mm

Semi-automatische Segmentierung (Mittel n=10): 0,37 mm

3.4.1.4 Zweiter Durchlauf/ Standardabweichung

Im zweiten Durchlauf lag die Standardabweichung der manuellen Segmentierung bei erneut im Schnitt bei 0,40 mm, während die semi-automatische Segmentierung nur im Mittel um 0,31 mm von der Mastersegmentierung abwich (Abb.16).

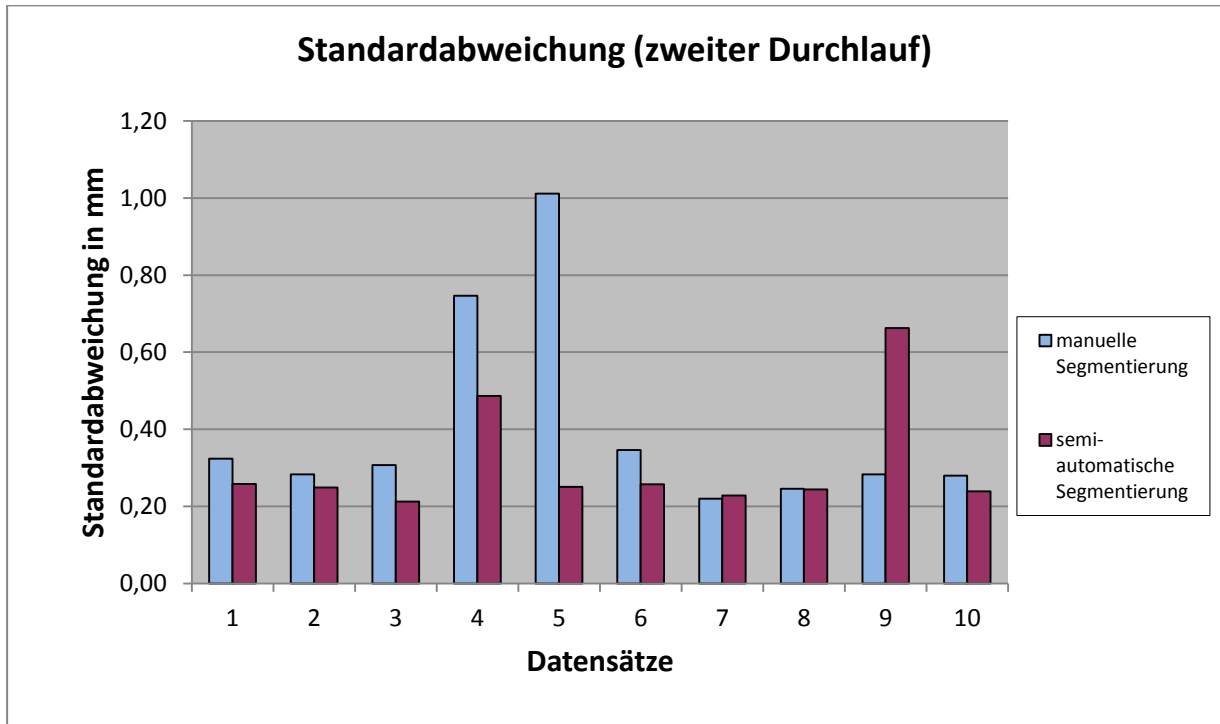


Abb. 16: Standardabweichung manuelle/ semi-automatische Segmentierung, zweiter Durchlauf

3.4.2 Zeit für die Segmentierung

3.4.2.1 Erster Durchlauf

Im ersten Durchlauf ergab sich bezüglich der Segmentierzeiten für alle Datensätze ein mittlerer Wert von 260 sec für die manuelle Segmentierung. Das semi-automatische Verfahren benötigte im Schnitt 120 sec und damit deutlich weniger als die Hälfte der Zeit (Tab.8/ Abb.17).

	<i>Manuelle Segmentierung (Mittelwert in sec)</i>	<i>Semi-automatische Segmentierung (Mittelwert in sec)</i>
Erster Durchlauf	260	120

Tab. 8: Vergleich mittlere Segmentierzeit/ Datensatz, erster Durchlauf

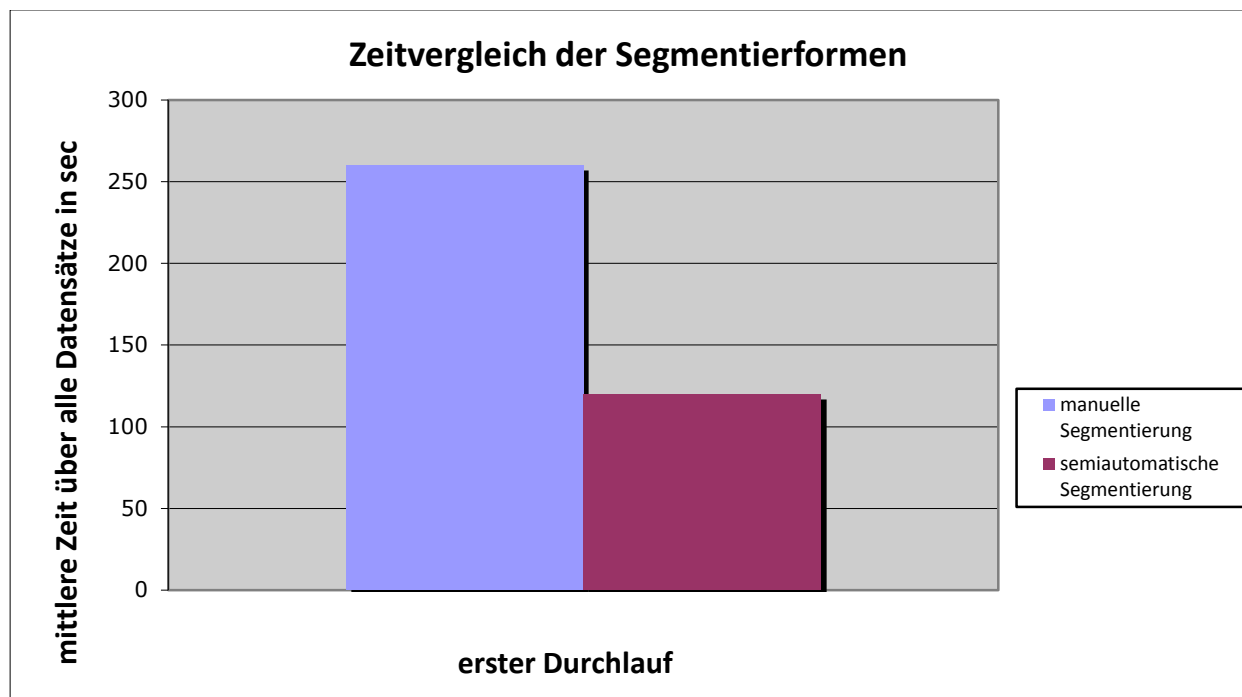


Abb. 17: Zeitvergleich der Segmentierformen, erster Durchlauf

3.4.2.2 Zweiter Durchlauf

Im zweiten Durchlauf lag für die manuelle Segmentierung die mittlere Zeit (in sec) über alle Datensätze bei 179 sec, während das semi-automatische Segmentierungsverfahren im Schnitt nur 68 sec in Anspruch nahm (Tab.9/ Abb.18).

	<i>Manuelle Segmentierung (Mittelwert in sec)</i>	<i>Semi-automatische Segmentierung (Mittelwert in sec)</i>
Zweiter Durchlauf	179	68

Tab. 9: Vergleich mittlere Segmentierzeit/ Datensatz, zweiter Durchlauf

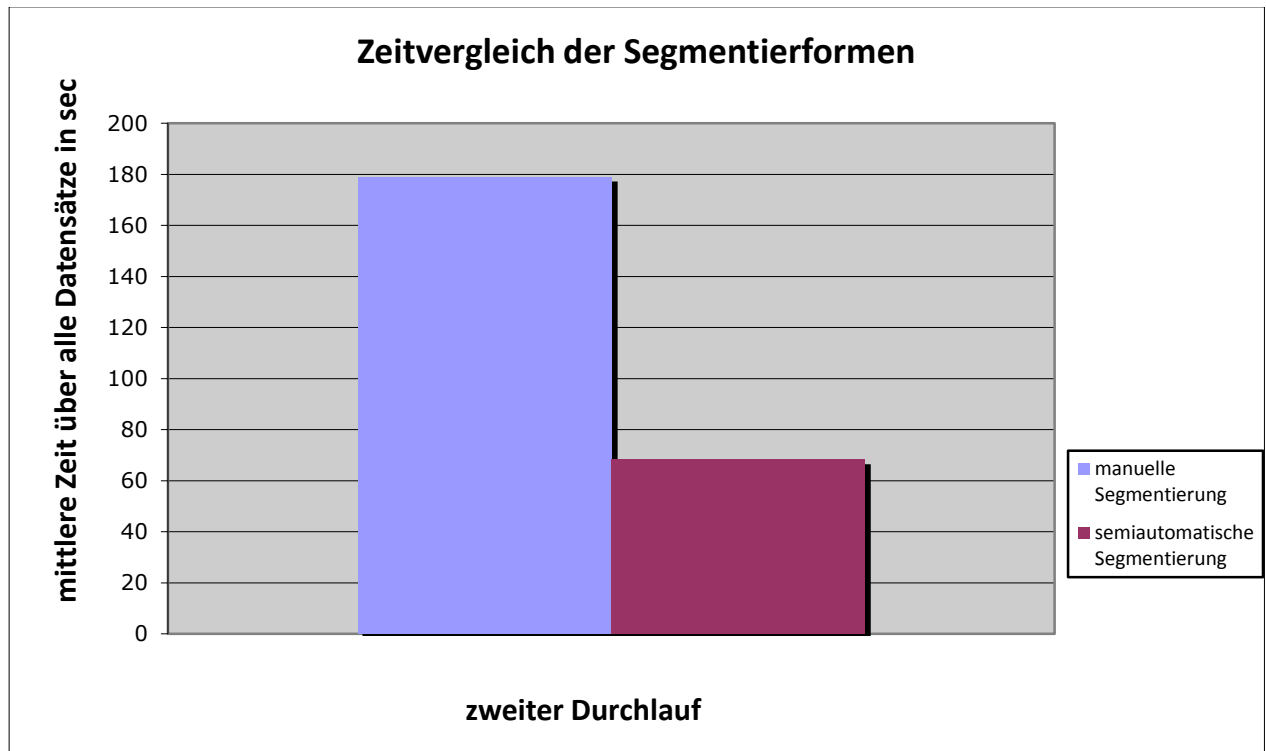


Abb. 18: Zeitvergleich der Segmentierformen, zweiter Durchlauf

3.4.2.3 Vergleich beider Durchläufe

Die Probanden sowohl der manuellen als auch der semi-automatischen Segmentierung konnten sich vom ersten zum zweiten Durchgang hin zeitlich verbessern (Abb.19).

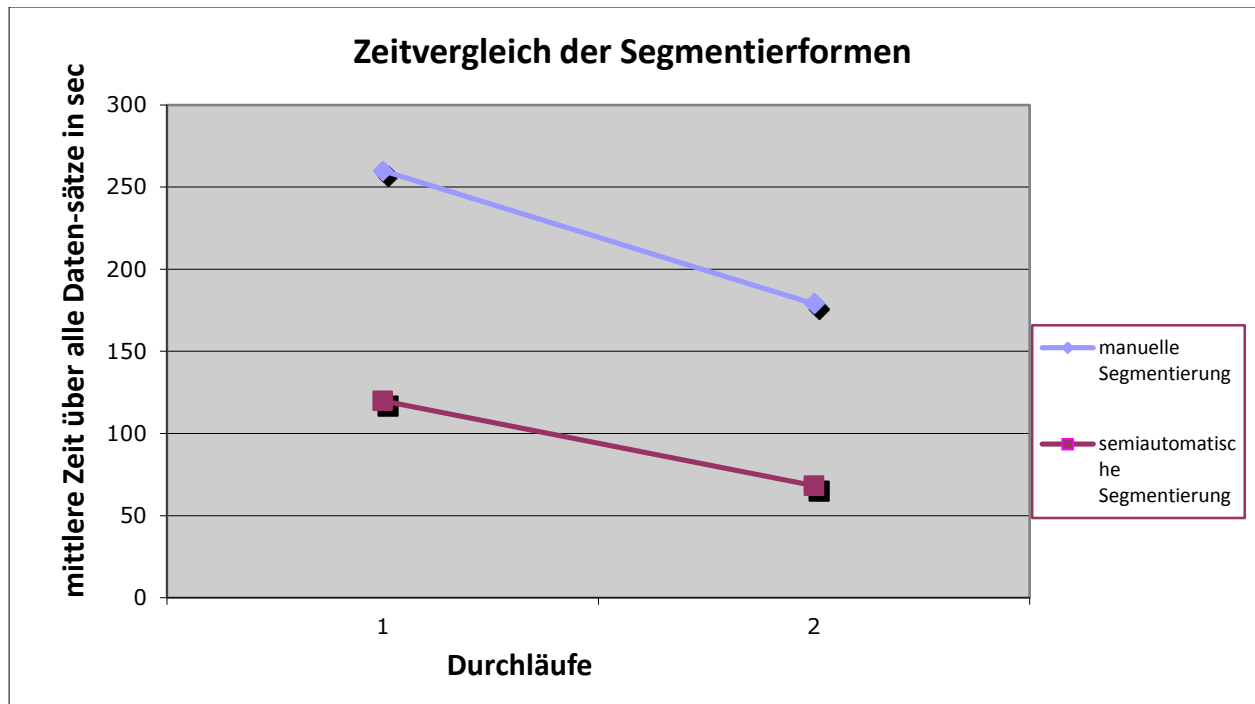


Abb. 19: Zeitvergleich manuelle/ semi-automatische Segmentierung

Für die einzelnen Probanden der manuellen Segmentierung ergaben sich folgende Zeiten:

Der HNO-Chirurg I benötigte im ersten Durchlauf eine Zeit von 157 sec pro Datensatz (Mittelwert in sec), während er im zweiten Durchlauf mit im Schnitt 192 sec pro Datensatz länger brauchte um die Datensätze zu segmentieren. Der Proband aus dem Bereich der Radiologie segmentierte im 1.Durchlauf durchschnittlich 104,9 sec pro Datensatz und benötigte ebenfalls im 2.Durchlauf mit durchschnittlich 117,4 sec pro Datensatz etwas mehr Zeit für seine Segmentierung.

Während der Teilnehmer aus dem Bereich der Anatomie im ersten Durchlauf im Mittel noch 647,9 sec pro Datensatz benötigte, konnte er im zweiten Durchlauf die Segmentierung mit einem Mittelwert von 280,8 sec pro Datensatz durchführen.

Der neurochirurgische Proband segmentierte im ersten Durchlauf im Durchschnitt 130,3 sec pro Datensatz und erzielte im zweiten Durchlauf im Mittel eine Zeit von 125,5 sec pro segmentiertem Datensatz (Tab.10).

Zeiten/Datensatz für die manuelle Segmentierung	Erster Durchlauf (Mittelwert in sec)	Zweiter Durchlauf (Mittelwert in sec)
HNO-Chirurg I	157	192
Radiologe	104,9	117,4
Anatom	647,9	280,8
Neurochirurg	130,3	125,5

Tab. 10: Segmentierzeiten/ Datensatz für die manuelle Segmentierung

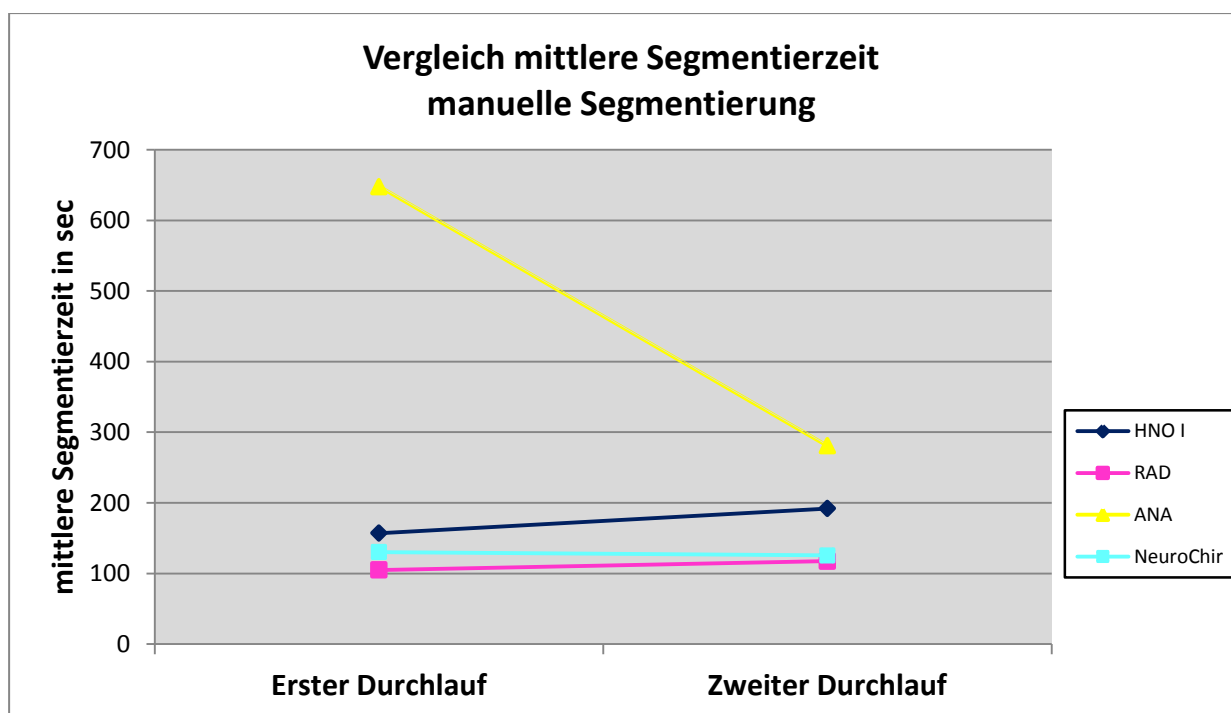


Abb. 20: Vergleich Segmentierzeiten, manuelle Segmentierung

Der Proband der semi-automatischen Segmentierung benötigte im ersten Durchlauf durchschnittlich 120 sec pro Datensatz, während er im zweiten Durchlauf im Mittel 68 sec pro Datensatz segmentierte.

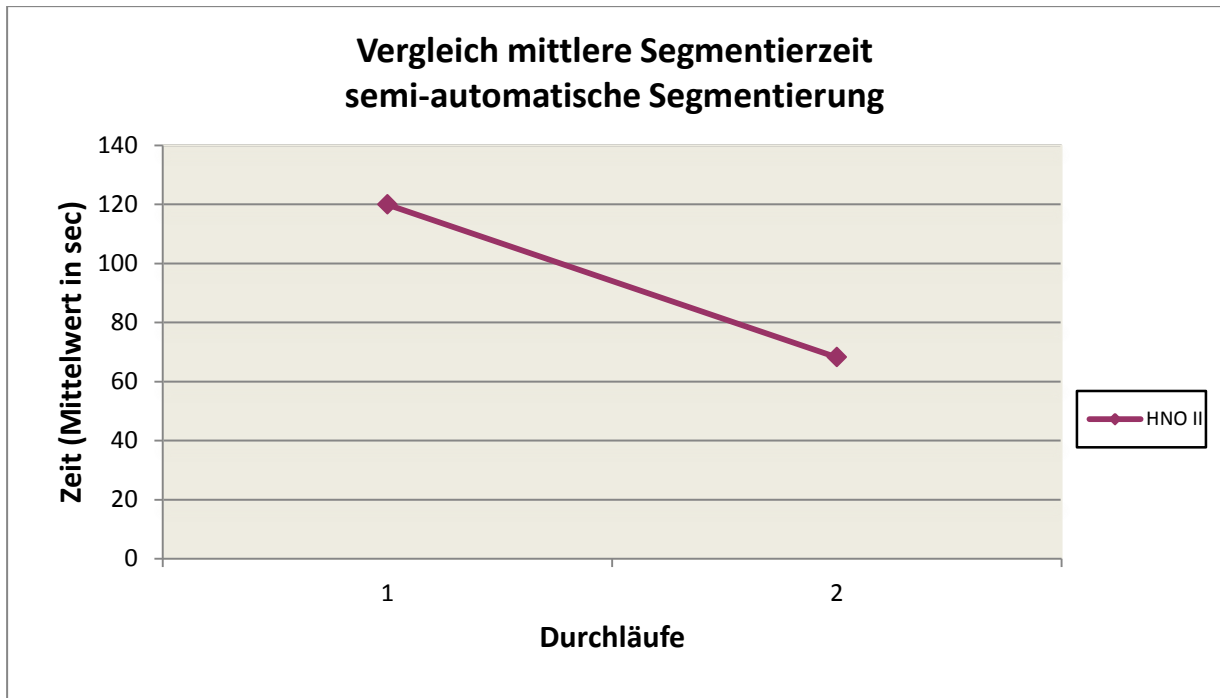


Abb. 21: Vergleich Segmentierzeiten, semi-automatische Segmentierung

3.5 Subjektives Segmentierungsvertrauen

3.5.1 Erster Durchlauf

Für jeden Studienteilnehmer wurden die Mittelwerte (in %) über die zehn Patientendatensätze berechnet. Für den HNO-Chirurg I ergab sich ein subjektives Vertrauen mit einem Mittelwert von 86 % im ersten Durchlauf. Die Standardabweichung lag bei 24,02%. Der Radiologe lag im Mittel bei 98,62 %, mit einer Standardabweichung von 8,18 %.

Der Anatom erreichte einen Mittelwert von 79,90 %, mit einer Standardabweichung von 25,45 %. Der Neurochirurg erzielte im Mittel 92,35 % mit einer Standardabweichung von 18,01 %.

	Subjektives Segmentierungsvertrauen (Mittelwerte in %)	Standardabweichung (in %)
HNO-Chirurg I	86	24,02
Radiologe	98,62	8,18
Anatom	79,90	25,45
Neurochirurg	92,35	18,01

Tab. 11: Subjektives Segmentierungsvertrauen (in %), erster Durchlauf

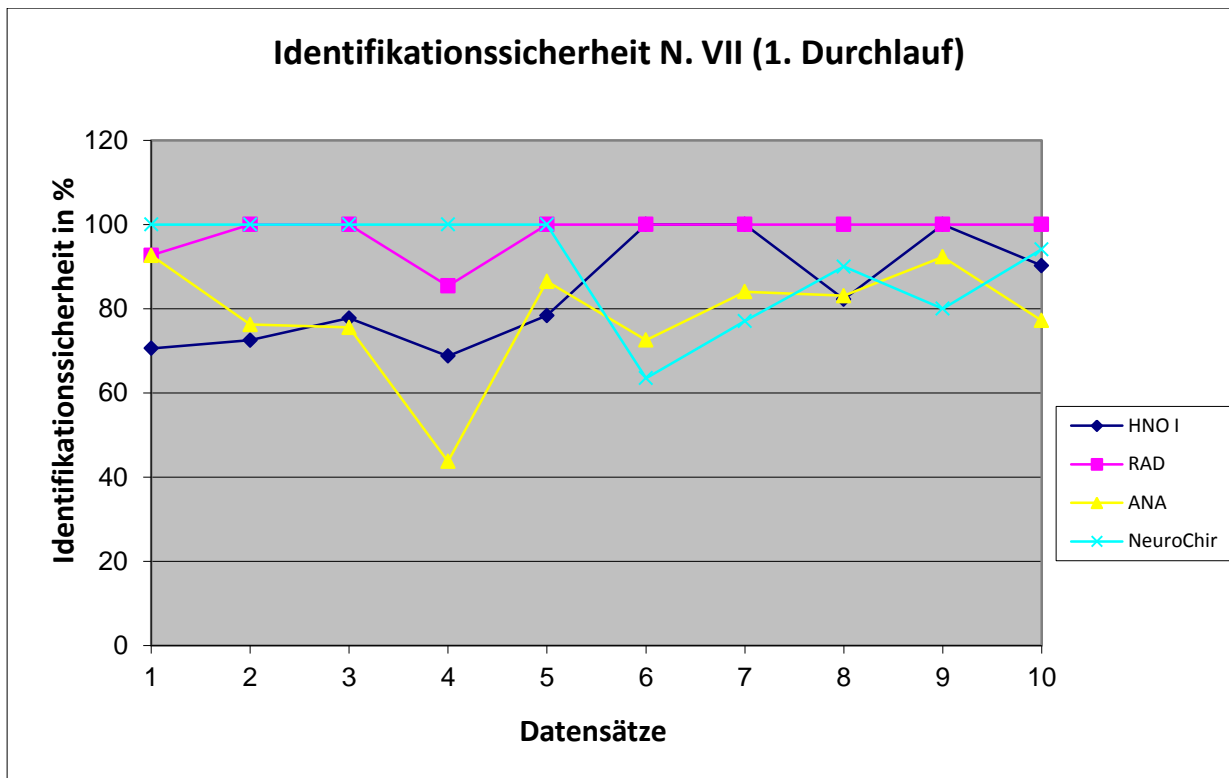


Abb. 22: Identifikationssicherheit manuelle Segmentierung, erster Durchlauf

3.5.2 Zweiter Durchlauf

Im zweiten Durchlauf betrug der Mittelwert für den HNO-Chirurgen (HNO-Chirurg I) 90 %, mit einer Standardabweichung von 19,70 %. Der Radiologe erreichte ein Mittel von 98,97 % mit einer Standardabweichung von 7,10 %. Der Anatom lag bei einem Mittelwert von 77,68 %, mit einer Standardabweichung von 30,27 %. Und der Neurochirurg erzielte einen Mittelwert von 97,14 %, mit einer Standardabweichung von 11,61 %.

	<i>Subjektives Segmentierungsvertrauen (Mittelwerte in %)</i>	<i>Standardabweichung (in %)</i>
HNO-Chirurg I	90	19,70
Radiologe	98,97	7,10
Anatom	77,68	30,27
Neurochirurg	97,14	11,61

Tab. 12: Subjektives Segmentierungsvertrauen (in %), zweiter Durchlauf

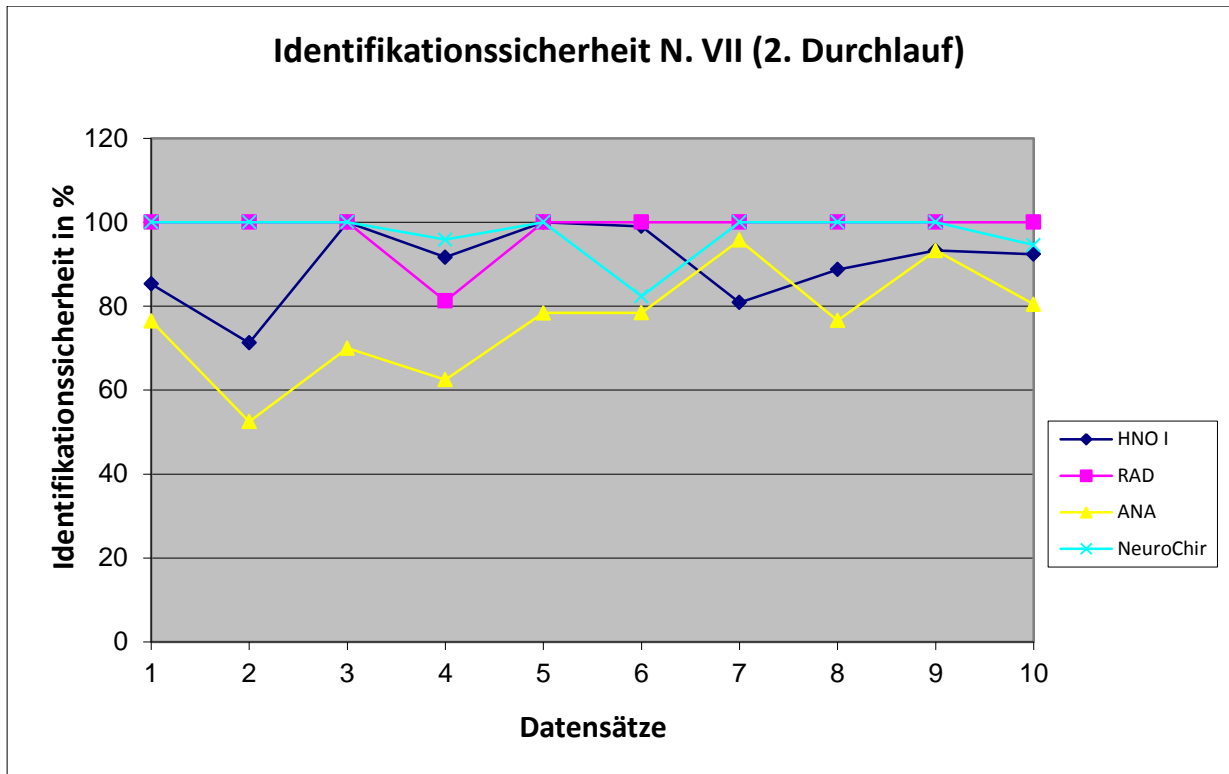


Abb. 23: Identifizierungssicherheit, manuelle Segmentierung, zweiter Durchlauf

3.5.3 Vergleich beider Durchläufe

Ein Vergleich der Prozentangaben zur Sicherheit beider Durchgänge zeigt, dass die Probanden diesbezüglich keine wesentlichen Zuwächse empfanden. Die Prozentangaben zur Sicherheit unterschieden sich in beiden Durchgängen kaum.

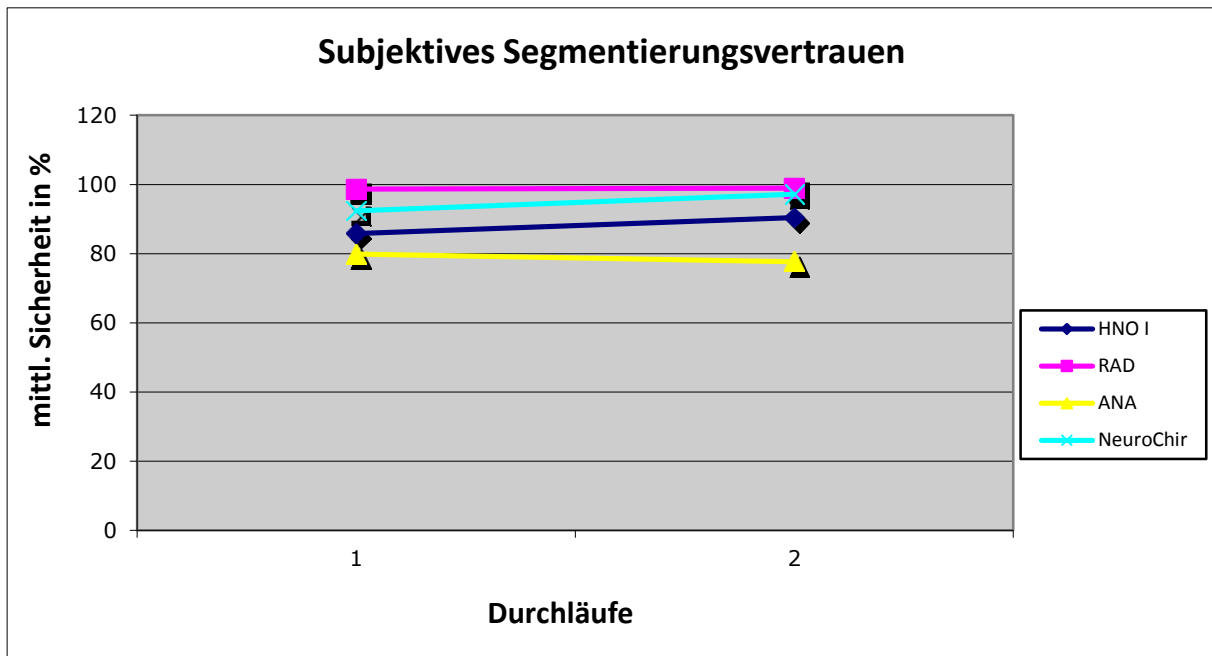


Abb. 24: Vergleich Subjektives Segmentierungsvertrauen (erster versus zweiter Durchlauf)

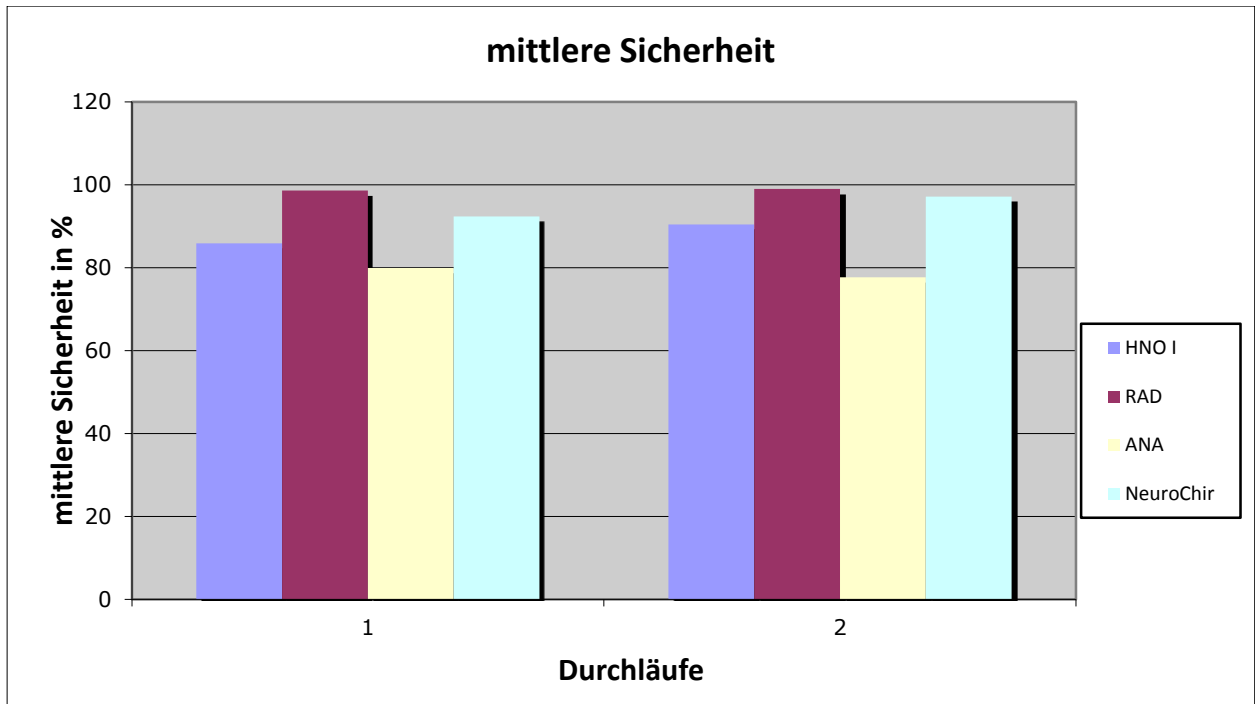


Abb. 25: Vergleich mittlere Sicherheit (erster versus zweiter Durchlauf)

4. Schlussfolgerung

4.1 Manuelle Segmentierung

4.1.1 Segmentierzeiten

In der Probandengruppe der manuellen Segmentierung zeigten sich hinsichtlich der Segmentierzeiten deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Teilnehmern.

Die Inhomogenität der Zeit, die die Probanden benötigten, lässt sich in erster Linie auf die unterschiedlichen Fachrichtungen der Teilnehmer zurückführen. Als wesentlicher Faktor ist in diesem Zusammenhang der individuelle klinische Erfahrungsschatz zu sehen. Der Anatom ist aufgrund seiner Tätigkeit mit der Beurteilung bzw. Auswertung von CT-Bildern des Schädels nicht in dem Maße vertraut wie die Kollegen der anderen Fachrichtungen (HNO, Radiologie, Neurochirurgie). Letztere interpretieren CT-Bilder der lateralen Schädelbasis im Rahmen ihrer klinischen Tätigkeit regelmäßig und in großer Menge, so dass sie diesbezüglich über eine erhebliche Routine verfügen.

Dieser Sachverhalt stellte sich insbesondere bei Betrachtung der Segmentierzeiten im ersten Durchlauf dar. Es zeigte sich, dass der Proband aus dem Bereich der Anatomie erheblich mehr Zeit benötigte um den Nervus facialis in den einzelnen CT-Schichten zu identifizieren als die Studienteilnehmer aus den klinischen Fächern. Im zweiten Durchlauf konnte sich der Anatom-trotz eines zeitlichen Abstandes von zehn Tagen zum ersten Durchlauf-hinsichtlich der Segmentierzeit deutlich verbessern. Trotz des zeitlichen Abstandes hat offensichtlich ein Lerneffekt stattgefunden. Dieser Effekt lässt sich bei den restlichen Probanden nicht nachweisen, offensichtlich war bei ihnen die Plateaukurve der Lernkurve bereits im Vorfeld durch die klinische Erfahrung mit CT-Bildern erreicht.

Der HNO-Chirurg I erzielte mit durchschnittlich fünf sec pro Schicht sogar ein (gerinfügig) schlechteres Ergebnis als im ersten Durchlauf (3,6 sec). Auch der Radiologe lag im zweiten Durchlauf mit 3,1 sec über dem im ersten Durchlauf erzielten Wert (2,8 sec).

Bei dem Probanden aus dem Bereich der Anatomie wiederum zeigte sich auch im Hinblick auf die Segmentierzeit pro CT-Schicht eine deutliche Verbesserung zwischen dem ersten und zweiten Durchlauf (17,3 sec versus 6,7 sec).

Dieses Bild stellt sich ebenso bei Betrachtung der Standardabweichungen dar. So weisen sie bei den klinischen Probanden eine geringe Variabilität auf (HNO-Chirurg I:

0,43 sec versus 5,63 sec; Radiologe: 2,30 sec versus 2,56 sec; Neurochirurg: 0,94 sec versus 1,10 sec), während sie beim Anatom eine vergleichsweise hohe Differenz zwischen beiden Durchläufen aufzeigen (17,2 sec versus 2,4 sec). Die Werte für die Standardabweichung unterstreichen den Lerneffekt des Anatomen und die Segmentierungszeiten auf Plateauniveau der restlichen Probanden. Über die Zunahme der Segmentierungszeit des HNO-Chirurgen (HNO-Chirurg I) lässt sich nur spekulieren, unter Umständen war dieser von der Absicht getrieben beim zweiten Durchgang noch genauer zu segmentieren.

4.1.2 Präzision/Abweichungen (manuelle Segmentierung)

Für die Auswertung der manuellen Segmentierung hinsichtlich der Präzision wurden die Abweichungen von der Referenzsegmentierung des 3D-Modells des Nervus facialis bestimmt. Die mittlere quadratische Abweichung über die zehn Datensätze lag im Durchschnitt bei 0,5 mm.

Eine maximale interindividuelle Abweichung von 6,5 mm lag an der fehlerhaften Erkennung des mastoidalen Nervanteils in Datensatz 4, der durch Artefakte in diesem Bereich schwer zu interpretieren war.

Wenn der Nervenkanal im Mastoid richtig erkannt wurde, lagen die Abweichungen also im Submillimeterbereich. Weiterhin ist zu bemerken dass die hohen Abweichungen innerhalb der Datensätze im tympanalen Verlauf des Nervs gemessen wurden, da dort häufig eine klare Knochenabgrenzung fehlte und der Verlauf innerhalb der axialen CT-Schichten schwieriger abgrenzbar war.

4.2 Korrelationsanalyse

4.2.1 manuelle Segmentierung

Eine Korrelationsanalyse (zur Prüfung des Zusammenhangs zwischen Segmentierzeit und Segmentierpräzision) zeigte für die manuelle Segmentierung lediglich Korrelationskoeffizienten nach Pearson von 0,31 für den ersten Durchlauf (Abb.26) bzw. von 0,20 für den zweiten Durchlauf (Abb.27) sowie für beide Durchläufe zusammengenommen (Abb.28). Demnach konnte für die Probanden dieser Segmentierform kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhe der Abweichung (in mm) und der benötigten Segmentierzeit (in sec) dargestellt werden.

Correlations

		max. betragliche Abweichung [mm], erster Durchlauf	Mittelwert aus 4 Probanden für benötigte Zeit/Datensatz [sec], erster Durchlauf
max. betragliche Abweichung [mm], erster Durchlauf	Pearson Correlation	1	.310
	Sig. (2-tailed)		.384
	N	10	10
Mittelwert aus 4 Probanden für benötigte Zeit/Datensatz [sec], erster Durchlauf	Pearson Correlation	.310	1
	Sig. (2-tailed)	.384	
	N	10	10

GGraph

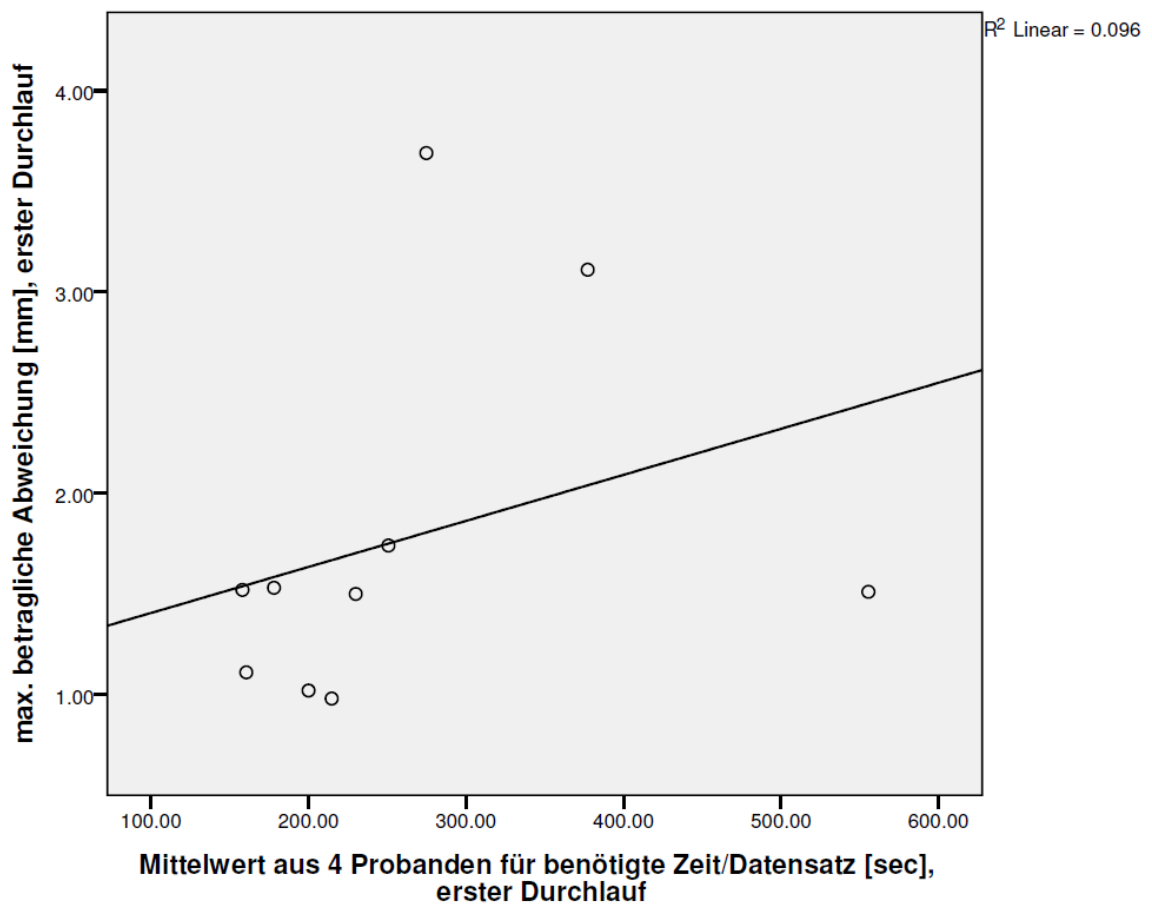


Abb.26: Korrelationsanalyse, manuelle Segmentierung, erster Durchlauf

Correlations

		max. betragliche Abweichung [mm], zweiter Durchlauf	Mittelwert aus 4 Probanden für benötigte Zeit/Datensatz [sec], zweiter Durchlauf
max. betragliche Abweichung [mm], zweiter Durchlauf	Pearson Correlation	1	.200
	Sig. (2-tailed)		.579
	N	10	10
Mittelwert aus 4 Probanden für benötigte Zeit/Datensatz [sec], zweiter Durchlauf	Pearson Correlation	.200	1
	Sig. (2-tailed)	.579	
	N	10	10

GGraph

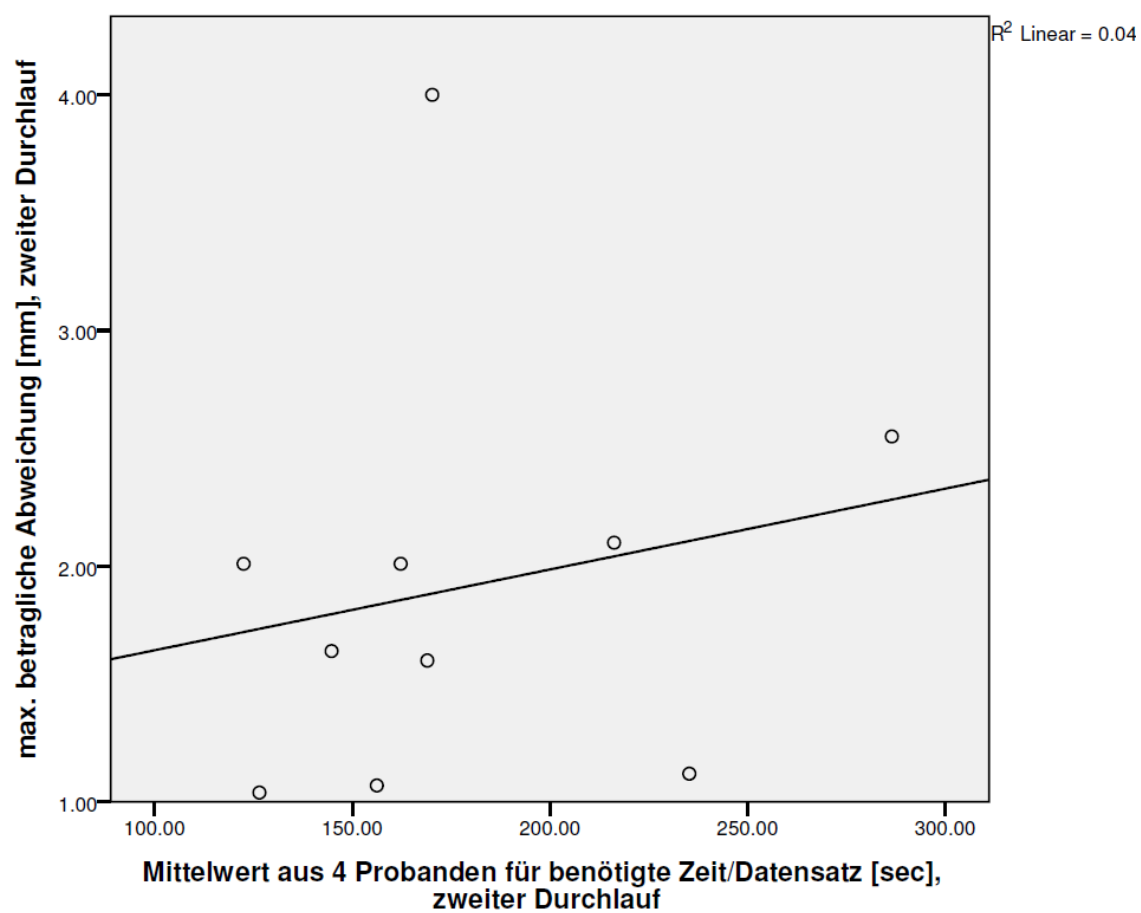


Abb.27: Korrelationsanalyse, manuelle Segmentierung, zweiter Durchlauf

Correlations

		abs_ abweichung	Mittelwert aus 4 Probanden für benötigte Zeit/Datensatz [sec], beide Durchläufe
abs_abweichung	Pearson Correlation	1	.200
	Sig. (2-tailed)		.399
	N	20	20
Mittelwert aus 4 Probanden für benötigte Zeit/Datensatz [sec], beide Durchläufe	Pearson Correlation	.200	1
	Sig. (2-tailed)	.399	
	N	20	20

GGraph

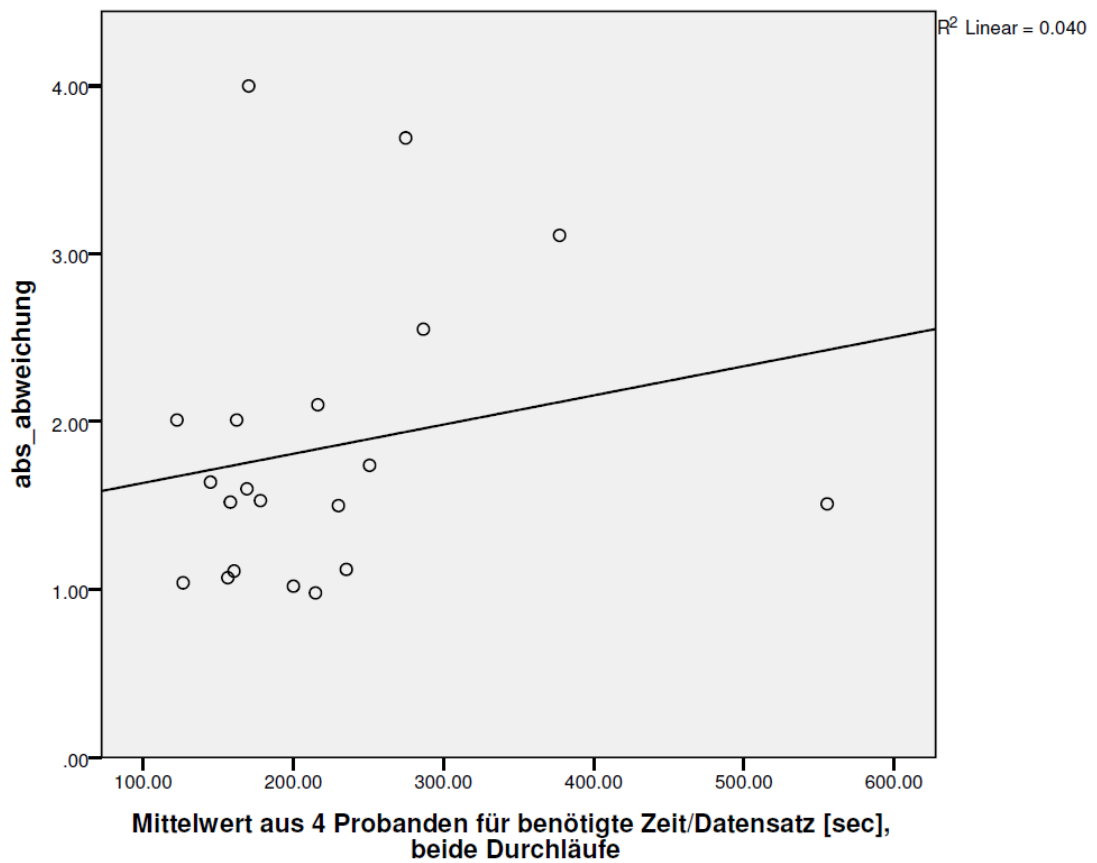


Abb.28: Korrelationsanalyse, manuelle Segmentierung, beide Durchläufe

4.2.2 semi – automatische Segmentierung

Für die semi-automatische Segmentierung ergaben sich Korrelationskoeffizienten nach Pearson von 0,11 für den ersten Durchlauf (Abb.29) und von 0,81 für den zweiten Durchlauf (Abb.30) sowie 0,29 für beide Durchläufe (Abb.31). Nur für den zweiten Durchlauf konnte eine Korrelation zwischen Segmentierzeit und Segmentierpräzision - diese sogar auf Signifikanzniveau ($p < 0,01$) - nachgewiesen werden: je mehr Zeit dabei der Proband für seine Segmentierung in Anspruch nahm, desto größer war seine Abweichung vom Referenzverlauf.

Allerdings muss man dieses Resultat im Kontext der Ergebnisse des ersten Durchlaufs bzw. aus beiden Durchläufen betrachten. Nur ein Proband führte diese Segmentierform aus und die geringe Datenmenge wies im zweiten Durchlauf eine sehr geringe Streuung auf, was möglicherweise im Analysebild eine fraglich hohe Korrelation auf Signifikanzniveau zu Tage brachte.

Generell muss man im Hinblick auf die Resultate der Korrelationsanalyse für beide Segmentierformen davon ausgehen, dass die zur Verfügung stehende Datenmenge zu gering war, um einen konkreten Zusammenhang zwischen der Segmentierzeit und der Segmentierpräzision belegen zu können. Letztlich hätte die Zahl der Probanden entsprechend höher gewählt werden müssen um durchweg eine Korrelation auf Signifikanzniveau darstellen zu können.

Correlations

		max. betragliche Abweichung [mm], erster Durchlauf	benötigte Zeit/Datensatz [sec], erster Durchlauf
max. betragliche Abweichung [mm], erster Durchlauf	Pearson Correlation	1	.107
	Sig. (2-tailed)		.769
	N	10	10
benötigte Zeit/Datensatz [sec], erster Durchlauf	Pearson Correlation	.107	1
	Sig. (2-tailed)	.769	
	N	10	10

GGraph

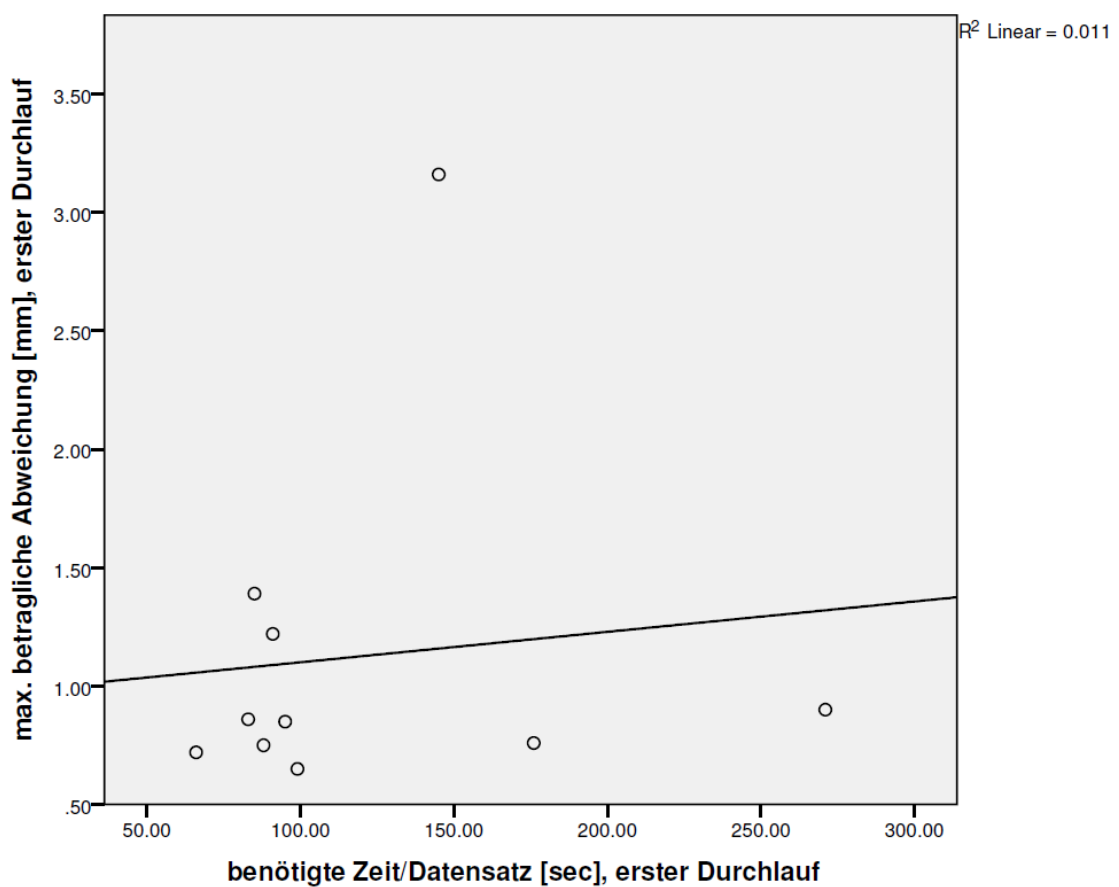


Abb.29: Korrelationsanalyse, semi – automatische Segmentierung, erster Durchlauf

Correlations

		max. betragliche Abweichung [mm], zweiter Durchlauf	benötigte Zeit/Datensatz [sec], zweiter Durchlauf
max. betragliche Abweichung [mm], zweiter Durchlauf	Pearson Correlation	1	.807
	Sig. (2-tailed)		.005
	N	10	10
benötigte Zeit/Datensatz [sec], zweiter Durchlauf	Pearson Correlation	.807	1
	Sig. (2-tailed)	.005	
	N	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

GGraph

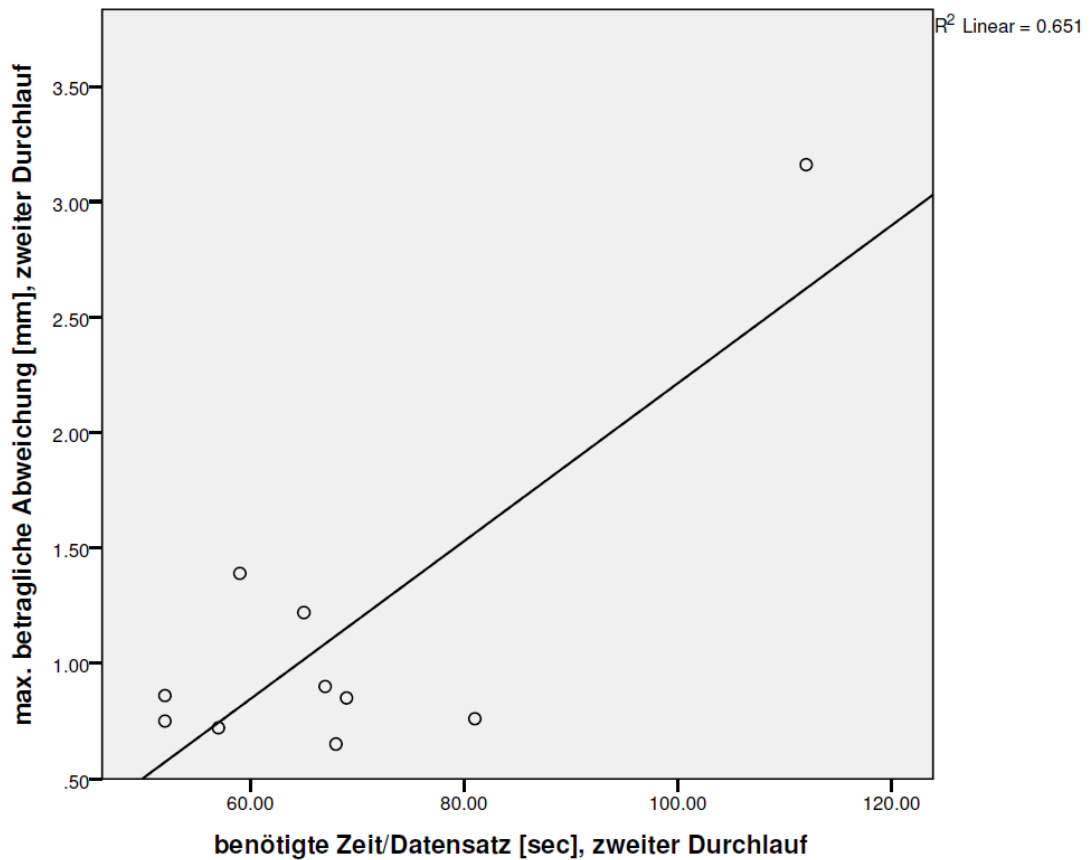


Abb.30: Korrelationsanalyse, semi – automatische Segmentierung, zweiter Durchlauf

Correlations

		benötigte Zeit/Datensatz [sec], beide Durchläufe	abs_abweichung_semi
benötigte Zeit/Datensatz [sec], beide Durchläufe	Pearson Correlation	1	.288
	Sig. (2-tailed)		.218
	N	20	20
abs_abweichung_semi	Pearson Correlation	.288	1
	Sig. (2-tailed)	.218	
	N	20	20

GGraph

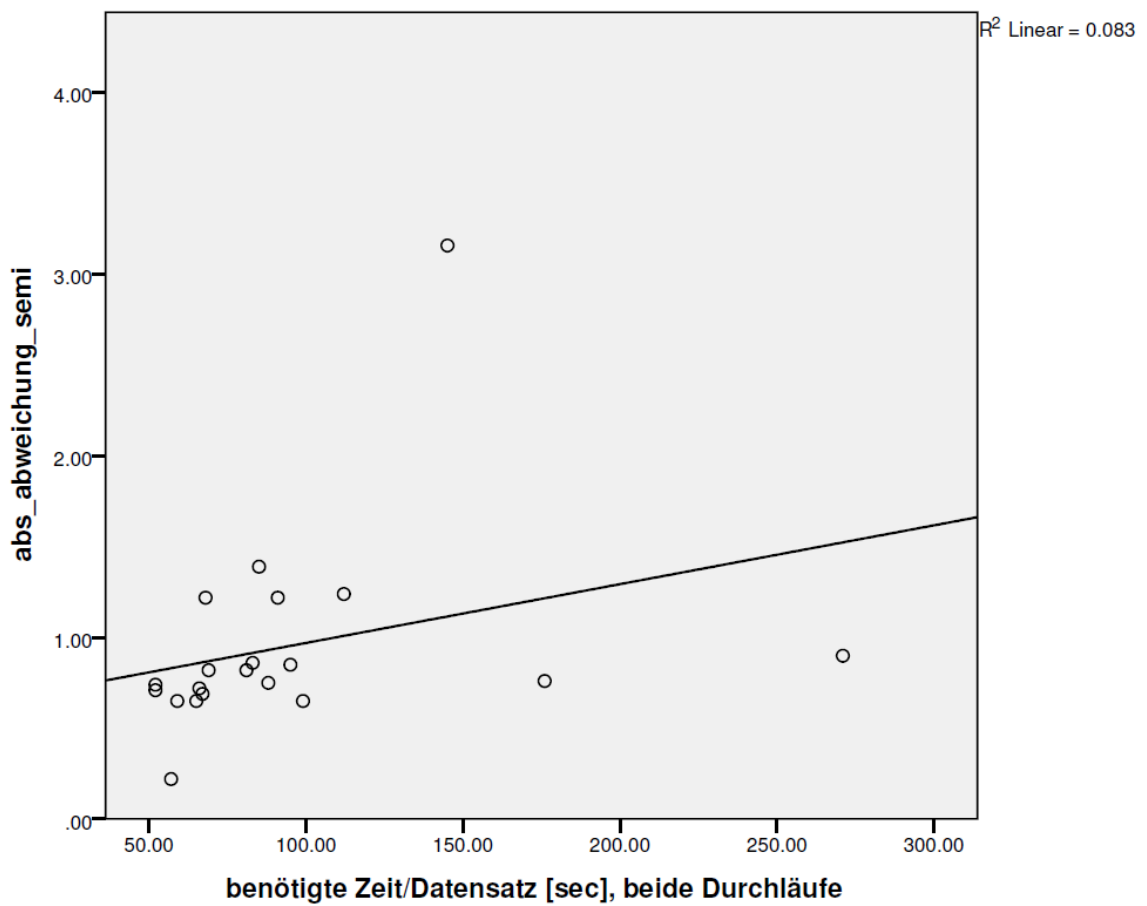


Abb.31: Korrelationsanalyse, semi – automatische Segmentierung, beide Durchläufe

4.3 Semi-automatische Segmentierung

4.3.1 Segmentierzeiten

Auch für den Probanden (HNO-Chirurg II) der semi-automatischen Segmentierung wurden die durchschnittliche Zeitdauer (in Sekunden) und die dazugehörige Standardabweichung für alle Patientendatensätze berechnet.

Im ersten Durchlauf benötigte er im Mittel 120 sec für die Segmentierung eines Datensatzes. Die Standardabweichung lag bei 17,73 sec.

Im zweiten Durchlauf benötigte der Proband durchschnittlich 68 sec für die Segmentierung eines Datensatzes. Die Standardabweichung lag bei 62,75 sec. Diese Zahlen deuten darauf hin, dass bei dem Probanden ein deutlicher Lerneffekt/Übungseffekt zwischen den beiden Durchläufen erkennbar wurde. Dennoch ist eine höhere Varianz im zweiten Durchlauf anhand der Standardabweichung erkennbar. Der Lerneffekt mit kürzeren Segmentierzeiten im zweiten Versuchsteil wurde offensichtlich in einigen Fällen durch zeitaufwendiges Segmentieren aufgebraucht. Die unter 4.1.3 aufgeführte Korrelationsanalyse zeigte jedoch, dass eine längere Segmentierzeit die Genauigkeit nicht verbesserte.

4.3.2 Abweichungen (semi-automatische Segmentierung)

Auch für die semi-automatische Segmentierung wurden die Abweichungen von der Referenzsegmentierung des 3D-Modells des Nervus facialis bestimmt. Die mittlere quadratische Abweichung der Nervenverläufe über die zehn Datensätze lag bei 0,42 mm. Die semi-automatische Segmentierung eignete sich für den gesamten Verlauf des Gesichtsnervs. Auffällig war die höhere Stützstellendichte im tympanalen Anteil, da der Verlauf dort um ca. 90° umbiegt.

4.4 Vergleich manuelle und semiautomatische Segmentierung

4.4.1 Vergleich der Abweichungen

Bei Betrachtung der Messwerte aus beiden Segmentierungsmodi (manuell/semi-automatisch) zeigte sich, dass der Verlauf des Nervus facialis nahezu gleich war. Die Abweichung zur Mastersegmentierung bei der manuellen Form lag im ersten Durchlauf im Mittel bei 0,54 mm, diejenige der semi-automatischen Form bei 0,46 mm. Die Standardabweichungen boten folgende Werte (manuell: 0,40 mm versus semi-automatisch: 0,37 mm). Auch im zweiten Durchlauf stellte sich ein vergleichbares Bild dar. Die Abweichung zur Mastersegmentierung für den manuellen Segmentiervorgang lag durchschnittlich bei 0,52 mm und für den semi-automatischen Modus bei 0,37 mm. Die Standardabweichungen wiesen wiederum ähnliche Werte auf (manuell: 0,40 mm versus semi-automatisch: 0,31 mm).

Anhand dieser Zahlen lässt sich belegen, dass es in unserer Studie möglich war, unter Anwendung eines semi-automatischen Ansatzes im gleichen Genauigkeitsbereich zu arbeiten wie mit der herkömmlichen manuellen Form. Die im System enthaltene Möglichkeit, hinsichtlich der Stützstellendichte variieren zu können, erwies sich in diesem Zusammenhang als sehr hilfreich. Insbesondere bei der Bearbeitung von Arealen, in welchen der Nervus facialis nur schwer von umgebenden Strukturen abzugrenzen war (besonders tympanaler Verlauf), zeigte sich der Vorteil dieser Anwendungsfunktion. Dem Probanden wurde somit die Orientierung in kritischen Verlaufsregionen des Nervs erleichtert.

Allerdings sei hierbei noch kritisch angemerkt, dass lediglich ein Proband aus dem Bereich der HNO-Chirurgie (HNO-Chirurg II) mit viel Segmentierungserfahrung das System testete. So könnte nicht zuletzt alleine seine Expertise grundlegend für die höhere Präzision im semi-automatischen Segmentierungsvorgang sein.

4.4.2 Vergleich der Segmentierzeiten

Der Vergleich der beiden Segmentierverfahren hinsichtlich der Zeit im ersten Durchlauf zeigte für die manuelle Segmentierung im Mittel einen Wert von 260 sec, während die semi-automatische Form durchschnittlich 120 sec in Anspruch nahm. Im zweiten Durchlauf benötigten die Probanden des manuellen Ansatzes im Mittel 179 sec, der Anwender der semi-automatischen Segmentierung durchschnittlich 68 sec.

Somit konnten sich die Probanden sowohl der manuellen als auch der semi-automatischen Segmentierung vom ersten zum zweiten Durchgang hin zeitlich verbessern. Damit wurde ein Lerneffekt trotz der dazwischenliegenden Pause von zehn Tagen zwischen beiden Segmentierungen erkennbar.

Die Ergebnisse gaben außerdem einen Hinweis darauf, dass das Computer-unterstützte, semi-automatische Verfahren dem Nutzer eine schnellere Abwicklung der Segmentierungen ermöglichte. Die Option, entlang eines zu bearbeitenden Patientendatensatzes Stützstellen anbringen zu können, trug dabei wohl entscheidend zur Beschleunigung des Arbeitsprozesses bei. Der Vergleich der Zeiten beider Durchläufe erlaubt die Annahme, dass die wiederholte Durchführung der Verfahren die zeitlichen Unterschiede noch deutlicher werden lässt.

4.5 Subjektives Segmentierungsvertrauen

4.5.1 Manuelle Segmentierung

Das subjektive Segmentierungsvertrauen wurde nur in der Gruppe der manuellen Segmentierung untersucht. Dieser Messparameter wurde von den Leitern der Studie gewählt, um von den Teilnehmern aus den unterschiedlichen Fachrichtungen eine Einschätzung bezüglich der Praktikabilität der zur Segmentierung verwendeten Software zu bekommen. Der Studienkonzeption lag die Vorstellung zugrunde, dass sich die unterschiedliche Praxiserfahrung der Teilnehmer bezüglich des Segmentierens von Schädel-CT-Bildern auch im Hinblick auf diesen Parameter widerspiegeln würde.

Bei der semi-automatischen Segmentierung wurde dagegen darauf verzichtet, das subjektive Segmentierungsvertrauen zu bestimmen bzw. zu messen. Dies lag in der Tatsache begründet, dass der eingesetzte Proband aufgrund seiner langjährigen Tätigkeit im Bereich der HNO-Chirurgie eine umfangreiche Expertise auf diesem Gebiet aufwies. Die Studienleiter waren daher bereits vor Versuchsbeginn der Annahme, der Proband verfüge über ein hohes subjektives Segmentierungsvertrauen.

Die Studienteilnehmer der manuellen Segmentierung gaben diesbezüglich im ersten Durchlauf hohe Prozentsätze an (HNO-Chirurg I: 86%, Radiologe: 98%, Neurochirurg: 92%; Angaben als Mittelwerte). Auch der Proband aus der Anatomie gab im Mittel einen guten Wert von 80% an. Das zeigt, dass er trotz fehlender klinischer Praxis unter Nutzung der Segmentierungssoftware subjektiv sicher segmentierte.

Im zweiten Durchlauf machten die Probanden der klinischen Fächer etwas höhere Prozentangaben hinsichtlich des subjektiven Segmentierungsvertrauens (HNO-Chirurg I: 90%, Radiologe: 99%, Neurochirurg: 97%; Angaben als Mittelwerte). Der Anatom stagnierte mit im Mittel 78% in etwa beim Prozentwert des ersten Durchlaufs.

Zusammengefasst gab es keine wesentlichen Unterschiede zwischen den klinischen Probanden und zwischen den Durchläufen innerhalb der Probanden. Das könnte bedeuten, dass die in der Studie verwendete Segmentierungssoftware den Anwendern eine Arbeitsplattform bietet, auf welcher die Identifizierung des Nervus facialis als subjektiv gut umsetzbar eingeschätzt wird

Bezug zu den Hypothesen

I Es ist möglich in hochauflösenden Computertomographien (nach speziellem Felsenbeinprotokoll) den Nervus Facialis manuell reproduzierbar zu identifizieren.

Die Ergebnisse der Arbeit haben mit einer Abweichung von durchschnittlich 0,53 mm gezeigt, dass der Nervus facialis reproduzierbar manuell segmentierbar ist. Der Vergleich erfolgte dabei zu einem von einem Expertenteam interdisziplinär festgelegten Fazialisverlauf für jeden in dieser Studie verwendeten CT-Datensatz.

II Es besteht kein klinisch relevanter Unterschied zwischen der semi-automatischen Segmentierung und der manuellen Segmentierung.

Die semi-automatische Segmentierung lieferte mit einer Abweichung von 0,42 mm und damit der CT-morphologisch auflösungsbedingten Deviation den gleichen Fazialisverlauf wie in der manuellen Segmentierung (verglichen zum Referenzverlauf).

III Die Gesamtzeit für die semi-automatische Segmentierung wird diejenige der manuellen Segmentierung unterschreiten

Die in dieser Studie durchgeführte semi-automatische Segmentierung unterschritt die manuelle Segmentierung deutlich. Dies kann jedoch nicht allein auf die reduzierte Anzahl von Fazialismarkierungen (festgelegt auf zehn Schichten pro Datensatz vs. 23-61 für die manuelle Segmentierung) zurückgeführt werden. Jedoch wurde die semi-

automatische Segmentierung von nur einem Probanden durchgeführt. Dieser gehörte zum Expertenteam, welches die Referenzmarkierung festlegte. Die Auswahl auf nur einen Probanden wurde mit Studieninitiierung bewusst gewählt, um das Potential der semi-automatischen Registrierung in einer erfahrenen Hand aufzuzeigen. Retrospektiv betrachtet wird dies jedoch als kritisch gewertet. Da damit auch ein inter-individueller Vergleich zwischen manueller und semi-automatischer Segmentierung möglich gewesen wäre.

IV Für die semi-automatische Segmentierung sind zehn manuell festgelegte Punkte, inklusive Start- und Endpunkt, ausreichend

Anhand der gleichen Ergebnisse für die Fazialisverläufe, kann die Auswahl von 10 Stützpunkten für semi-automatische Segmentierung aus Sicht des Autors als ausreichend betrachtet werden.

V Die Probanden identifizieren den Fazialisverlauf im CT subjektiv sicher

Die Abfrage des subjektiven Segmentierungsvertrauens während der Segmentierung und für jede einzelne Schicht abgefragt, zeigte deutlich, dass sich die Probanden in ihrer Festlegung des Fazialisverlaufes sicher waren. Des Weiteren traten keine Unterschiede des Segmentierungsvertrauens zwischen den verschiedenen Durchläufen auf.

Dies bestätigt die Machbarkeit und Reproduzierbarkeit der manuellen Fazialissegmentierung.

Fazit

- N. facialis war in allen Datensätzen manuell segmentierbar
- Die semi-automatische Segmentierung liefert dieselbe Genauigkeit wie die manuelle Segmentierung
- Die semi-automatische Segmentierung benötigt weniger Zeit
- Zehn Stützstellen (zehn markierte CT-Schichten) pro Patientendatensatz sind für eine genaue, semi-automatische, Segmentierung ausreichend
- Subjektiv hohes Vertrauen der Anwender für die Segmentierung d. N. Facialis

Sowohl die manuelle als auch die semi-automatische Segmentierung kann genutzt werden, um für navigationskontrollierte Instrumente und für prä-operative Planungen von Eingriffen am Felsenbein eine sichere Identifikation des Nervus facialis zu liefern.

4.6 Kritische Anmerkungen

4.6.1 Anzahl der Studienteilnehmer

Die Anzahl der Probanden (vier für die manuelle, einer für die semi-automatische Segmentierung) war im Rahmen dieser Studie sehr klein gewählt worden.

Die Werte der Arbeit zeigten keine Normalverteilung, dazu waren die Gruppengrößen zu gering.

Aufgrund der gewählten Gruppengrößen, ließen sich bezüglich der Segmentierzeiten und der Präzisionsabweichungen in den Segmentierverfahren der beiden Durchläufe keine Veränderungen nachweisen, die eine Aussage über eine statistische Signifikanz ($p < 0,01$) erlauben. Auch die Ergebnisse aus der Korrelationsanalyse zur Prüfung des Zusammenhanges zwischen Segmentierzeit und Segmentierpräzision müssen unter diesem Aspekt kritisch beurteilt werden.

Günstig wäre die Zahl der Studienteilnehmer zu erhöhen und in beiden Gruppen gleich zu verteilen. So wäre es retrospektiv betrachtet möglich gewesen, die Probanden der manuellen Form auch die semi-automatische Segmentierung durchführen zu lassen und anschließend inter-individuell zu vergleichen.

Das Studienziel lag jedoch in erster Linie darin, eine grundsätzliche Vergleichbarkeit der manuellen Segmentierung mit der semi-automatischen Segmentierung im Hinblick auf Genauigkeit sowie in Bezug auf die benötigten Segmentierzeiten darzustellen. Ein derartiger Vergleich war bisher für Segmentierungen des Nervus facialis in CT-Bildern noch nicht vorgenommen worden.

Die Ergebnisse unserer Studie können als Grundlage angesehen werden, weitere, umfangreichere Untersuchungen zu dieser Thematik durchzuführen.

4.6.2 Artefakte

In der Gesamtheit der Auswertung sticht immer wieder der 4. Datensatz hervor. Im Hinblick auf die Segmentierzeiten bereiteten dort Artefakte, die durch Zahnfüllungen hervorgerufen wurden, Probleme, als sie die Orientierung in den betroffenen CT-Schichten erheblich erschwerten. Dies entspricht jedoch der immer wieder vorkommenden klinischen Situation und wurde daher bewußt in Kauf genommen.

4.6.3 Anzahl der zu segmentierenden Schichten

Die Anzahl der in den einzelnen Datensätzen manuell zu segmentierenden Schichten war inhomogen (min. 23 Schichten/Patientendatensatz bis zu max. 61 Schichten/Patientendatensatz). Dies ist in erster Linie der Tatsache geschuldet, dass trotz gleicher technischer Aufnahmeparameter (z.B. CT-Schichtdicke etc.) unterschiedliche anatomische Gegebenheiten (z.B. differente Schädelanatomie der Patienten) berücksichtigt werden mussten. Der Fokus der Studie lag darin, die Studienteilnehmer den mastoidalen bzw. tympanalen Verlauf des Nervus facialis segmentieren zu lassen. Um diesbezüglich die Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit der zu gewinnenden Daten zu erzielen, war es vor Studienbeginn erforderlich, die zu segmentierenden CT-Schichten für jeden Patientendatensatz individuell durch das Expertengremium festzulegen.

5. Anhang

5.1 Messwerte manuelle Segmentierungen

Proband 1

Schichten	Beissel 1 (24,57)	Beisse 1 2 (24,57)	Swirta 1 (17,56)	Verl. getroff .	Swirt a 2 (17,56)	Verl. getroff .	Gaitzsch 1 (20,64)	Verl. getroff .	Gaitzsch 2 (20,64)	Verl. getroff .	Klemm 1 (29,52)	Verl. getroff.	Klemm 2 (29,52)	Verl. getroff.	Loetsch 1 (33,69)
17			50	ja	50	ja									
18			100	ja	50	ja									
19			100	ja	50	ja									
20			100	ja	50	ja	100	ja	100	ja					
21			100	ja	50	ja	100	ja	100	ja					
22			100	ja	50	ja	100	ja	100	ja					
23			100	ja	50	ja	50	ja	100	ja					
24	50	100	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja					
25	0	100	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja					
26	0	100	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja					
27	0	50	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja					
28	0	50	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja					
29	0	50	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	
30	50	50	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	
31	50	50	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	
32	50	50	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	
33	50	50	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100
34	50	50	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100
35	50	50	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100
36	50	50	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100
37	50	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100
38	50	100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	0	ja	50	ja	100
39	100	100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	n.angegebe n	50	ja	50
40	100	100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	n.angegebe	50	nein	50

													n			
41	100		100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	100	nein	50
42	100		100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	100	nein	50
43	100		100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	100	nein	50
44	100		100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	100	n.angegebene	50
45	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	nein	50
46	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	nein	50
47	100		100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	nein	50
48	100		100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	50
49	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	50
50	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	n.angegebene	100	nein	50
51	100		100	50	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	50
52	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	50
53	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja					50
54	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja					50
55	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja					100
56	100		100	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja					100
57	100		100					100	ja	100	ja					100
58								100	ja	100	ja					100
59								100	ja	100	ja					100
60								100	ja	100	ja					100
61								100	ja	100	ja					100
62								100	ja	100	ja					100
63								100	ja	100	ja					100
64								100	ja	100	ja					100
65																100
66																100
67																100
68																100
69																100
70																
71																
72																
73																

74																			
75																			
76																			
77																			
78																			
79																			
80																			
81																			
82																			
83																			
84																			
85																			
86																			
87																			
88																			
89																			
90																			
91																			
92																			
93																			
94																			
95																			
96																			
97																			
98																			
99																			
100																			
101																			
102																			
103																			
104																			
105																			
106																			
107																			
108																			
109																			

110																
111																
112																
113																
114																
115																
116																
117																
118																
119																
120																
121																
122																
123																
124																
125																
126																
anzahl	35	35	40	40	45	45	24	24	37							
dauer	137	119	172	137	161	85	77	484	125							
dauer/schicht	3,91	3,40	4,30	3,43	3,58	1,89	3,21	20,17	3,38							
Mittelwert	70,588 2	85,294 1	72,5	71,25	78	100	69	92	78							
STD	37,168	23,124 9	25,191 6	25,03 2	25,12595	0	28,789	19,0347	25,1124							

Schichten	Verl. getroff.	Loetsch2 (33,69)	Verl. getroff.	Voigt1 (29,79)	Verl. getroff.	Voigt2 (29,79)	Verl. getroff.	Herbach1 (60, 106)	Verl. getroff.	Herbach2 (60, 106)	Verl. getroff.	Glaesel1 (60, 121)	Verl. getroff.	Glaesel2 (60, 121)	Verl. getroff.
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29				100	ja	50	ja								
30				100	ja	100	ja								
31				100	ja	100	ja								
32				100	ja	100	ja								
33	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
34	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
35	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
36	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
37	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
38	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
39	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
40	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
41	ja	100	ja	100	ja	100	ja								
42	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
43	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
44	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
45	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
46	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
47	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
48	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
49	ja	100	nein	100	ja	100	ja								

50	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
51	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
52	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
53	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
54	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
55	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
56	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
57	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
58	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
59	ja	100	nein	100	ja	100	ja								
60	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja
61	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja
62	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja
63	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja
64	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja
65	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja
66	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja
67	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja
68	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja
69	ja	100	nein	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja
70				100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja
71				100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja
72				100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja
73				100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja
74				100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja
75				100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja
76				100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja
77				100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja
78				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
79				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
80								100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
81								100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
82								100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
83								100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
84								100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
85								100	ja	100	ja	50	ja	100	ja

86									100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
87									100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
88									100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
89									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
90									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
91									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
92									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
93									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
94									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
95									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
96									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
97									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
98									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
99									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
100									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
101									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
102									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
103									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
104									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
105									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
106									100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
107													100	ja	100	ja
108													100	ja	100	ja
109													100	ja	100	ja
110													100	ja	100	ja
111													100	ja	100	ja
112													100	ja	100	ja
113													100	ja	100	ja
114													100	ja	100	ja
115													100	ja	100	ja
116													100	ja	100	ja
117													100	ja	100	ja
118													100	ja	100	ja
119													100	ja	100	ja
120													100	ja	100	ja
121													100	ja	100	ja

122															
123															
124															
125															
126															
anzahl		37	51	51	47	47	62	62							
dauer		299	150	113	194	98	227	351							
dauer/schicht		8,08	2,94	2,22	4,13	2,09	3,66	5,66							
Mittelwert		100	100	99	100	81	82	89							
STD		0		0	0	24,568	24,12	21,076							

Schichten	Etzold1 (24, 75)	Verl. getroff.	Etzold1 (24, 75)	Verl. getroff.	Kranczioch1 (37, 82)	Verl. getroff.	Kranczioch2 (37, 82)	Verl.getroff.
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24	100	ja	100	ja				
25	100	ja	100	ja				
26	100	ja	100	ja				
27	100	ja	100	ja				
28	100	ja	100	ja				
29	100	ja	50	ja				
30	100	ja	50	ja				
31	100	ja	50	ja				
32	100	ja	50	ja				

33	100	ja	50	ja				
34	100	ja	50	ja				
35	100	ja	50	ja				
36	100	ja	100	ja				
37	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
38	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
39	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
40	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
41	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
42	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
43	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
44	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
45	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
46	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
47	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
48	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
49	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
50	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
51	100	ja	100	ja	100	ja	100	n.angegeben
52	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
53	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
54	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
55	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
56	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
57	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
58	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
59	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
60	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
61	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
62	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
63	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
64	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
65	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
66	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
67	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
68	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja

69	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
70	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
71	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
72	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
73	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
74	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
75	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
76					100	ja	100	ja
77					100	ja	100	ja
78					100	ja	100	ja
79					100	ja	100	ja
80					100	ja	100	ja
81					100	ja	100	ja
82					100	ja	100	ja
83								
84								
85								
86								
87								
88								
89								
90								
91								
92								
93								
94								
95								
96								
97								
98								
99								
100								
101								
102								
103								
104								

105							
106							
107							
108							
109							
110							
111							
112							
113							
114							
115							
116							
117							
118							
119							
120							
121							
122							
123							
124							
125							
126							
anzahl	51	51	46	46			
dauer	173	84	151	151			
dauer/schicht	3,39	1,65	3,28	3,28			
Mittelwert	100	93	90,217	92,391			
STD	0	17,232	20,054	18,158			

Proband 2

Schichten	Beissel 1 (24,57)	Beissel 2 (24,57)	Swirta1 (17,56)	Verl. getroff.	Swirta2 (17,56)	Verl. getroff.	Gaitzsch1 (20,64)	Verl. getroff.	Gaitzsch2 (20,64)	Verl. getroff.	Klemm1 (29,52)	Verl. getroff.
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17			100	ja	100	ja						
18			100	ja	100	ja						
19			100	ja	100	ja						
20			100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja		
21			100	ja	100	nein	100	ja	100	n.angegeben		
22			100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	n.angegeben		
23			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja		
24	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja		
25	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja		
26	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja		
27	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja		
28	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja		
29	50	100	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	100	ja
30	50	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
31	50	100	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	100	ja
32	50	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	n.angegeben

33	50	100	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	50	nein
34	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	nein
35	100	100	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	50	nein
36	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	nein
37	100	100	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	50	n.angegeben
38	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	nein
39	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	n.angegeben
40	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein
41	100	100	100	n.angegeben	100	ja	100	ja	100	ja	100	n.angegeben
42	100	100	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	100	ja
43	100	100	100	n.angegeben	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	n.angegeben
44	100	100	100	n.angegeben	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	100	ja
45	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
46	100	100	100	n.angegeben	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	100	ja
47	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
48	100	100	100	n.angegeben	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
49	100	100	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	100	ja
50	100	100	100	n.angegeben	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
51	100	100	100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja	100	ja
52	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
53	100	100	100	n.angegeben	100	ja	100	ja	100	ja		
54	100	100	100		100	ja	100	n.angegeben	100	ja		
55	100	100	ja		100	ja	100	n.angegeben	100	ja		
56	100	100	ja		100	ja	100	ja	100	ja		
57	100	100	ja				100	ja	100	ja		
58							100	ja	100	ja		
59							100	n.angegeben	100	ja		
60							100	ja	100	ja		
61							100	n.angegeben	100	ja		
62							100	ja	100	ja		
63							100	n.angegeben	100	ja		
64							100	ja	100	ja		
65												
66												
67												
68												

69												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79												
80												
81												
82												
83												
84												
85												
86												
87												
88												
89												
90												
91												
92												
93												
94												
95												
96												
97												
98												
99												
100												
101												
102												
103												
104												

105											
106											
107											
108											
109											
110											
111											
112											
113											
114											
115											
116											
117											
118											
119											
120											
121											
122											
123											
124											
125											
126											
anzahl	35	35	40		40		45		45		24
dauer	142	79	58		138		55		98		212
dauer/schicht	4,06	2,26	1,45		3,45		1,22		2,18		8,83
Mittelwert	92,6471	100	100		100		100		100		85
STD	17,9745	0	0		0		0		0		23,2153

Schichten	Klemm2 (29,52)	Verl. getroff.	Loetsch1 (33,69)	Verl. getroff.	Loetsch2 (33,69)	Verl. getroff.	Voigt1 (29,79)	Verl. getroff.	Voigt2 (29,79)	Verl. getroff.	Herbach1 (60, 106)	Verl. getroff.	Herbach2 (60, 106)	Verl. getroff.
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29	100	ja					100	ja	100	n.angegeben				
30	100	ja					100	ja	100	ja				
31	50	ja					100	ja	100	ja				
32	50	ja					100	ja	100	ja				
33	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
34	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				

35	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
36	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
37	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
38	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
39	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
40	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
41	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
42	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
43	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
44	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
45	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
46	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
47	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
48	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
49	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
50	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
51	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
52	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
53			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
54			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
55			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
56			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
57			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
58			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
59			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
60			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
61			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
62			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
63			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
64			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
65			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
66			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
67			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
68			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
69			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
70							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja

71							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
72							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
73							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
74							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
75							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
76							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
77							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
78							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
79							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
80											100	ja	100	ja
81											100	ja	100	ja
82											100	ja	100	ja
83											100	ja	100	ja
84											100	ja	100	ja
85											100	ja	100	ja
86											100	ja	100	ja
87											100	ja	100	ja
88											100	ja	100	ja
89											100	ja	100	ja
90											100	ja	100	ja
91											100	ja	100	ja
92											100	ja	100	ja
93											100	ja	100	ja
94											100	ja	100	ja
95											100	ja	100	ja
96											100	ja	100	ja
97											100	ja	100	ja
98											100	ja	100	ja
99											100	ja	100	ja
100											100	ja	100	ja
101											100	ja	100	ja
102											100	ja	100	ja
103											100	ja	100	ja
104											100	ja	100	ja
105											100	ja	100	ja
106											100	ja	100	ja

107														
108														
109														
110														
111														
112														
113														
114														
115														
116														
117														
118														
119														
120														
121														
122														
123														
124														
125														
126														
anzahl	24	37	37	51	51	47	47							
dauer	245	93	87	145	145	66	84							
dauer/schicht	10,21	2,51	2,35	2,84	2,84	1,40	1,79							
Mittelwert	81	100	100	100	100	100	100							
STD	24,7268	0	0	0	0	0	0							

Schichten	Glaesel1 (60, 121)	Verl. getroff.	Glaesel2 (60, 121)	Verl. getroff.	Etzold1 (24, 75)	Verl. getroff.	Etzold1 (24, 75)	Verl. getroff.	Kranczioch1 (37, 82)	Verl. getroff.	Kranczioch2 (37, 82)	Verl.getroff.
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24					100	ja	100	ja				
25					100	ja	100	ja				
26					100	ja	100	ja				
27					100	ja	100	ja				
28					100	ja	100	ja				
29					100	ja	100	ja				
30					100	ja	100	ja				
31					100	ja	100	ja				
32					100	ja	100	ja				
33					100	ja	100	ja				
34					100	ja	100	ja				

35					100 ja	100 ja				
36					100 ja	100 ja				
37					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
38					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
39					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
40					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
41					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
42					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
43					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
44					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
45					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
46					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
47					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
48					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
49					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
50					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
51					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
52					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
53					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
54					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
55					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
56					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
57					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
58					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
59					100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
60	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
61	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
62	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
63	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
64	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
65	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
66	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
67	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
68	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
69	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	
70	100 ja		100 ja		100 ja	100 ja	100 ja		100 ja	

71	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
72	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
73	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
74	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
75	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
76	100	ja	100	ja					100	ja	100	ja
77	100	ja	100	ja					100	ja	100	ja
78	100	ja	100	ja					100	ja	100	ja
79	100	ja	100	ja					100	ja	100	ja
80	100	ja	100	ja					100	ja	100	ja
81	100	ja	100	ja					100	ja	100	ja
82	100	ja	100	ja					100	ja	100	ja
83	100	ja	100	ja								
84	100	ja	100	ja								
85	100	ja	100	ja								
86	100	ja	100	ja								
87	100	ja	100	ja								
88	100	ja	100	ja								
89	100	ja	100	ja								
90	100	ja	100	ja								
91	100	ja	100	ja								
92	100	ja	100	ja								
93	100	ja	100	ja								
94	100	ja	100	ja								
95	100	ja	100	ja								
96	100	ja	100	ja								
97	100	ja	100	ja								
98	100	ja	100	ja								
99	100	ja	100	ja								
100	100	ja	100	ja								
101	100	ja	100	ja								
102	100	ja	100	ja								
103	100	ja	100	ja								
104	100	ja	100	ja								
105	100	ja	100	ja								
106	100	ja	100	ja								

107	100	ja	100	ja								
108	100	ja	100	ja								
109	100	ja	100	ja								
110	100	ja	100	ja								
111	100	ja	100	ja								
112	100	ja	100	ja								
113	100	ja	100	ja								
114	100	ja	100	ja								
115	100	ja	100	ja								
116	100	ja	100	ja								
117	100	ja	100	ja								
118	100	ja	100	ja								
119	100	ja	100	ja								
120	100	ja	100	ja								
121	100	ja	100	ja								
122												
123												
124												
125												
126												
anzahl	62		62		51		51		46		46	
dauer	117		102		89		87		72		109	
dauer/schicht	1,89		1,65		1,75		1,71		1,57		2,37	
Mittelwert	100		100		100		100		100		100	
STD	0		0		0		0		0		0	

Proband 3

Schichten	Beissel 1 (24,57)	Beissel 2 (24,57)	Swirta1 (17,56)	Verl. getroff.	Swirta2 (17,56)	Verl. getroff.	Gaitzsch1 (20,64)	Verl. getroff.	Gaitzsch2 (20,64)	Verl. getroff.	Klemm1 (29,52)	Verl. getroff.	Klemm2 (29,52)	Verl. getroff.	Loetsch1 (33,69)
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17			100	nein	0	ja									
18			100	nein	0	ja									
19			100	ja	100	ja									
20			50	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
21			50	ja	50	ja	100	ja	100	ja					
22			50	ja	0	ja	50	ja	100	ja					
23			50	ja	0	ja	50	ja	100	ja					
24	50	100	50	ja	0	ja	50	ja	100	ja					
25	50	100	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja					
26	50	50	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja					
27	100	50	100	ja	0	ja	50	ja	50	ja					
28	50	50	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja					
29	50	0	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja	
30	100	0	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja	
31	100	0	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja	

32	100	0	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja	50	ja	
33	100	50	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja	50	ja	100
34	100	50	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	nein	50	ja	100
35	100	50	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	0	nein	50	ja	50
36	100	50	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	nein	100	nein	50
37	100	50	50	ja	50	ja	50	ja	50	ja	50	nein	50	nein	50
38	100	100	50	ja	50	ja	50	ja	50	ja	0	nein	50	nein	50
39	100	100	50	ja	50	ja	50	ja	50	ja	0	nein	50	ja	50
40	100	100	50	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	nein	0	ja	50
41	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	nein	50	ja	50
42	100	100	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja	50	nein	50	ja	100
43	100	100	50	ja	50	ja	100	ja	50	ja	50	nein	50	ja	50
44	100	100	50	ja	50	ja	100	ja	100	ja	50	nein	50	ja	100
45	100	100	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja	50	nein	50	ja	50
46	100	100	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja	50	nein	100	ja	100
47	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	nein	50	ja	100
48	100	100	50	ja	50	ja	100	ja	50	ja	0	nein	50	ja	100
49	100	100	50	ja	0	ja	100	ja	50	ja	50	nein	50	ja	100
50	100	100	50	ja	50	ja	100	ja	50	ja	50	nein	50	ja	100
51	100	100	50	ja	0	ja	100	ja	50	ja	50	nein	100	ja	100
52	100	100	100	ja	0	ja	100	ja	50	ja	100	nein	100	ja	50
53	100	100	50	ja	50	ja	100	ja	50	ja					100
54	100	100	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja					100
55	100	100	50	ja	0	ja	100	ja	50	ja					100
56	100	100	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja					100
57	100	100					100	ja	100	ja					100
58							100	ja	100	ja					100
59							100	ja	100	ja					100
60							100	ja	100	ja					100
61							100	ja	100	ja					100
62							100	ja	100	ja					100
63							100	ja	100	ja					100
64							100	ja	100	ja					100
65															100
66															100
67															100

104															
105															
106															
107															
108															
109															
110															
111															
112															
113															
114															
115															
116															
117															
118															
119															
120															
121															
122															
123															
124															
125															
126															
anzahl	35	35	40		40		45		45		24		24		37
dauer	1860	239	397		288		277		385		1105		294		267
dauer/schicht	53,14	6,83	9,93		7,20		6,16		8,56		46,04		12,25		7,22
Mittelwert	92,64706	76,47059	76,25		52,5		76		70		44		63		86
STD	17,97453	35,32381	25,287		37,468		25,27625		24,77168		22,4214		26,5805		22,51126

Schichten	Verl. getroff.	Loetsch2 (33,69)	Verl. getroff.	Voigt1 (29,79)	Verl. getroff.	Voigt2 (29,79)	Verl. getroff.	Herbach1 (60, 106)	Verl. getroff.	Herbach2 (60, 106)	Verl. getroff.	Glaesel1 (60, 121)	Verl. getroff.	Glaesel2 (60, 121)	Verl. getroff.
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29				50	ja	50	ja								
30				50	ja	50	ja								
31				50	ja	50	ja								
32				50	ja	0	ja								
33	ja	100	ja	50	ja	0	ja								
34	ja	100	ja	50	ja	50	ja								

35	ja	100	ja	50	ja	0	ja												
36	ja	100	ja	50	ja	0	ja												
37	ja	50	ja	50	ja	50	ja												
38	ja	50	ja	50	ja	50	ja												
39	ja	50	ja	50	ja	100	ja												
40	ja	50	ja	100	ja	100	ja												
41	ja	50	ja	100	ja	100	ja												
42	ja	100	ja	100	ja	100	ja												
43	ja	50	ja	50	ja	100	ja												
44	ja	50	ja	50	ja	100	ja												
45	ja	100	ja	50	ja	100	ja												
46	ja	100	ja	50	ja	100	ja												
47	ja	50	ja	50	ja	100	ja												
48	ja	50	ja	50	ja	50	ja												
49	ja	50	ja	100	ja	50	ja												
50	ja	50	ja	50	ja	50	ja												
51	ja	50	ja	50	ja	50	ja												
52	ja	50	ja	50	ja	50	ja												
53	ja	50	ja	50	ja	100	ja												
54	ja	50	ja	50	ja	100	ja												
55	ja	50	ja	50	ja	100	ja												
56	ja	100	ja	50	ja	50	ja												
57	ja	100	ja	50	ja	50	ja												
58	ja	100	ja	50	ja	50	ja												
59	ja	100	ja	50	ja	100	ja												
60	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
61	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	0	ja				
62	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja				
63	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	50	ja				
64	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja	50	ja				
65	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja	100	ja				
66	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
67	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja				
68	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja				
69	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	50	ja				
70				100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	50	ja				

71				100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	50	ja
72				100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	50	ja
73				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
74				100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja
75				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
76				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
77				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
78				100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja	100	ja
79				100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	50	ja	50	ja
80								50	ja	100	ja	50	ja	50	ja
81								100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
82								100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
83								50	ja	100	ja	50	ja	0	ja
84								100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
85								100	ja	100	ja	100	ja	0	ja
86								100	ja	100	ja	100	ja	0	ja
87								100	ja	100	ja	50	ja	0	ja
88								100	ja	100	ja	50	ja	0	ja
89								100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
90								100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
91								100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
92								100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
93								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
94								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
95								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
96								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
97								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
98								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
99								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
100								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
101								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
102								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
103								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
104								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
105								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
106								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja

107												100	ja	100	ja
108												100	ja	100	ja
109												100	ja	100	ja
110												100	ja	100	ja
111												100	ja	100	ja
112												100	ja	100	ja
113												100	ja	100	ja
114												100	ja	100	ja
115												100	ja	100	ja
116												100	ja	100	ja
117												100	ja	100	ja
118												100	ja	100	ja
119												100	ja	100	ja
120												100	ja	100	ja
121												100	ja	100	ja
122															
123															
124															
125															
126															
anzahl		37	51	51	47	47	62	62							
dauer		205	592	365	522	299	527	346							
dauer/schicht		5,54	11,61	7,16	11,11	6,36	8,50	5,58							
Mittelwert		78	73	78	84	96	83	77							
STD		25,11236	25,13	32,02	23,55932	14,10283	23,8567	33,5321							

Schichten	Etzold1 (24, 75)	Verl. getroff.	Etzold1 (24, 75)	Verl. getroff.	Kranczioch1 (37, 82)	Verl. getroff.	Kranczioch2 (37, 82)	Verl.getroff.
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24	100	ja	100	ja				
25	100	ja	100	ja				
26	100	ja	100	ja				
27	100	ja	100	ja				
28	100	ja	100	ja				
29	50	ja	100	ja				
30	50	ja	100	ja				
31	50	ja	50	ja				
32	50	ja	50	ja				
33	50	ja	50	ja				
34	50	ja	50	ja				

35	50	ja	50	ja				
36	50	ja	50	ja				
37	100	ja	50	ja	50	ja	100	ja
38	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
39	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
40	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
41	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
42	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
43	100	ja	100	ja	50	ja	0	ja
44	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
45	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
46	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
47	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
48	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
49	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
50	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
51	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
52	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
53	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
54	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
55	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
56	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
57	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
58	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
59	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja
60	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
61	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
62	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
63	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
64	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
65	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
66	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
67	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
68	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja
69	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
70	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja

71	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
72	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
73	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
74	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
75	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
76					100	ja	100	ja
77					100	ja	100	ja
78					100	ja	100	ja
79					100	ja	100	ja
80					100	ja	100	ja
81					100	ja	100	ja
82					100	ja	100	ja
83								
84								
85								
86								
87								
88								
89								
90								
91								
92								
93								
94								
95								
96								
97								
98								
99								
100								
101								
102								
103								
104								
105								
106								

107							
108							
109							
110							
111							
112							
113							
114							
115							
116							
117							
118							
119							
120							
121							
122							
123							
124							
125							
126							
anzahl	51	51	46	46			
dauer	445	184	487	203			
dauer/schicht	8,73	3,61	10,59	4,41			
Mittelwert	92	93	77,173913	80,4347826			
STD	18,2160654	17,2321125	25,1805078	26,8292147			

Proband 4

Schichten	Beissel 1 (24,57)	Beissel 2 (24,57)	Swirta1 (17,56)	Verl. getroff.	Swirta2 (17,56)	Verl. getroff.	Gaitzsch1 (20,64)	Verl. getroff.	Gaitzsch2 (20,64)	Verl. getroff.	Klemm1 (29,52)	Verl. getroff.	Klemm2 (29,52)	Verl. getroff.	Loetsch1 (33,69)
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17			100	ja	100	ja									
18			100	ja	100	ja									
19			100	ja	100	ja									
20			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
21			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
22			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
23			100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
24	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
25	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
26	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
27	50	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
28	50	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja					
29	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	
30	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	
31	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	
32	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	

33	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100
34	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100
35	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100
36	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100
37	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	50	ja	100
38	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50
39	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	50
40	100	100	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	nein	50
41	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	nein	50
42	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	50	nein	100	nein	50
43	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	50
44	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	100
45	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	50
46	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	50
47	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	100
48	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	100
49	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	100
50	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	50
51	100	100	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	nein	100	nein	50
52	100	100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	nein	100	nein	50
53	100	100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja					50
54	100	100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja					50
55	100	100	50	ja	100	ja	50	ja	100	ja					50
56	50	100	50	ja	100		50	ja	100	ja					100
57	50	100					50	ja	100	ja					50
58							50	ja	100	ja					50
59							50	ja	100	ja					50
60							50	ja	100	ja					50
61							100	ja	100	ja					50
62							100	ja	100	ja					50
63							100	ja	100	ja					50
64							100	ja	100	ja					50
65															50
66															50
67															50
68															50

105															
106															
107															
108															
109															
110															
111															
112															
113															
114															
115															
116															
117															
118															
119															
120															
121															
122															
123															
124															
125															
126															
anzahl	35	35	40		40		45		45		24		24		37
dauer	83	69	85		86		139		108		115		123		157
dauer/schicht	2,37	1,97	2,13		2,15		3,09		2,40		4,79		5,13		4,24
Mittelwert	94,1176	100	80		100		90		100		77,0833		95,8333		63,51351
STD	16,3517	0	24,807		0		20,226		0		25,4489		14,1165		22,51126

Schichten	Verl. getroff.	Loetsch2 (33,69)	Verl. getroff.	Voigt1 (29,79)	Verl. getroff.	Voigt2 (29,79)	Verl. getroff.	Herbach1 (60, 106)	Verl. getroff.	Herbach2 (60, 106)	Verl. getroff.	Glaesel1 (60, 121)	Verl. getroff.	Glaesel2 (60, 121)	Verl. getroff.
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29				100	ja	100	ja								
30				100	ja	100	ja								
31				100	ja	100	ja								
32				100	ja	100	ja								
33	ja	100	ja	100	ja	100	ja								

34	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
35	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
36	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
37	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
38	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
39	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
40	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
41	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
42	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
43	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
44	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
45	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
46	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
47	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
48	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
49	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
50	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
51	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
52	ja	100	ja	100	ja	100	ja														
53	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
54	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
55	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
56	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
57	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
58	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
59	ja	100	ja	100	ja	50	ja														
60	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
61	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
62	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
63	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
64	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
65	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
66	ja	100	ja	100	ja	50	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
67	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
68	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
69	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja

70				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
71				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
72				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
73				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
74				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
75				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
76				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
77				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
78				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
79				100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
80								100	ja	100	ja	100	n.angegeben	100	ja
81								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
82								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
83								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
84								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
85								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
86								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
87								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
88								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
89								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
90								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
91								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
92								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
93								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
94								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
95								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
96								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
97								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
98								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
99								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
100								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
101								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
102								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
103								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
104								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
105								100	ja	100	ja	100	ja	100	ja

106							100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
107											100	ja	100	ja
108											100	ja	100	ja
109											100	ja	100	ja
110											100	ja	100	ja
111											100	ja	100	ja
112											100	ja	100	ja
113											100	ja	100	ja
114											100	ja	100	ja
115											100	ja	100	ja
116											100	ja	100	ja
117											100	ja	100	ja
118											100	ja	100	ja
119											100	ja	100	ja
120											100	ja	100	ja
121											100	ja	100	ja
122														
123														
124														
125														
126														
anzahl		37	51	51			47		47		62		62	
dauer		90	116	242			138		144		228		142	
dauer/schicht		2,43	2,27	4,75			2,94		3,06		3,68		2,29	
Mittelwert		100	100	82,353			100		100		100		100	
STD		0	0	24,132			0		0		0		0	

Schichten	Etzold1 (24, 75)	Verl. getroff.	Etzold1 (24, 75)	Verl. getroff.	Kranczioch1 (37, 82)	Verl. getroff.	Kranczioch2 (37, 82)	Verl. getroff.
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24	100	ja	100	ja				
25	100	ja	100	ja				
26	100	ja	100	ja				
27	100	ja	100	ja				
28	100	ja	100	ja				
29	100	ja	100	ja				
30	100	ja	100	ja				
31	100	ja	100	ja				
32	100	ja	100	ja				
33	100	ja	100	ja				
34	100	ja	100	ja				

35	100	ja	100	ja				
36	100	ja	100	ja				
37	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
38	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
39	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
40	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
41	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
42	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
43	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
44	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
45	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
46	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
47	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
48	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
49	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
50	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
51	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
52	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
53	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
54	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
55	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
56	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
57	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
58	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
59	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
60	100	ja	100	ja	100	ja	50	ja
61	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
62	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
63	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
64	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
65	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
66	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
67	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
68	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
69	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
70	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja

71	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
72	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
73	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
74	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
75	100	ja	100	ja	100	ja	100	ja
76					100	ja	100	ja
77					100	ja	100	ja
78					100	ja	100	ja
79					100	ja	100	ja
80					100	ja	100	ja
81					100	ja	100	ja
82					100	ja	100	ja
83								
84								
85								
86								
87								
88								
89								
90								
91								
92								
93								
94								
95								
96								
97								
98								
99								
100								
101								
102								
103								
104								
105								
106								

107								
108								
109								
110								
111								
112								
113								
114								
115								
116								
117								
118								
119								
120								
121								
122								
123								
124								
125								
126								
anzahl	51	51	46	46				
dauer	152	135	90	116				
dauer/schicht	2,98	2,65	1,96	2,52				
Mittelwert	100	100	100	94,5652174				
STD	0	0	0	15,7348194				

5.2 Messwerte semi – automatische Segmentierung

(Zeitangaben in sec)

Durchläufe	Patient 1 (24,57)	Patient 1 (24,57)	Patient2 (17,56)	Patient2 (17,56)	Patient3 (20,64)	Patient3 (20,64)	Patient4 (29,52)	Patient4 (29,52)	Patient5 (33,69)	Patient5 (33,69)	Patient6 (29,79)	Patient6 (29,79)	Patient7 (60, 106)	Patient7 (60, 106)
10 Punkte	176	81	99	68	85	59	145	112	83	52	91	65	95	69
Belieb. Pkte	77	133	84	75	59	70	188	132	81	90	97	122	76	88
Anzahl:	14	19	16	12	15	14	23	20	18	17	16	17	17	17

Durchläufe	Patient8 (60, 121)	Patient8 (60, 121)	Patient9 (24, 75)	Patient9 (24, 75)	Patient10 (37, 82)	Patient10 (37, 82)
10 Punkte	88	52	66	57	271	67
Belieb. Pkte	69	97	72	62	94	121
Anzahl:	16	17	16	13	19	16

5.3 Messwerte Identifikationssicherheiten/ Segmentierzeiten

Identifikationssicherheiten	Alle Werte (mit interpolierten Werten)	
	1	2
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	86	90
STD über alle Datensätze (n=10)	24,02503666	19,70758937
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	98,62385321	98,97260274
STD über alle Datensätze (n=10)	8,189467854	7,101369841
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	79,9086758	77,68878719
STD über alle Datensätze (n=10)	25,45675865	30,27193037
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	92,35159817	97,14611872
STD über alle Datensätze (n=10)	18,01841506	11,6128084

MANUELLE Segmentierzeiten in Sekunden		
	1	2
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	157	192
STD über alle Datensätze (n=10)	40,37889988	137,5253108
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	104,9	117,4
STD über alle Datensätze (n=10)	49,75596	50,10034376
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	647,9	280,8
STD über alle Datensätze (n=10)	485,8416409	71,23638271
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	130,3	125,5
STD über alle Datensätze (n=10)	43,73671227	47,94962635

Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	110,3	109,0
STD über alle Datensätze (n=10)	10,44	10,44
	ALLE	ALLE
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	260	179
STD über alle Datensätze (n=10)	154,9283033	76,7029159

SEMIAUTOMATISCH Segmentierzeiten in Sekunden

	1	2
Mittelwert über alle Datensätze (n=10) für 10 Stützstellen	120	68
STD über alle Datensätze (n=10) für 10 Stützstellen	17,73132821	62,75547785

Mittelwert über alle Datensätze (n=10) für beliebige Anzahl Stützstellen	90	99
STD über alle Datensätze (n=10) für beliebige Anzahl Stützstellen	41,87743661	38,90742704

MANUELLE Segmentierzeit PRO Schicht

	1	2
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	3,6	5
STD über alle Datensätze (n=10)	0,43	5,63
	1	2
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	2,8	3,1
STD über alle Datensätze (n=10)	2,30	2,56
	1	2
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	17,3	6,7
STD über alle Datensätze (n=10)	17,2	2,4
	1	2
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	3,0	2,9
STD über alle Datensätze (n=10)	0,94	1,10
	ALLE	ALLE
Mittelwert über alle Datensätze (n=10)	7	4
STD über alle Datensätze (n=10)	5,2145923	2,923658213

Effektgröße zwischen Zeit: manuell und semi-automatisch	0,659745772	-0,906967173
---	-------------	--------------

5.4 Daten Präzision/ manuelle Segmentierung/ erster Durchlauf

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	10584
Mean	-0,291052
StdDev	0,354253
RMS Error	0,458470
MaxErr +	0,496033
MaxErr -	-1.512.776
Max Error	0,496033
Min Error	-1.512.776
Profile of a surface	2.008.809
Pts within +/- (1 * StdDev)	7011 (66,241497%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	10162 (96,012850%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	10577 (99,933862%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	10584 (100,000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	10584 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	10584 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	351 (3,316327%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	3193108%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	9672
Mean	-0,142317
StdDev	0,225240

RMS Error	0,266425
MaxErr +	0,516129
MaxErr -	-0,978042
Max Error	0,516129
Min Error	-0,978042
Profile of a surface	1.494.171
Pts within +/- (1 * StdDev)	6759 (69,882134%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	9148 (94,582299%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	9638 (99,648470%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	9672 (100,000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	9672 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	9672 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0,000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	0,000000%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	7851
Mean	-0,267365
StdDev	0,314170
RMS Error	0,412522
MaxErr +	0,602051
MaxErr -	-1.523.549
Max Error	0,602051
Min Error	-1.523.549
Profile of a surface	2.125.599
Pts within +/- (1 * StdDev)	5662 (72.118202%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	7477 (95.236276%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	7786 (99.172080%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	7851 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	7851 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	7851 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	165 (2.101643%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,020027

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	9340
Mean	-0,500965
StdDev	0,861046
RMS Error	0,996136
MaxErr +	0,695524
MaxErr -	-3.687.613
Max Error	0,695524
Min Error	-3.687.613
Profile of a surface	4.383.137
Pts within +/- (1 * StdDev)	7802 (83.533191%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	8566 (91.713062%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	9113 (97.569593%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	9340 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	9340 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	9340 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	922 (9.871520%)
#Pts Out of LoTol	1477 (15.813704%)
Surface Out of HiTol	0,101608
Surface Out of LoTol	0,158045

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	15813
Mean	-0,239246
StdDev	0,304602
RMS Error	0,387318
MaxErr +	0,476152
MaxErr -	-1.500.404
Max Error	0,476152

Min Error	-1.500.404
Profile of a surface	1.976.555
Pts within +/- (1 * StdDev)	11319 (71,580345%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	15155 (95,838867%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	15649 (98,962879%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	15799 (99,911465%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	15813 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	15813 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	279 (1,764371%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	1694320%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	5906
Mean	-1.096.209
StdDev	0,714007
RMS Error	1.308.202
MaxErr +	0,426354
MaxErr -	-3.114.727
Max Error	0,426354
Min Error	-3.114.727
Profile of a surface	3.541.081
Pts within +/- (1 * StdDev)	3715 (62,902133%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	5757 (97,477142%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	5906 (100,000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	5906 (100,000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	5906 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	5906 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	878 (14,866238%)
#Pts Out of LoTol	2850 (48,256011%)
Surface Out of HiTol	14439738%
Surface Out of LoTol	47933374%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	Kranzt_schulz.stl
Cmp Dist	4.000.000

Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	13913
Mean	-0,167895
StdDev	0,258287
RMS Error	0,308052
MaxErr +	0,526634
MaxErr -	-1.024.111
Max Error	0,526634
Min Error	-1.024.111
Profile of a surface	1.550.744
Pts within +/- (1 * StdDev)	9633 (69,237404%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	13369 (96,089988%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	13832 (99,417811%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	13913 (100,000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	13913 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	13913 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	14 (0,100625%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	0,083045%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	9501
Mean	-0,235195
StdDev	0,326271
RMS Error	0,402192
MaxErr +	0,707664
MaxErr -	-1.106.105
Max Error	0,707664
Min Error	-1.106.105
Profile of a surface	1.813.770
Pts within +/- (1 * StdDev)	7148 (75,234186%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	8921 (93,895379%)

Pts within +/- (3 * StdDev)	9501 (100,000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	9501 (100,000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	9501 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	9501 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	66 (0,694664%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	0,612512%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	13465
Mean	-0,328362
StdDev	0,324931
RMS Error	0,461945
MaxErr +	0,713533
MaxErr -	-1.532.998
Max Error	0,713533
Min Error	-1.532.998
Profile of a surface	2.246.531
Pts within +/- (1 * StdDev)	9532 (70,790939%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	12792 (95,001857%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	13352 (99,160787%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	13465 (100,000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	13465 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	13465 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	379 (2,814705%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	2622901%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000

HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	12460
Mean	-0,219448
StdDev	0,327630
RMS Error	0,394322
MaxErr +	0,635723
MaxErr -	-1.738.939
Max Error	0,635723
Min Error	-1.738.939
Profile of a surface	2.374.662
Pts within +/- (1 * StdDev)	9098 (73,017657%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	11925 (95,706260%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	12290 (98,635634%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	12418 (99,662921%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	12460 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	12460 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	295 (2,367576%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	2309082%

5.5 Daten Präzision/manuelle Segmentierung/ zweiter Durchlauf

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	20284
Mean	-0,073432
StdDev	0,323569
RMS Error	0,331789
MaxErr +	0,799512
MaxErr -	-1.041.759
Max Error	0,799512
Min Error	-1.041.759
Profile of a surface	1.841.272
Pts within +/- (1 * StdDev)	13147 (64,814632%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	19441 (95,844015%)

Pts within +/- (3 * StdDev)	20284 (100,000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	20284 (100,000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	20284 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	20284 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	22 (0,108460%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	0,079947%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	11394
Mean	-0,203345
StdDev	0,282592
RMS Error	0,348138
MaxErr +	0,625748
MaxErr -	-2.007.313
Max Error	0,625748
Min Error	-2.007.313
Profile of a surface	2.633.061
Pts within +/- (1 * StdDev)	9251 (81,191855%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	10916 (95,804810%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	11137 (97,744427%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	11276 (98,964367%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	11345 (99,569949%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	11387 (99,938564%)
#Pts Out of HiTol	1 (0,008777%)
#Pts Out of LoTol	275 (2,413551%)
Surface Out of HiTol	0,006544%
Surface Out of LoTol	2556372%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000

HiTol -		-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance	
Offset		
#Points		10637
Mean	-0,274457	
StdDev	0,306707	
RMS Error	0,411567	
MaxErr +	0,602051	
MaxErr -		-1.603.180
Max Error	0,602051	
Min Error		-1.603.180
Profile of a surface		2.205.231
Pts within +/- (1 * StdDev)	7544 (70,922253%)	
Pts within +/- (2 * StdDev)	10250 (96,361756%)	
Pts within +/- (3 * StdDev)	10553 (99,210304%)	
Pts within +/- (4 * StdDev)	10603 (99,680361%)	
Pts within +/- (5 * StdDev)	10637 (100,000000%)	
Pts within +/- (6 * StdDev)	10637 (100,000000%)	
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)	
#Pts Out of LoTol	139 (1,306759%)	
Surface Out of HiTol	0,000000%	
Surface Out of LoTol		1178908%

Table Type	Data to Reference (Data Point)	
Cmp Object(s)		
Ref		
Cmp Dist		4.000.000
Cmp Angle		
HiTol +		2.000.000
LoTol +		1.000.000
LoTol -		-1.000.000
HiTol -		-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance	
Offset		
#Points		11197
Mean	-0,125683	
StdDev	0,245544	
RMS Error	0,275831	
MaxErr +	0,609807	
MaxErr -		-1.123.845
Max Error	0,609807	
Min Error		-1.123.845
Profile of a surface		1.733.652
Pts within +/- (1 * StdDev)	8298 (74,109136%)	
Pts within +/- (2 * StdDev)	10568 (94,382424%)	
Pts within +/- (3 * StdDev)	11096 (99,097973%)	
Pts within +/- (4 * StdDev)	11192 (99,955345%)	
Pts within +/- (5 * StdDev)	11197 (100,000000%)	
Pts within +/- (6 * StdDev)	11197 (100,000000%)	

#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	39 (0,348308%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	0,346235%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	17395
Mean	-0,267346
StdDev	0,219859
RMS Error	0,346135
MaxErr +	0,497163
MaxErr -	-1.069.259
Max Error	0,497163
Min Error	-1.069.259
Profile of a surface	1.566.421
Pts within +/- (1 * StdDev)	12076 (69,422248%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	16460 (94,624892%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	17358 (99,787295%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	17395 (100,000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	17395 (100,000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	17395 (100,000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)
#Pts Out of LoTol	15 (0,086232%)
Surface Out of HiTol	0,000000%
Surface Out of LoTol	0,077398%

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4.000.000
Cmp Angle	
HiTol +	2.000.000
LoTol +	1.000.000
LoTol -	-1.000.000
HiTol -	-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	

#Points		9135
Mean	-0,796137	
StdDev	0,746196	
RMS Error		1.091.137
MaxErr +	0,832450	
MaxErr -		-2.554.062
Max Error	0,832450	
Min Error		-2.554.062
Profile of a surface		3.386.512
Pts within +/- (1 * StdDev)	5648 (61,828134%)	
Pts within +/- (2 * StdDev)	8969 (98,182813%)	
Pts within +/- (3 * StdDev)	9135 (100,000000%)	
Pts within +/- (4 * StdDev)	9135 (100,000000%)	
Pts within +/- (5 * StdDev)	9135 (100,000000%)	
Pts within +/- (6 * StdDev)	9135 (100,000000%)	
#Pts Out of HiTol	615 (6,732348%)	
#Pts Out of LoTol	3686 (40,350301%)	
Surface Out of HiTol		6299298%
Surface Out of LoTol		39761407%

Table Type	Data to Reference (Data Point)	
Cmp Object(s)		
Ref		
Cmp Dist		4.000.000
Cmp Angle		
HiTol +		2.000.000
LoTol +		1.000.000
LoTol -		-1.000.000
HiTol -		-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance	
Offset		
#Points		15231
Mean	-0,239384	
StdDev	0,279476	
RMS Error	0,367976	
MaxErr +	0,540557	
MaxErr -		-1.640.344
Max Error	0,540557	
Min Error		-1.640.344
Profile of a surface		2.180.901
Pts within +/- (1 * StdDev)	11254 (73,888779%)	
Pts within +/- (2 * StdDev)	14594 (95,817740%)	
Pts within +/- (3 * StdDev)	15051 (98,818200%)	
Pts within +/- (4 * StdDev)	15155 (99,501018%)	
Pts within +/- (5 * StdDev)	15230 (99,993434%)	
Pts within +/- (6 * StdDev)	15231 (100,000000%)	
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)	
#Pts Out of LoTol	249 (1,634824%)	
Surface Out of HiTol	0,000000%	
Surface Out of LoTol		1537554%

Table Type	Data to Reference (Data Point)	
Cmp Object(s)		
Ref		
Cmp Dist		4.000.000
Cmp Angle		
HiTol +		2.000.000
LoTol +		1.000.000
LoTol -		-1.000.000
HiTol -		-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance	
Offset		
#Points		11106
Mean	-0,735648	
StdDev		1.011.346
RMS Error		1.250.563
MaxErr +	0,805062	
MaxErr -		-3.999.577
Max Error	0,805062	
Min Error		-3.999.577
Profile of a surface		4.804.639
Pts within +/- (1 * StdDev)	9218 (83,000180%)	
Pts within +/- (2 * StdDev)	10188 (91,734198%)	
Pts within +/- (3 * StdDev)	10863 (97,811994%)	
Pts within +/- (4 * StdDev)	11106 (100,000000%)	
Pts within +/- (5 * StdDev)	11106 (100,000000%)	
Pts within +/- (6 * StdDev)	11106 (100,000000%)	
#Pts Out of HiTol	1450 (13,056006%)	
#Pts Out of LoTol	2439 (21,961102%)	
Surface Out of HiTol		12994451%
Surface Out of LoTol		21924769%

Table Type	Data to Reference (Data Point)	
Cmp Object(s)		
Ref		
Cmp Dist		4.000.000
Cmp Angle		
HiTol +		2.000.000
LoTol +		1.000.000
LoTol -		-1.000.000
HiTol -		-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance	
Offset		
#Points		11099
Mean	0,205438	
StdDev	0,307763	
RMS Error	0,370019	
MaxErr +		1.216.131
MaxErr -		-1.019.289

Max Error		1.216.131
Min Error		-1.019.289
Profile of a surface		2.235.420
Pts within +/- (1 * StdDev)	7671 (69,114335%)	
Pts within +/- (2 * StdDev)	10493 (94,540049%)	
Pts within +/- (3 * StdDev)	11052 (99,576538%)	
Pts within +/- (4 * StdDev)	11099 (100,000000%)	
Pts within +/- (5 * StdDev)	11099 (100,000000%)	
Pts within +/- (6 * StdDev)	11099 (100,000000%)	
#Pts Out of HiTol	0 (0,000000%)	
#Pts Out of LoTol	54 (0,486530%)	
Surface Out of HiTol	0,000000%	
Surface Out of LoTol	0,585212%	

Table Type	Data to Reference (Data Point)	
Cmp Object(s)		
Ref		
Cmp Dist		4.000.000
Cmp Angle		
HiTol +		2.000.000
LoTol +		1.000.000
LoTol -		-1.000.000
HiTol -		-2.000.000
Err Dir	Shortest Distance	
Offset		
#Points		14430
Mean	-0,284281	
StdDev	0,345836	
RMS Error	0,447672	
MaxErr +	0,652608	
MaxErr -		-2.097.645
Max Error	0,652608	
Min Error		-2.097.645
Profile of a surface		2.750.252
Pts within +/- (1 * StdDev)	11035 (76,472626%)	
Pts within +/- (2 * StdDev)	13746 (95,259875%)	
Pts within +/- (3 * StdDev)	14168 (98,184338%)	
Pts within +/- (4 * StdDev)	14331 (99,313929%)	
Pts within +/- (5 * StdDev)	14411 (99,868330%)	
Pts within +/- (6 * StdDev)	14430 (100,000000%)	
#Pts Out of HiTol	20 (0,138600%)	
#Pts Out of LoTol	560 (3,880804%)	
Surface Out of HiTol	0,121381%	
Surface Out of LoTol		3910292%

5.6 Daten Präzision/ semi – automatische Segmentierung (Erster/ Zweiter Durchlauf)

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1605
Mean	-0,027119
StdDev	0,223571
RMS Error	0,225141
MaxErr +	0,468549
MaxErr -	-0,761889
Max Error	0,468549
Min Error	-0,761889
Profile of a surface	1,230438
Pts within +/- (1 * StdDev)	1099 (68.473520%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1537 (95.763240%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1598 (99.563863%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1605 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1605 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1605 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	2679
Mean	0,228925
StdDev	0,257888
RMS Error	0,344802
MaxErr +	0,816573
MaxErr -	-0,592750
Max Error	0,816573
Min Error	-0,592750
Profile of a surface	1,409322
Pts within +/- (1 * StdDev)	1841 (68.719672%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	2537 (94.699515%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	2669 (99.626726%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	2679 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	2679 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	2679 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1829

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1622

Mean	0,117034
StdDev	0,239507
RMS Error	0,266513
MaxErr +	0,633205
MaxErr -	-0,716605
Max Error	0,633205
Min Error	-0,716605
Profile of a surface	1,349810
Pts within +/- (1 * StdDev)	1233 (67.413887%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1750 (95.680700%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1821 (99.562603%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1829 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1829 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1829 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Mean	0,139605
StdDev	0,219543
RMS Error	0,260114
MaxErr +	0,662296
MaxErr -	-0,554067
Max Error	0,662296
Min Error	-0,554067
Profile of a surface	1,216364
Pts within +/- (1 * StdDev)	1066 (65.721332%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1553 (95.745993%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1615 (99.568434%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1622 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1622 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1622 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1393
Mean	-0,113028
StdDev	0,433212
RMS Error	0,447564
MaxErr +	0,593073
MaxErr -	-1,393158
Max Error	0,593073
Min Error	-1,393158
Profile of a surface	1,986231
Pts within +/- (1 * StdDev)	989 (70.997846%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1303 (93.539124%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1393 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1393 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1393 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1393 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	86 (6.173726%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,073122

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1515
Mean	0,106218
StdDev	0,212642
RMS Error	0,237632
MaxErr +	0,645462
MaxErr -	-0,639183
Max Error	0,645462
Min Error	-0,639183
Profile of a surface	1,284645
Pts within +/- (1 * StdDev)	1059 (69.900990%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1455 (96.039604%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1505 (99.339934%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1515 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1515 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1515 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1537
Mean	0,122879
StdDev	0,265355
RMS Error	0,292347
MaxErr +	0,752729
MaxErr -	-0,672319
Max Error	0,752729
Min Error	-0,672319
Profile of a surface	1,425048
Pts within +/- (1 * StdDev)	1062 (69.095641%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1449 (94.274561%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1537 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1537 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1537 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1537 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1863
Mean	0,143682
StdDev	0,243853
RMS Error	0,282979
MaxErr +	0,706112
MaxErr -	-0,657887
Max Error	0,706112
Min Error	-0,657887
Profile of a surface	1,363998
Pts within +/- (1 * StdDev)	1223 (65.646806%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1791 (96.135266%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1859 (99.785293%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1863 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1863 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1863 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	2532
Mean	-0,079268
StdDev	0,253522
RMS Error	0,265578
MaxErr +	0,463131
MaxErr -	-0,845826
Max Error	0,463131

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	2463
Mean	-0,042553
StdDev	0,227974
RMS Error	0,231866
MaxErr +	0,415645
MaxErr -	-0,819604
Max Error	0,415645

Min Error	-0,845826
Profile of a surface	1,308957
Pts within +/- (1 * StdDev)	1789 (70.655608%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	2398 (94.707741%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	2530 (99.921011%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	2532 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	2532 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	2532 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Min Error	-0,819604
Profile of a surface	1,235249
Pts within +/- (1 * StdDev)	1752 (71.132765%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	2343 (95.127893%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	2425 (98.457166%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	2463 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	2463 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	2463 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	Richard_Schulz
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	353
Mean	-1,322540
StdDev	1,160346
RMS Error	1,758324
MaxErr +	0,346506
MaxErr -	-3,161641
Max Error	0,346506
Min Error	-3,161641
Profile of a surface	3,508147
Pts within +/- (1 * StdDev)	183 (51.841360%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	353 (100.000000%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	353 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	353 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	353 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	353 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	141 (39.943343%)
#Pts Out of LoTol	203 (57.507082%)
Surface Out of HiTol	0,354180
Surface Out of LoTol	0,511586

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	Richard_Schulz
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1258
Mean	0,060810
StdDev	0,486509
RMS Error	0,490103
MaxErr +	0,878696
MaxErr -	-1,240492
Max Error	0,878696
Min Error	-1,240492
Profile of a surface	2,119188
Pts within +/- (1 * StdDev)	853 (67.806041%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1195 (94.992051%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1258 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1258 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1258 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1258 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	45 (3.577107%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,039818

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	2786
Mean	-0,135798
StdDev	0,290645
RMS Error	0,320757
MaxErr +	0,528790
MaxErr -	-0,899409
Max Error	0,528790
Min Error	-0,899409
Profile of a surface	1,428200
Pts within +/- (1 * StdDev)	1863 (66.870065%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	2663 (95.585068%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	2786 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	2786 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	2786 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	2786 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	2186
Mean	-0,020934
StdDev	0,238872
RMS Error	0,239733
MaxErr +	0,495565
MaxErr -	-0,688534
Max Error	0,495565
Min Error	-0,688534
Profile of a surface	1,184099
Pts within +/- (1 * StdDev)	1478 (67.612077%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	2080 (95.150961%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	2186 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	2186 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	2186 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	2186 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1680
Mean	0,205701
StdDev	0,266431
RMS Error	0,336536
MaxErr +	0,855228
MaxErr -	-0,561314

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1758
Mean	0,239167
StdDev	0,250559
RMS Error	0,346331
MaxErr +	0,735241
MaxErr -	-0,718634

Max Error	0,855228
Min Error	-0,561314
Profile of a surface	1,416542
Pts within +/- (1 * StdDev)	1127 (67.083333%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1611 (95.892857%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1680 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1680 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1680 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1680 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Max Error	0,735241
Min Error	-0,718634
Profile of a surface	1,453875
Pts within +/- (1 * StdDev)	1261 (71.729238%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1673 (95.164960%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1737 (98.805461%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1758 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1758 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1758 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1185
Mean	0,090731
StdDev	0,248582
RMS Error	0,264524
MaxErr +	0,654675
MaxErr -	-0,610942
Max Error	0,654675
Min Error	-0,610942
Profile of a surface	1,265616
Pts within +/- (1 * StdDev)	793 (66.919831%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1133 (95.611814%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1185 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1185 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1185 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1185 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1936
Mean	0,592626
StdDev	0,248929
RMS Error	0,642759
MaxErr +	1,221248
MaxErr -	-0,112989
Max Error	1,221248
Min Error	-0,112989
Profile of a surface	1,334238
Pts within +/- (1 * StdDev)	1270 (65.599174%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1863 (96.229339%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1936 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1936 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1936 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1936 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	74 (3.822314%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,038228

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1628
Mean	-0,131623
StdDev	0,367004
RMS Error	0,389787
MaxErr +	0,633024
MaxErr -	-1,220238
Max Error	0,633024
Min Error	-1,220238
Profile of a surface	1,853263
Pts within +/- (1 * StdDev)	1066 (65.479115%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1568 (96.314496%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1628 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1628 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1628 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1628 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	25 (1.535627%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,014421

Table Type	Data to Reference (Data Point)
Cmp Object(s)	
Ref	
Cmp Dist	4,000000
Cmp Angle	
HiTol +	2,000000
LoTol +	1,000000
LoTol -	-1,000000
HiTol -	-2,000000
Err Dir	Shortest Distance
Offset	
#Points	1933
Mean	0,077971
StdDev	0,256839
RMS Error	0,268350
MaxErr +	0,648060
MaxErr -	-0,622525
Max Error	0,648060
Min Error	-0,622525
Profile of a surface	1,270585
Pts within +/- (1 * StdDev)	1265 (65.442318%)
Pts within +/- (2 * StdDev)	1869 (96.689084%)
Pts within +/- (3 * StdDev)	1933 (100.000000%)
Pts within +/- (4 * StdDev)	1933 (100.000000%)
Pts within +/- (5 * StdDev)	1933 (100.000000%)
Pts within +/- (6 * StdDev)	1933 (100.000000%)
#Pts Out of HiTol	0 (0.000000%)
#Pts Out of LoTol	0 (0.000000%)
Surface Out of HiTol	0,000000
Surface Out of LoTol	0,000000

5.7 Auswertung manuelle Segmentierung (Schichten 100 % Sicherheit)

Gemessen: Abweichung vom GoldStandard (Radiologe) des 3D-Modells des N.VII

Datensätze	1. Durchlauf			2. Durchlauf		
	MAX	RMS	STD	MAX	RMS	STD
Patient1	-1,51	0,46	0,35	-1,04	0,33	0,32
Patient2	-1,53	0,46	0,32	-2,01	0,35	0,28
Patient3	-1,52	0,41	0,31	-1,60	0,41	0,31
Patient4	-3,11	1,31	0,71	-2,55	1,09	0,75
Patient5	-1,11	0,40	0,33	-4,00	1,25	1,01
Patient6	-1,74	0,39	0,33	-2,10	0,45	0,35
Patient7	-1,50	0,39	0,30	-1,07	0,35	0,22
Patient8	-3,69	1,00	0,86	-1,12	0,28	0,25
Patient9	-0,98	0,27	0,23	-2,01	0,35	0,28
Patient10	-1,02	0,31	0,26	-1,64	0,37	0,28
Mittel	-1,77	0,54	0,40	-1,91	0,52	0,40

5.8 Auswertung semi-automatische Segmentierung (Schichten 100 % Sicherheit)

Gemessen: Abweichung vom GoldStandard (Radiologe) des 3D-Modells des N.VII

Datensätze	1. Durchlauf			2. Durchlauf		
	MAX	RMS	STD	MAX	RMS	STD
Patient1	-0,76	0,23	0,22	0,82	0,34	0,26
Patient2	0,65	0,26	0,25	1,22	0,64	0,25
Patient3	-1,39	0,45	0,43	0,65	0,24	0,21
Patient4	-3,16	1,76	1,16	-1,24	0,49	0,49
Patient5	0,86	0,34	0,27	0,74	0,35	0,25
Patient6	-1,22	0,39	0,37	0,65	0,65	0,26
Patient7	-0,85	0,27	0,25	-0,82	0,23	0,23
Patient8	0,75	0,29	0,27	0,71	0,28	0,24
Patient9	-0,72	0,27	0,24	0,22	0,26	0,66
Patient10	-0,90	0,32	0,29	-0,69	0,24	0,24
	-0,67	0,46	0,37	0,23	0,37	0,31

6. Zusammenfassung der Arbeit

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. med.

Durchführbarkeit und Genauigkeit der manuellen Segmentierung des Nervus facialis in hochauflösenden CT-Bildern im Vergleich mit einer semi-automatischen Segmentierung

eingereicht von: Christoph Aumeier

angefertigt an: Medizinische Fakultät der Universität Leipzig, Klinik und Poliklinik für HNO-Heilkunde/Plastische Operationen, Universitätsklinikum Leipzig/Innovation Center for Computer Assisted Surgery (ICCAS)

betreut von: Prof. Dr. med. habil. Gero Strauß (ICCAS)

Juni 2013

Einleitung

Aufgrund der komplexen, unübersichtlichen und schwer zugänglichen Region des Felsenbeines könnte der Einsatz der computerassistierten Chirurgie in diesem Bereich nützlich sein.

Das Konzept der navigierten Chirurgie kommt u.a. bei Eingriffen an der lateralen Schädelbasis zur Anwendung. Insbesondere bei Patienten, bei denen die normale Anatomie aufgrund früherer Operationen, Malformationen, erlittener Traumata oder durch Voranschreiten einer Tumorerkrankung verändert wurde, besteht ein erhöhtes OP – Risiko. Unter derartigen Bedingungen kommt den Navigationssystemen eine erhebliche Bedeutung zu um Strukturen wie den Nervus facialis zu identifizieren und um damit dessen Verletzung intraoperativ vermeiden zu können.

Eine prä – operative 3-dimensionale Darstellung des Nervus facialis in Form von Segmentierungstechniken könnte das Risiko von Verletzungen erheblich vermindern.

Es ist das Ziel dieser Arbeit, zu zeigen, dass die manuelle Segmentierung des Nervus facialis als Risikostruktur des Felsenbeins innerhalb von hochauflösenden CTs möglich ist. Des Weiteren soll überprüft werden, ob eine semi-automatische Segmentierung durchführbar ist, die die gleiche Genauigkeit der manuellen Segmentierung erreicht und möglichst in geringerem Zeitaufwand umsetzbar ist.

Material/ Methoden

Für die Segmentierungen wurden 10 Patienten - CT-Datensätze mit einer Voxelgröße von 0,16 x 0,16 x 0,3 mm ausgewählt. Sie wurden im DICOM Standard 3.0 gespeichert und auf CD-Rom archiviert.

Mit einer Software (Voxim-Software, IVS Solutions AG, Chemnitz, Deutschland) war es möglich, die DICOM - Datensätze der Patienten - CDs zu importieren und sie in drei Ebenen (sagittal, koronar und axial) zu visualisieren. Zudem konnte anhand eines Farb-Tools mit der Computermaus die Segmentierung des Verlaufs des Nervus facialis vorgenommen werden.

Der in der Voxim - Software segmentierte Verlauf des Nervus facialis wurde als 3D-STL Datei gespeichert. Die Software Polyworks 9.0.2 (Innovmetric, Quebec, Canada) wurde zur Evaluation des räumlichen Verlaufs des segmentierten Nerven genutzt.

Die Voxim Software wurde zusätzlich um eine Workflow - Schnittstelle erweitert. Diese Surgical Workflow Software (SWAN GmbH, Leipzig, Deutschland) ermöglichte es, alle Segmentierungsvorgänge, die von den Probanden durchgeführt wurden, durch das Senden von URL-Meldungen entlang einer mitlaufenden Zeitmessung (time stamps) aufzuzeichnen.

Als Referenz der manuellen Segmentierungen diente eine Mastersegmentierung.

Für den manuellen Segmentierungsvorgang wurde eine modifizierte Version der Software Voxim (Version 5.6, IVS Solutions AG, Chemnitz) verwendet.

Die semi-automatische Segmentierung erfolgte mit dem CoDiagnostix-Modul von Voxim (ebenfalls IVS Solutions AG).

Die aufgezeichneten Verläufe des Nervs wurden in Form einer 3D-STL-Datei exportiert. Die Polyworks - Software errechnete aus den Schicht für Schicht gesetzten Markierungen der Probanden für jeden Patienten einen individuellen, vollständigen Verlauf des Nervus facialis. Zudem bot sie die Möglichkeit, diese Probandenspezifischen Nervenverläufe in einem Bild übereinander zulegen und somit interindividuelle Abweichungen zu berechnen und auch graphisch zu veranschaulichen. In der vorliegenden Arbeit wurde weiterhin der Zusammenhang von benötigter Segmentierzeit und Segmentiergenauigkeit geprüft. Die Prüfung des Zusammenhanges erfolgte über eine Korrelationsanalyse.

Des Weiteren sollte die Frage beantwortet werden, ob die Probanden den Fazialisverlauf im CT bewusst festlegen und ihre Entscheidung subjektiv konfident bewerten.

Ergebnisse

Die beiden in dieser Arbeit untersuchten Methoden wiesen keinen Unterschied für die Genauigkeit auf. Dabei betrug die mittlere quadratische Abweichung für die manuelle Segmentierform 0,53 mm und 0,42 mm für den semi-automatischen Ansatz.

sec.

Eine Korrelationsanalyse (zur Prüfung des Zusammenhangs zwischen Segmentierzeit und Segmentierpräzision) zeigte für die manuelle Segmentierung lediglich Korrelationskoeffizienten nach Pearson von 0,31 für den ersten Durchlauf bzw. von 0,20 für den zweiten Durchlauf sowie für beide Durchläufe zusammengenommen. Demnach konnte für die Probanden dieser Segmentierform kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhe der Abweichung (in mm) und der benötigten Segmentierzeit (in sec) dargestellt werden.

Für die semi-automatische Segmentierung ergaben sich Korrelationskoeffizienten nach Pearson von 0,11 für den ersten Durchlauf bzw. von 0,81 für den zweiten Durchlauf und von 0,29 für beide Durchläufe. Damit konnte auch bei diesem Segmentierverfahren lediglich für den zweiten Durchlauf eine Korrelation zwischen Segmentierzeit und Segmentierpräzision - sogar auf Signifikanzniveau ($p < 0,01$) - dargestellt werden (je mehr Zeit der Proband dabei in Anspruch nahm, desto unpräziser wurden seine Segmentierungen).

Die semi – automatische Segmentierung benötigte zudem mit einer mittleren Segmentierzeit/Datensatz von $t = 94$ sec deutlich weniger Zeit als die Probanden der manuellen Segmentierung mit einer mittleren Segmentierzeit/Datensatz von $t = 219,5$

Im Hinblick auf das subjektive Segmentierungsvertrauen (in %) gaben die Studienteilnehmer überwiegend sehr hohe Prozentwerte an. Der Mittelwert aller Teilnehmer lag dabei für den ersten Durchlauf bei $m = 89,22\%$ und derjenige für den zweiten Durchlauf bei $m = 90,95\%$.

Schlussfolgerungen

Anhand dieser Zahlen lässt sich belegen, dass es in dieser Studie möglich war, unter Anwendung eines semi-automatischen Ansatzes annähernd so präzise zu arbeiten wie mit der manuellen Form. Die im System enthaltene Möglichkeit, hinsichtlich der Stützstellendichte variieren zu können, erwies sich in diesem Zusammenhang als sehr hilfreich. Insbesondere bei der Bearbeitung von Arealen, in welchen der Nervus facialis nur schwer von umgebenden Strukturen abzugrenzen war (tympalaner Verlauf), zeigte

sich der Vorteil dieser Anwendungsfunktion. Dem Probanden wurde somit die Orientierung in kritischen Verlaufsregionen des Nervs erleichtert.

Die Ergebnisse der Arbeit haben gezeigt, dass der Nervus facialis reproduzierbar zu segmentieren ist. Der Vergleich erfolgte dabei zu einem von einem Expertenteam interdisziplinär festgelegten Fazialisverlauf für jeden in dieser Studie verwendeten CT-Datensatz.

Die semi-automatische Segmentierung lieferte – unter Berücksichtigung der CT-morphologisch auflösungsbedingten Deviation - den gleichsam präzisen Fazialis - Verlauf wie die manuelle Segmentierung (verglichen zum Referenzverlauf).

Im Hinblick auf den Zeitfaktor unterschritt die semi-automatische Segmentierung die manuelle Segmentierung deutlich. Dies kann jedoch nicht allein auf die reduzierte Anzahl von Fazialis - Markierungen (festgelegt auf 10 Schichten pro Datensatz vs. 23-61 für die manuelle Segmentierung) zurückgeführt werden. Jedoch wurde die semi-automatische Segmentierung von nur einem Probanden durchgeführt. Dieser gehörte zum Expertenteam, welches die Referenzmarkierung festlegte. Die Auswahl auf nur einen Probanden wurde mit Studieninitiierung bewusst gewählt, um das Potential der semi-automatischen Registrierung in einer erfahrenen Hand aufzuzeigen. Retrospektiv betrachtet wird dies jedoch als kritisch gewertet. Da damit auch ein individueller Vergleich zwischen manueller und semi-automatischer Segmentierung möglich gewesen wäre.

Auch im Hinblick auf die Resultate der Korrelationsanalyse für beide Segmentierformen ist davon auszugehen, dass letztlich die Anzahl an Probanden, die die Segmentierungen durchführten, zu gering war um einen konkreten Zusammenhang zwischen der Segmentierzeit und der Segmentierpräzision belegen zu können.

Die Abfrage des subjektiven Segmentierungsvertrauens während der Segmentierung für jede einzelne CT - Schicht, zeigte deutlich, dass sich die Probanden in ihrer Festlegung des Fazialisverlaufes sicher waren. Des Weiteren traten keine Unterschiede des Segmentierungsvertrauens zwischen den verschiedenen Durchläufen auf.

Die Studie zeigt die Machbarkeit und Reproduzierbarkeit der manuellen Fazialis - Segmentierung. Es können hierfür sowohl die manuelle als auch die semi-automatische Segmentierung genutzt werden.

7. Literaturverzeichnis

- 1) Anderson, Jeffrey R.; Barrett, Steven F. (2007): A quantitative comparison between manual segmentation and threshold-based segmentation of CLSM recorded images. In: Biomedical sciences instrumentation, Jg. 43, S. 290–295.
- 2) Anon, J. B.; Klimek, L.; Mosges, R.; Zinreich, S. J. (1997): Computer-assisted endoscopic sinus surgery. An international review. In: Otolaryngologic clinics of North America, Jg. 30, H. 3, S. 389–401.
- 3) Arnold, A. (2008): Die idiopathische Fazialisparese, Universitätsklinik für Hals-Nasen- und Ohrenkrankheiten, Hals- und Kopfchirurgie, Inselspital, Bern, Schweiz Med Forum 8(20):361–365
- 4) Balachandran, Ramya; Fitzpatrick, J. Michael; Labadie, Robert F. (2008): Accuracy of image-guided surgical systems at the lateral skull base as clinically assessed using bone-anchored hearing aid posts as surgical targets. In: Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology, Jg. 29, H. 8, S. 1050–1055.
- 5) Baron, S., Eilers, H., Munske, B., Toennies, JL., Balachandran, R., Labadie, RF., Ortmaier, T., Webster, RJ 3rd. (2010): Percutaneous inner-ear access via an image-guided industrial robot system, Proc Inst Mech Eng H. 224(5):633-49.
- 6) Bartling, Soenke H.; Leinung, Martin; Graute, Johannes; Rodt, Thomas; Dullin, Christian; Becker, Hartmut et al. (2007): Increase of accuracy in intraoperative navigation through high-resolution flat-panel volume computed tomography: experimental comparison with multislice computed tomography-based navigation. In: Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology, Jg. 28, H. 1, S. 129–134.
- 7) Bartling, SH., Shukla, V., Becker, H., Brady, TJ., Hayman, A., Gupta, R. (2005): High-Resolution Flat-Panel Volume-CT of Temporal Bone-Part I: axial preoperative anatomy, J Comput Assist Tomogr. May-Jun;29(3):420-3.
- 8) Bartling, SH., Shukla, V., Becker, H., Brady, TJ., Hayman, A., Gupta, R. (2005): High-Resolution Computed Tomography of Temporal Bone Part II: Coronal

Preoperative Anatomy , J Comput Assist Tomogr 29:566–569.

- 9) Beltle, J. (2006): 3D-Oberflächenvisualisierung des Gehör- und Gleichgewichtsorgans mittels Image Fusion von HR-CT- und HR-MRT-Volumendatensätzen, Dissertation, Radiologische Universitätsklinik Tübingen, Abteilung für Radiologische Diagnostik.
- 10) Berghaus, A., Rettinger, G., Böhme, G. (1996): Hals - Nasen Ohrenheilkunde, MLP Duale Reihe, Hippokrates Verlag, Stuttgart, 467-487.
- 11) Bevilacqua, V., Mastronardi, G., Marinelli, M. (2006): A Neural Network Approach to Medical Image Segmentation and Three-Dimensional Reconstruction, ICIC 2006, LNCS 4113, pp. 22 – 31.
- 12) Böhme, S. (2003): Hochauflösendes Felsenbein – CT nach Stapesplastiken, Dissertation, Medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- 13) Brodwater, BK., Roberts, DW., Nakajima, T., Friets, EM., Strohbehn, JW. (1993): Extracranial application of the frameless stereotactic operating microscope: experience with lumbar spine, Neurosurgery. Feb;32(2):209-13; discussion 213.
- 14) Bruyant, PP., Sau, J., Mallet, JJ. (2000): Streak Artifact Reduction in Filtered Backprojection Using a Level Line-Based Interpolation Method, J Nucl Med. Nov;41(11):1913-9.
- 15) Bumm, K.; Federspil, P. A.; Klenzner, T.; Majdani, O.; Raczkowsky, J.; Strauss, G.; Schipper, J. (2008): [Update on computer- and mechatronic-assisted head and neck surgery in Germany]. In: HNO, Jg. 56, H. 9, S. 908–915.
- 16) Burghart, C. R.; Pernozzoli, A.; Rembold, U. (1998): Knowledgebased segmentation. In: Studies in health technology and informatics, Jg. 50, S. 353–354.
- 17) Burnett, Stuart S. C.; Starkschalla, George; Stevens, Craig W.; Liao, Zhongxing (2004): A deformable-model approach to semi-automatic segmentation of CT images demonstrated by application to the spinal canal. In: Medical physics, Jg. 31, H. 2, S. 251–263.
- 18) Carrau, R. L.; Snyderman, C. H.; Curtin, H. D.; Janecka, I. P.; Stechison, M.; Weissman, J. L.: Computer-assisted intraoperative navigation during skull base surgery. In: American journal of otolaryngology, Jg. 17, H. 2, S. 95–101.

-
- 19)Caversaccio, M.; Lädach, K.; Bächler, R.; Schroth, G.; Nolte, L. P.; Häusler, R. (1998): [Computer-assisted surgical navigation with a dynamic mobile framework for the nasal fossae, sinuses and base of the skull]. In: Annales d'oto-laryngologie et de chirurgie cervico faciale : bulletin de la Société d'oto-laryngologie des hôpitaux de Paris, Jg. 115, H. 5, S. 253–258.
- 20)Caversaccio, M.; Nuyens, M.; Bächler, R.; Lädach, K.; Schroth, G.; Nolte, L.; Häusler, R.: [Surgery of the skull base and paranasal sinuses assisted by a computerized navigation system without external orientation support]. In: Acta otorrinolaringológica española, Jg. 50, H. 5, S. 392–397.
- 21)Caversaccio, M.; Stieger, C.; Weber, S.; Häusler, R.; Nolte, L-P (2009): [Navigation and robotics of the lateral skull base]. In: HNO, Jg. 57, H. 10, S. 975–982.
- 22)Caversaccio, M.; Zheng, G.; Nolte, L-P (2008): [Computer-aided surgery of the paranasal sinuses and the anterior skull base]. In: HNO, Jg. 56, H. 4, S. 376-8, 780-2.
- 23)Caversaccio, Marco; Eichenberger, Adrian; Häusler, Rudolf: Virtual simulator as a training tool for endonasal surgery. In: American journal of rhinology, Jg. 17, H. 5, S. 283–290.
- 24)Caversaccio, Marco; Langlotz, Frank; Nolte, Lutz-Peter; Häusler, Rudolf (2007): Impact of a self-developed planning and self-constructed navigation system on skull base surgery: 10 years experience. In: Acta oto-laryngologica, Jg. 127, H. 4, S. 403–407.
- 25)Caversaccio, Marco; Nolte, Lutz-Peter; Häusler, Rudolf (2002): Present state and future perspectives of computer aided surgery in the field of ENT and skull base. In: Acta oto-rhino-laryngologica Belgica, Jg. 56, H. 1, S. 51–59.
- 26)Caversaccio, M., Bächler, R., Lädach, K., Schroth, G., Nolte, LP., Häusler, R. (2000): Frameless computer-aided surgery system for revision endoscopic sinus surgery. Otolaryngol Head Neck Surg. 2000 Jun;122(6):808-13.
- 27)Coulson, C. J.; Reid, A. P.; Proops, D. W.; Brett, P. N. (2007): ENT challenges at the small scale. In: The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS, Jg. 3, H. 2, S. 91–96.

-
- 28)Dittrich, E.; Strauss, G.; Hofer, M.; Dietz, A.; Baumberger, C.; Grunert, G.; Korb, W.; Koulechov, K.; Strauss, M. & Lueth, T. (2007): Verbesserte Genauigkeit und Präzision der navigiert – kontrollierten Fräse für die Ohrchirurgie, Otorhinolaryngol Head Neck Surg 3:Doc77
- 29)Dubin, Marc G.; Kuhn, Frederick A. (2005): Stereotactic computer assisted navigation: state of the art for sinus surgery, not standard of care. In: Otolaryngologic clinics of North America, Jg. 38, H. 3, S. 535–549.
- 30)Ecke, U.; Luebben, B.; Maurer, J.; Boor, S.; Mann, W. J. (2003): Comparison of Different Computer-Aided Surgery Systems in Skull Base Surgery. In: Skull base : official journal of North American Skull Base Society ... [et al.], Jg. 13, H. 1, S. 43–50.
- 31)Ecke, U.; Maurer, J.; Boor, S.; Khan, M.; Mann, W. J. (2003): [Common errors of intraoperative navigation in lateral skull base surgery]. In: HNO, Jg. 51, H. 5, S. 386–393.
- 32)Fantoni, C., Hilger, JD., Gerbino, W., Kellman, PJ. (2008): Surface interpolation and 3D relatability, J Vis. Nov 7;8(7):29.1-19.
- 33)Federspil, P. A. (2009): [New developments in computer-assisted surgery]. In: HNO, Jg. 57, H. 10, S. 974.
- 34)Grevers, G.; Menauer, F.; Leunig, A.; Caversaccio, M.; Kastenbauer, E. (1999): [Navigation surgery in diseases of the paranasal sinuses]. In: Laryngo- rhinotologie, Jg. 78, H. 1, S. 41–46.
- 35)Gunkel, A. R.; Freysinger, W.; Thumfart, W. F. (2000): Experience with various 3-dimensional navigation systems in head and neck surgery. In: Archives of otolaryngology--head & neck surgery, Jg. 126, H. 3, S. 390–395.
- 36)Gunkel, A. R.; Vogele, M.; Martin, A.; Bale, R. J.; Thumfart, W. F.; Freysinger, W. (1999): Computer-aided surgery in the petrous bone. In: The Laryngoscope, Jg. 109, H. 11, S. 1793–1799.
- 37)Hassfeld, S.; Mühling, J. (1998): Navigation in maxillofacial and craniofacial surgery. In: Computer aided surgery : official journal of the International Society for Computer Aided Surgery, Jg. 3, H. 4, S. 183–187.

-
- 38) Hassfeld, S.; Mühling, J. (2001): Computer assisted oral and maxillofacial surgery--a review and an assessment of technology. In: International journal of oral and maxillofacial surgery, Jg. 30, H. 1, S. 2–13.
- 39) Hassfeld, S.; Mühling, J.; Zöller, J. (1995): Intraoperative navigation in oral and maxillofacial surgery. In: International journal of oral and maxillofacial surgery, Jg. 24, H. 1 Pt 2, S. 111–119.
- 40) Hassfeld, S.; Zöller, J.; Albert, F. K.; Wirtz, C. R.; Knauth, M.; Mühling, J. (1998): Preoperative planning and intraoperative navigation in skull base surgery. In: Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery, Jg. 26, H. 4, S. 220–225.
- 41) Häusler, R.; Caversaccio, M.; Zbären, P. (1999): Facial nerve function after petrosectomy. In: The Laryngoscope, Jg. 109, H. 7 Pt 1, S. 1094–1101.
- 42) Heath, CC., Balachandran, R., Majdanib, O., Jurik, A., Edwards, T., Labadie, RF., Fitzpatrick, JM. (2009): Disablement of a Surgical Drill via CT Guidance to Protect Vital Anatomy, Medical Imaging: Visualization, Image-Guided Procedures, and Modeling, Proc. of SPIE Vol. 7261, 72610N
- 43) Heermann, R.; Issing, P. R.; Husstedt, H.; Becker, H.; Lenarz, T. (2001): [CAS-System MKM(R): use and results in lateral skull base surgery]. In: Laryngo-rhino- otologie, Jg. 80, H. 10, S. 569–575.
- 44) Heimann, Tobias; Meinzer, Hans-Peter (2009): Statistical shape models for 3D medical image segmentation: a review. In: Medical image analysis, Jg. 13, H. 4, S. 543–563.
- 45) Heinonen, T.; Dastidar, P.; Kauppinen, P.; Malmivuo, J.; Eskola, H. (1998): Semi-automatic tool for segmentation and volumetric analysis of medical images. In: Medical & biological engineering & computing, Jg. 36, H. 3, S. 291–296.
- 46) Hill, DLG., Batchelor, PG., Holden, M., Hawkes, DJ. (2001): Medical image registration, Phys. Med. Biol. 46 R1–R45
- 47) Hofer, M.; Dittrich, E.; Scholl, C.; Neumuth, T.; Strauss, M.; Dietz, A. et al. (2008): First clinical evaluation of the navigated controlled drill at the lateral skull base. In: Studies in health technology and informatics, Jg. 132, S. 171–173.

-
- 48)Hofer, M.; Grunert, R.; Dittrich, E.; Müller, E.; Möckel, M.; Koulechov, K. et al. (2007): Surgery on the lateral skull base with the navigated controlled drill employed for a mastoidectomy (pre clinical evaluation). In: Studies in health technology and informatics, Jg. 125, S. 179–184.
- 49)Hofer, M.; Strauss, G.; Koulechov, K.; Strauss, M.; Stopp, S.; Pankau, A. et al. (2006): Establishing navigated control in head surgery. In: Studies in health technology and informatics, Jg. 119, S. 201–206.
- 50)Hofer, Mathias; Dittrich, Elmar; Baumberger, Christian; Strauss, Mario; Dietz, Andreas; Lüth, Tim; Strauss, Gero (2010): The influence of various registration procedures upon surgical accuracy during navigated controlled petrous bone surgery. In: Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Jg. 143, H. 2, S. 258–262.
- 51)Hofer, M., Strauß, G. CAS in der HNO-Chirurgie, In Computerassistierte Chirurgie 2010, S. 445 – 460, Elsevier (Urban & Fischer), München, Hrsg. P.M. Schlag, S. Eulenstein, T. Lange, 1. Auflage ISBN: 978-3-437-24880-1.
- 52)Huang, Tzung-Chi; Zhang, Geoffrey; Guerrero, Thomas; Starkschall, George; Lin, Kan-Ping; Forster, Ken (2006): Semi-automated CT segmentation using optic flow and Fourier interpolation techniques. In: Computer methods and programs in biomedicine, Jg. 84, H. 2-3, S. 124–134.
- 53)Kacker, Ashutosh; Tabaee, Abtin; Anand, Vijay (2005): Computer-assisted surgical navigation in revision endoscopic sinus surgery. In: Otolaryngologic clinics of North America, Jg. 38, H. 3, S. 473-82, vi.
- 54)Klapan, Ivica; Vranjes, Zeljko; Risavi, Ranko; Simić, Ljubimko; Prgomet, Drago; Glusac, Branko (2006): Computer-assisted surgery and computer-assisted telesurgery in otorhinolaryngology. In: Ear, nose, & throat journal, Jg. 85, H. 5, S. 318–321.
- 55)Klimek, L. (1999): [Computer-assisted surgery (CAS)--the challenge for radiologists and surgeons]. In: RöFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin, Jg. 170, H. 3, S. 233–234.

-
- 56) Klimek, L.; Mösges, R. (1998): [Computer-assisted surgery in the ENT specialty. Developments and experiences from the first decade]. In: *Laryngo- rhinotologie*, Jg. 77, H. 5, S. 275–282.
- 57) Klimek, L.; Mösges, R.; Schlöndorff, G.; Mann, W. (1998): Development of computer-aided surgery for otorhinolaryngology. In: *Computer aided surgery : official journal of the International Society for Computer Aided Surgery*, Jg. 3, H. 4, S. 194–201.
- 58) Knott, P. Daniel; Batra, Pete S.; Citardi, Martin J. (2006): Computer aided surgery: concepts and applications in rhinology. In: *Otolaryngologic clinics of North America*, Jg. 39, H. 3, S. 503-22, ix.
- 59) Kokoska, Mimi S.; Hardeman, Scott; Stack, Brendan C.; Citardi, Martin J.: Computer-aided reduction of zygomatic fractures. In: *Archives of facial plastic surgery : official publication for the American Academy of Facial Plastic and Reconstructive Surgery, Inc. and the International Federation of Facial Plastic Surgery Societies*, Jg. 5, H. 5, S. 434–436.
- 60) Koulechov, Kirill; Strauss, Gero; Dietz, Andreas; Strauss, Mario; Hofer, Matthias; Lueth, Tim C. (2006): FESS control: realization and evaluation of navigated control for functional endoscopic sinus surgery. In: *Computer aided surgery : official journal of the International Society for Computer Aided Surgery*, Jg. 11, H. 3, S. 147–159.
- 61) Krückels, G.; Korves, B.; Klimek, L.; Mösges, R. (1996): Endoscopic surgery of the rhinobasis with a computer-assisted localizer. In: *Surgical endoscopy*, Jg. 10, H. 4, S. 453–456.
- 62) Labadie, Robert F.; Balachandran, Ramya; Mitchell, Jason E.; Noble, Jack H.; Majdani, Omid; Haynes, David S. et al. (2010): Clinical validation study of percutaneous cochlear access using patient-customized microstereotactic frames. In: *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, Jg. 31, H. 1, S. 94–99.
- 63) Labadie, Robert F.; Chodhury, Pallavi; Cetinkaya, Ebru; Balachandran, Ramya; Haynes, David S.; Fenlon, Micahel R. et al. (2005): Minimally invasive, image-guided, facial-recess approach to the middle ear: demonstration of the concept of

-
- percutaneous cochlear access in vitro. In: *Otology & neurotology* : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology, Jg. 26, H. 4, S. 557–562.
- 64) Leinung, M., Baron, S., Eilers, H., Heimann, B., Bartling, S., Heermann, R., Lenarz, T., Majdani, O. (2007): Robotic-guided minimally-invasive cochleostomy: first results, *GMS CURAC* 2(1):Doc05
- 65) Liao, YL., Lu, CF., Sun, YN., Wu, CT., Lee, JD., Lee, ST., Wu, YT. (2011): three-dimensional reconstruction of cranial defect using active contour model and image registration, *Med Biol Eng Comput.* Feb;49(2):203-11.
- 66) Liebl, M. (2004): Die Darstellung des Felsenbeins in der Multi – Slice – CT – ein qualitativer Vergleich mit der Single – Slice – CT, Dissertation, Medizinische Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- 67) Luccichenti, G., Cademartiri, F., Pezzella, FR., Runza, G., Belgrano, M., Midiri, M., Sabatini, U., Bastianello, S., Krestin, GP. (2005): 3D reconstruction techniques made easy: know-how and pictures, *Eur Radiol.* Oct;15(10):2146-56.
- 68) Majdani, O.; Bartling, S. H.; Leinung, M.; Stöver, T.; Lenarz, M.; Dullin, C.; Lenarz, Th (2008): [Image-guided minimal-invasive cochlear implantation--experiments on cadavers]. In: *Laryngo- rhino- otologie*, Jg. 87, H. 1, S. 18–22.
- 69) Majdani, O.; Leinung, M.; Heermann, R. (2006): [New developments in navigation technology]. In: *HNO*, Jg. 54, H. 11, S. 829–832.
- 70) Majdani, O.; Leinung, M.; Lenarz, T.; Heermann, R. (2003): [Navigation-supported surgery in the head and neck region]. In: *Laryngo- rhino- otologie*, Jg. 82, H. 9, S. 632–644.
- 71) Majdani, Omid; Bartling, Soenke H.; Leinung, Martin; Stöver, Timo; Lenarz, Minoo; Dullin, Christian; Lenarz, Thomas (2008): A true minimally invasive approach for cochlear implantation: high accuracy in cranial base navigation through flat-panel-based volume computed tomography. In: *Otology & neurotology* : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology, Jg. 29, H. 2, S. 120–123.
- 72) Majdani, O., Bartling, S., Rodt, Th., Eilers, H., Dullin, C., Issa, G., Rau, Th., Lenarz, M., Lenarz, Th., Leinung, M. (2007): Volume Computed Tomographie for

navigated procedures at the lateral skull base – proof of feasibility on phantom and human temporal bone specimens, GMS current topics in computer and robot assisted surgery, 2:Doc06

- 73)Mann, W.; Klimek, L. (1998): Indications for computer-assisted surgery in otorhinolaryngology. In: Computer aided surgery : official journal of the International Society for Computer Aided Surgery, Jg. 3, H. 4, S. 202–204.
- 74)Metson, R.; Gliklich, R. E.; Cosenza, M. (1998): A comparison of image guidance systems for sinus surgery. In: The Laryngoscope, Jg. 108, H. 8 Pt 1, S. 1164–1170.
- 75)Metson, R., Cosenza, M., Gliklich, RE., Montgomery, WW. (1999):The role of image-guidance systems for head and neck surgery. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. Oct;125(10):1100-4.
- 76)Metzger, Marc Christian; Hohlweg-Majert, Bettina; Schön, Ralf; Teschner, Matthias; Gellrich, Nils-Claudius; Schmelzeisen, Rainer; Gutwald, Ralf (2007): Verification of clinical precision after computer-aided reconstruction in craniomaxillofacial surgery. In: Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics, Jg. 104, H. 4, S. e1-10.
- 77)Mippi, A. (2001): Resultate der primären und sekundären Fazialis – Rehabilitation der HNO – Klinik Fulda; eine Auswertung der Jahre 1979-1998, Dissertation, Medizinische Fakultät der Ruhr-Universität Bochum
- 78)Mosges, R.; Klimek, L. (1993): Computer-assisted surgery of the paranasal sinuses. In: The Journal of otolaryngology, Jg. 22, H. 2, S. 69–71.
- 79)Mösge, R. (1993): [Computer-assisted surgery of the area of the cranial base. "Supplementary tool, revolution or science fiction?"]. In: European archives of oto-rhino-laryngology. Supplement, Jg. 1, S. 373–383.
- 80)Mösge, R. (1994): [Quality assurance in ENT medicine]. In: HNO, Jg. 42, H. 5, S. 251–252.
- 81)Mösge, R.; Schlöndorff, G. (1988): A new imaging method for intraoperative therapy control in skull-base surgery. In: Neurosurgical review, Jg. 11, H. 3-4, S. 245–247.

-
- 82)Mueller, S. A.; Caversaccio, M. (2010): Outcome of computer-assisted surgery in patients with chronic rhinosinusitis. In: *The Journal of laryngology and otology*, Jg. 124, H. 5, S. 500–504.
- 83)Naraghi, Ramin; Tanrikulu, Levent; Troescher-Weber, Regina; Bischoff, Barbara; Hecht, Martin; Buchfelder, Michael; Hastreiter, Peter (2007): Classification of neurovascular compression in typical hemifacial spasm: three-dimensional visualization of the facial and the vestibulocochlear nerves. In: *Journal of neurosurgery*, Jg. 107, H. 6, S. 1154–1163.
- 84)Neumann, A.; Lorenz, C.: Statistical shape model based segmentation of medical images. In: *Computerized medical imaging and graphics : the official journal of the Computerized Medical Imaging Society*, Jg. 22, H. 2, S. 133–143.
- 85)Noble, Jack H.; Dawant, Benoit M.; Warren, Frank M.; Labadie, Robert F. (2009): Automatic identification and 3D rendering of temporal bone anatomy. In: *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, Jg. 30, H. 4, S. 436–442.
- 86)Noble, Jack H.; Warren, Frank M.; Labadie, Robert F.; Dawant, Benoit M. (2008): Automatic segmentation of the facial nerve and chorda tympani in CT images using spatially dependent feature values. In: *Medical physics*, Jg. 35, H. 12, S. 5375–5384.
- 87)Ohnesorge, B., Flohr, T., Schaller, S. (1999): Technische Grundlagen und Anwendungen der Mehrschicht-CT, *Radiologe* 39;923-931.
- 88)Olson, G.; Citardi, M. J. (2000): Image-guided functional endoscopic sinus surgery. In: *Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, Jg. 123, H. 3, S. 188–194.
- 89)Pham, Annette M.; Rafii, Amir A.; Metzger, Marc C.; Jamali, Amir; Strong, E. Bradley (2007): Computer modeling and intraoperative navigation in maxillofacial surgery. In: *Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, Jg. 137, H. 4, S. 624–631.
- 90)Pirner, S.; Tingelhoff, K.; Wagner, I.; Westphal, R.; Rilk, M.; Wahl, F. M. et al. (2009): CT-based manual segmentation and evaluation of paranasal sinuses. In:

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, Jg. 266, H. 4, S. 507–518.

- 91)Pianykh, OS. (2008): Digital Imaging and Communications in Medicine(DICOM). A Practical Introduction and Survival Guide, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- 92)Qazi, A. A.: Auto-segmentation of normal and target structures in head and neck CT images A feature-driven model-based approach. In: Medical physics, S. 2011; VOL 38; NUMB 11, 6160-6170.
- 93)Qu, Yingge; Heng, Pheng Ann; Wong, Tien-Tsin (2006): Semi-automatic segmentation and tracking of CVH data. In: Studies in health technology and informatics, Jg. 119, S. 437–439.
- 94)Reinhardt, H., Trippel, M., Westermann, B., Gratzl, O. (1999): Computer aided surgery with special focus on neuronavigation. Comput Med Imaging Graph. Sep-Oct;23(5):237-44.
- 95)Riechmann, M., Lohnstein, P.U., Raczkowsky, J., Klenzner, Th., Schipper, J.,Wörn, H.(2007): Ein probabilistisches dreidimensionales Modell des Felsenbeins, Tagungsband der 6. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computergestützte Chirurgie 11.-13.10.2007.
- 96)Roberts, DW., Strohbehn, JW., Hatch, JF., Murray, W., Kettenberger, H. (1986): A frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope, J Neurosurg. Oct;65(4):545-9.
- 97)Schlöndorff, G. (1998): Computer-assisted surgery: historical remarks. In: Computer aided surgery : official journal of the International Society for Computer Aided Surgery, Jg. 3, H. 4, S. 150–152.
- 98)Schlöndorff, G.; Mösges, R.; Meyer-Ebrecht, D.; Krybus, W.; Adams, L. (1989): [CAS (computer assisted surgery). A new procedure in head and neck surgery]. In: HNO, Jg. 37, H. 5, S. 187–190.
- 99)Shin, H., Stamm, G., Hogemann, D., Galanski, M. (2000): Grundregeln der Datenakquisition und Datennachverarbeitung für die Erstellung hochwertiger virtueller Modelle, Radiologe 40(3): 304-12.

-
- 100) Sindwani, Raj: Image-guided surgery of the paranasal sinuses and skull base. In: Missouri medicine, Jg. 105, H. 3, S. 257–261.
- 101) Strauss, G. (2009): [Computer-assisted surgery of the frontal skull base]. In: HNO, Jg. 57, H. 10, S. 990–997.
- 102) Strauss, G.; Dittrich, E.; Baumberger, C.; Hofer, M.; Strauss, M.; Stopp, S. et al. (2008): [Improvement of registration accuracy for navigated-control drill in mastoidectomy (autopilot)]. In: Laryngo- rhino- otologie, Jg. 87, H. 8, S. 560–564.
- 103) Strauss, G.; Fischer, M.; Meixensberger, J.; Falk, V.; Trantakis, C.; Winkler, D. et al. (2006): [Workflow analysis to assess the efficiency of intraoperative technology using the example of functional endoscopic sinus surgery]. In: HNO, Jg. 54, H. 7, S. 528–535.
- 104) Strauss, G.; Hertel, I.; Dornheim, J.; Cordes, J.; Burgert, O.; Schulz, T. et al. (2006): [Three-dimensional visualization of CT of the neck for surgical planning]. In: Laryngo- rhino- otologie, Jg. 85, H. 10, S. 746–754.
- 105) Strauss, G.; Hofer, M.; Korb, W.; Trantakis, C.; Winkler, D.; Burgert, O. et al. (2006): [Accuracy and precision in the evaluation of computer assisted surgical systems. A definition]. In: HNO, Jg. 54, H. 2, S. 78–84.
- 106) Strauss, G.; Koulechov, K.; Richter, R.; Dietz, A.; Meixensberger, J.; Trantakis, C.; Lüth, T. (2005): [Navigated control: a new concept in computer assisted ENT-surgery]. In: Laryngo- rhino- otologie, Jg. 84, H. 8, S. 567–576.
- 107) Strauss, G.; Koulechov, K.; Richter, R.; Dietz, A.; Trantakis, C.; Lüth, T. (2005): Navigated control in functional endoscopic sinus surgery. In: The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS, Jg. 1, H. 3, S. 31–41.
- 108) Strauss, G.; Koulechov, K.; Röttger, S.; Bahner, J.; Trantakis, C.; Hofer, M. et al. (2006): [Clinical efficiency and the influence of human factors on ear, nose, and throat navigation systems]. In: HNO, Jg. 54, H. 12, S. 947–957.
- 109) Strauss, G.; Koulechov, K.; Stopp, S.; Strauss, M.; Pankau, A.; Hofer, M. et al. (2006): [Improved accuracy and precision of the automated shaver (navigated control) in functional endoscopic sinus surgery]. In: Laryngo- rhino- otologie, Jg. 85, H. 8, S. 559–566.

-
- 110) Strauss, G.; Limpert, E.; Fischer, M.; Hofer, M.; Kubisch, C.; Krüger, A. et al. (2009): [Virtual endoscopy of the nose and paranasal sinuses in real-time. Surgical planning system "Sinus endoscopy" (SPS-SE)]. In: HNO, Jg. 57, H. 8, S. 789–796.
- 111) Strauss, G.; Limpert, E.; Strauss, M.; Hofer, M.; Dittrich, E.; Nowatschin, S.; Lüth, T. (2009): [Evaluation of a daily used navigation system for FESS]. In: Laryngo- rhino- otologie, Jg. 88, H. 12, S. 776–781.
- 112) Strauss, G.; Meixensberger, J.; Dietz, A.; Manzey, D. (2007): [Automation in surgery: a systematical approach]. In: Laryngo- rhino- otologie, Jg. 86, H. 4, S. 256–262.
- 113) Strauss, G.; Spitzer, C.; Dittrich, E.; Hofer, M.; Strauss, M.; Lüth, T. (2009): [Modified procedure for patient registration for navigation control instruments in ENT surgery]. In: HNO, Jg. 57, H. 2, S. 153–159.
- 114) Strauss, G.; Strauss, M.; Lüders, C.; Stopp, S.; Shi, J.; Dietz, A.; Lüth, T. (2008): [Integration of the functional signal of intraoperative EMG of the facial nerve in to navigation model for surgery of the petrous bone]. In: Laryngo- rhino- otologie, Jg. 87, H. 10, S. 711–718.
- 115) Strauss, G.; Trantakis, C.; Nowatius, E.; Falk, V.; Maass, H.; Cakmak, K. et al. (2005): [Virtual training in head- and neurosurgery]. In: Laryngo- rhino- otologie, Jg. 84, H. 5, S. 335–344.
- 116) Strauss, G.; Winkler, D.; Jacobs, S.; Trantakis, C.; Dietz, A.; Bootz, F. et al. (2005): [Mechatronic in functional endoscopic sinus surgery. First experiences with the daVinci Telemanipulatory System]. In: HNO, Jg. 53, H. 7, S. 623–630.
- 117) Strauss, Gero; Hofer, Mathias; Fischer, Milos; Koulechov, Kirill; Trantakis, Christos; Manzey, Dittrich et al. (2008): First clinical application of a navigation-controlled shaver in paranasal sinus surgery. In: Surgical technology international, Jg. 17, S. 19–25.
- 118) Strauss, Gero; Koulechov, Kirill; Hofer, Mathias; Dittrich, Elmar; Grunert, Ronny; Moeckel, Hendrick et al. (2007): The navigation-controlled drill in temporal bone surgery: a feasibility study. In: The Laryngoscope, Jg. 117, H. 3, S. 434–441.

-
- 119) Strauss, Gero; Koulechov, Kirill; Röttger, Stefan; Bahner, Jenny; Trantakis, Christos; Hofer, Mathias et al. (2006): Evaluation of a navigation system for ENT with surgical efficiency criteria. In: *The Laryngoscope*, Jg. 116, H. 4, S. 564–572.
- 120) Strauss, Mario; Lueders, Christian; Strauss, Gero; Stopp, Sebastian; Shi, Jiayi; Lueth, Tim C. (2008): Model for nerve visualization in preoperative image data based on intraoperatively gained EMG signals. In: *Studies in health technology and informatics*, Jg. 132, S. 493–495.
- 121) Strauss, G., Koulechov, K., Stopp, S., Strauss, M., Pankau, A., Hofer, M., Korb, W., Dietz, A., Meixensberger, J., Lüth, T. (2006): Verbesserte Umsetzung der Resektionsgrenzen in der Nasennebenhöhlenchirurgie mit dem navigiert-kontrollierten Shaver. *Laryngorhinootologie*, Vol. 85, n°8, 559-566
- 122) Tingelhoff, K.; Moral, A. I.; Kunkel, M. E.; Rilk, M.; Wagner, I.; Eichhorn, K. G. et al. (2007): Comparison between manual and semi-automatic segmentation of nasal cavity and paranasal sinuses from CT images. In: *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, Jg. 2007, S. 5505–5508.
- 123) Tingelhoff, Kathrin; Eichhorn, Klaus W. G.; Wagner, Ingo; Kunkel, Maria E.; Moral, Analia I.; Rilk, Markus E. et al. (2008): Analysis of manual segmentation in paranasal CT images. In: *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*, Jg. 265, H. 9, S. 1061–1070.
- 124) Tomandl, B. F.; Hastreiter, P.; Eberhardt, K. E.; Nimsky, C.; Greess, H.; Huk, W. J.; Naraghi, R. (2001): [Rapid interactive 3-D imaging of the temporal bone with "direct volume rendering"]. In: *HNO*, Jg. 49, H. 8, S. 618–625.
- 125) Truc, PT., Kim, TS., Lee, S., Lee, YK. (2010): A study on the feasibility of active contours on automatic CT bone segmentation, *J Digit Imaging*. Dec;23(6):793-805.
- 126) Uddin, F. J.; Sama, A.; Jones, N. S. (2003): Three-dimensional computer-aided endoscopic sinus surgery. In: *The Journal of laryngology and otology*, Jg. 117, H. 5, S. 333–339.

-
- 127)Visarius, H.; Gong, J.; Scheer, C.; Haralamb, S.; Nolte, L. P. (1997): Man-machine interfaces in computer assisted surgery. In: Computer aided surgery : official journal of the International Society for Computer Aided Surgery, Jg. 2, H. 2, S. 102–107.
- 128)Watanabe, E., Mayanagi, Y., Kosugi, Y., Manaka, S., Takakura, K. (1991): Open surgery assisted by the neuronavigator, a stereotactic, articulated, sensitive arm, Neurosurgery. Jun;28(6):792-9; discussion 799-800.
- 129)Watanabe, E., Watanabe, T., Manaka, S., Mayanagi, Y., Takakura, K. (1987): Three-dimensional digitizer (neuronavigator): new equipment for computed tomography-guided stereotaxic surgery, Surg Neurol. Jun;27(6):543-7.
- 130)Winkler, D.; Strauss, G.; Hesse, S.; Goldammer, A.; Hund-Georgiadis, M.; Richter, A. et al. (2004): [Preoperative imaging as the basis for image-guided neurosurgery]. In: Der Radiologe, Jg. 44, H. 7, S. 723-32; quiz 733-4.
- 131)Wise, Sarah K.; DelGaudio, John M. (2005): Computer-aided surgery of the paranasal sinuses and skull base. In: Expert review of medical devices, Jg. 2, H. 4, S. 395–408.
- 132)Wurm, J.; Dannenmann, T.; Bohr, C.; Iro, H.; Bumm, K. (2005): Increased safety in robotic paranasal sinus and skull base surgery with redundant navigation and automated registration. In: The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS, Jg. 1, H. 3, S. 42–48.
- 133)Xianfen, D., Siping, C., Changhong, L., Yuanmei, W., (2005): 3D semi-automatic segmentation of the cochlea and inner ear. In: Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference, Jg. 6, S. 6285–6288.
- 134)Yushkevich, PA., Piven, J., Hazlett, HC., Smith, RG., Ho, S., Gee, JC., Gerig, G. (2006): User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: Significantly improved efficiency and reliability, Neuroimage. Jul 1;31(3):1116-28.

8. Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde.

Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren.

Leipzig, den.....Christoph Aumeier

9. Lebenslauf und Beruflicher Werdegang

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Christoph Maximilian Aumeier
Geboren	10.06.1979 in Weiden i. d. Opf., Bayern
Familienstand	Ledig

Bildungshintergrund

02/2010	Beginn Assistenzarztstätigkeit (Anästhesiologie, Uniklinikum Regensburg)
01/2010	Approbation als Arzt
12/2009	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (Universität Leipzig)
09/2005	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (Universität Leipzig)
10/2000-08/2003	Studium der Informationswissenschaft und der Politikwissenschaft, Universität Regensburg
08/2002-09/2002	Praktikum US-Kongress, Washington

Praktisches Jahr

04/2009-07/2009	Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- u. Schmerztherapie Prof. Dr. Sablotzki Klinikum St. Georg Leipzig
12/2008-04/2009	Klinik für Innere Medizin ChA Dr. Fritsch Ev. Diakonissenhaus Leipzig
10/2008-12/2008	Klinik für Allgemein-, Viszeral- u. Gefäßchirurgie ChA Dr. Schwarze Ev. Diakonissenhaus Leipzig
08/2008-10/2008	Klinik für Unfallchirurgie u. Orthopädie Prof. Dr. Gahr Klinikum St. Georg Leipzig

Famulaturen

03/2008 Klinik für Plastische u. Ästhetische, Hand- u. Wiederherstellungschirurgie
ChÄ Dr. Eisenmann-Klein
Caritas-Krankenhaus St. Josef Regensburg

Famulaturen

09/2007-10/2007 Gemeinschaftspraxis Nittendorf
Prof. Dr. Mader
Professur für Allgemeinmedizin an der TU München

03/2007 Klinik für Innere Medizin II/Nephrologie
ChA Dr. Eichorn
Caritas-Krankenhaus St. Josef Regensburg

08/2006-09/2006 Abteilung für Hämatologie u. Internistische Onkologie
Prof. Dr. Andreesen
Universitätsklinikum Regensburg

02/2006-03/2006 Klinik u. Poliklinik für Innere Medizin II/Kardiologie
Prof. Dr. Riegger
Universitätsklinikum Regensburg

Fakultative Lehrveranstaltungen

Orthopädische Krankheitsbilder an der Wirbelsäule -
Diagnostik und Therapie
Prof. Dr. von Salis-Soglio, Dr. K. Seller
Klinik und Poliklinik für Orthopädie
Universitätsklinikum Leipzig

Moderne Diagnostik und Therapie von M. Crohn und
Colitis ulcerosa
ChA Dr. Fritsch
Klinik für Innere Medizin
Ev. Diakonissenkrankenhaus Leipzig

Laparoskiertechniken in der Kinderchirurgie
Prof. Dr. Till

Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie
Universitätsklinikum Leipzig

Dermatologische Patientenbetreuung in unterschiedlichen Lebensaltern
Prof. Dr. Simon
Klinik und Poliklinik für Dermatologie, Venerologie und Allergologie
Universitätsklinikum Leipzig

Zivildienst

08/1999-07/2000 Abteilung für Hämatologie u. Internistische Onkologie
Prof. Dr. Andreesen
Universitätsklinikum Regensburg

Schule

06/1999 Allgemeine Hochschulreife
09/1989-06/1999 Augustinus-Gymnasium Weiden i. d. Opf.
09/1985-07/1989 Rebühlschule Weiden i. d. Opf.

Kongressteilnahme (Vortrag)

05/2008 Deutsche Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohren-
Heilkunde, Bonn
Aumeier C., Strauß G., Hofer M., Dietz A. et al.

Vergleichende Untersuchungen zur manuellen und automatischen Segmentierung des N.VII in hochauflösenden Felsenbein-CT

02/2008 CAS-H, Leipzig
Aumeier C., Hofer M., Dittrich E., Neumuth T., Dietz A.,
Strauß G.

Accuracy of manual segmentation of the facial nerve in high resolution CT images in comparison to a semi automatic segmentation

Besondere Kenntnisse

Sprachen

Englisch
Französisch

Gute Kenntnisse in Wort und Schrift
Grundkenntnisse

Leipzig, den

10. Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. habil. Gero Strauss und Herrn Prof. Dr. med. habil. Andreas Dietz für die Ermöglichung der Bearbeitung dieses Themas. Ich bedanke mich auch bei Herrn Dr. med. Mathias Hofer für die umfangreiche Unterstützung und die zahlreichen Hilfestellungen für die Fertigstellung dieser Arbeit. Mein Dank geht zudem an die Probanden, die an der Studie teilnahmen sowie an das Personal des ICCAS. Insbesondere Elmar Dittrich war mir bei der Anwendung der verwendeten Softwareprogramme eine große Hilfe.