

**Okklusionsmorphologische Anpassungsmechanismen der Zähne
- Eine Langzeitstudie -**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn**

**Martin Raudsep
aus Köln
2013**

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Priv.-Doz. Dr. med. dent. E.-H. Helfgen
2. Gutachter: Prof. Dr. med. W. Götz

Tag der Mündlichen Prüfung: 20.02.2013

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik,
Propädeutik und Werkstoffwissenschaften
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Helmut Stark

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	8
1.1 Okklusion – eine kurze Einführung.....	8
1.2 Zentrische Okklusion und Okklusionskonzepte für die zentrale Unterkiefer-Stellung.....	9
1.3 Grenzbewegungen des Unterkiefers und Okklusionskonzepte in exzentrischer Unterkieferstellung	12
1.4 Die Schneidekantendistanz.....	15
1.5 Abrasionen, nicht kariöse Zahnhartsubstanzdefekte und Schmelzrisse	16
1.6 Fragestellung	18
2. Material und Methode.....	19
2.1 Der Befundbogen.....	19
2.2 Durchführung der Befundaufnahme	21
2.3 Die Arbeitsmodelle.....	22
2.4 Digitalisierung und Matching der Ober- und Unterkiefermodelle – Erläuterung zum Begriff „Matchen“	22
2.5 Auswertung der gematchten Ober- und Unterkiefermodelle mit dem Surfacer®	25
2.6 Darstellung der Daten mit Hilfe von Temperaturbildern	25
2.7 Untersuchung zur numerischen Veränderung der Okklusionskontakte	26
2.8 Vergleichende graphische Darstellung der Translation nach Z	26
2.9 Modifizierte vergleichende Darstellung der Translation nach Z.....	27
2.10 Statistische Aufbereitung der erhobenen Daten	28
3. Ergebnisse	29
3.1 Auswertung der Befundbögen.....	29
3.1.1 Veränderung in Bezug auf die Schneidekantendistanz (SKD).....	29

3.1.1.1 Messung und vergleichende Darstellung der aktiven SKD	30
3.1.1.2 Messung und vergleichende Darstellung der passiven SKD	31
3.1.1.3 Statistische Auswertung der SKD-Messung	33
3.1.2 Anzahl an Schmelzsprüngen	33
3.1.2.1 Schmelzsprünge im Frontzahnbereich	33
3.1.2.2 Schmelzsprünge im Seitenzahnbereich	35
3.1.2.3 Schmelzsprünge im gesamten Kiefer	37
3.1.2.4 Statistische Auswertung der Schmelzsprünge	38
3.2 Temperaturbilder	39
3.2.1 Oberkiefer-Temperaturbilder	39
3.2.1.1 Oberkiefer-Temperaturbilder der „Normgruppe“	39
3.2.1.2 Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Wenig Änderung“	43
3.2.1.3 Oberkiefer-Temperaturbilder der „Normgruppe mit Korrektur“	45
3.2.1.4 Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Frontbetont“	48
3.2.1.5 Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Ausreißer“	50
3.2.2 Unterkiefer-Temperaturbilder	52
3.2.2.1 Unterkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Wenig Änderung“	52
3.2.2.2 Unterkiefer-Temperaturbilder der „Normgruppe“	56
3.2.2.3 Unterkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Ausreißer“	59
3.3 Aussagekraft der Temperaturbilder	62
3.4 Untersuchung der numerischen Veränderung der Okklusionskontakte	65
3.4.1 Anzahl der Okklusionskontakte im Oberkieferfrontzahnbereich	65
3.4.2 Anzahl der Okklusionskontakte im Oberkieferseitenzahnbereich	65
3.4.3 Anzahl der Okklusionskontakte im Unterkieferfrontzahnbereich	66
3.4.4 Anzahl der Okklusionskontakte im Unterkieferseitenzahnbereich	67
3.4.5 Vergleichende Darstellung der Anzahl der gemessenen Okklusionskontakte	68

3.4.6 Statistische Auswertung der Anzahl der Okklusionspunkte.....	69
3.5 Überprüfung der Zahlenwerte für die Auswertung der Translation nach Z.....	69
3.5.1 Graphische Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z.....	71
3.5.1.1 Oberkiefertranslationswerte in der Achsenrichtung Z	71
3.5.1.2 Unterkiefertranslationswerte in der Achsenrichtung Z	86
3.5.2 Zusammenfassende Auswertung und Darstellung der „modifizierten“ Translationswerte in der Achsenrichtung Z.....	101
3.6 Muskelbefund	102
4. Diskussion.....	103
4.1 Klinische Relevanz	103
4.2 Kritische Anmerkungen zur Methodik	104
4.2.1 Die Befundaufnahme	104
4.2.2 Problematik des Matchens der Kauflächen	107
4.3 Veränderungen der SKD	109
4.4 Veränderungen bei Schmelzrisen	110
4.5 Anzahl an Okklusionskontakten und „Modifizierte Translation nach Z“	111
5. Schlussfolgerung.....	116
6. Zusammenfassung	117
7. Literaturverzeichnis	119
8. Danksagung	133
9. Lebenslauf.....	134

1. Einleitung

1.1 Okklusion – eine kurze Einführung

Die Okklusion ist laut Terminologie der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (AFDT) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW) „jeder Kontakt zwischen den Zähnen des Ober- und Unterkiefers“ (Ahlers et al., 2005). Dies kann sowohl eine bestimmte bewegungslose Kontaktbeziehung als auch der Kontakt der Zahnoberflächen während einer Gleitbewegung sein. Statische Okklusion nennt man in dieser Hinsicht einen Zahn-zu-Zahn-Kontakt ohne Bewegung des Unterkiefers, dynamische Okklusion hingegen den Kontakt unter Bewegung (Suckert, 1992). In einem normal okkludierten, vollbezahnten und vom Verschleiß noch nicht erfassten Kausystem führt die maximale Annäherung des Unterkiefers an den Oberkiefer – viele nennen es habituelle Okklusion – zu einer röntgenologisch erwiesenen Zentrallage der Kondylen in den Gelenkgruben (Gerber, 1973). Dabei definiert die Deutsche Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde die zentrische Okklusion als statische Okklusion in zentrischer Kondylenposition und die habituelle Okklusion als die in gewohnheitsmäßig eingenommener statischer Okklusion (Suckert, 1992).

Betrachtet man die Okklusion, so muss man sich natürlich auch mit den Bewegungskomponenten beschäftigen. Hierbei ist das Kausystem als funktionelle Einheit zu sehen (Lotzmann, 1985). Es setzt sich aus den Zähnen mit Parodontien, den Kiefern, den Kiefergelenken mit Ligamenten, der Kaumuskulatur, der kranialen und kaudalen Zungenbeinmuskulatur, der mimischen Muskulatur, der Hals- und Nackenmuskulatur, den versorgenden Gefäßen und dem zentralen und peripheren Nervensystem zusammen.

Das Schema von Dr. F Fröhlich (†1969) zeigt dieses komplexe Reflexsystem auf einfache Weise (Gerber, 1973) (siehe Abb. 1).

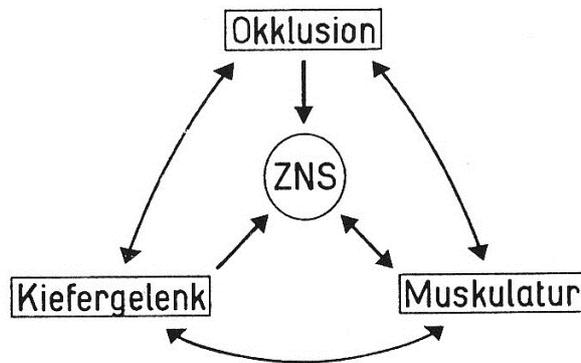


Abb. 1: Schematische Darstellung der funktionellen Koordination des stomatognathischen Systems nach Dr. F. Fröhlich (Gerber, 1973)

Störungen in diesem Regelkreis werden ähnlich wie in anderen Organsystemen durch automatische Änderungen ausgeglichen.

Helfgen zeigt in seiner Arbeit aus dem Jahr 1994 durch einen metrischen Vergleich an 109 knöchernen Schädeln aus den osteologischen Sammlungen der anatomischen Institute in Bonn und Köln, dass „innerhalb des stomatognathen Systems in funktioneller Hinsicht zwischen den einzelnen Komponenten stabilisierende Zusammenhänge bestehen, die für eine optimale Abstimmung von Form und Funktion sprechen“.

1.2 Zentrische Okklusion und Okklusionskonzepte für die zentrale Unterkiefer-Stellung

Die zentrische Okklusion wird als Unterkieferposition definiert, in der ein maximaler Vielpunktkontakt aller Zähne bei zentrischer Kondylenposition besteht (Gibbs und Lundee, 1982). Es handelt sich dabei um eine durch die Zähne definierte Unterkieferposition, die in den meisten Fällen die am besten reproduzierbare Relation des Unterkiefers zum Oberkiefer wiedergibt (Howat et al., 1992). Als maximale Interkuspitation wird die statische Okklusion mit maximalem Vielpunktkontakt zwischen Ober- und Unterkiefer definiert, so dass eine laterale Beweglichkeit in dieser Position nicht gegeben ist.

Diese Position wird bei der Herstellung der meisten zahnärztlichen Restaurationen gewählt (Okeson, 1989). Jedoch ist die Kontaktanzahl bei maximaler Interkuspitation antagonistischer

Zähne kleiner, wenn der Patient leicht, ohne zu pressen und ohne fest zuzubeißen, die Zähne zusammenbringt (Riise, 1982). Auch beim Schlucken ist diese Stellung zur Stabilisation des Unterkiefers nützlich (Jankelson et al., 1953). Jedoch stimmt die zentrische Okklusion nicht immer unbedingt mit der maximalen Interkuspitation überein, da schon jede Abnormität der Gelenke und Muskeln zu einer nicht zentralen Kondylenstellung führen kann. Änderungen der zentrischen Okklusion können durch Pressen, Knirschen, Abrasion, Eruption, okklusale Instabilität, Zahnverlust und Restaurationen verursacht sein (Ramfjord und Ash, 1983).

Die okklusalen Kontakte in zentrischer Okklusion nennt man „zentrische Haltepunkte“ (engl.: centric stops). Es besteht bei prothetischen oder konservierenden Restaurationen zumeist die Notwendigkeit, diese wiederherzustellen, um okklusale Stabilität zu garantieren und längerfristig damit Zahnwanderung, Muskel- und Gelenkstörungen zu vermeiden. Es geht hierbei um eine eindeutige Zuordnung und Fixierung der Zahnbögen. Dieses Konzept ist auch als „point centric“ bekannt.

Bei optimaler Verzahnung in Angle-Klasse I ist die Lokalisation dieser Stopps gut nachvollziehbar (Abejean und Korbendau, 1979). Die Grafik zeigt für den Seitenzahnbereich die Lage dieser zentrischen Haltepunkte in normaler Okklusion (siehe Abb. 2).

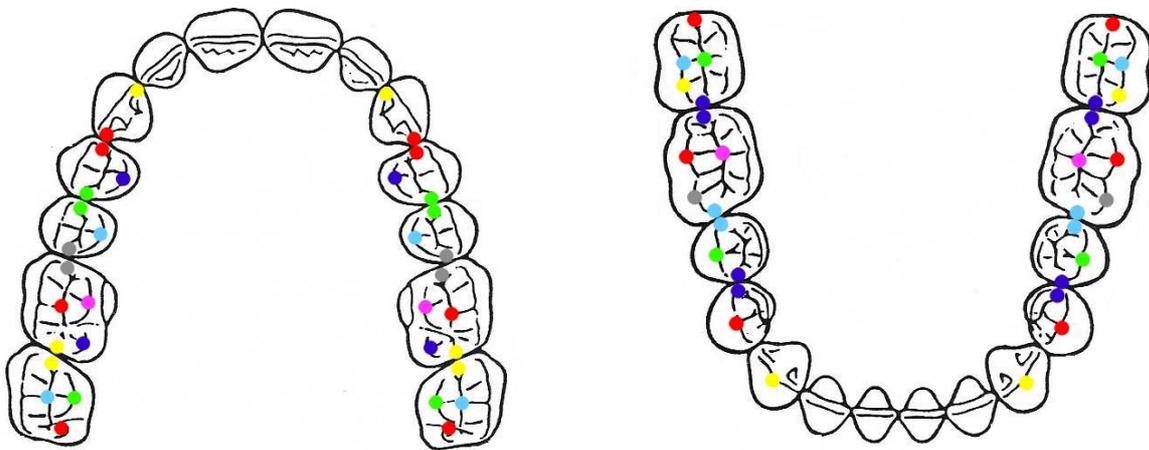


Abb. 2: Zentrische seitliche Haltepunkte (centric stops) des Ober- und Unterkiefers bei Angle-Klasse I mit farblicher Korrelation der antagonistischen Okklusionspunkte (modifiziert nach Abejean und Korbendau, 1979)

Das Klassifizierungsprinzip von Angle ist die Einteilung der Gebissanomalien nach der Okklusion der ersten unteren Molaren gegenüber den oberen und basiert darauf, dass der Oberkiefer in sagittaler Richtung unbeeinflussbar und der obere Sechsjahrmolar immer korrekt

positioniert ist. Bei der Klassifizierung nach Angle besteht bei Klasse I eine neutrale, bei Klasse II eine distale und bei Klasse III eine mesiale Beziehung der unteren Sechsjahrmolaren zu den oberen (Kahl-Nieke, 2001). Dementsprechend sind im Seitenzahnbereich die seitlichen Haltepunkte um jeweils eine Prämolarenbreite nach vorne, beziehungsweise nach hinten verschoben. Dies führt aber außer beim Eckzahn nicht zu einer Modifikation der generellen systematischen Kontaktbeziehung, wie sie in Abb. 2 entsprechend für die Angle Klasse I dargestellt ist (Abejean und Korbendau, 1979). Im Fall eines Kreuzbisses können verschiedene Modifikationen im Biss vorliegen. Bei einem einseitigen oder beidseitigen Kreuzbiss okkludieren alle oder vereinzelte Oberkieferzähne innerhalb des Unterkieferzahnbogens, statt außerhalb. Bei einem Scherenbiss hingegen, der auch bukkaler Vorbeibiss genannt wird, liegt eine bukkale Nonokklusion vor, das heißt, einer oder mehrere Oberkieferzähne stehen komplett bukkal außerhalb des Unterkieferzahnbogens (Schmuth, 1990).

Beim Abgleiten aus der „point centric“ findet kein Gleiten über die Seitenzähne statt, sondern rein über die Front- und Eckzähne. So weist in Bezug auf zahnärztliche Rekonstruktionen ein richtig und korrekt ausgeführtes „point-centric-Konzept“ ein Optimum an Stabilität und „okklusaler Behaglichkeit“ auf, während dieses aber auch zu einer unphysiologischen Zwangsposition werden kann, wenn es misslingt, die vom neuromuskulären System diktierte „muskuläre Position“ des Unterkiefers mit der Zentrik in Einklang zu bringen (Lotzmann, 1985). Bei Payne und Lundeen funktioniert dieses Konzept über eine Zahn-zu-Zweizahn Beziehung (Payne und Lundeen, 1974) mit 58 zentrischen Kontakten in einem Quadranten vom ersten Prämolaren bis zum zweiten Molaren, bei P.K. Thomas hingegen durch den Verzicht auf Randleistenkontakte über eine Zahn-zu-Zahn-Beziehung (Thomas, 1965) mit 42 Kontakten in einem Quadranten.

Hingegen ist die Freiheit in der Zentrik („long centric“ oder „wide centric“) ein Okklusionskonzept, bei dem der Unterkiefer die Freiheit hat, ohne Interferenzen den Kontakt in der zentrischen Okklusion und dazwischen, aber auch leicht anterior und seitlich der zentrischen Relation und der zentrischen Okklusion zu schließen (Ramfjord, 1982; Ramfjord und Ash, 1983; Schuyler 1963). Dabei kann ausgehend von der Zentrik ein gewisser sagittaler Spielraum bei gleichzeitig gleichbleibender vertikaler Dimension von bis zu 0,5 mm vorhanden sein, bevor die Eckzahnführung einsetzt (Dawson, 1974).

„Durch die plateauartig erweiterten Kontaktareale der Antagonisten ist eine tripodisierende Abstützung nicht mehr realisierbar. Das „freedom in centric“-Konzept kommt daher mit einer weitaus geringeren Anzahl an Kontaktpunkten aus, als das „point centric“-Konzept. (End, 2010)
 Durch Einschleifen und restaurative Maßnahmen kann eine solche Freiheit in der Zentrik auch erreicht werden, im natürlichen Gebiss liegt sie ursprünglich nicht vor (Suckert, 1992).

1.3 Grenzbewegungen des Unterkiefers und Okklusionskonzepte in exzentrischer Unterkieferstellung

Studien zur Okklusion müssen sich notwendigerweise neben der zentrischen Okklusion auch mit den Lateralbewegungen befassen. In der Horizontalebene können die Grenzbewegungen mit Hilfe der Stützstiftregistrierung aufgezeichnet werden. Bei der intraoralen Stützstiftregistrierung wird durch einen im Oberkiefer befestigten Stützstift auf einer im Unterkiefer befindlichen Registrierplatte eine intraorale Pfeilwinkelregistrierung durchgeführt. Durch den Stützstift und die beiden Kondylen erfährt der Unterkiefer eine Dreipunktstützung. Der Patient führt Protrusions- und Retrusionsbewegungen als auch Seitschubbewegungen nach links und rechts durch. Es ergibt sich auf der mit Wachsmalstift eingefärbten Registrierplatte durch die Spitze des Stützstiftes der „Gotische Bogen“ oder auch der sogenannte „Pfeilwinkel“. Das Ziel dieser Kieferrelationsbestimmung ist eine gelenkbezüglich zentrierte Lage des Unterkiefers. Die Grafik zeigt in diesem Fall eine „point centric“ (siehe Abb. 3).

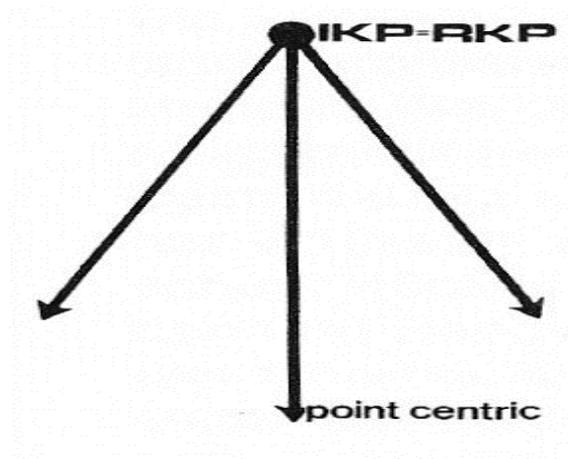


Abb. 3: Pfeilwinkelregistrator in „point centric“, wobei die retrale Kontaktposition (RKP) mit der habitueller Interkuspidation (IKP) übereinstimmt

Dargestellt sind die Protrusionsbewegung und die Laterotrusionsbewegung eines gesunden Patienten. Die Vorschub- oder auch Protrusionsbahn ist in Abb. 3 erkennbar an dem nach unten gerichteten Pfeil. In diesem Fall befindet sich der Kondylus in Zentrik, da die retrale Kontaktposition mit der habituellen Interkuspitation übereinstimmt. Dies kann aber in bestimmten Fällen bei Erkrankung abweichen.

„Bei der Lateralbewegung des Unterkiefers wird der Kondylus auf der Arbeitsseite nach lateral geführt. Der Kondylus führt eine Laterotrusion aus. Der Kondylus der kontralateralen Seite wird nach zentral geführt, er führt eine Mediotrusion aus“ (Exarchou, 2010).

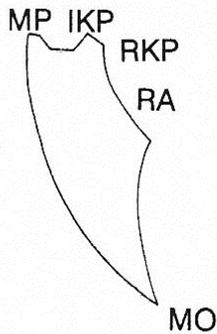
Inzwischen ist aber auch bekannt, dass Kondylen im zentriknahen Bereich nicht nur seitlich versetzt werden können, sondern oft auch in sagittaler Richtung einen erhöhten Bewegungsspielraum haben können, bzw. im Initialbereich sehr flach verlaufen (Klett, 1994). Bei Untersuchungen zur transversalen Bewegungskapazität des Kiefergelenkes zeigt sich, dass ein Bewegungsspielraum im menschlichen Kiefergelenk existiert. Die rein transversale Bewegungskapazität des Mediotrusionskondylus beträgt bei manueller Führung im Mittel etwa 0,09 mm und maximal bis zu 0,4 mm. Die mittlere Auswärtsbewegung des Laterotrusionskondylus liegt bei 0,3 mm bei Maximalwerten von bis zu 0,9 mm (Lückerath und Helfgen, 1991).

Liegt der Punkt der habituellen Okklusion auf der Protrusionsbahn etwa 0,5 bis 1 mm vor der retralen Kondylenposition, so spricht man von einer „long centric“, weicht hingegen die Protrusionsbahn zwischen der retralen Kondylenposition und dem Punkt der habituellen Okklusion seitlich ab, so liegt eine „slide in centric“ beim Patienten vor (Suckert, 1992).

In Bezug auf die horizontale Ebene sind weiterhin auch der Winkel und die Bahn auf der Balanceseite bzw. der Mediotrusionsseite zwischen der Sagittalrichtung und einem jeweiligen Punkt der Mediotrusionsbahn des Kondylus von Relevanz. Dieser Winkel ist als Bennett-Winkel bekannt. Gemeinsam mit der Kaumuskulatur werden durch diesen die Latero- und Mediotrusionsfacetten der einzelnen Zähne beeinflusst (Koeck, 1989).

Je nach Grundform der Bennett-Bewegung wird zwischen einer gleichmäßigen, einer unmittelbaren (immediate side shift), einer frühzeitigen (early side shift) und einer verteilten Seitwärtsbewegung unterschieden. Es besteht eine Korrelation zwischen dieser Bewegung und der Höckergestaltung der einzelnen Zähne sowohl beim natürlichen Zahn als auch bei der Gestaltung von Zahnersatz. „Je genauer sich die individuellen Verhältnisse in einem Artikulator berücksichtigen lassen, desto eher ist es möglich, okklusionsnahe Unterkieferbewegungen patientenähnlich zu simulieren.“ (Strub et al., 1994)

Die Grenzbewegungen in der Sagittalebene lassen sich hingegen mit dem Posselt-Diagramm darstellen (s. Abb. 4).



Zeichenerklärung:

RA	=	Scharnierachse
RKP	=	zentrische Okklusion
IKP	=	habituelle Okklusion
MP	=	maximale Protrusion
MO	=	maximale Mundöffnung

Abb. 4: Posselt-Diagramm, welches die Grenzbewegungen des Unterkiefers in der Sagittalebene beschreibt

Die eingezeichneten Grenzbewegungen sind die maximale Protrusion (MP), die habituelle Okklusion (IKP), die zentrische Okklusion (RKP) und die maximale Mundöffnung (MO). Zusätzlich ist die zentrische Scharnierachse (RA) im Diagramm eingezeichnet. Dabei muss erwähnt werden, dass ab einer Mundöffnung von ca. 20-25 mm die Kondylen zusätzlich zur Rotation eine Translationsbewegung vornehmen (Reitemeier et al., 2006).

Generell sind drei verschiedene Okklusionskonzepte für die exzentrische Unterkieferlage denkbar: Zum Ersten die eck- und frontzahngeführte Okklusion. Hierbei führt bei Laterotrusionsbewegungen der Eckzahn allein und die Seitenzähne diskudieren. Bei Protrusion führen die Frontzähne. Man muss dieses Konzept als die natürliche und physiologisch günstigste Form ansehen, um die Seitenzähne vor Überbelastung zu schützen (Lotzmann, 1985). Bei der unilateral balancierten Okklusion diskudieren die Zähne der Mediotrusionsseite bei Laterotrusion sofort. Der Kontakt auf der Laterotrusionsseite ist in der Regel meist gleichmäßig auf die Seitenzähne verteilt. Mit zunehmender Seitwärtsbewegung nimmt dieser aber in der Regel zum hinteren Seitenzahnbereich ab und geht in eine Eck-, Prämolarenführung über. Bei der bilateral balancierten Okklusion ist bei Laterotrusionsbewegungen ein Kontakt der Zähne sowohl auf der Laterotrusionsseite als auch auf der Mediotrusionsseite vorhanden. Man erwartet im stark abradierten Gebiss tendenziell eher ein Einstellen einer unilateral balancierten Okklusion. Die bilateral balancierte Okklusion spielt hingegen in der Prothetik bei der Herstellung von Totalem Zahnersatz eine Rolle. Die Untersuchung von Panek et al. (2008) an 834 Personen (325 Frauen

und 509 Männern) im Alter von 20 bis 63 Jahren zeigte, dass die Gruppenführung mit einer Prävalenz von 41 % den häufigsten Okklusionstyp darstellt. In 26 % der Fälle lag eine reine bilaterale Eckzahnführung, in 18 % eine unilaterale Eckzahnführung und in 9 % eine balancierte Okklusion vor. Zwischen den Geschlechtern lagen keine signifikanten Unterschiede vor, jedoch nahmen mit dem Alter die bilaterale und die unilaterale Eckzahnführung ab, während die Gruppenführung stieg.

1.4 Die Schneidekantendistanz

Die Schneidekantendistanz ist der vertikale Abstand der Schneidekanten der Ober- und Unterkieferzähne. Sie dient zur Messung der Mobilität des Unterkiefers. Der Öffnungsweg bis zur maximalen Mundöffnung beträgt 40-50 mm (Lehmann et al., 2008). Je nach Untersuchung und Autor können die Angaben zur Distanz variieren. In einer anderen Quelle beträgt die maximale Schneidekantendistanz bei aktiver Mundöffnung bei Männern durchschnittlich ca. 58 mm, bei Frauen ca. 54 mm (Schwenzer, 2000).

Die Mundöffnung bei Männern stellte sich auch in anderen Studien größer dar als die der Frauen. Bei Agerberg liegen die gemessenen Werte bei Männern im Mittelwert bei 58,6 mm und bei Frauen bei 53,3 mm (Agerberg, 1974). Leicht niedrigere Werte zeigt eine weitere Studie mit 54,4 mm für Männer und 50,9 mm für Frauen (Solberg, 1986).

Die Untersuchung von Bartels fand bei der aktiven Schneidekantendistanzmessung einen Mittelwert von 54,8 mm für Männer und 50,4 mm für Frauen. Für die passive SKD ist der Mittelwert bei 57,5 mm und für Frauen bei 52,6 mm. Die tageszeitlichen, tonusabhängigen Schwankungen bei der aktiven SKD variierten hierbei um 1-2 mm (Bartels, 1999).

Helfgen benennt die anatomischen Größenunterschiede zwischen Mann und Frau als den vermutlichen Grund für die Abweichung in der durchschnittlichen SKD (Helfgen, 1987). In seiner Studie an 200 Probanden befinden sich die gemessenen SKD-Werte in einem Intervall von 25 und 74 mm und der Mittelwert liegt bei etwa 50 mm.

Die Untergrenze des Normalbereichs liegt bei einer Schneidekantendistanz von 40 mm bzw. gilt, wenn diese kleiner ist, ab diesem Wert die Mundöffnung als eingeschränkt. (Guichet, 1985). Die maximale Mundöffnung fließt auch zusammen mit der maximalen Seitwärtsbewegung nach links, rechts und vorne als eine der vier Messzahlen in den Helkimo Index aus dem Jahr 1974 ein, welcher ein Maß für die Unterkieferbeweglichkeit ist (Bock, 2000). Die Schneidekantendistanz

ist im Wesentlichen auch bei limitierter Mundöffnung in Kombination mit anderen aussagekräftigen Beschwerden zur Differenzierung von Diagnosen bei temporomandibulären Funktionsstörungen geeignet. Besonders eine Differenz zwischen aktiver und passiver Mundöffnung kann zur Diagnostik hinzugezogen werden (Peroz, 1997). Ist durch aktives Drücken mit den Fingern des Untersuchers eine stärkere Mundöffnung möglich, so ist diese in der Regel muskulär bedingt. Zusätzlich muss bei Untersuchungen der Schneidekantendistanz bedacht werden, dass bei mehrmaligem Wiederholen der aktiven Mundöffnungsbewegung meist eine größere Mundöffnung erreicht wird (Peroz, 1997).

1.5 Abrasionen, nicht kariöse Zahnhartsubstanzdefekte und Schmelzrisse

Zahnhartsubstanzdefekte können außer durch den Einfluss von Traumata oder Bakterien auch durch mechanische Prozesse bedingt sein. Ein durch Fremdkörperreibung verursachter Substanzverlust an den Zähnen wird als Abrasion definiert. Dieser Abrieb kann während der Nahrungszerkleinerung durch abrasive Nahrungsmittel oder beruflich bedingt durch Sand oder Staub zum Beispiel bei Bergleuten entstehen (Hickel, 1989). Auch Küstenbewohner haben bedingt durch Flugsand ein gehäuftes Auftreten von Abrasionen (Lampe, 1988; Molnar, 1939). Des Weiteren können auch Habits wie langjähriges Pfeifenrauchen zu Abrasionen führen. Die bei der Nahrungsaufnahme als Demastikation bezeichnete Form ist in seiner Ausprägung durch die unterschiedliche Abrasivität der Nahrung beeinflusst. Dieser Einfluss ist durch die weiche Nahrung der westlichen Welt heute nicht mehr so ausgeprägt, wie im Vergleich historische Schädelknochen belegen (Weber, 2007). Direkter Zahn-zu-Zahn-Kontakt, wie bei Bruxismus, aber auch Zahnberührungen während des Sprechens und Schluckens führen zu Attrition, die sowohl antagonistisch im Kiefer als auch approximal der Zähne auftreten kann. Erosionen entstehen durch den Einfluss von Säuren. Dies können entweder von außen zugefügte Säuren (z.B. saure Getränke oder Speisen) oder körpereigene Säuren (z.B. Magensäure) sein (Decker, 2009). In der Regel führen die verschiedenen Abrasionsarten erst bei Erreichen des Dentins zu Überempfindlichkeiten der Pulpa als Reaktion auf chemische und physikalische Einflüsse, reaktive Hyperämie und Entzündung sowie Degeneration der Zahnpulpa (Schärer, 1974; Glaros und Rao, 1977; Ramfjord und Ash, 1983; Molin und Levi, 1966; Lindquist, 1971; Jahn, 2010). Die anfänglich punktförmigen Okklusionskontakte werden durch Abrasion und Attrition im Verlauf des Lebens immer flächiger (Sauerwein, 1985; Geim, 2004; Imfeld, 1996).

„Dysfunktionelle Beanspruchung okklusionstragender Strukturen kann auch ein wesentlicher Faktor für die Ausbildung von keilförmigen Defekten sein“ (Helfgen, 2001). Diese Defekte, die häufig vestibulär, aber auch oral am Zahnhals auftreten, nehmen mit dem Alter signifikant zu, besonders wenn bestimmte dynamische Okklusionstypen (bilaterale Mediotrusionskontakte und Laterotrusionskontakte im Front-Eckzahn-Prämolarenbereich) vorliegen (Hirata, 2010). Hirata zeigte auch, dass eine Front-Eckzahnführung ein günstiges Okklusionskonzept ist, um diese Defekte zu vermeiden und häufiges Zähneputzen keinen signifikanten Einfluss auf deren Entstehung hat.

Schmelzsprünge oder Schmelzrisse werden meistens im gingivalen Kronenbereich entdeckt und haben in der Regel einen inzisal-gingivalen Verlauf. Sie beschränken sich rein auf den Schmelz, enden am Übergang zum Dentin und können in manchen Fällen dazu führen, dass Karies produzierende Bakterien einen Weg bis zum Dentin finden (Walker und Makinson, 1998).

Gründe für Schmelzrisse sind unter anderem thermische Einwirkungen durch den Verzehr sehr heißer oder kalter Speisen oder das Einatmen von kalter Luft. Auch eine thermische Schädigung durch rotierende Instrumente mit ungenügender Wasserkühlung kann genauso wie Traumata Schmelzrisse verursachen. Durch die Entfernung festsitzender kieferorthopädischer Apparaturen können ebenfalls Schmelzrisse entstehen (Zachrisson et al., 1980; Rix et al., 2001). In seiner Arbeit empfiehlt Göbel (2003) die Verwendung von Fiber-Optik-Transillumination, da mit bloßem Auge nur rund 6 % aller Risse erkannt werden können. Zachrisson et al. (1980) fanden bei 60 % aller unbehandelten Zähne Schmelzrisse, wobei diese an den Incisiven und Prämolaren am häufigsten auftraten.

1.6 Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden klinischen Langzeitstudie war die Analyse der morphologischen Veränderung der Okklusalfäche über einen Zeitraum von 5 Jahren. Dabei war ein Schwerpunkt dieser Studie die Untersuchung der Abnutzung der Kaufläche mittels verschiedener Methoden.

Weitere wichtige funktionsdiagnostische Parameter, wie die Schneidekantendistanz, Anzahl an Schmelzsprüngen oder die Anzahl der Okklusionskontakte wurden erhoben und deren Veränderung in 5 Jahren untersucht. Die ermittelten Werte wurden mit soweit vorhandenen Ergebnissen aus anderen Studien und dem bisherigen Wissensstand verglichen und hinterfragt.

Eine statistische Auswertung der Daten sollte ebenso erfolgen wie eine kritische Analyse der angewandten Methodik. Schon die sehr geringe Anzahl an Veröffentlichungen zu diesem Thema und der Mangel an Langzeitstudien mit der Thematik „morphologische Okklusilveränderungen“ verlangt nach einer weitergehenden Untersuchung.

Im Einzelnen sollten die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Kam es in dem Untersuchungszeitraum von 5 Jahren zu nachweislichen Veränderungen der Okklusaloberfläche?
- Waren Abrasionen auf der Kaufläche zu erkennen und wenn ja, in welcher Zahnregion?
- Wie veränderte sich die Anzahl der Okklusalkontakte in den 5 Jahren?
- Wie veränderte sich die Anzahl der Schmelzsprünge in den 5 Jahren?
- Gab es in 5 Jahren Änderungen an der aktiven oder passiven Schneidekantendistanz?
- Gab es tageszeitlich abhängige Änderungen an der aktiven oder passiven Schneidekantendistanz?

2. Material und Methode

2.1 Der Befundbogen

Zu Anfang der Untersuchung wurde ein Befundschemata zur Übertragung der Okklusionskontakte erstellt. Als Basis des Bogens „Okklusionsabhängige Veränderung der Zähne“ lagen Teile eines Befundbogens der AGFDT zugrunde (siehe Abb. 5).

Dieser zeigte eine vereinfachte Darstellung des okklusalen Reliefs der Ober- und Unterkieferzähne. Während der Befundaufnahme am Patienten wurde diese Darstellung dazu verwendet, um die mit dem Artikulationspapier im Mund ermittelten Kontaktpunkte auf Papier zu übertragen und zu dokumentieren.

Neben dem okklusalen Befund konnten in dem Befundbogen zusätzlich ein vereinfachter zahnärztlicher Befund, das Vorhandensein von parodontalen Entzündungen, Zahnlockerungen, Schmelzsprüngen, keilförmigen Defekten und Stillmann-Spalten dokumentiert werden.

Zusätzlich wurde bei jedem Probanden die Mundöffnung mit Hilfe der Schneidekantendistanz (SKD) aktiv und passiv gemessen. Die „aktive“ SKD ist die Distanz der Schneidekanten der oberen und unteren Schneidezähne bei maximaler Mundöffnung und die „passive“ SKD zeigte sich bei zusätzlichem forcierten Auseinanderdrücken der Incisivi durch die Finger des untersuchenden Behandlers. Beim Messverfahren zur Bestimmung der SKD diente hierbei ein Lineal. Die Führung bei seitlicher Bewegung des Unterkiefers konnte als Eckzahn-, Eckzahn-Prämolarenführung, Gruppenführung und balancierte Führung im Befundbogen eingetragen werden, genauso wie eine gegebenenfalls vorliegende Deviation des Unterkiefers bei Öffnungsbewegungen. Auf dem Befundbogen konnten möglicherweise vorliegende Gelenkgeräusche wie etwa Knacken und Reiben bezogen auf die jeweilige Seite vermerkt werden. Diese wurden unterteilt in initiale, intermediäre und terminale Geräusche sowie einen auffälligen Kaumuskelbefund.

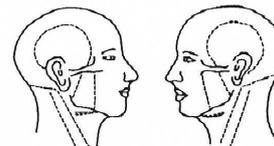
**Befundbogen für Langzeituntersuchung
"Okklusionsabhängige Veränderungen der Zähne"**

Nr.: **1**

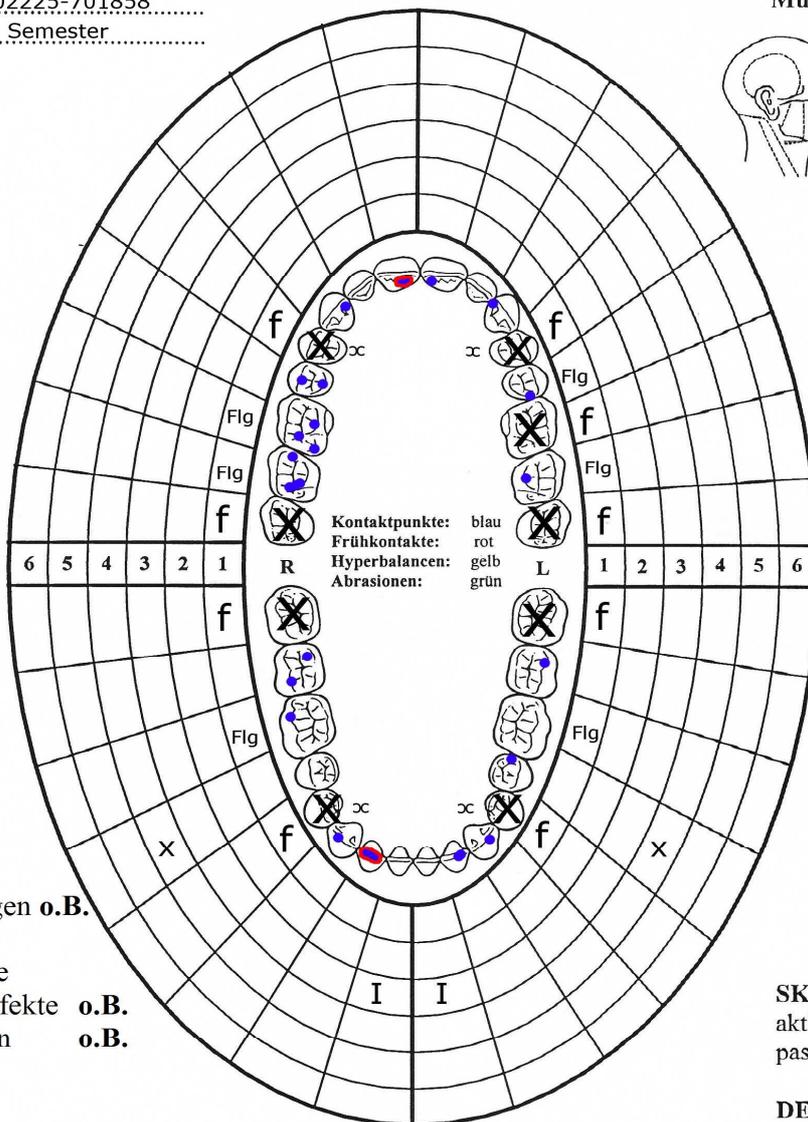
Name: Kristine Steger
 Geburtsdatum: 21.02.1973
 Adresse: Max-Planck-Str. 20
 Telefon: 02225-701858
 Semester: 1. Semester

Datum: 15.12.1997

Muskelbefund



ohne Befund



- 1: Befund
- 2: PA-Entzündungen o.B.
- 3: Lockerung
- 4: Schmelzsprünge
- 5: Keilförmige Defekte o.B.
- 6: Stillman-Spalten o.B.

SKD:
 aktiv ...47... mm
 passiv ...48... mm

DEVIATION: o.B.
 rechts mm
 links mm

GELENKGERÄUSCHE: zur Zeit nicht

R	öffnen	L	R = reiben	R	schließen	L
↓	↓	↓		↑	↑	↑
initial	intermediär	terminal		initial	intermediär	terminal

FÜHRUNGSTYP:
 Eckzahnf.:
 Eckzahn-PM:
 Gruppenf.:
 balancierte F.:

Abb. 5: Beispielhaft ausgefüllter Befundbogen „Okklusionsabhängige Veränderungen der Zähne“

2.2 Durchführung der Befundaufnahme

Es handelte sich bei dieser Studie um eine Langzeitvergleichsuntersuchung über den Zeitraum von 5 Jahren. Die Gruppe der Probanden bestand aus 20 gesunden Zahnmedizinstudenten (13 Frauen, 7 Männer), die zunächst im ersten Semester ihres Studiums und 5 Jahre später untersucht wurden. Die erste Befundaufnahme wurde im Jahr 1998 durchgeführt, die zweite im Jahr 2003. Bei der ersten Befundaufnahme 1998 lag das Alter der Probanden zwischen 19 und 27 Jahren mit einem Durchschnittsalter von 21,3 Jahren.

Die Befundaufnahme 1998 und 2003 wurde von zwei verschiedenen Untersuchern mit unterschiedlicher klinischer Erfahrung durchgeführt. Während die Erhebung der Befunde 1998 durch einen erfahrenen, klinischen Oberarzt mit Spezialisierung auf dem Gebiet der Zahnärztlichen Prothetik und Funktionslehre erfolgte, wurde diese 2003 vom Verfasser der vorliegenden Promotionsarbeit selbst durchgeführt. Zur Abgleichung der unterschiedlichen Erfahrungswerte erfolgte eine intensive Einweisung mit weitergehendem, wiederholtem Briefing durch den erfahrenen Erstuntersucher während der einzelnen Befundaufnahmesitzungen. Während 1998 nur eine Untersuchung am Tag durchgeführt wurde, wurden 2003 eine Befunderhebung vormittags und eine nachmittags durchgeführt. Die verschiedenen Befunde – wie unter 2.1 beschrieben – wurden jeweils vom Untersucher im Befundbogen erhoben. Der zahnärztliche Befund beschränkte sich auf das Dokumentieren von Füllungen, Zahnersatz, Karies und fehlenden Zähnen. Okklusionskontakte, die SKD und der Muskelbefund wurden zudem erfasst. Zur Bestimmung der Okklusionskontakte wurde 200 µm dickes Artikulationspapier der Firma Bausch mit progressiver Farbtönung verwendet. Die Palpation der Kaumuskulatur und der Kiefergelenke erfolgte für jede Seite einzeln unter Stützung der Gegenseite des Kopfes mit der Hand, während sich der Unterkiefer in Ruheschwebelage befand. Für den einzelnen Kaumuskel wurden zudem verschiedene Muskelareale abgetastet. Zusätzlich sollten die Probanden angeben, ob Frühkontakte bestehen und in welchem Bereich der Zahnreihe diese auftreten. Bei der zweiten Befunderhebung 2003 nachmittags wurden erneut die Okklusionkontakte, Frühkontakte und die SKD bestimmt, um einen tageszeitabhängigen Vergleich zu bekommen. Die anderen Befunde wurden 2003 auf dem Befundbogen nur einmal bei der ersten Untersuchung vormittags erfasst.

2.3 Die Arbeitsmodelle

Bei jedem der Probanden wurde zu Beginn der Untersuchung bei der ersten Erhebung des Befundbogens zusätzlich jeweils ein Alginatabdruck des Ober- und des Unterkiefers genommen und mit Superhartgips ausgegossen. Auch bei der ersten Befunderhebung 5 Jahre später wurden jeweils erneut Alginatabdrücke der Probanden genommen und mit Superhartgips ausgegossen und getrimmt. Diese wurden dann zum Einscannen für das Programm Surfacer 6.0[®] und weitere Untersuchungen verwendet.

2.4 Digitalisierung und Matching der Ober- und Unterkiefermodelle – Erläuterung zum Begriff „Matchen“

Mit Hilfe des 3D-Laserscanners Micromasure 70[®] (s. Abb. 6) der Firma Micromasure (Linden, Deutschland) wurden alle Ober- und Unterkiefermodelle aus den Jahren 1998 und 2003 eingescannt. Das zugrunde liegende Prinzip des Scanners war die Laser-Lichtschnitt-Triangulation. Das in der Apparatur des Scanners eingespannte Gipsmodell fuhr schrittweise während der Messung unter einem linienförmigen 100 µm dicken Laserstrahl entlang. Eine CCD-Kamera nahm das durch den Laser beleuchtete Höhenlichtprofil auf. „Ein CCD-Sensor (CCD = Charged Coupled Device) stellt prinzipiell eine rasterförmige Anordnung aus mehreren 100.000 Fototransistoren, also lichtempfindliche Halbleitern, dar“ (Gärtner, 2003). So entstanden aufeinander folgende Scanlinien mit einem Abstand von 100 µm in der X-Achse, die zu einer dreidimensionalen Punktwolke zusammengefügt wurden (Keilig et al., 2003). In der Y-Achse haben zwei Messpunkte auf der Scanlinie den Abstand von 160 µm. Der Abstand zweier Messpunkte in der Y-Achse war abhängig vom vermessenen Profil und dem Winkel zwischen der Laser-Linienprojektion und der eingestellten Neigung des Messtisches. Jedes Modell musste bei drei verschiedenen Neigungen des Messtisches gescannt werden, damit durch die Schattenbildung des Laserlichtes keine Fehlstellen bei der Erfassung entstehen. „Der Scanner verfügt über drei mechanische Achsen. Sie ermöglichen es, das zu vermessende Objekt in verschiedenen Orientierungen in Bezug auf die Optik zu positionieren.“ (Tsetsilas, 2010) Die drei Scans pro Modell wurden durch das Computerprogramm Surfacer 6.0[®] zu einem Scan zusammengerechnet. Es entstand somit eine sehr genaue digitalisierte morphologische Oberfläche der Gipsmodelle in Form

einer Oberflächenpunktewolke. Die Genauigkeit, mit der die Koordinaten einzelner Punkte in der Wolke dabei gemessen werden konnten, betrug ca. 20 μm (Braumann et al., 2002).

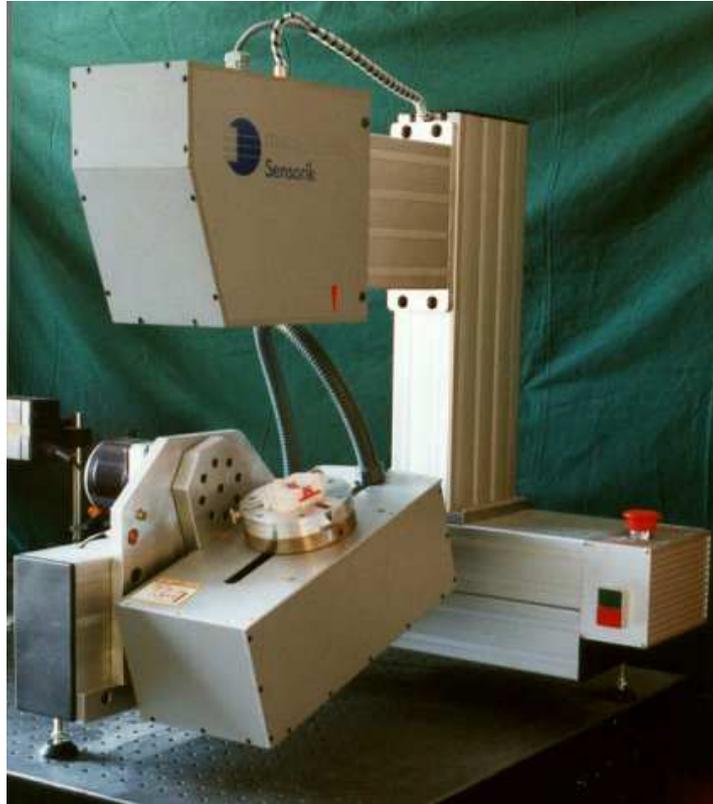


Abb. 6: Laserscanner Micromessure 70[®] zum dreidimensionalen Einscannen der Gipsmodelle.

Im oberen Bereich befand sich die Optik, bestehend aus Laser und CCD-Kamera, im unteren Bereich der in der Neigung bewegliche Messtisch auf dem die Gipsmodelle des Ober- und Unterkiefer eingespannt wurden.

Das Computerprogramm Surfacer 6.0[®] ermöglichte zusätzlich ein „Matchen“ von verschiedenen eingescannten Kiefermodellen. „Matchen“ bedeutet in diesem Fall eine bestmögliche digitale Überlagerung der Oberflächenpunktewolken durch den Computer. Das Ziel des „Matchens“ war es, Veränderungen in der Stellung und der Morphologie der Zähne darzustellen.

Bei dieser Studie wurden die digitalisierten Ober- und Unterkiefermodelle mit dem jeweiligen gleichen Modell „gematcht“, zum Beispiel wurden von einem Probanden der Oberkiefer von 1997/98 mit dem Oberkiefer von 2003 verglichen und das jeweilige Unterkiefermodell mit seinem Pendant.

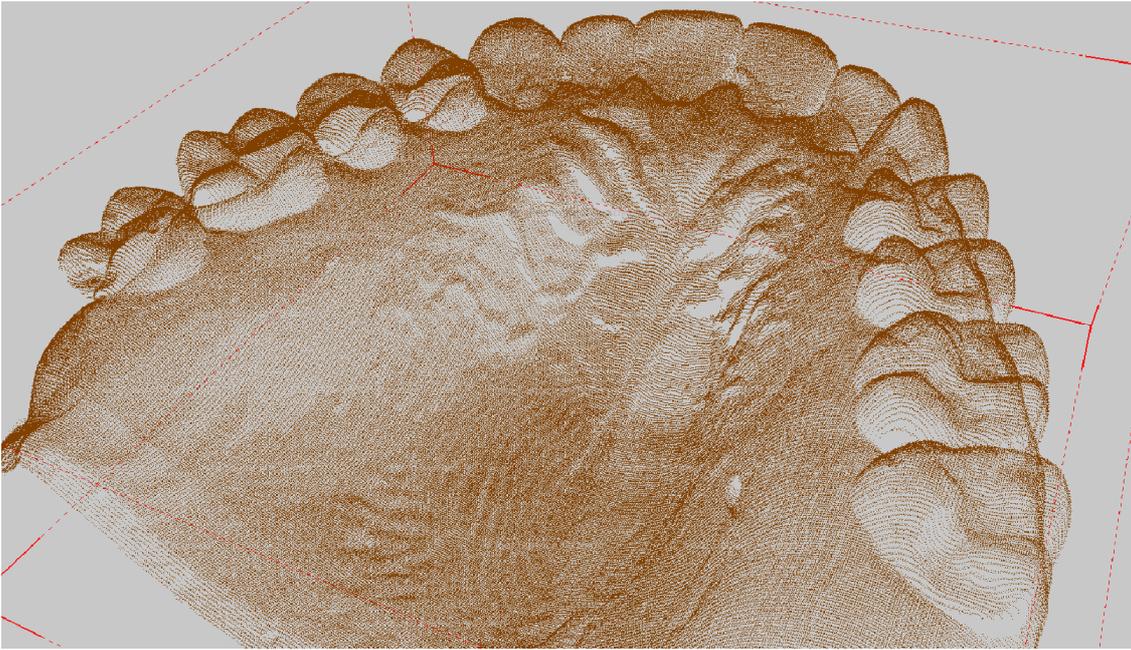


Abb.7: Eingescanntes Oberkiefermodell mit Gaumenfalten vor dem „Matchen“

Notwendig war beim „Matchen“ mit dem Programm Surfacer 6.0[®] eine gleich bleibende anatomische Struktur, die sich in den 5 Jahren nicht veränderte. Diese Struktur überlagerte das Programm als Referenz. Im Oberkiefer wurden die Gaumenfalten, die sich in der Regel kaum bis gar nicht verändern, als Struktur zum Übereinanderlagern der digitalisierten Oberkiefermodelle verwendet.

Im Unterkiefer erfolgte das „Matchen“ nur anhand der digital ausgeschnittenen Zahnreihe, da eine ähnliche reproduzierbare und gleich bleibende Struktur wie der Gaumen mit seinen Gaumenfalten nicht vorhanden war.

Es zeigte sich in Vorversuchen bei der Auswertung der Daten für den Oberkiefer, dass ein reines „Matchen“ über die Gaumenfalten zu fast gleichen Ergebnissen führte wie ein „Matchen“ über die Zahnreihe oder das „Matchen“ über die Struktur der Gaumenfalten in Kombination mit der Zahnreihe.

Aufgrund dessen wurde für die Untersuchung im Oberkiefer zum einen ein „Matchen“ nur über die Zahnreihe und ein weiteres für die Kombination Zahnreihe plus Gaumenfalten durchgeführt.

2.5 Auswertung der gematchten Ober- und Unterkiefermodelle mit dem Surfacer®

Nachdem die Modelle durch das „Matchen“ digital überlagert waren, erfolgte in einem zweiten Schritt die Auswertung der Änderung in Stellung und Morphologie der einzelnen Zähne.

Jeder einzelne Zahn wurde nun digital mit dem Programm Surfacer am Computer „ausgeschnitten“, d.h. aus der gesamten digitalen Punktwolke des eingescannten Ober- und Unterkiefers wurde somit jeder einzelne Zahn als einzelne Punktwolke separiert. Dies ergab für jeden Zahn zwei Punktwolken: eine von 1997/98 und eine von 2003. Das Programm konnte nun durch die in 2.4 erläuterte Überlagerung der Kiefer zwei Punktwolken eines Zahns errechnen, die dessen räumliche und morphologische Veränderung über die 5 Jahre darstellte. Das Programm Surfacer® berechnete diese Veränderung, indem es für die einzelnen Punktwolken der Zähne einen Schwerpunkt festlegte und die zwei Schwerpunkte pro Zahn miteinander verglich. Es ergab sich für jeden Zahn eine bestimmte Bewegung des Schwerpunktes der einzelnen Zahn-punktewolken im dreidimensionalen Raum. Diese Bewegung wurde dann durch das Programm durch 6 Werte definiert. Dies war zum einen die reine Translationsbewegung der zwei Schwerpunkte eines Zahns im Raum, errechnet als Raumkoordinaten X, Y und Z. Diese Translationswerte wurden im Weiteren als „Trans X“, „Trans Y“ und „Trans Z“ bezeichnet.

Zum anderen berechnete das Programm auch gleichzeitig für jeden Zahn die Rotationsbewegung der Zahn-punktewolken um den überlagerten Schwerpunkt. Diese Werte zeigte das Programm durch die Rotationswerte „Rot X“, „Rot Y“ und „Rot Z“ an. Für die Werte der ermittelten Translation war die Maßeinheit Millimeter, für die Rotation Grad. Da die Rotation um den Schwerpunkt der einzelnen Zahn-punktewolken für den Betrachter sehr schwer fassbar, nachvollziehbar und auch nicht direkt auswertbar war, wurde bei einigen nachfolgenden Berechnungen nur allein die Translation zur Auswertung hinzugezogen.

2.6 Darstellung der Daten mit Hilfe von Temperaturbildern

Die Computersoftware Surfacer® erlaubte zudem eine grafische Darstellung der „gematchten“ Oberkiefer als auch der „gematchten“ Unterkiefer. Die Darstellung erfolgte dabei topographisch, wobei die Veränderung der Zahnoberfläche in den fünf Jahren mit verschiedenen Farben angezeigt wurde. Bei 16 Probanden wurden diese Temperaturbilder für jeweils den Ober- und Unterkiefer angefertigt. Eine Farbskala mit den Werten zwischen 2 mm und -2 mm zeigt die Veränderung an.

Eine Grünfärbung der Zähne stellte dabei wenig bis gar keine Änderung dar. Gelb bis Rotfärbung zeigte, dass Veränderungen vorlagen, die von negativer Art waren, hierbei war ein Zahnschmelzabtrag oder eine Drehung oder Bewegung des Zahns in negativer Richtung erfolgt. Genau umgekehrt bedeutete eine Hell- bis Dunkelblaufärbung der Zahnoberflächen eine Veränderung in eine positive Richtung, dass Zahnschmelz dazu gekommen war oder eine Drehung oder Bewegung des Zahns in positiver Richtung stattgefunden hatte. Es muss dabei erwähnt werden, dass Zahnersatz wie Kronen oder in den 5 Jahren erfolgte Füllungen, auch neue kariöse Läsionen oder Abreibungen etc. zu einer Veränderung der Oberfläche führen konnten und dann dementsprechend auf den Temperaturbildern dargestellt wurden. Die Temperaturbilder des Oberkiefers genauso wie die des Unterkiefers bezogen sich zudem auf das „Matchen“ der reinen Zahnreihe ohne Einbeziehung des Gaumens.

2.7 Untersuchung zur numerischen Veränderung der Okklusionskontakte

Im Befundbogen wurden aller Kontaktpunkte, die mit dem Okklusionspapier ermittelt worden waren, auf einem Zahnschema eingetragen. Die dort ermittelte Anzahl an Kontaktpunkten wurde getrennt für den Ober- und Unterkiefer verglichen, wobei auch zwischen Front- und Seitenzahnbereich unterschieden wurde. Verwendet wurden bei den Daten für die zweite Untersuchung 2003 die am Vormittag ermittelten Werte.

2.8 Vergleichende graphische Darstellung der Translation nach Z

Eine weitere Möglichkeit, die Veränderungen in der Zahnstellung darzustellen, war ein direkter Vergleich der ermittelten Daten für jeweils die Translation und Rotation. Es wurden für jeden einzelnen Zahn der Probanden im direkten Vergleich der 5 Jahre 6 Werte ermittelt, die angaben, wie sich der Zahn in dieser Zeit von der Stellung her verändert hatte. Um an diese Zahlenwerte zu kommen, wurde, sowie unter Kapitel 2.5 erläutert, für jeden der Probanden im Hinblick auf jeden einzelnen Zahn die Zahnstellungsänderung in den 5 Jahren mit der Computersoftware Surfacer 6.0[®] einzeln errechnet.

Von den dort ermittelten Translations- und Rotationswerten wurden hier zur Auswertung nur die Translationswerte in der Achsenrichtung Z verwendet. Dieser Wert, der im Weiteren auch als

„Translation nach Z“ oder auch „Trans Z“ bezeichnet wird, beschrieb die Veränderung des Schwerpunktes der einzelnen digital „ausgeschnittenen“ Zahnpunktwolken in Bezug auf die Raumkoordinate Z. Somit wurden räumliche Veränderungen der Kaufläche jedes einzelnen Zahns in Bezug auf die Okklusionsebene angezeigt, die in den 5 Jahren stattgefunden hatten. Beispielsweise sollte eine starke Abrasion an einem einzelnen Zahn oder Zahnwanderung auf Grund eines fehlenden Antagonisten zu einer Änderung in dem Wert „Translation nach Z“ führen.

Im Gegensatz zu den Temperaturbildern wurden hier alle Zähne, die laut Befundbogen konservierend oder prothetisch versorgt worden waren, aus der Darstellung herausgenommen. Da aus der Befunderhebung und den Befundbögen nicht immer alle neuen Füllungen ersichtlich waren, wurde zusätzlich ein optischer Vergleich der Okklusionsflächen anhand der Gipsmodelle durchgeführt. Auch hier wurden dann noch zusätzlich die Zähne aus der Darstellung herausgenommen, die offensichtliche Veränderungen wie zum Beispiel Füllungen aufwiesen.

Zur Auswertung der „Translationswerte nach Z“ wurde die Computersoftware PlotIT 3.2[®] der Firma Scientific Programming Enterprises Inc. verwendet.

2.9 Modifizierte vergleichende Darstellung der Translation nach Z

Um die Veränderung der Translation nach Z – also eine Veränderung der Okklusionshöhe – noch einfacher und besser vergleichbar darstellen zu können, wurden im Vergleich zu der Methode unter 2.6 noch zwei Dinge verändert. Zum einen wurden die Zahlenwerte zuvor mit dem Statistikprogramm SPSS[®] analysiert und die ermittelten Extremwerte und Ausreißer herausgenommen. Die andere Veränderung zu der Darstellung unter 2.6 bestand darin, dass die Summe des jeweils negativsten Translationswertes nach Z jedes Zahnes mit den anderen Translationswerten nach Z jedes Zahnes addiert wurde, so dass keine negativen Werte mehr in der Darstellung vorkamen. Dies sollte die Analyse und Vergleichbarkeit einzelner Zähne und Zahngruppen erleichtern. Ein anderer Grund der so gewählten Darstellung lag in der Tatsache, dass beim „Matchen“ der Zähne jeweils alle Zähne der Zahnreihe gewählt wurden und die von uns zu untersuchenden Zahnstellungsänderungen, aber auch neue Füllungen, Kronen etc. das „Matchen“ ungenauer machten. Tendenzen waren durch diese modifizierte Darstellung daher besser überprüfbar und vergleichbar. Wäre es möglich gewesen, eine bestimmte gleichbleibende Knochen-

struktur des Schädels als Referenz für das „Matchen“ zu nehmen, wäre dieser Schritt sicher nicht notwendig gewesen.

2.10 Statistische Aufbereitung der erhobenen Daten

Die erhobene Daten wurden mit Hilfe von Microsoft Excel[®] und dem Statistikprogramm SPSS 17[®] erfasst und verarbeitet. Die Daten der SKD Messung, der Messung der Schmelzrisse und der Anzahl an Okklusionskontakte wurden jeweils mit SPSS mit der Prozedur „Deskriptive Statistik“ auf die Kennzahlen Mittelwert, Maximum, Minimum, Standardabweichung und Varianz berechnet und die Lage und Streuung mit Boxplot-Diagrammen dargestellt. Die Ermittlung der Signifikanz erfolgte mit Hilfe des T-Tests. Für sämtliche Tests wurden p-Werte $< 0,05$ als statistisch signifikant definiert.

3. Ergebnisse

3.1 Auswertung der Befundbögen

3.1.1 Veränderung in Bezug auf die Schneidekantendistanz (SKD)

Bei jedem der Probanden wurde während der Befunderhebung die Schneidekantendistanz (SKD) gemessen, bei der ersten Untersuchungsreihe 1998 nur einmal, dann 2003 jeweils einmal vormittags und einmal nachmittags. Die Ergebnisse werden in Tab. 1 dargestellt. Zudem wurden wie in 2.1 beschrieben jeweils einmal die aktive und einmal die passive SKD bestimmt.

Tab. 1: Ermittelte Werte der aktiven und passiven Schneidekantendistanz (SKD) 1998 und 2003

Proband	1998 aktive SKD (mm)	1998 passive SKD (mm)	2003 aktive SKD (vormittags) (mm)	2003 passive SKD (vormittags) (mm)	2003 aktive SKD (nachmittags) (mm)	2003 passive SKD (nachmittags) (mm)
♂ männ.						
Prob. 1	50	51	53	54	54	55
Prob. 2	62	63	58	58	60	62
Prob. 3	46	48	44	45	45	45
Prob. 4	56	57	49	51	49	50
Prob. 5	55	56	53	54	54	54
Prob. 6	43	44	44	45	44	46
Prob. 7	50	51	46	49	47	48
♀ weibl.						
Prob. 8	58	59	56	58	59	60
Prob. 9	41	42	42	43	43	44
Prob. 10	54	55	51	51	52	53
Prob. 11	49	50	38	47	35	43
Prob. 12	49	50	45	50	50	52
Prob. 13	50	51	53	54	53	55
Prob. 14	46	47	49	51	48	50
Prob. 15	55	56	56	58	56	57
Prob. 16	56	57	54	55	54	54
Prob. 17	47	48	43	45	45	47
Prob. 18	54	55	49	52	50	53
Prob. 19	61	62	60	61	59	61
Prob. 20	54	55	54	55	54	55

3.1.1.1 Messung und vergleichende Darstellung der aktiven SKD

Bei der ersten aktiven Messung 1998 für die Probanden ($n = 20$) ergab sich ein Mittelwert der SKD von 51,8 mm. Bei einer Standardabweichung von 5,653 mm lagen das Maximum bei 62 mm und das Minimum bei 41 mm (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Deskriptive Statistik der Messung der aktiven Schneidekantendistanz 1998

Mittelwert [mm]	Maximum [mm]	Minimum [mm]	Standardabweichung [mm]	Varianz
51,8	62	41	5,653	31,958

Bei der zweiten aktiven Messung 2003 vormittags ergab sich für die Probanden ($n = 20$) ein Mittelwert der SKD von 49,85 mm. Bei einer Standardabweichung von 5,932 mm lagen das Maximum bei 60 mm und das Minimum bei 38 mm (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Deskriptive Statistik der Messung der aktiven Schneidekantendistanz vormittags 2003

Mittelwert [mm]	Maximum [mm]	Minimum [mm]	Standardabweichung [mm]	Varianz
49,85	60	38	5,932	35,187

Bei der zweiten aktiven Messung 2003 nachmittags ergab sich für die Probanden ($n = 20$) ein Mittelwert der SKD von 50,55 mm. Bei einer Standardabweichung von 6,253 mm lagen das Maximum bei 60 mm und das Minimum bei 35 mm (siehe Tab. 4).

Tab. 4: Deskriptive Statistik der Messung der aktiven Schneidekantendistanz nachmittags 2003

Mittelwert [mm]	Maximum [mm]	Minimum [mm]	Standardabweichung [mm]	Varianz
50,55	60	35	6,253	39,103

Das Boxplotdiagramm zeigt eine vergleichende Darstellung der Messergebnisse für die Schneidekantendistanz bei aktiver Messung. Dargestellt wurden alle 3 Messtermine.

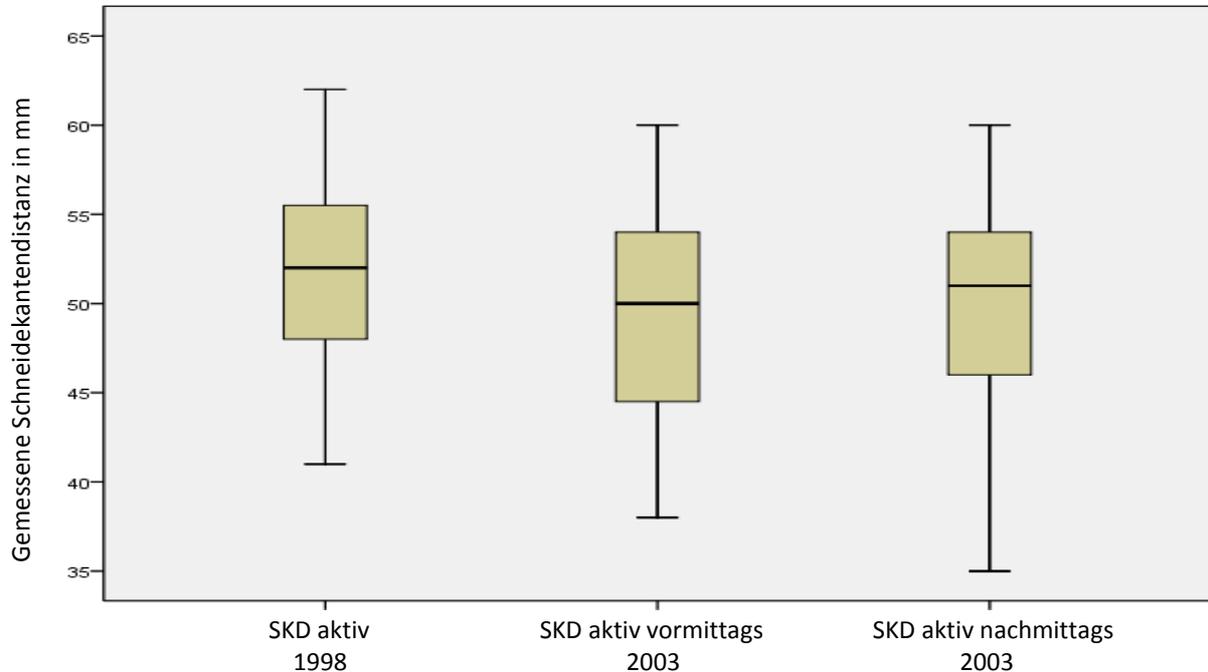


Abb. 8: Vergleichende Darstellung der aktiv gemessenen Schneidekantendistanz an den 3 Mess-tagen

3.1.1.2 Messung und vergleichende Darstellung der passiven SKD

Bei der ersten passiven Messung 1998 für die Probanden ($n = 20$) ergab sich ein Mittelwert der SKD von 52,85 mm. Bei einer Standardabweichung von 5,603 mm lagen das Maximum bei 63 mm und das Minimum bei 42 mm (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Deskriptive Statistik der Messung der passiven Schneidekantendistanz 1998

Mittelwert [mm]	Maximum [mm]	Minimum [mm]	Standardabweichung [mm]	Varianz
52,85	63	42	5,603	31,397

Bei der zweiten passiven Messung 2003 vormittags ergab sich für die Probanden ($n = 20$) ein Mittelwert der SKD von 51,8 mm. Bei einer Standardabweichung von 5,064 mm lagen das Maximum bei 61 mm und das Minimum bei 43 mm (siehe Tab. 6).

Tab. 6: Deskriptive Statistik der Messung der passiven Schneidekantendistanz vormittags 2003

Mittelwert [mm]	Maximum [mm]	Minimum [mm]	Standardabweichung [mm]	Varianz
51,80	61	43	5,064	25,642

Bei der zweiten passiven Messung 2003 nachmittags ergab sich für die Probanden ($n = 20$) ein Mittelwert der SKD von 50,55 mm. Bei einer Standardabweichung von 6,253 mm lagen das Maximum bei 60 mm und das Minimum bei 35 mm (siehe Tab. 7).

Tab. 7: Deskriptive Statistik der Messung der passiven Schneidekantendistanz nachmittags 2003

Mittelwert [mm]	Maximum [mm]	Minimum [mm]	Standardabweichung [mm]	Varianz
50,55	60	35	6,253	39,103

Das Boxplot-Diagramm (Abb. 9) zeigt eine vergleichende Darstellung der Messergebnisse für die Schneidekantendistanz bei passiver Messung. Dargestellt wurden alle 3 Messtermine.

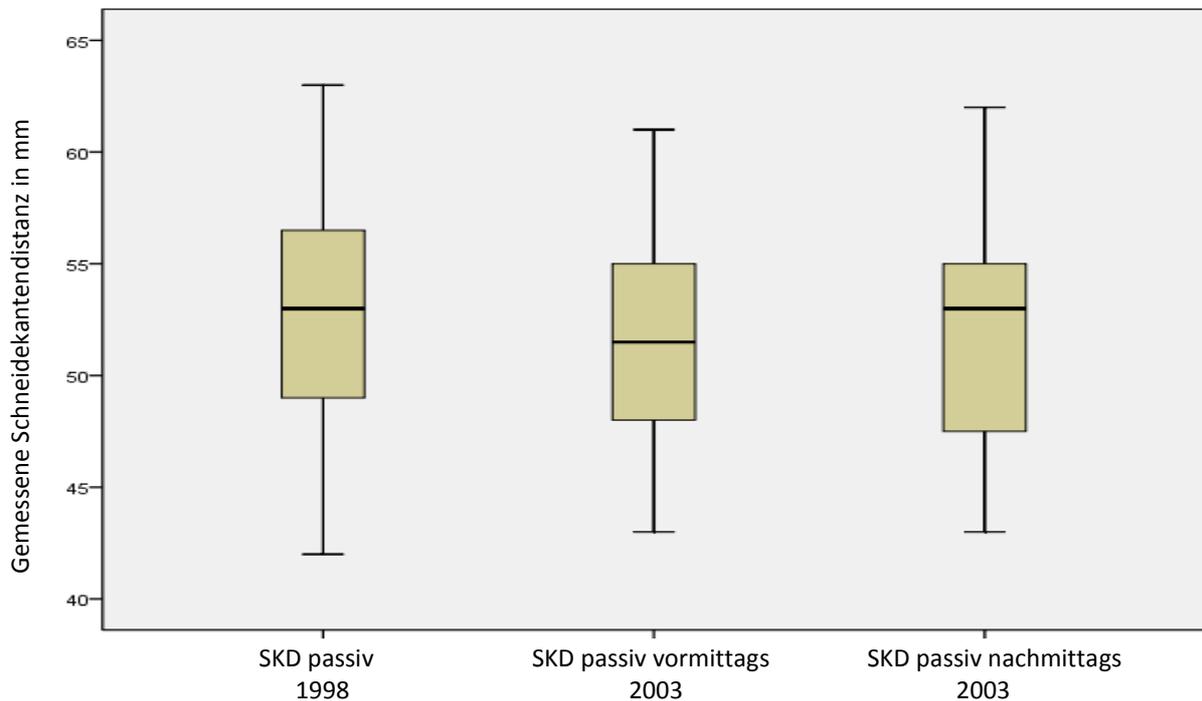


Abb. 9: Vergleichende Darstellung der passiv gemessenen Schneidekantendistanz an den 3 Mess-tagen

3.1.1.3 Statistische Auswertung der SKD-Messung

Bei der aktiven Messung der SKD zeigte sich im SPSS T-Test eine signifikante Abnahme ($p < 0,05$) der SKD im Vergleich der Messwerte des Jahres 1998 zu denen des Jahres 2003 vormittags ($p = 0,024$). Bei der passiven SKD-Messung liegt auch eine Abnahme der Messwerte im Vergleich des Jahres 1998 zu dem Jahr 2003 vormittags vor, die jedoch nicht signifikant ist ($p = 0,105$). Auch sind die Werte der SKD-Veränderung sowohl der aktiven Messung ($p = 0,174$) als auch der passiven Messung ($p = 0,365$) zwischen dem Jahr 1998 und der Messung nachmittags 2003 nicht signifikant. Im Vergleich der Werte des Jahres 2003 nahm die SKD im direkten Tagesvergleich jedoch sowohl bei der aktiven als auch bei der passiven Messung zu. Diese Zunahme ist allerdings aktiv ($p = 0,069$) und passiv ($p = 0,305$) nicht signifikant.

3.1.2 Anzahl an Schmelzsprüngen

Die Veränderungen bei der Anzahl an Schmelzsprüngen wurden ermittelt und die Ergebnisse im Folgenden aufgelistet und einander gegenübergestellt. Unterschieden wurden zwischen Front- und Seitenzahnbereich und dabei jeweils Mittelwert, Maximum, Minimum, Standardabweichung und Varianz angegeben.

3.1.2.1 Schmelzsprünge im Frontzahnbereich

Die erste Befunderhebung 1998 ergab für die Probanden ($n = 20$) einen Mittelwert von 2,9 Schmelzsprüngen je Frontzahnbereich. Bei einer Standardabweichung von 3,386 waren im Minimum kein Schmelzsprung und im Maximum 12 Schmelzsprünge vorhanden (siehe Tab. 8).

Tab. 8: Deskriptive Statistik: Schmelzsprünge im Frontzahnbereich 1998

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
2,9	12	0	3,386	11,463

Die zweite Befunderhebung 2003 ergab für die Probanden ($n = 20$) einen Mittelwert von 6,6 Schmelzsprüngen je Frontzahnbereich. Bei einer Standardabweichung von 2,854 waren im Minimum ein Schmelzsprung und im Maximum 12 Schmelzsprünge vorhanden (siehe Tab. 9).

Tab. 9: Deskriptive Statistik: Schmelzsprünge im Frontzahnbereich 2003

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
6,6	12	1	2,854	8,147

Das Boxplot-Diagramm (Abb.10) zeigt eine vergleichende Darstellung der Messergebnisse für die Anzahl der Schmelzsprünge im Frontzahnbereich im Vergleich der 5 Jahre.

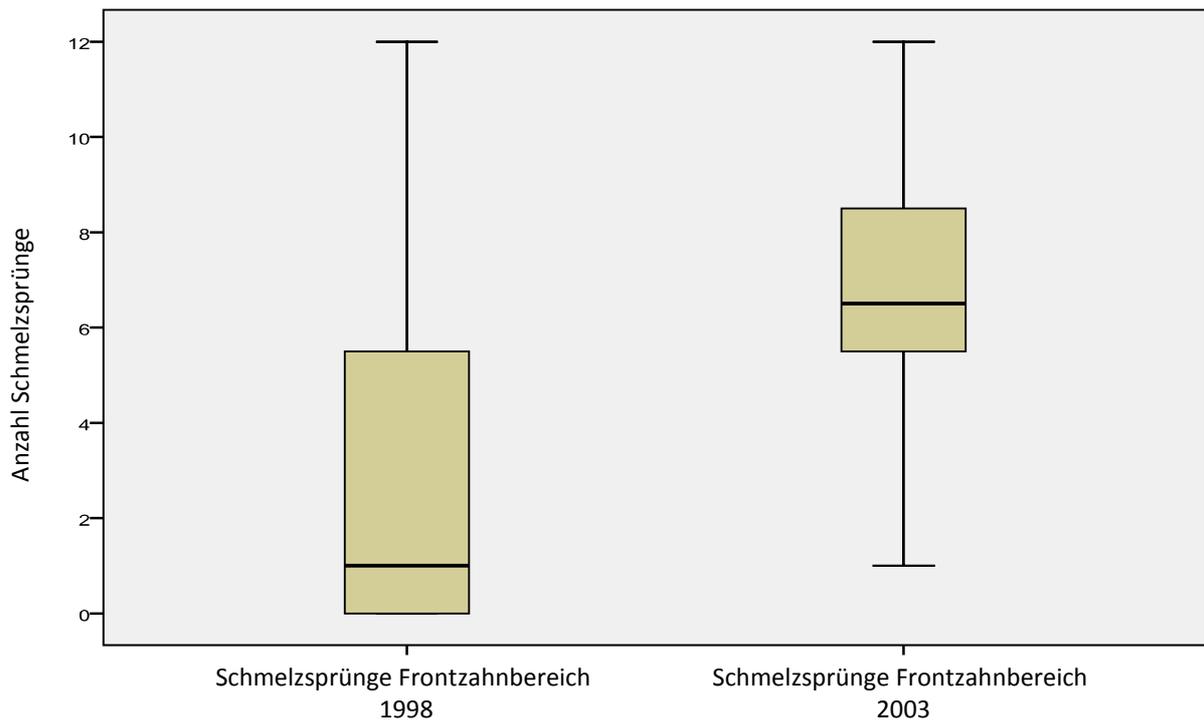


Abb. 10: Vergleichende Darstellung der gemessenen Schmelzsprünge im Frontzahnbereich

3.1.2.2 Schmelzsprünge im Seitenzahnbereich

Die erste Befunderhebung 1998 ergab für die Probanden ($n = 20$) einen Mittelwert von 1,55 Schmelzsprüngen je Seitenzahnbereich. Bei einer Standardabweichung von 1,701 waren im Minimum kein Schmelzsprung und im Maximum 5 Schmelzsprünge vorhanden (siehe Tab. 10).

Tab. 10: Deskriptive Statistik: Schmelzsprünge im Seitenzahnbereich 1998

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
1,55	5	0	1,701	2,892

Die zweite Befunderhebung 2003 ergab für die Probanden ($n = 20$) einen Mittelwert von 5,35 Schmelzsprüngen je Seitenzahnbereich. Bei einer Standardabweichung von 3,689 waren im Minimum kein Schmelzsprung und im Maximum 12 Schmelzsprünge vorhanden (siehe Tab. 11).

Tab. 11: Deskriptive Statistik: Schmelzsprünge im Seitenzahnbereich 2003

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
5,35	12	0	3,689	13,608

Das Boxplot-Diagramm (Abb. 11) zeigt eine vergleichende Darstellung der Messergebnisse für die Anzahl der Schmelzsprünge im Seitenzahnbereich im Vergleich der 5 Jahre.

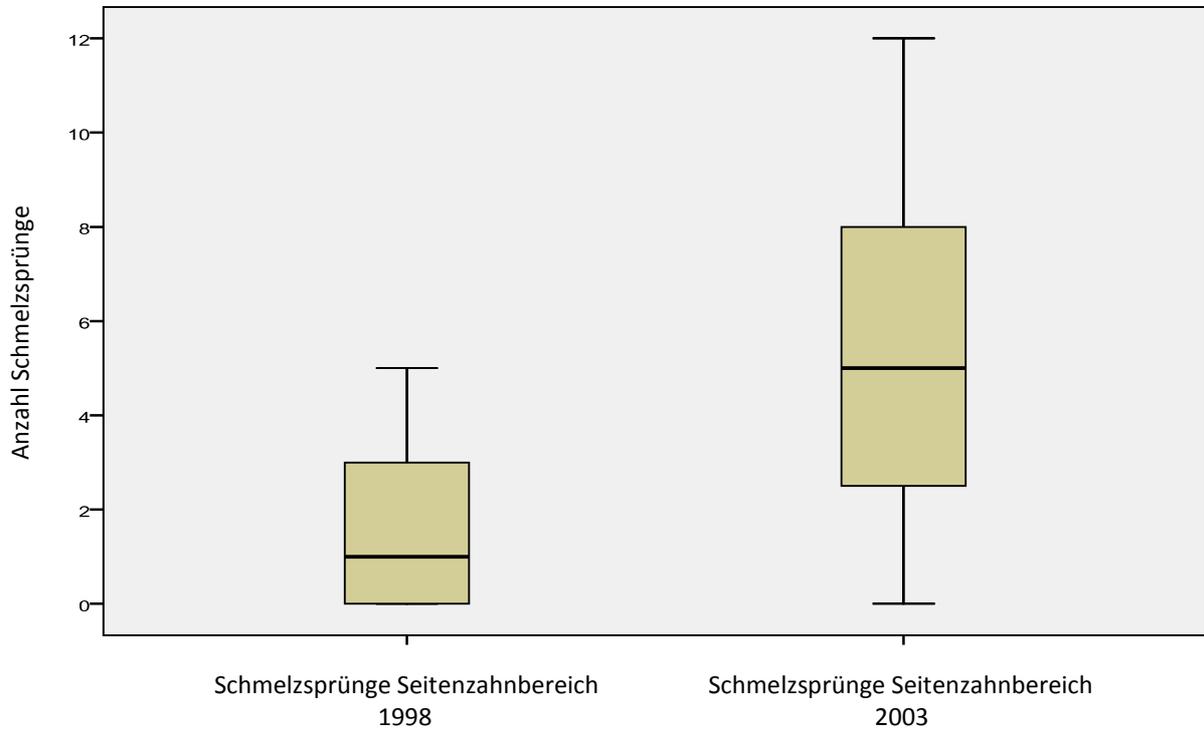


Abb. 11: Vergleichende Darstellung der gemessenen Schmelzsprünge im Seitenzahnbereich

3.1.2.3 Schmelzsprünge im gesamten Kiefer

Die erste Befunderhebung 1998 ergab für die Probanden ($n = 20$) einen Mittelwert von 4,45 Schmelzsprüngen. Bei einer Standardabweichung von 4,006 waren im Minimum kein Schmelzsprung und im Maximum 15 Schmelzsprünge vorhanden (siehe Tab. 12).

Tab. 12: Deskriptive Statistik: Schmelzsprünge im gesamten Kiefer 1998

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
4,45	15	0	4,006	16,05

Die zweite Befunderhebung 2003 ergab für die Probanden ($n = 20$) einen Mittelwert von 11,95 Schmelzsprünge. Bei einer Standardabweichung von 5,395 waren im Minimum ein Schmelzsprung und im Maximum 20 Schmelzsprünge vorhanden (siehe Tab. 13).

Tab. 13: Deskriptive Statistik: Schmelzsprünge im gesamten Kiefer 2003

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
11,95	20	1	5,395	29,103

Das Boxplot-Diagramm (Abb. 12) zeigt eine vergleichende Darstellung der Messergebnisse für die Anzahl aller Schmelzsprünge im Ober- und Unterkiefer im Vergleich der 5 Jahre.

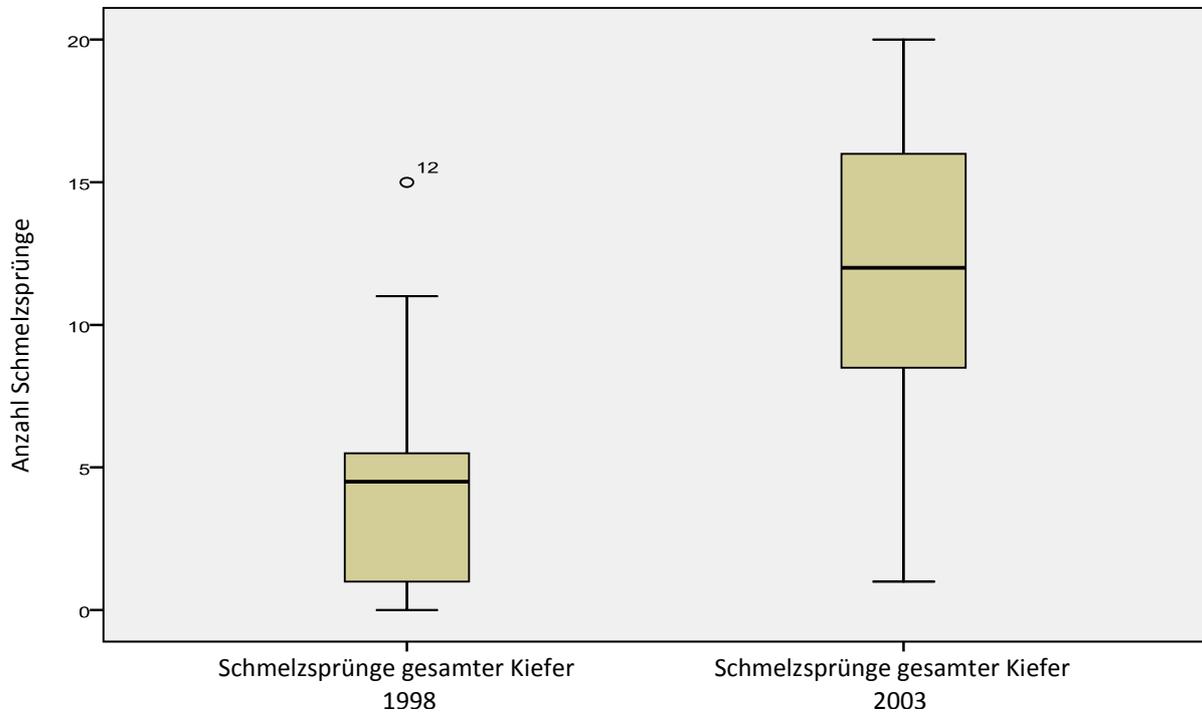


Abb. 12: Vergleichende Darstellung der gemessenen Schmelzsprünge im gesamten Kiefer

3.1.2.4 Statistische Auswertung der Schmelzsprünge

Sowohl die Messung der Schmelzsprünge im Seitenzahnbereich ($p = 0,0002983$) als auch die Messung der Schmelzsprünge im Frontzahnbereich ($p = 0,00060421$) ergaben einen signifikanten Anstieg ($p < 0,05$) im SPSS T-Test. Der Mittelwert der Schmelzsprünge im Frontzahnbereich hatte sich mehr als verdoppelt, der Mittelwert der Schmelzsprünge im Seitenzahnbereich sogar mehr als verdreifacht. Die Gesamtauswertung aller Schmelzsprünge zeigte mehr als eine Verdoppelung in der Anzahl ($p = 0,000011989$).

3.2 Temperaturbilder

Für eine Auswertung der Temperaturbilder wurden diese gesondert für Unter- und Oberkiefer nach Ähnlichkeiten sortiert.

3.2.1 Oberkiefer-Temperaturbilder

Die Temperaturbilder des Oberkiefers wurden in sechs verschiedene Gruppen einsortiert:

- 1.) „Normgruppe“
- 2.) „Wenig Änderung“
- 3.) „Normgruppe mit Korrektur“
- 4.) „Frontbetont“
- 5.) „Ausreißer“

3.2.1.1 Oberkiefer-Temperaturbilder der „Normgruppe“

Die fünf Temperaturbilder in der „Normgruppe“ wiesen eine gleichmäßige Veränderung der Okklusalfäche auf. Die farbliche Veränderung ging sowohl in den positiven als auch in den negativen Bereich. Die Veränderungen in den negativen Bereich überwogen. Der Seitenzahnbereich wies eine leicht stärkere Farbveränderung auf als der Frontzahnbereich.

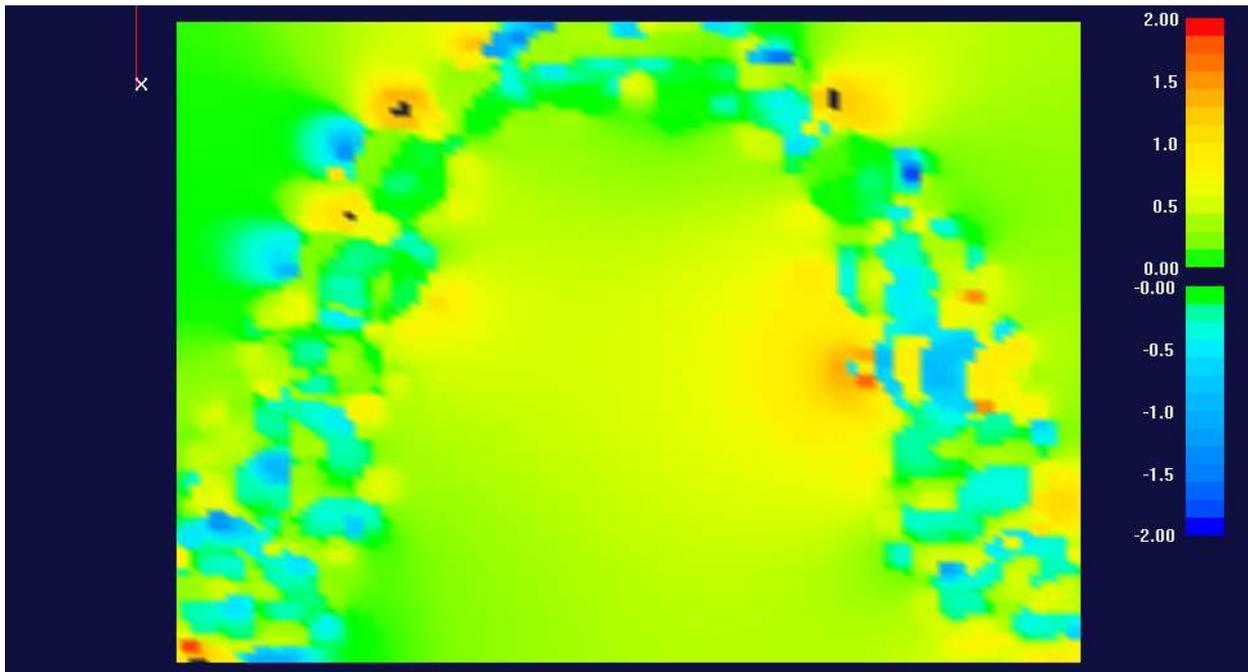


Abb. 13a: Temperaturbild Proband 1 aus der „Normgruppe“

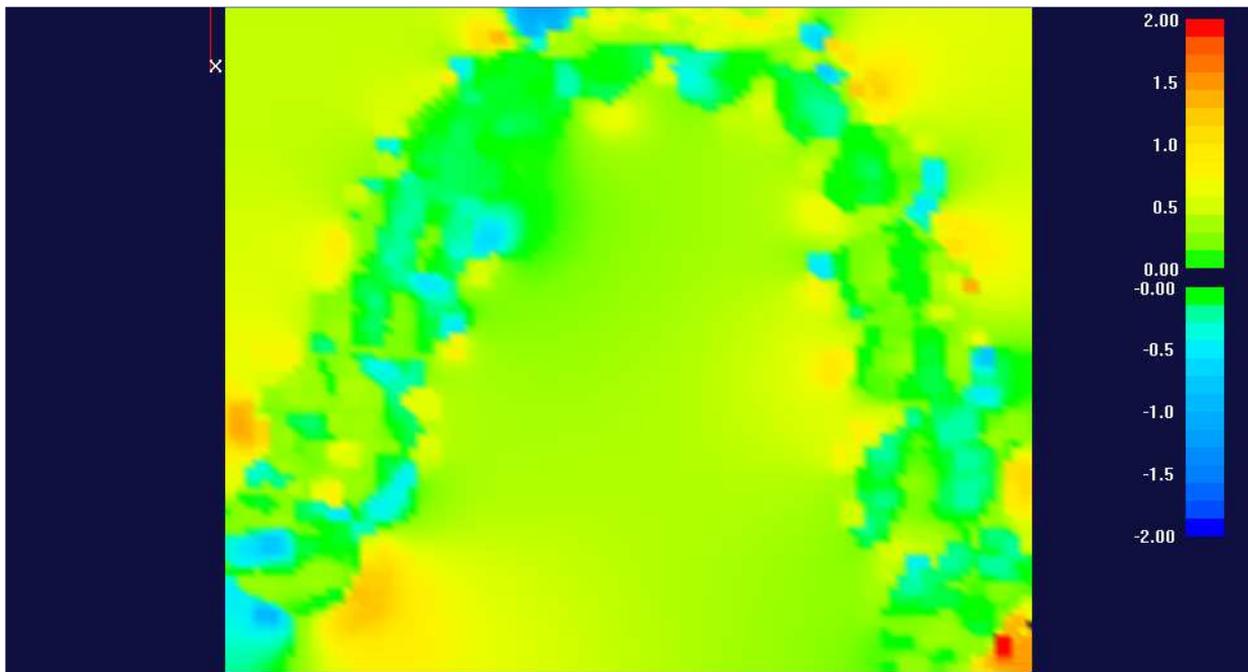


Abb. 13b: Temperaturbild Proband 2 aus der „Normgruppe“

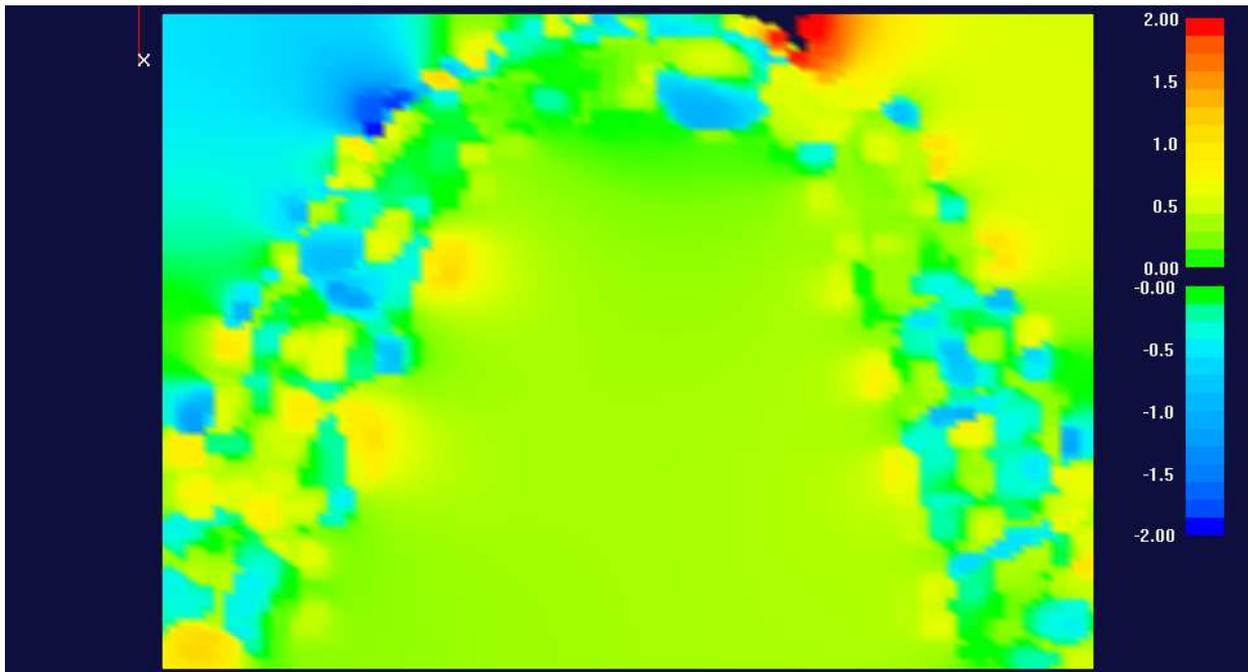


Abb. 13c: Temperaturbild Proband 3 aus der „Normgruppe“

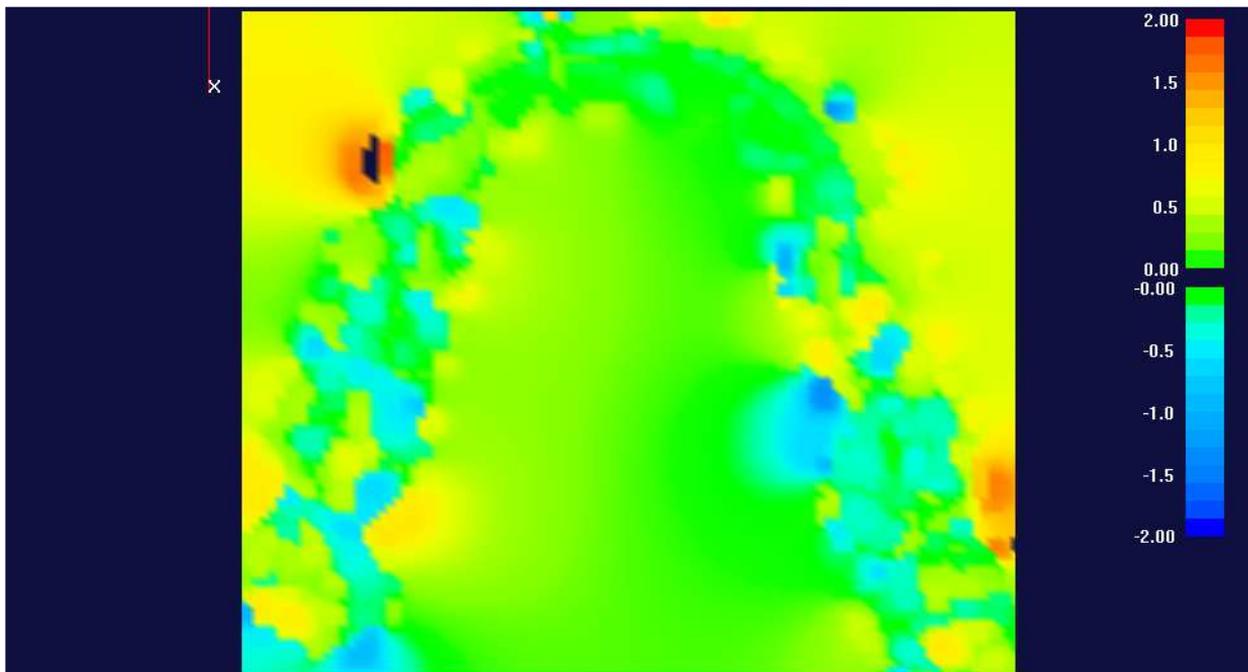


Abb. 13d: Temperaturbild Proband 4 aus der „Normgruppe“

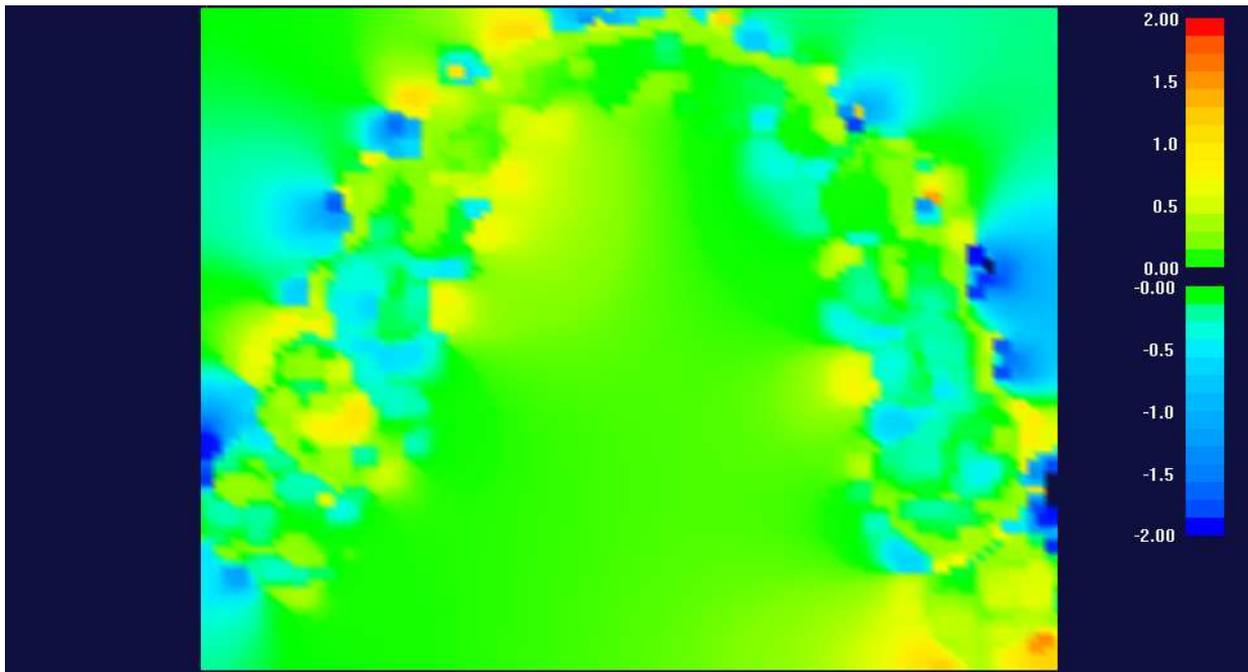


Abb. 13e: Temperaturbild Proband 5 aus der „Normgruppe“

Abb. 13a-e: Zusammenstellung der Oberkiefer-Temperaturbilder der „Normgruppe“. Die Veränderungen der Okklusaloberfläche sind gleichmäßig sowohl positiv als auch negativ verteilt. Bei Abb. 13b, 13d und 13e weist der Seitenzahnbereich eine leicht stärkere Farbveränderung auf.

3.2.1.2 Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Wenig Änderung“

Die zwei Temperaturbilder in der Gruppe „wenig Änderung“ wiesen kaum Veränderung der Okklusalfäche auf. Die farbliche Veränderung ging nur ganz minimal in den positiven als auch in den negativen Bereich. Ansonsten überwog farblich der grüne Normbereich. Die minimalen Farbveränderungen waren sowohl im Seitenzahn- als auch im Frontzahnbereich sichtbar.

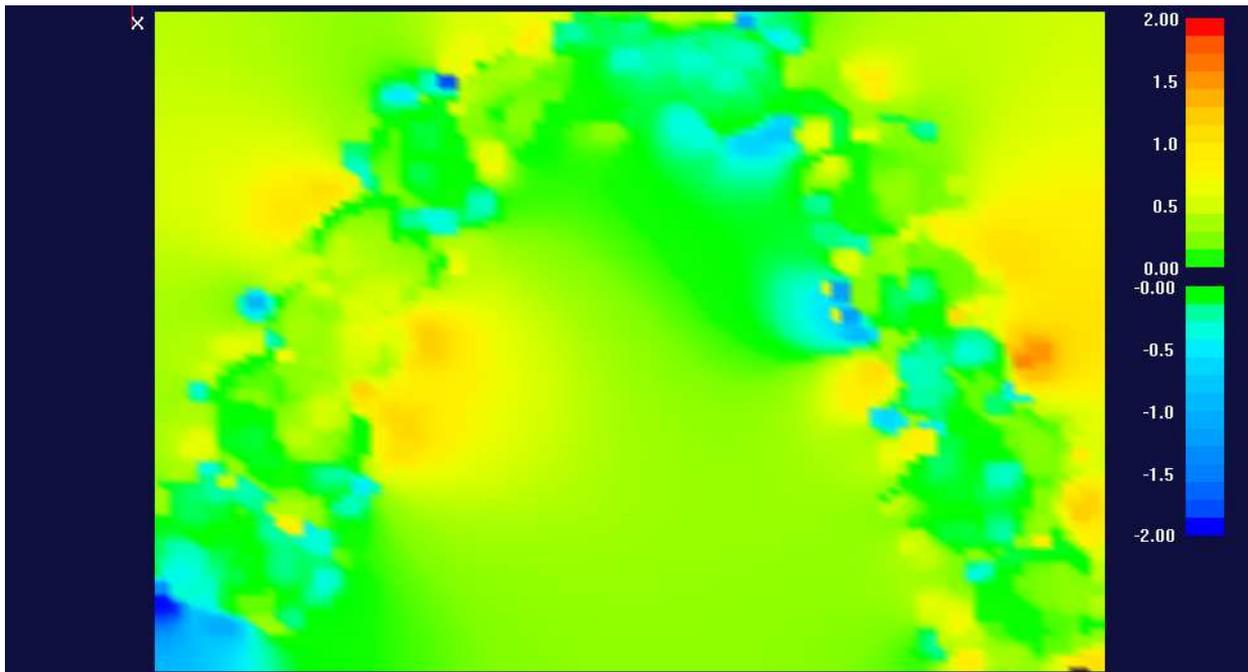


Abb. 14a: Temperaturbild Proband 1 aus der Gruppe „Wenig Änderung“

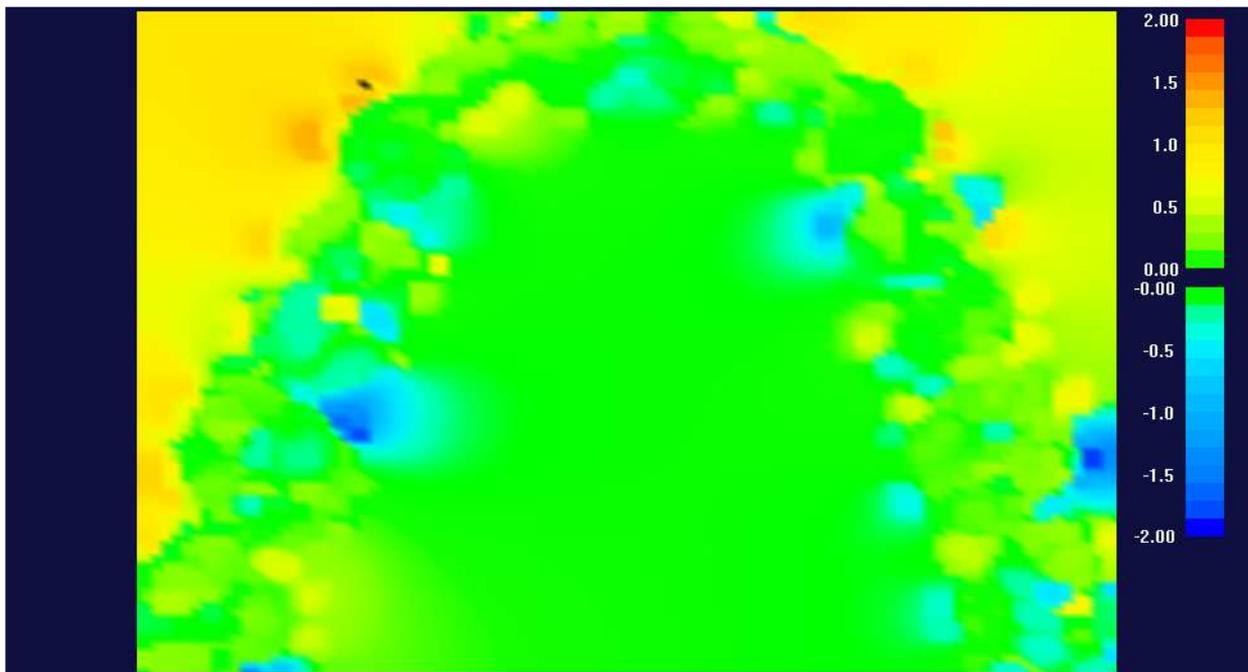


Abb. 14b: Temperaturbild Proband 2 aus der Gruppe „Wenig Änderung“

Abb. 14a+b: Zusammenstellung der Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Wenig Änderung“. Es überwiegt ein farblich grüner Normbereich. Es liegen somit wenige Änderungen der Okklusalfäche vor.

3.2.1.3 Oberkiefer-Temperaturbilder der „Normgruppe mit Korrektur“

Die vier Temperaturbilder in der „Normgruppe mit Korrektur“ wiesen eine nicht so gleichmäßige Veränderung der Okklusalfäche auf wie die Temperaturbilder der Normgruppe. Auch hier ging die farbliche Veränderung sowohl in den positiven als auch in den negativen Bereich. Jedoch war die Farbänderung nicht über die gesamte Zahnreihe gleichmäßig verteilt. Außerdem waren die Veränderungen in bestimmten Arealen, zumeist im Seitenzahnbereich stärker als bei der „Normgruppe“. Die Veränderungen in den negativen Bereich überwogen. Bei der Auswertung fiel auf, dass bei den Probanden in dieser Gruppe neue Füllungen, Inlays und Kronen in dem Untersuchungszeitraum angefertigt wurden. Diese führten dann auf den Temperaturbildern eher zu ungleichmäßigen Veränderungen in Bezug auf die Lokalisation auf dem Zahnbogen.

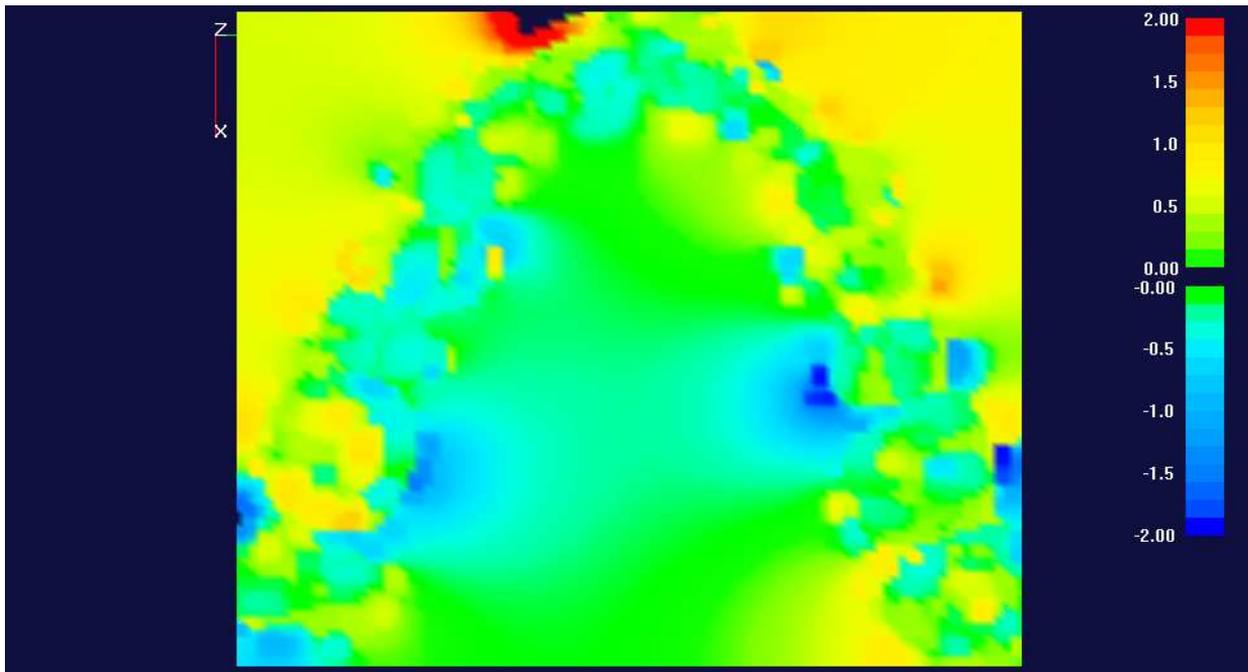


Abb. 15a: Temperaturbild Proband 1 aus der „Normgruppe mit Korrektur“

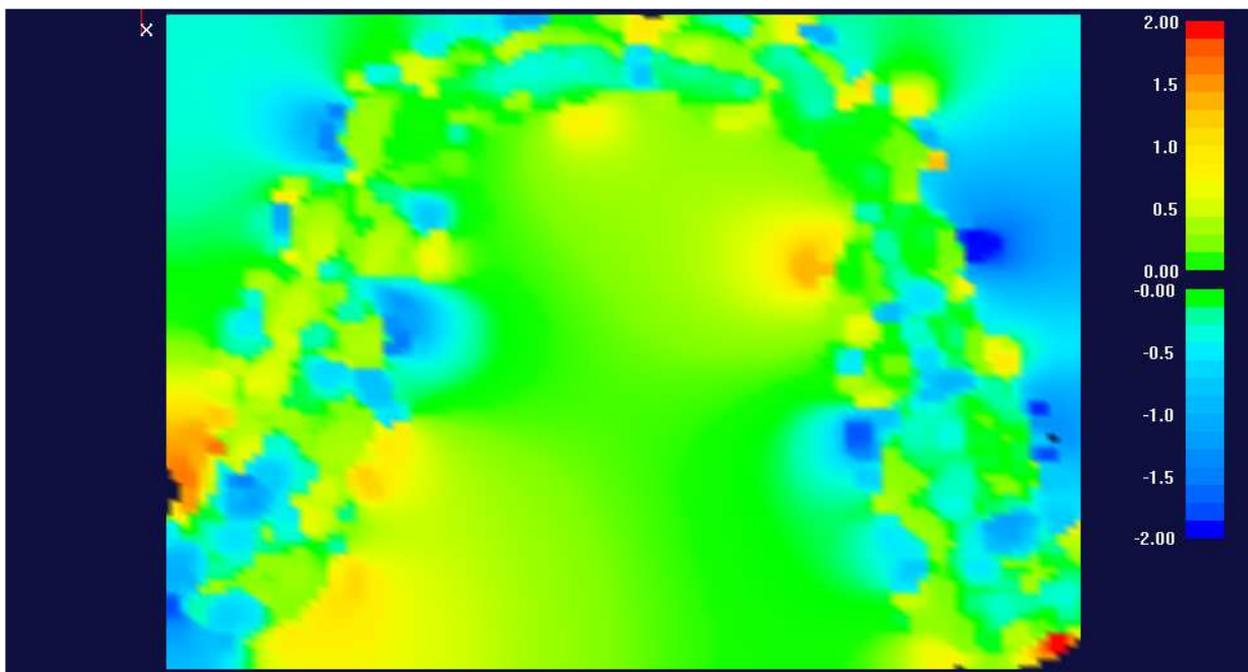


Abb. 15b: Temperaturbild Proband 2 aus der „Normgruppe mit Korrektur“

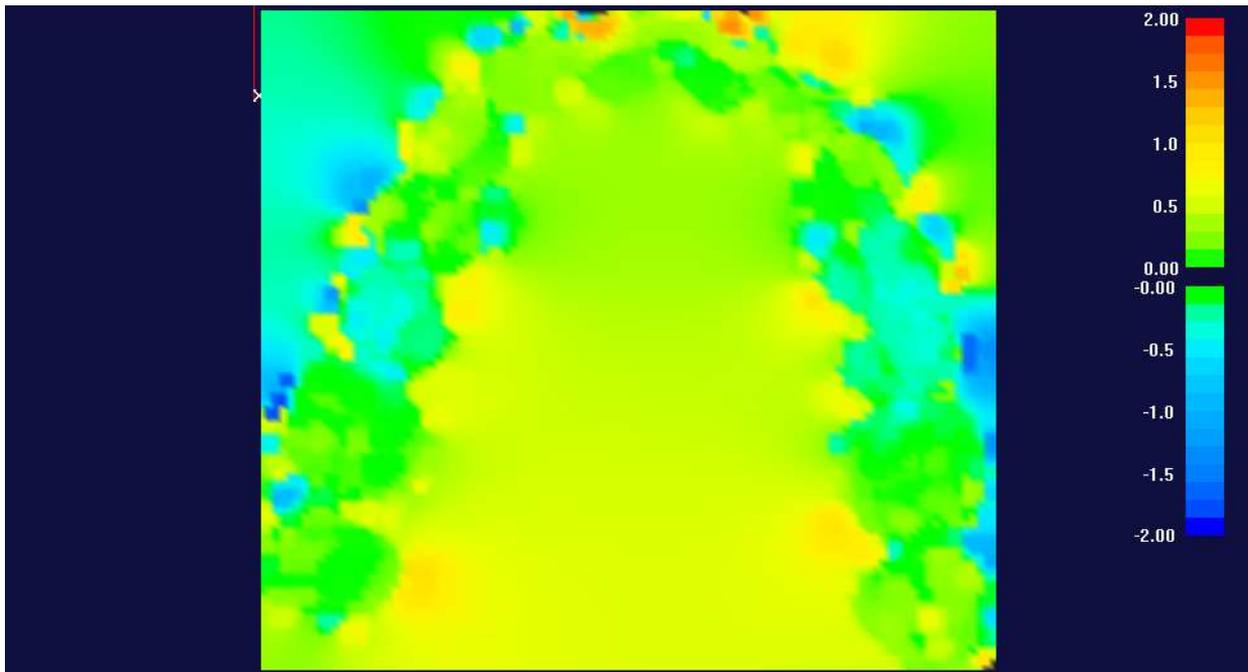


Abb. 15c: Temperaturbild Proband 3 aus der „Normgruppe mit Korrektur“

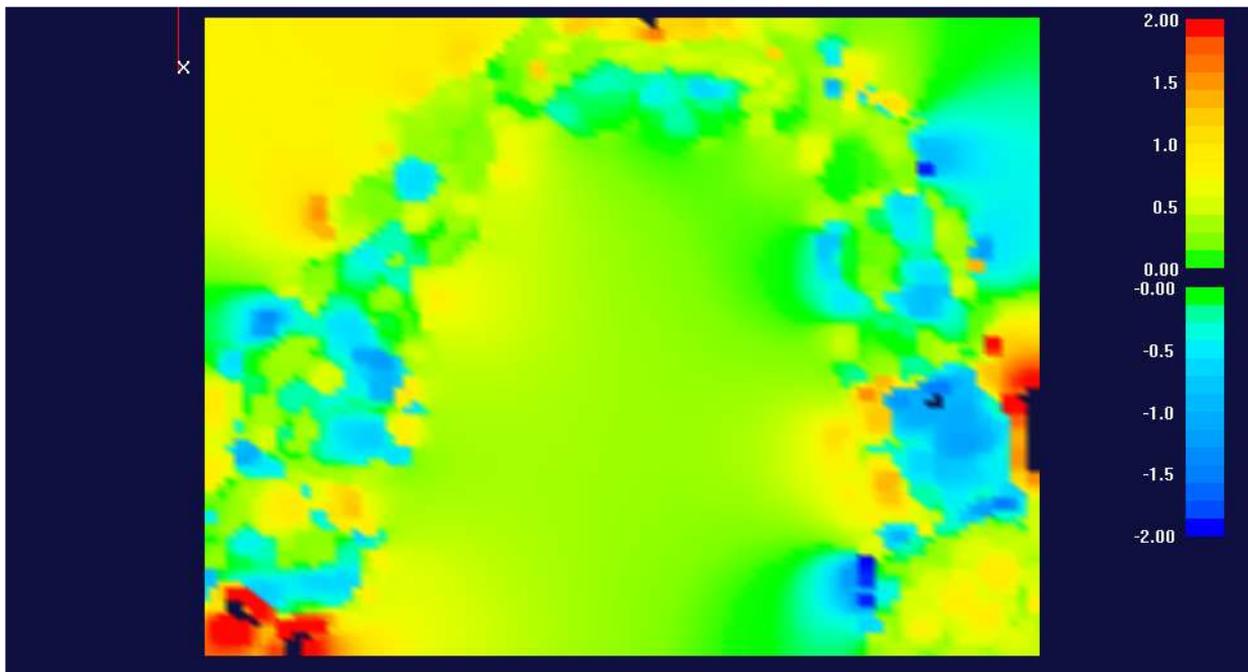


Abb. 15d: Temperaturbild Proband 4 aus der „Normgruppe mit Korrektur“

Abb. 15a-d: Zusammenstellung der Oberkiefer-Temperaturbilder der „Normgruppe mit Korrektur“. Die Farbänderung ist nicht ganz gleichmäßig über die Zahnreihe verteilt. Neue Füllungen, Inlays und Kronen führen zu Abweichungen im Vergleich zur „Normgruppe“.

3.2.1.4 Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Frontbetont“

Die drei Temperaturbilder in der Gruppe „Frontbetont“ wiesen besonders im Frontzahnbereich deutliche Veränderungen der Okklusalfäche auf. Die farbliche Veränderung ging vor allem in den positiven Bereich. Es waren sowohl die Inzisalkanten als auch die Palatinalflächen der Zähne betroffen. Gleichzeitig waren aber auch im Seitenzahnbereich Farbveränderungen sichtbar, die sowohl in den positiven als auch in den negativen Bereich gingen.

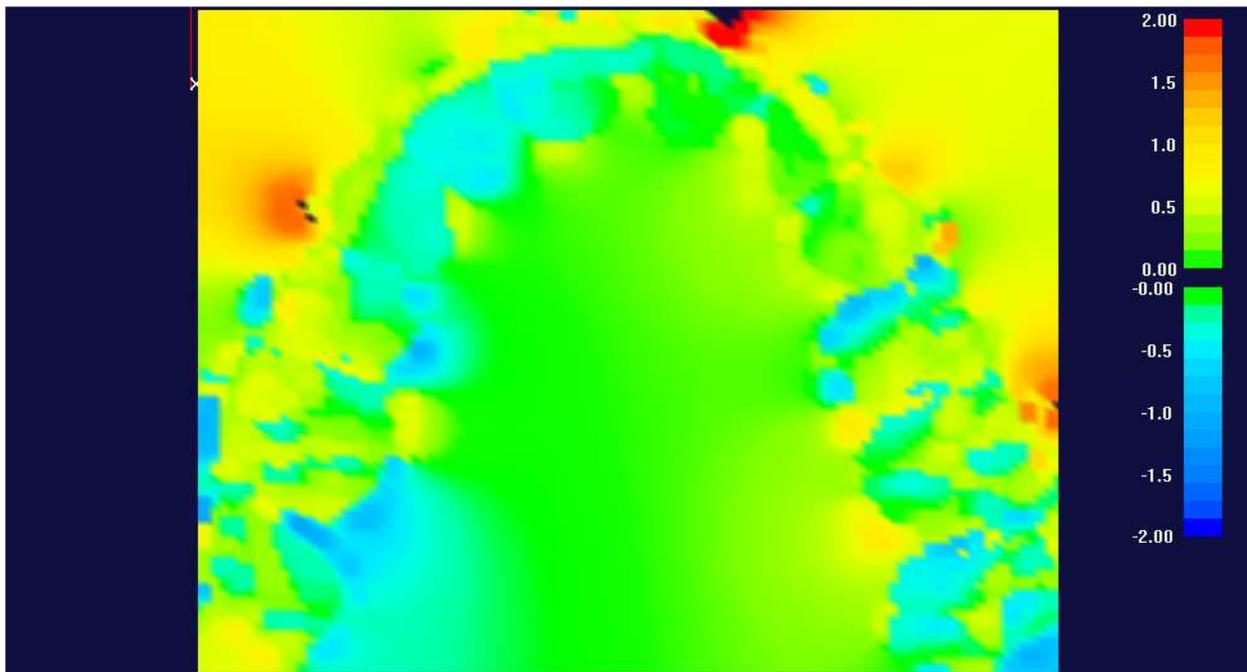


Abb. 16a: Temperaturbild Proband 1 aus der Gruppe „Frontbetont“

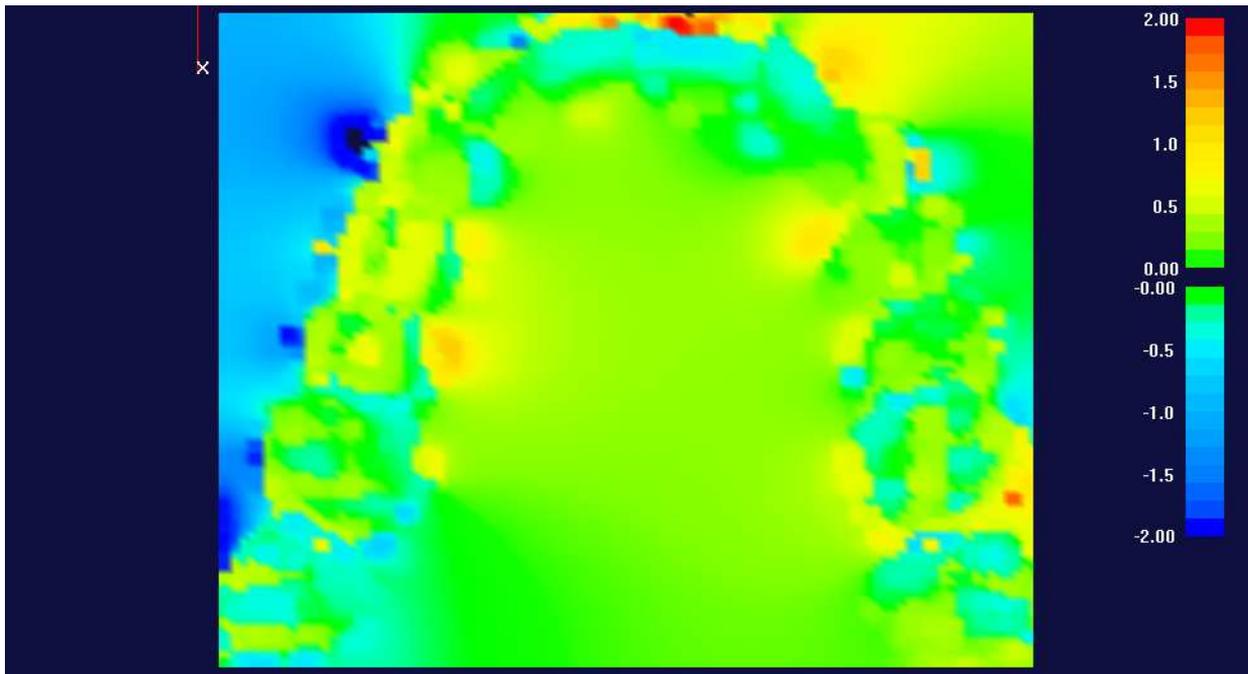


Abb. 16b: Temperaturbild Proband 2 aus der Gruppe „Frontbetont“

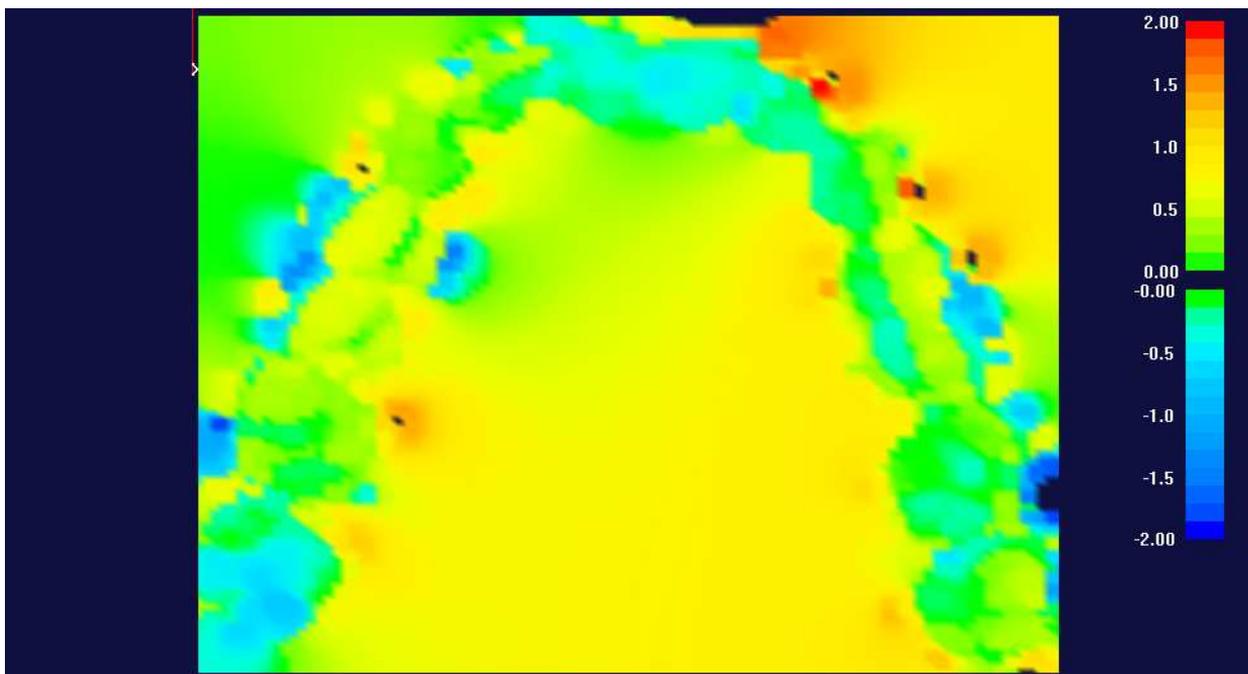


Abb. 16c: Temperaturbild Proband 3 aus der Gruppe „Frontbetont“

Abb. 16a-c: Zusammenstellung der Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Frontbetont“. Farbliche Veränderungen sind vorwiegend im positiven Bereich im Frontzahnbereich sichtbar. Betroffen von den Änderungen sind sowohl die Inzisalkanten, als auch die Palatinalflächen der Frontzähne.

3.2.1.5 Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Ausreißer“

Die beiden Temperaturbilder in der Gruppe „Ausreißer“ unterschieden sich im Wesentlichen durch eine diffuse Farbveränderung im Seitenzahnbereich. Der Frontzahnbereich zeigte kaum Farbveränderungen auf. Der Proband auf der Abb. 17a hatte während des Untersuchungszeitraums eine neue Brücke auf den Zähnen 25 bis 27 zum Ersatz des Zahnes 26 erhalten. Die Zahnreihe war auf dem Bild verkürzt, da diese Zähne beim Berechnen und „Matchen“ der Modelle schon nicht berücksichtigt wurden. Der Proband von Abb. 17b wies diese sehr ungleichmäßige Farbveränderung vor allem durch eine im Untersuchungszeitraum stattgefundene, weitgehend komplette, konservierende Zahnbehandlung des Seitenzahnbereiches auf. Diese zwei Temperaturbilder halfen nur bedingt durch ihre Besonderheiten bei der Auswertung.

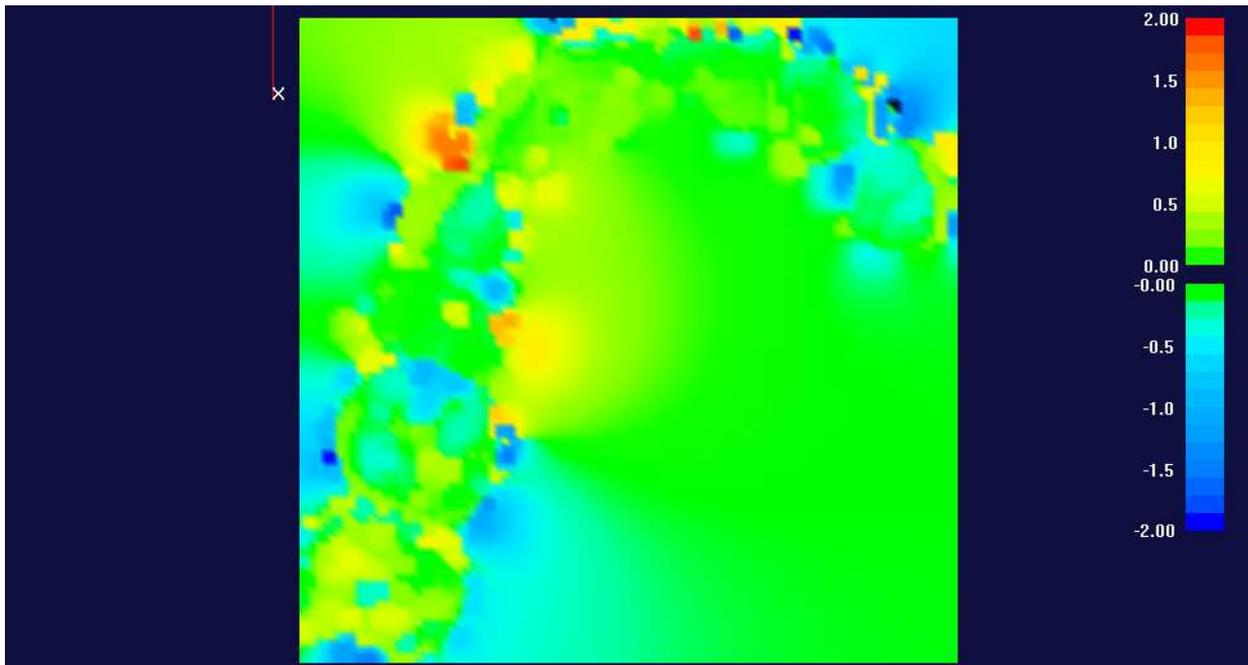


Abb. 17a: Temperaturbild Proband 1 aus der Gruppe „Ausreißer“

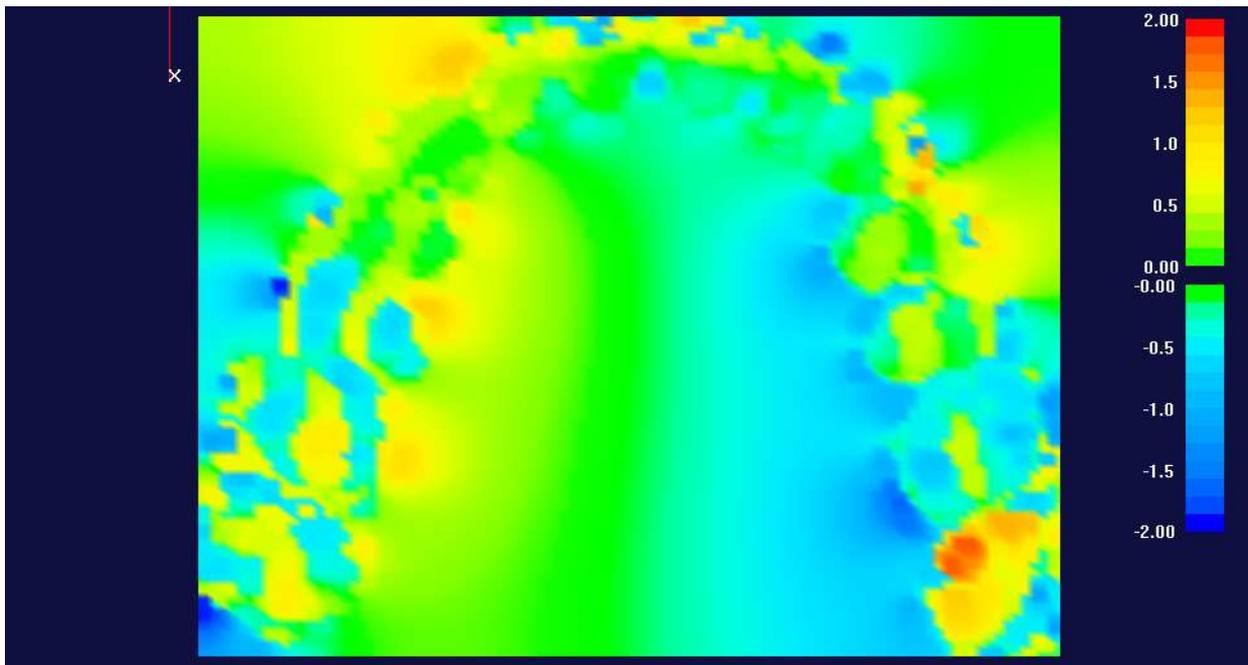


Abb. 17b: Temperaturbild Proband 2 aus der Gruppe „Ausreißer“

Abb. 17a+b: Zusammenstellung der Oberkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Ausreißer“. Bei dem Proband von Abb. 17a wurde eine neue Brücke von 25 bis 27 angefertigt. Diese wurde nicht bei der Berechnung berücksichtigt und fehlt deswegen auf diesem Temperaturbild. Der Proband von Abb. 17b erhielt eine weitgehend komplette konservierende Zahnbehandlung des Seitenzahnbereichs während des Untersuchungszeitraums, welche sich auf dem Temperaturbild widerspiegelt.

3.2.2 Unterkiefer-Temperaturbilder

Die Unterkiefer Temperaturbilder wurden hierbei in drei verschiedene Gruppen einsortiert:

- 1.) „Wenig Änderung“
- 2.) „Normgruppe“
- 3.) „Ausreißer“

3.2.2.1 Unterkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Wenig Änderung“

Die sechs Temperaturbilder in der Gruppe „wenig Änderung“ wiesen kaum Veränderungen der Okklusalfäche auf. Die farbliche Veränderung ging nur ganz minimal in den positiven als auch in den negativen Bereich. Ansonsten überwog farblich der grüne Normbereich. Die minimalen Farbveränderungen waren sowohl im Seitenzahn- als auch im Frontzahnbereich sichtbar, jedoch tendenziell etwas mehr im Seitenzahnbereich.

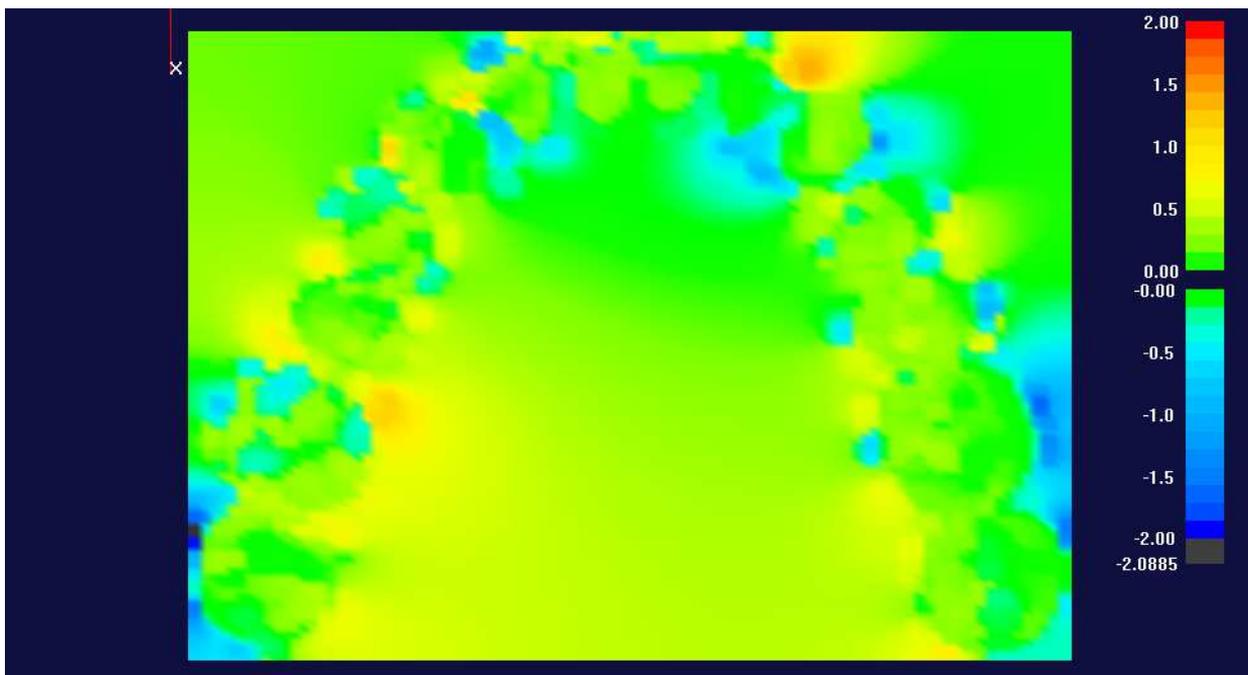


Abb. 18a: Temperaturbild Proband 1 aus der Gruppe „Wenig Änderung“

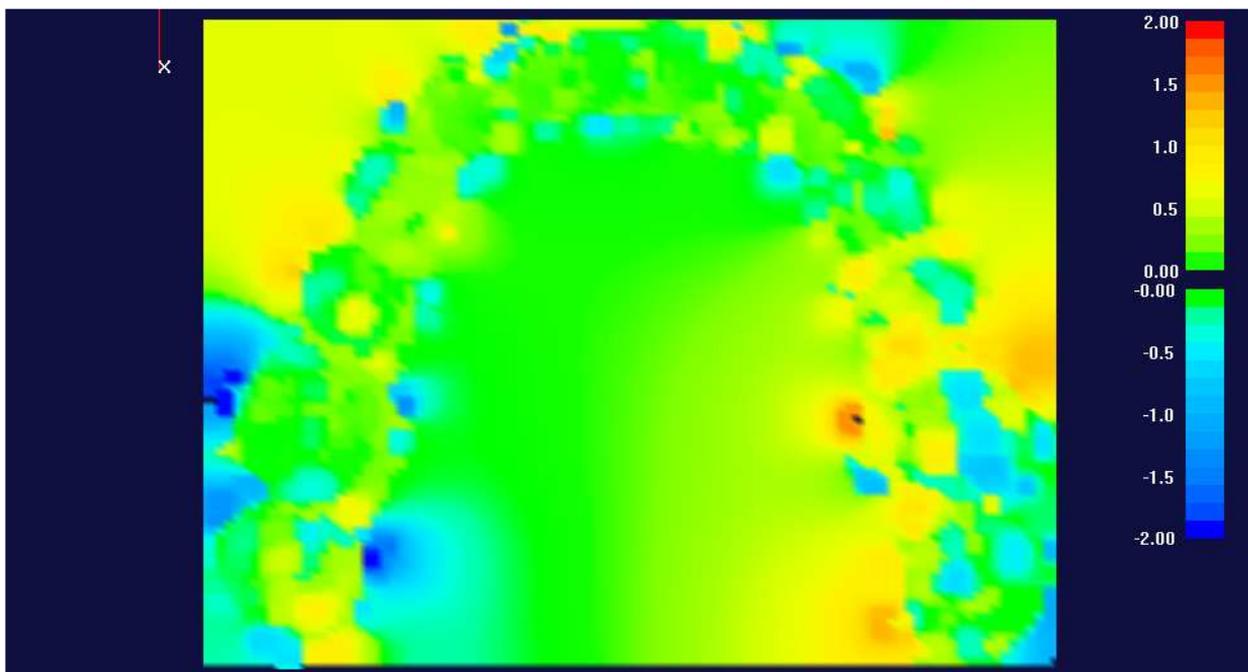


Abb. 18b: Temperaturbild Proband 2 aus der Gruppe „Wenig Änderung“

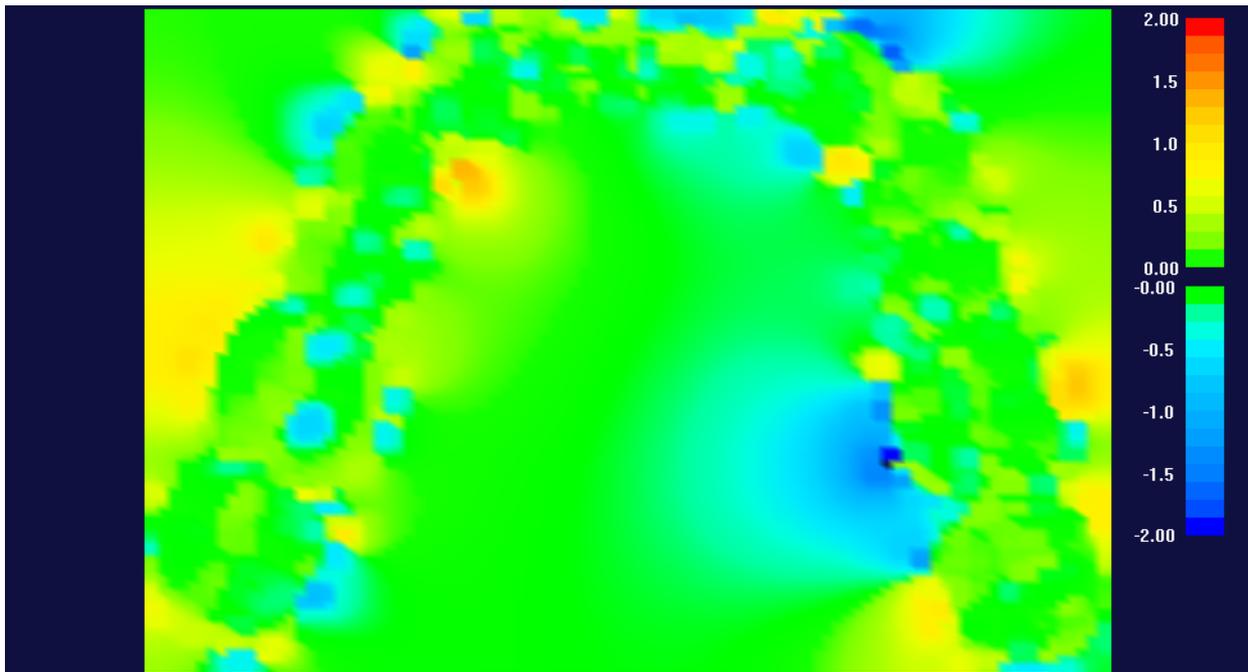


Abb. 18c: Temperaturbild Proband 3 aus der Gruppe „Wenig Änderung“

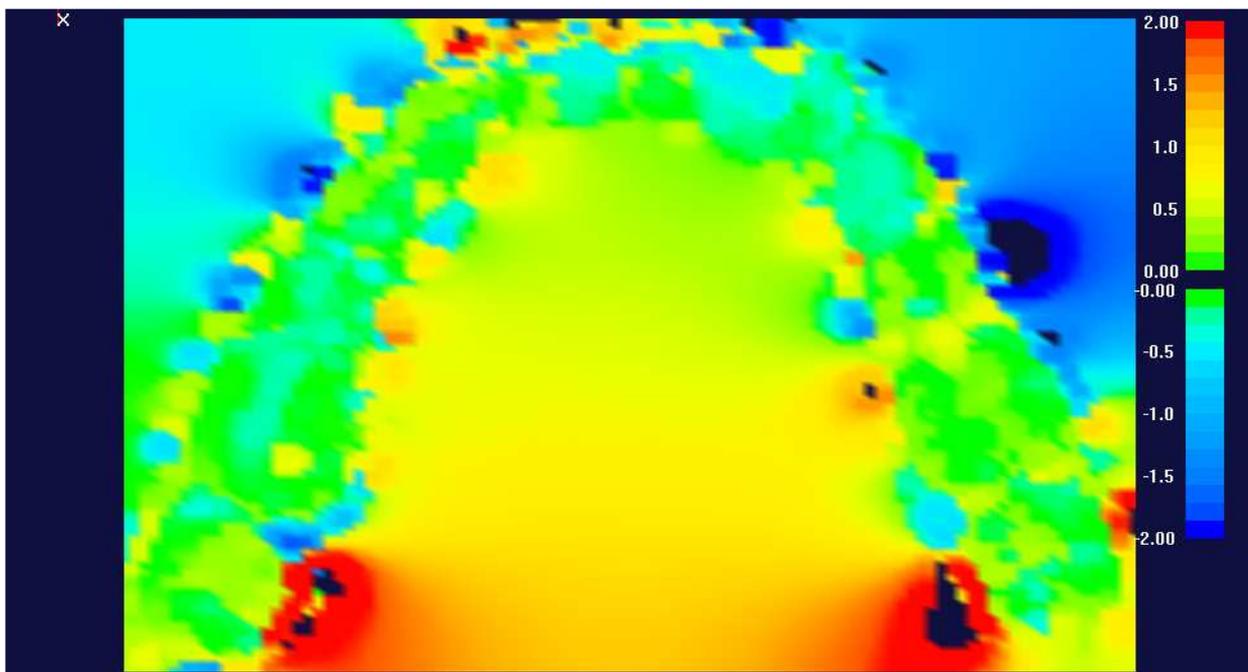


Abb. 18d: Temperaturbild Proband 4 aus der Gruppe „Wenig Änderung“

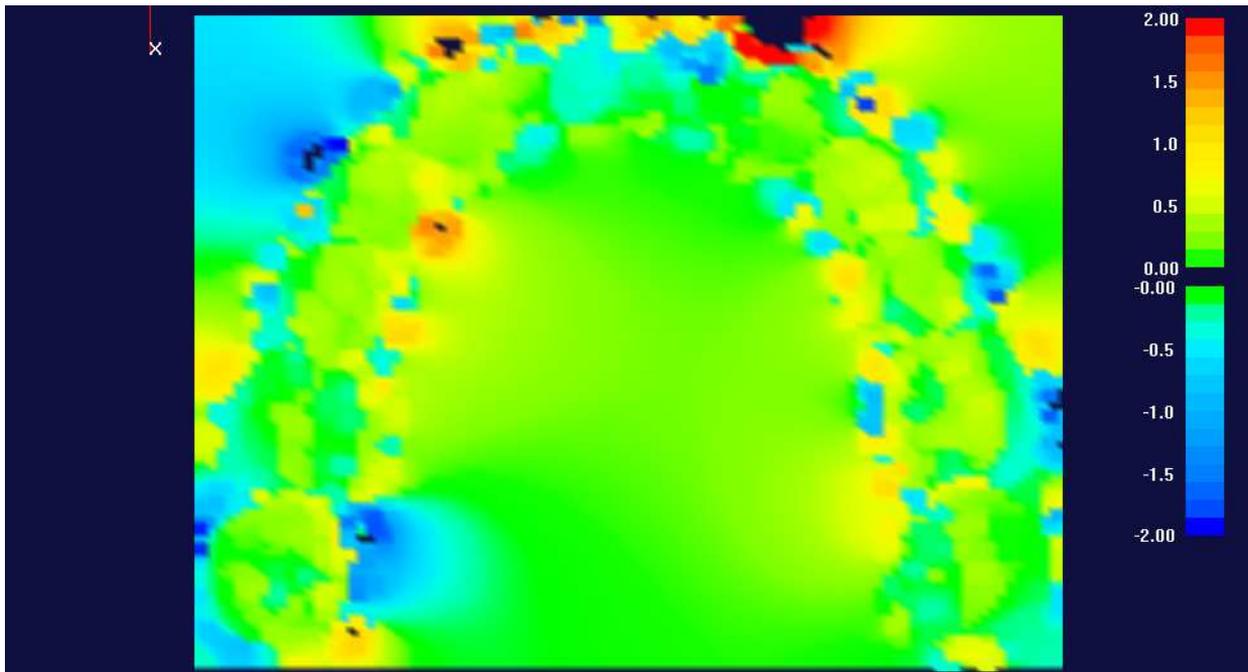


Abb. 18e: Temperaturbild Proband 5 aus der Gruppe „Wenig Änderung“

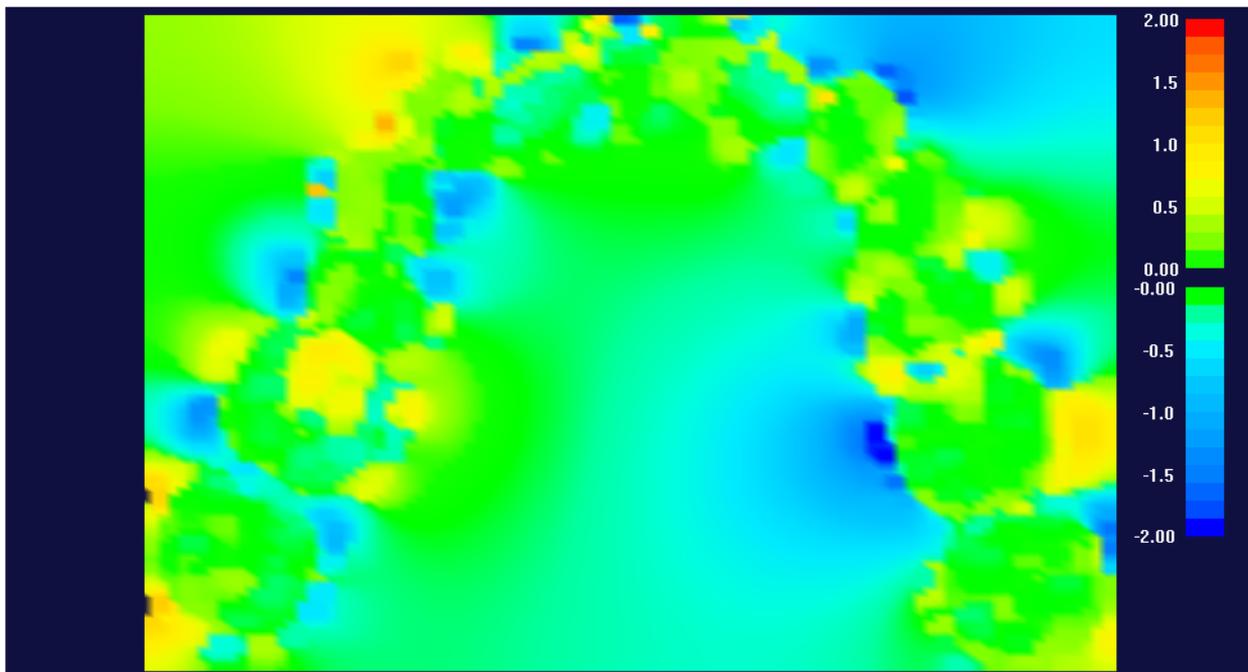


Abb. 18f: Temperaturbild Proband 6 aus der Gruppe „Wenig Änderung“

Abb. 18a-f: Zusammenstellung der Unterkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Wenig Änderung“. Es überwiegt der farblich grüne Normbereich. Leicht stärkere Farbveränderungen im Seitenzahnbereich sind bei Abb. 18b und 18f zu erkennen.

3.2.2.2 Unterkiefer-Temperaturbilder der „Normgruppe“

Die sechs Temperaturbilder in der „Normgruppe“ wiesen eine gleichmäßige Veränderung der Okklusalfäche auf. Die farbliche Veränderung ging sowohl in den positiven als auch in den negativen Bereich. Die Veränderungen in den negativen Bereich überwogen. Der Seitenzahnbereich wies eine leicht stärkere Farbveränderung auf als der Frontzahnbereich.

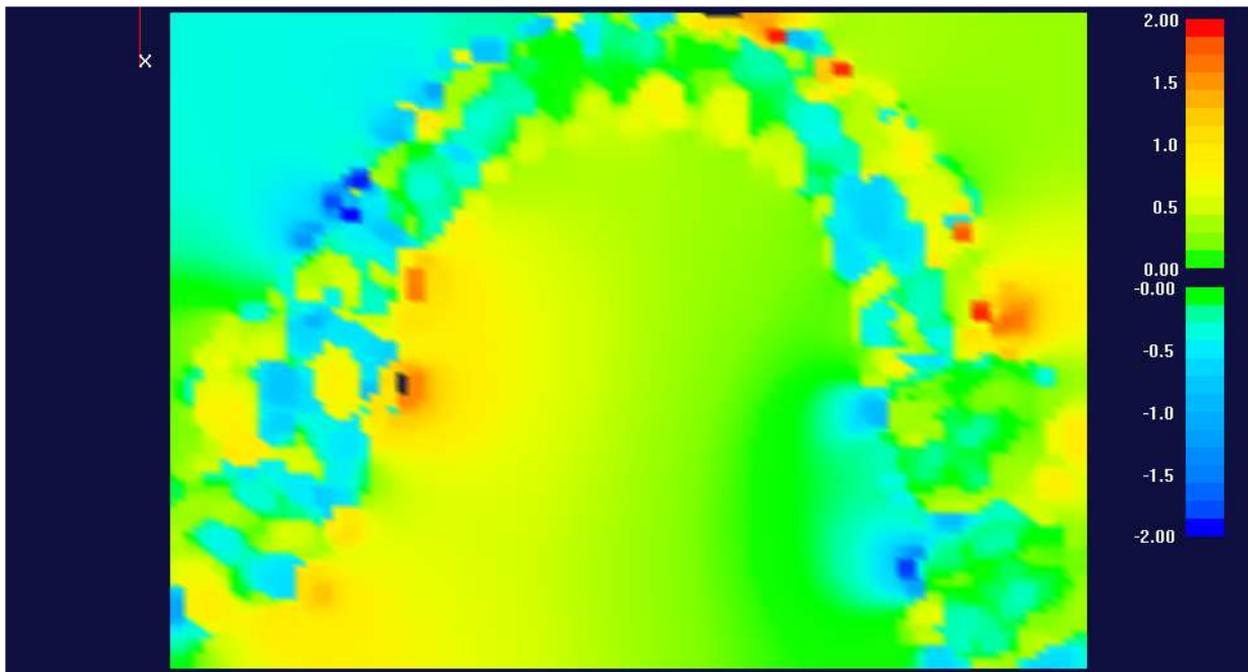


Abb. 19a: Temperaturbild Proband 1 aus der „Normgruppe“

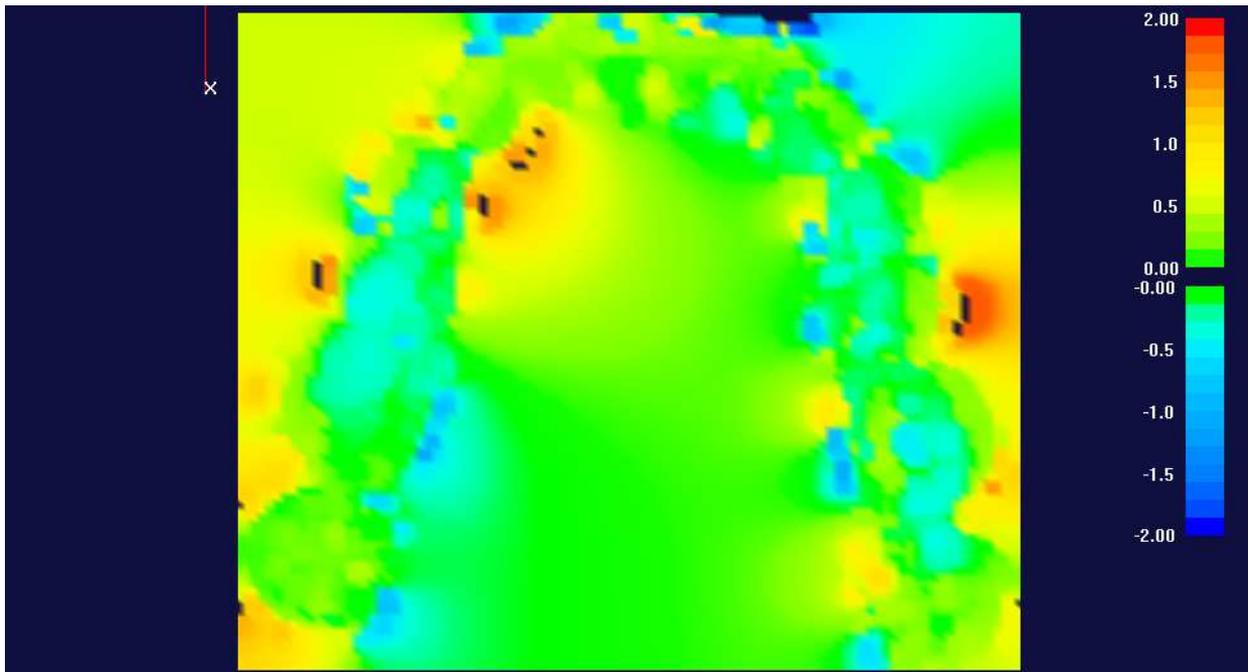


Abb. 19b: Temperaturbild Proband 2 aus der „Normgruppe“

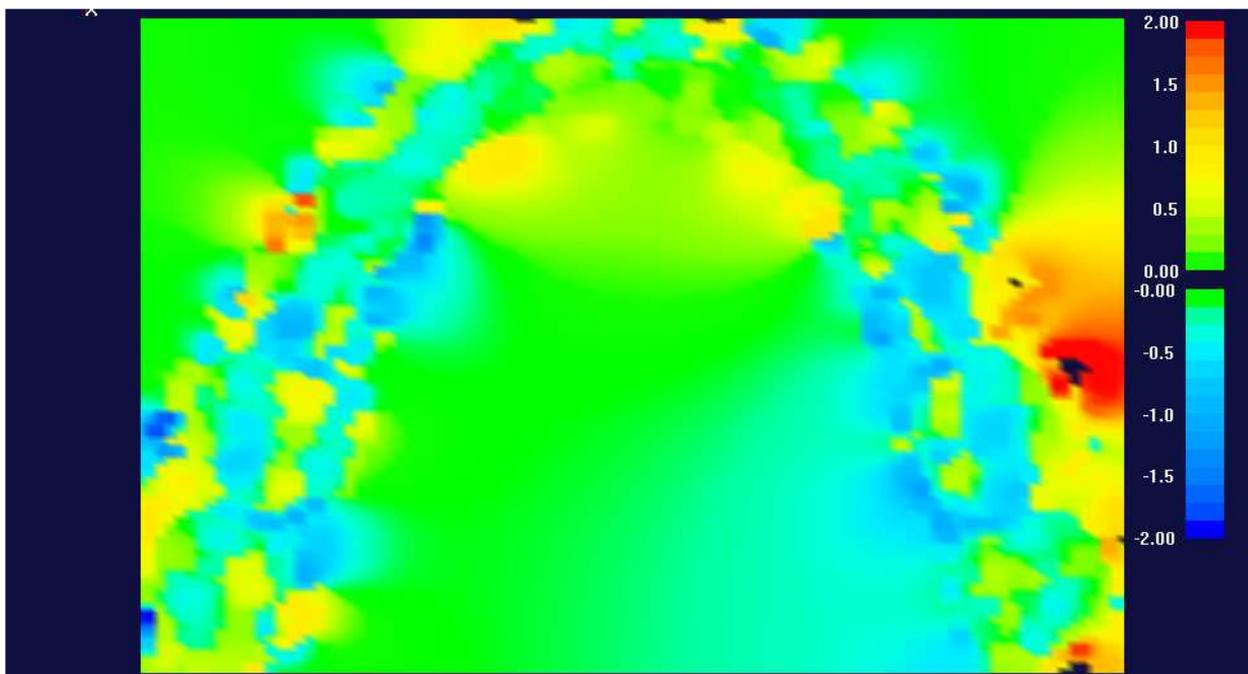


Abb. 19c: Temperaturbild Proband 3 aus der „Normgruppe“

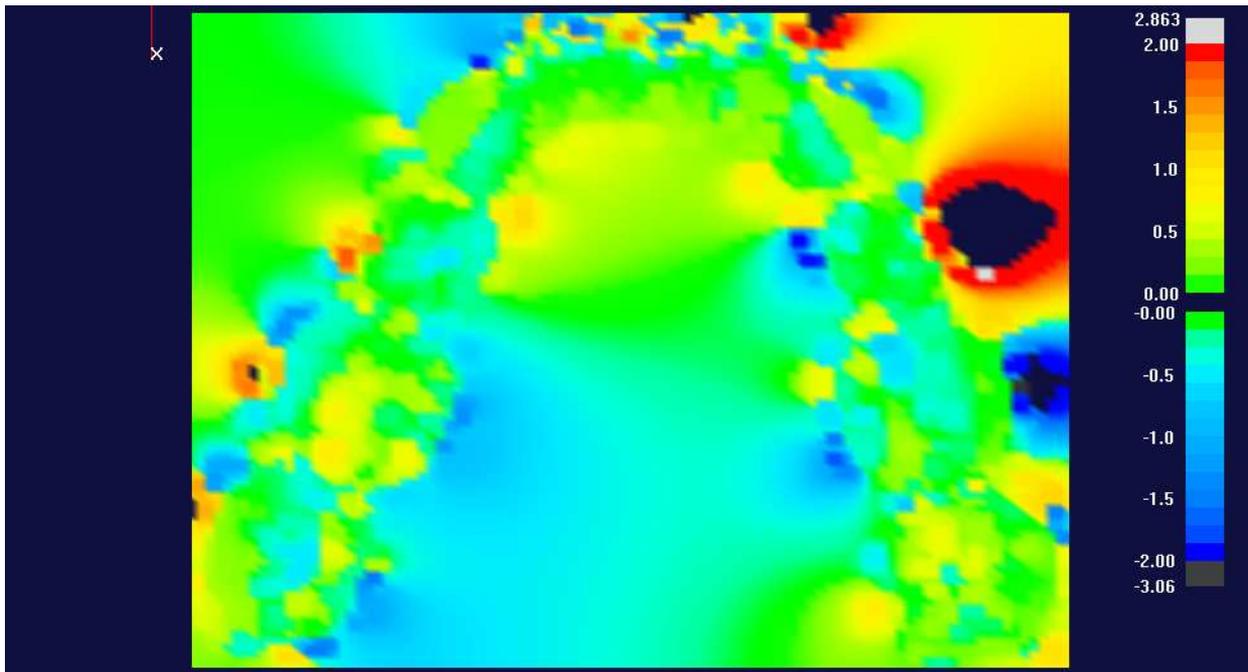


Abb. 19d: Temperaturbild Proband 4 aus der „Normgruppe“

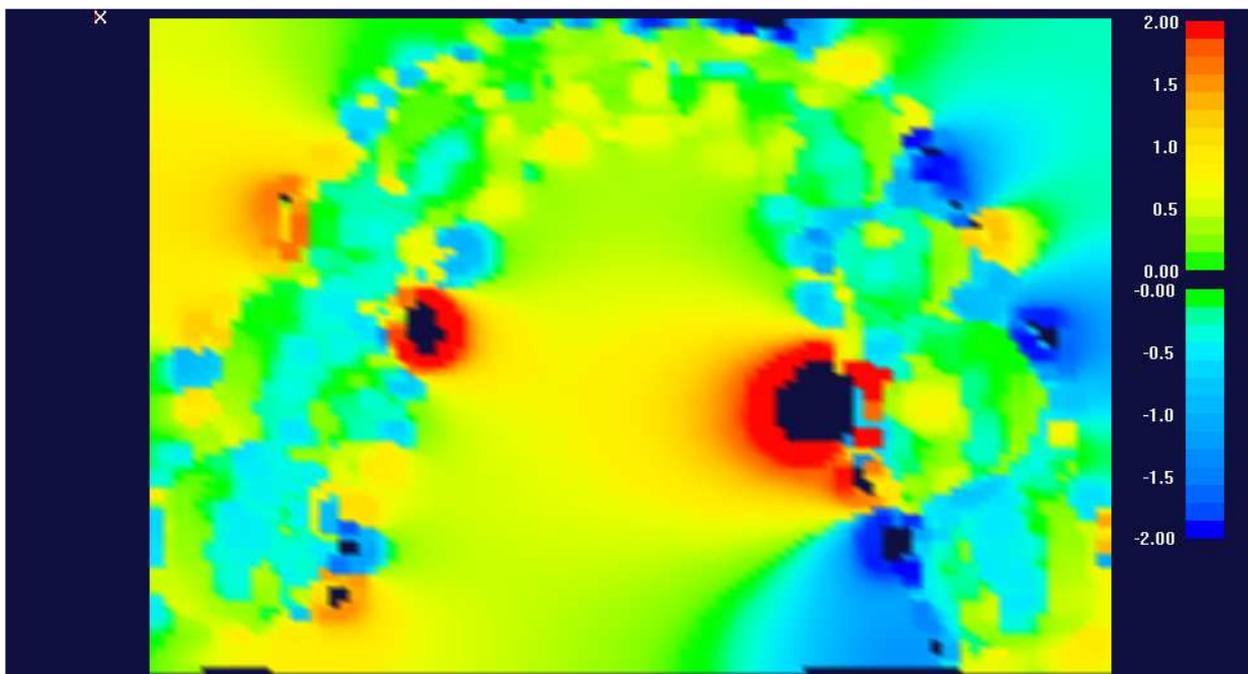


Abb. 19e: Temperaturbild Proband 5 aus der „Normgruppe“

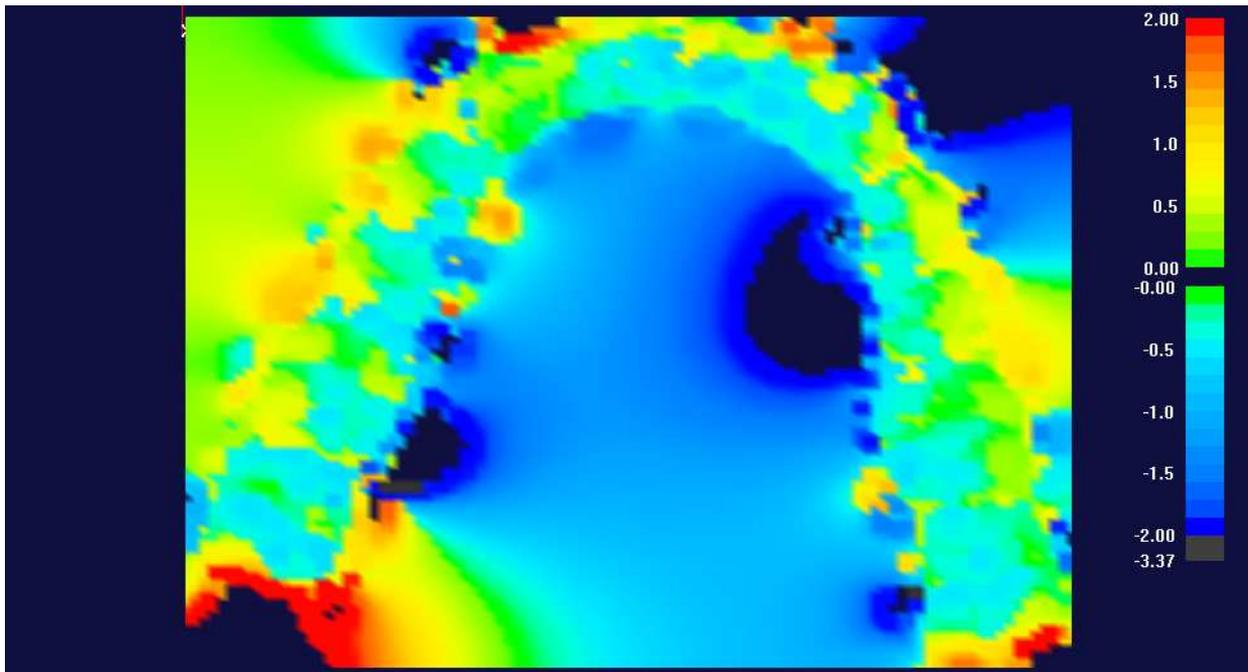


Abb. 19f: Temperaturbild Proband 6 aus der „Normgruppe“

Abb. 19a-f: Zusammenstellung der Unterkiefer-Temperaturbilder der „ Normgruppe“. Die Veränderungen sind recht gleichmäßig über den Zahnbogen verteilt. Die Veränderungen gehen sowohl in den negativen als auch den positiven Bereich.

3.2.2.3 Unterkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Ausreißer“

Die Temperaturbilder in der Gruppe „Ausreißer“ ließen sich nicht so gut in den beiden anderen Gruppen einordnen. Im Vergleich zu der „Ausreißer“-Gruppe des Oberkiefers standen diese jedoch tendenziell näher zur Normgruppe des Unterkiefers. Die Farbveränderungen waren hierbei jedoch ungleichmäßiger auf den Zahnbogen verteilt und gingen eher in den positiven Bereich.

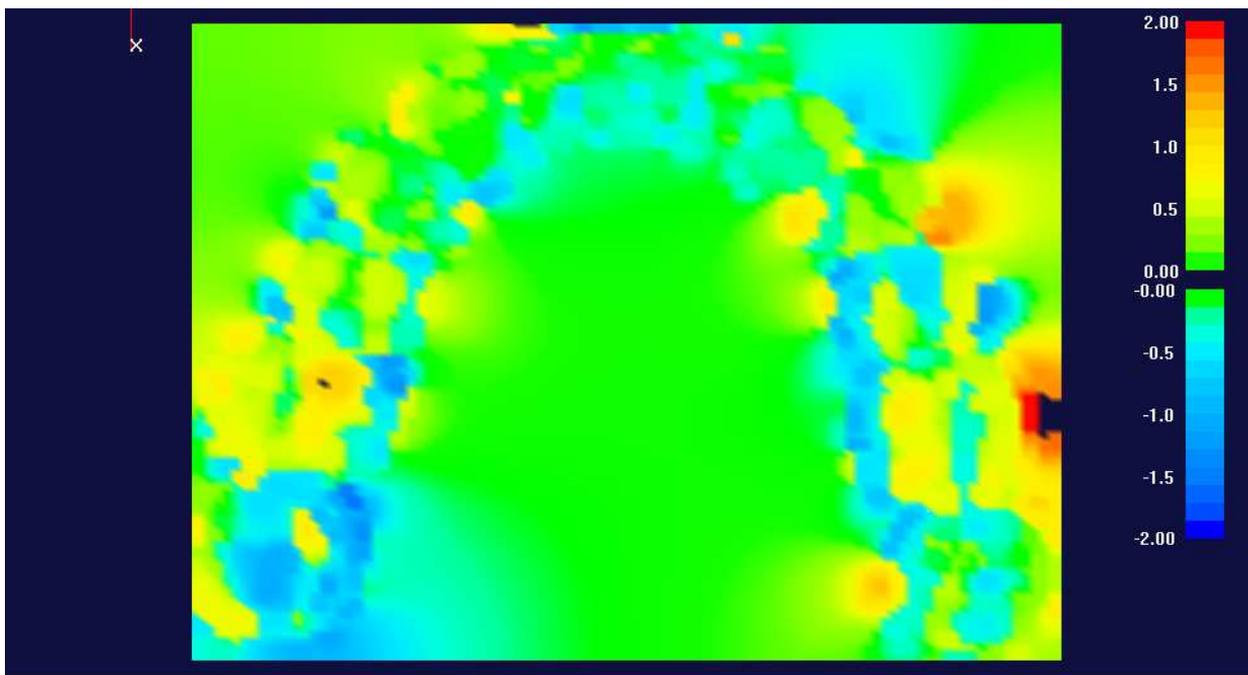


Abb. 20a: Temperaturbild Proband 1 aus der Gruppe „Ausreißer“

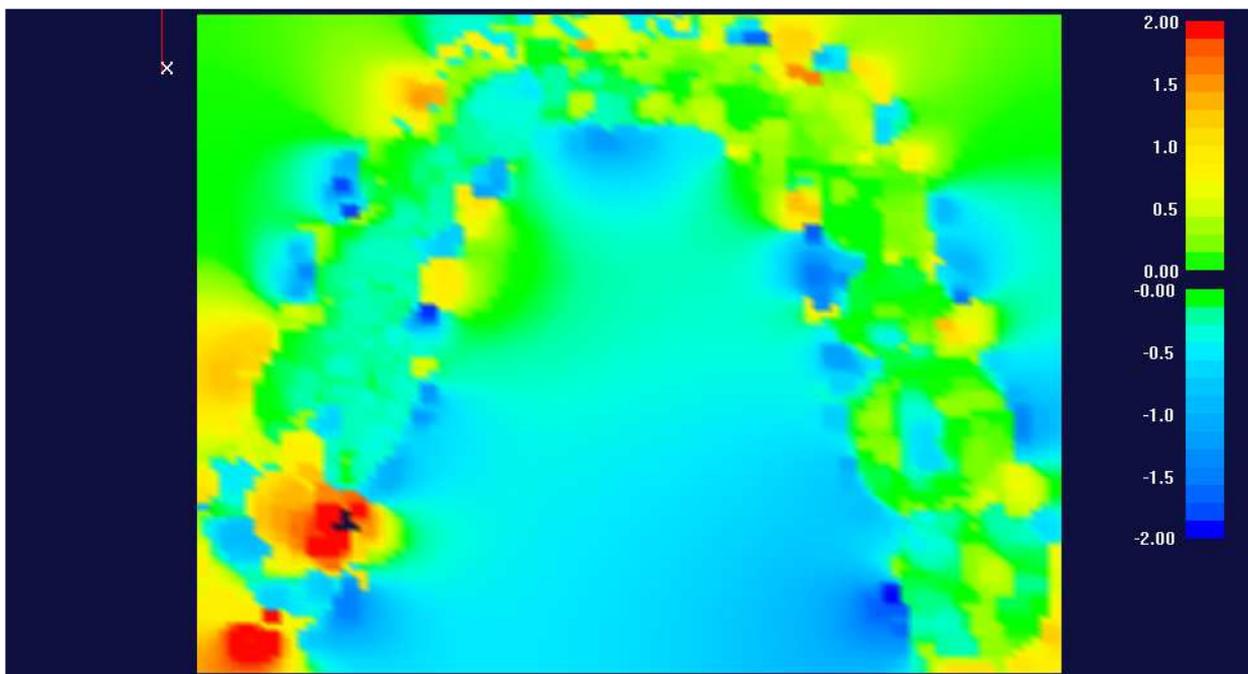


Abb. 20b: Temperaturbild Proband 2 aus der Gruppe „Ausreißer“

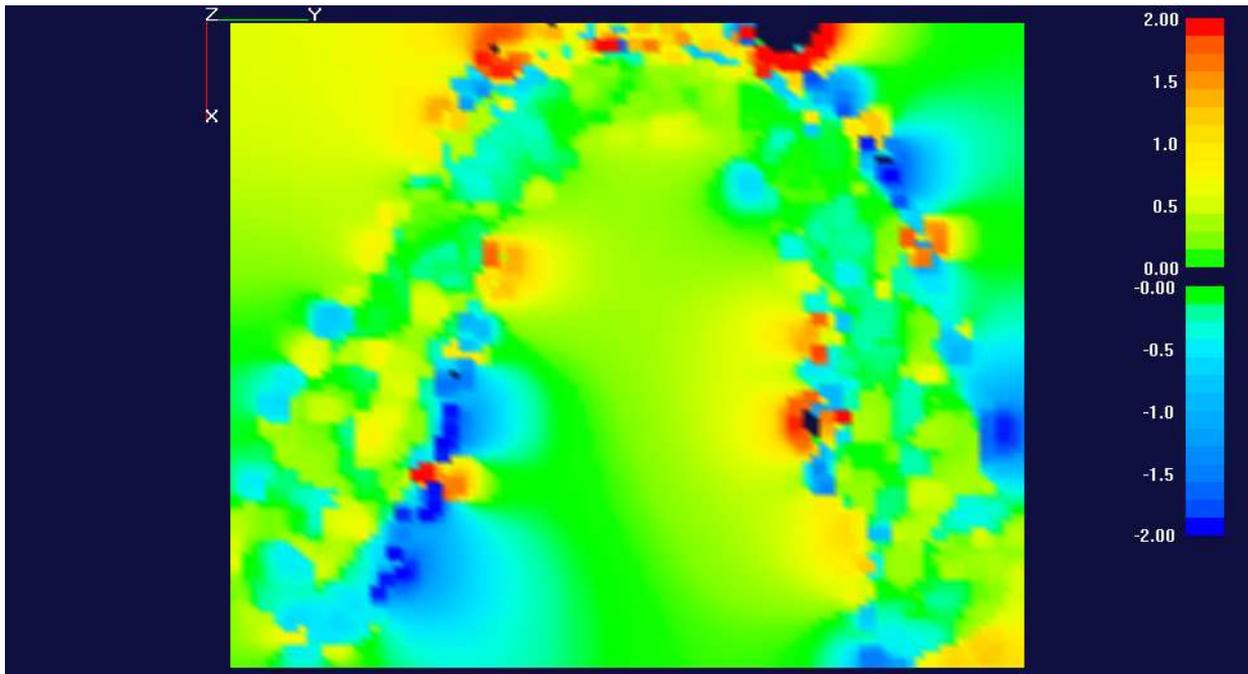


Abb. 20c: Temperaturbild Proband 3 aus der Gruppe „Ausreißer“

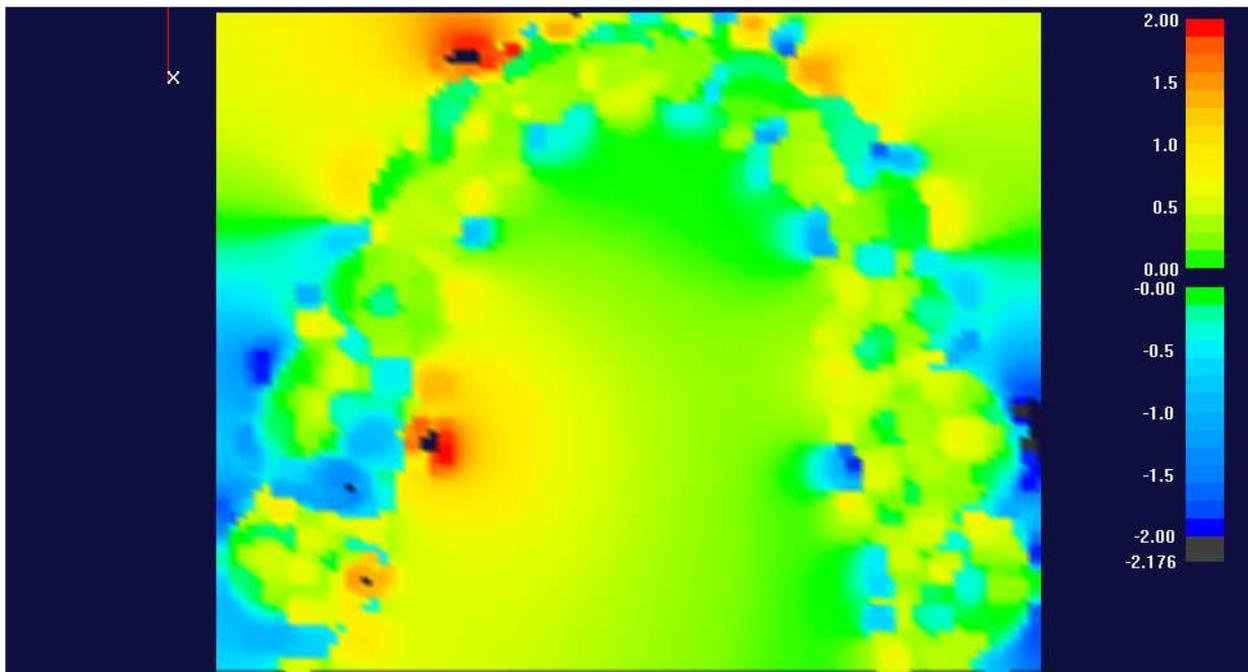
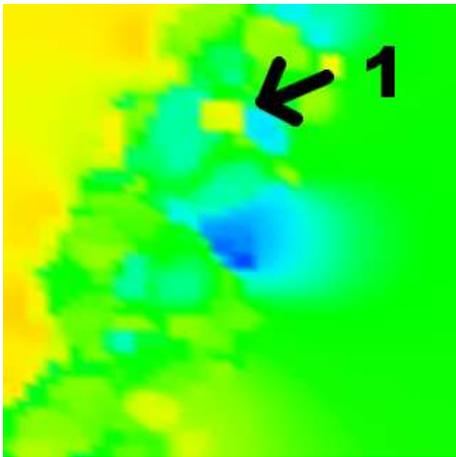


Abb. 20d: Temperaturbild Proband 4 aus der Gruppe „Ausreißer“

Abb. 20a-d: Zusammenstellung der Unterkiefer-Temperaturbilder der Gruppe „Ausreißer“. Die Farbveränderungen sind ungleichmäßig über den Zahnbogen verteilt und gehen tendenziell eher in den positiven Bereich.

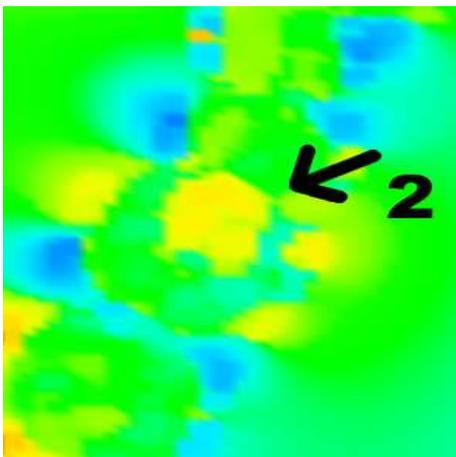
3.3 Aussagekraft der Temperaturbilder

Bei der Darstellung durch die Temperaturbilder im Vergleich zu der unter 2.5 vorgestellten Auswertungsmethode wurden Veränderungen der gesamten Kaufläche morphologisch dargestellt. Bei dem unter 2.5 genannten „Matchen“ wurde jeweils nur die dreidimensionale Bewegung der gesamten Kaufläche in Bezug auf seinen Schwerpunkt errechnet, somit wurden zum Beispiel Abrasionen, die sich nur auf einen Höcker beziehen, auf die gesamte Okklusionsfläche verrechnet. Im Gegensatz dazu wurde auf den Temperaturbildern jede Veränderung in der Oberflächenmorphologie direkt so angezeigt, wie sie tatsächlich auch im Mund vorliegt.



Beispielhaft demonstriert Abb. 21 diesen Effekt deutlich. An Zahn 15 war mesial ein kariöser Defekt (im Abbild Ziffer 1), der auf dem Ausgangsmodell 1998 noch nicht vorhanden war. Dieser stellte sich auf dem Temperaturbild farblich als ein gelbes Rechteck dar. Auf dem entsprechenden Gipsmodell von 2003 war an dieser Stelle der kariöse Defekt erkennbar.

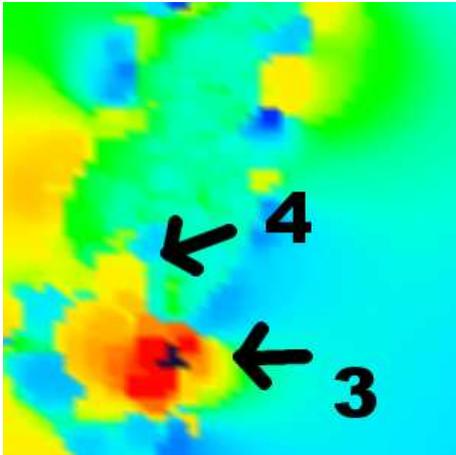
Abb. 21: Mesiookklusale Karies an Zahn 15. Der neu im Zeitraum der 5-jährigen Untersuchung entstandene und nicht behandelte Defekt stellte sich deutlich auf dem Temperaturbild dar.



Bei einem weiteren Probanden konnte man deutlich die okklusale Veränderungen nach Füllungstherapie an Zahn 36 erkennen. Auf der Abb. 22 ist die neue mesiookklusale Kompositfüllung erkennbar (Ziffer 2). Da diese okklusal zu stark eingeschliffen war, stellte sich diese ebenso gelblich dar.

Abb. 22: Neue im Zeitraum der Untersuchung gefertigte Kompositfüllung mesiookklusal an Zahn 36

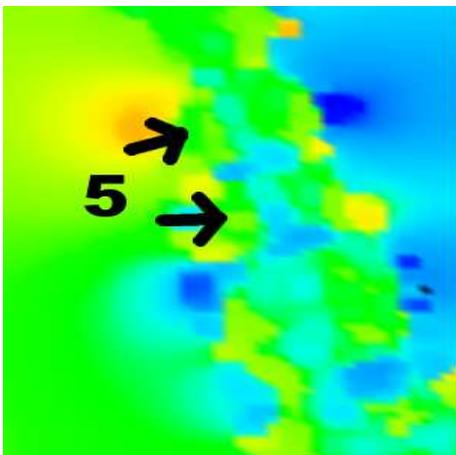
Noch deutlicher stellte sich bei einem Probanden eine linguale Höckerfraktur an Zahn 37 (in Abb. 23, Ziffer 3) dar. Vergleich man die entsprechenden Gipsmodelle, war eine ausgewaschene



Aufbauauffüllung mit einem vor allem nach mesiolingual frakturierten Höcker, entsprechend der Darstellung auf dem Temperaturbild, erkennbar. Zusätzlich war an Zahn 36 eine neue distookklusale Füllung (in Abb. 23, Ziffer 4) zu sehen. Auch diese war okklusal flacher gestaltet als die ursprüngliche Okklusalfäche.

Abb. 23: Mesiolinguale Höckerfraktur an Zahn 37 (Ziffer 3) und neue distookklusale Füllung an Zahn 36 (Ziffer 4)

Dass eine prothetische und konservierende Behandlung auch zu einer teilweisen Erhöhung des Okklusalreliefs führen kann, zeigt Abb. 24. Bei dem Probanden wurden unter anderem während



des Untersuchungszeitraums neue Goldinlays eingesetzt (Ziffer 5). Auf dem direkten Modellvergleich waren auf dem Erstmodell von 1998 noch tiefe ursprüngliche Fissuren an den Zähnen 24 und 25 erkennbar, während bei dem Modell von 2003 die Fissuren durch die neuen Goldinlays erhöht waren. Die Temperaturbilder des Probanden spiegeln diese Veränderung exakt wieder.

Abb. 24: Zähne 24 und 25 mit neuen Goldinlays. In diesem Fall ist durch die prothetische Maßnahme das okklusale Relief im Bereich der Fissuren angehoben worden

Eine neue Krone an Zahn 21 hatte bei einem Probanden dazu geführt, dass die Palatinalfläche der Krone dicker war als die ursprüngliche Fläche des natürlichen Zahns. (siehe Abb. 25) Eine vergleichende Kontrolle der Gipsmodelle ließ dies auch erkennen.



Abb. 25: Neue Krone an Zahn 21. Palatinal ist die neue Krone vom Zahntechniker stärker ausgeformt als der ursprüngliche, natürliche Zahn

3.4 Untersuchung der numerischen Veränderung der Okklusionskontakte

Die Veränderungen bei der Anzahl der Okklusionskontakte wurden ermittelt und die Ergebnisse im Folgenden aufgelistet und einander gegenübergestellt. Unterschieden wurden hierbei zwischen Front- und Seitenzahnbereich, Ober- und Unterkiefer und dabei wurden jeweils Mittelwert, Maximum, Minimum, Standardabweichung und Varianz angegeben.

3.4.1 Anzahl der Okklusionskontakte im Oberkieferfrontzahnbereich

Die Anzahl der Okklusionskontakte im Oberkieferfrontzahnbereich 1998 ($n = 20$) betrug im Mittelwert 3,8. Bei einer Standardabweichung von 2,191 lagen das Minimum bei 0 und das Maximum bei 7 Kontakten (siehe Tab. 14).

Tab. 14: Deskriptive Statistik der Okklusionskontakte im Oberkieferfrontzahnbereich 1998

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
3,80	7	0	2,191	4,800

Die Anzahl der Okklusionskontakte im Oberkieferfrontzahnbereich 2003 ($n = 20$) betrug im Mittelwert 5,15. Bei einer Standardabweichung von 2,084 lagen das Minimum bei 0 und das Maximum bei 8 Kontakten (siehe Tab. 15).

Tab. 15: Deskriptive Statistik der Okklusionskontakte im Oberkieferfrontzahnbereich 2003

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
5,15	8	0	2,084	4,345

3.4.2 Anzahl der Okklusionskontakte im Oberkieferseitenzahnbereich

Die Anzahl der Okklusionskontakte im Oberkieferseitenzahnbereich 1998 ($n = 20$) betrug im Mittelwert 9,9. Bei einer Standardabweichung von 3,986 lagen das Minimum bei 2 und das Maximum bei 14 Kontakten (siehe Tab. 16).

Tab. 16: Deskriptive Statistik der Okklusionskontakte im Oberkieferseitenzahnbereich 1998

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
9,9	14	2	3,986	15,884

Die Anzahl der Okklusionskontakte im Oberkieferseitenzahnbereich 2003 ($n = 20$) betrug im Mittelwert 15,05. Bei einer Standardabweichung von 3,187 lagen das Minimum bei 10 und das Maximum bei 21 Kontakten (siehe Tab. 17).

Tab. 17: Deskriptive Statistik der Okklusionskontakte im Oberkieferseitenzahnbereich 2003

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
15,05	21	10	3,187	10,155

3.4.3 Anzahl der Okklusionskontakte im Unterkieferfrontzahnbereich

Die Anzahl der Okklusionskontakte im Unterkieferfrontzahnbereich 1998 ($n = 20$) betrug im Mittelwert 3,75. Bei einer Standardabweichung von 1,65 lagen das Minimum bei 0 und das Maximum bei 6 Kontakten (siehe Tab. 18).

Tab. 18: Deskriptive Statistik der Okklusionskontakte im Unterkieferfrontzahnbereich 1998

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
3,75	6	0	1,65	2,724

Die Anzahl der Okklusionskontakte im Unterkieferfrontzahnbereich 2003 ($n = 20$) betrug im Mittelwert 4,6. Bei einer Standardabweichung von 1,875 lagen das Minimum bei 0 und das Maximum bei 7 Kontakten (siehe Tab. 19).

Tab. 19: Deskriptive Statistik der Okklusionskontakte im Unterkieferfrontzahnbereich 2003

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
4,6	7	0	1,875	3,516

3.4.4 Anzahl der Okklusionskontakte im Unterkieferseitenzahnbereich

Die Anzahl der Okklusionskontakte im Unterkieferseitenzahnbereich 1998 ($n = 20$) betrug im Mittelwert 8,8. Bei einer Standardabweichung von 2,949 lagen das Minimum bei 5 und das Maximum bei 15 Kontakten (siehe Tab. 20).

Tab. 20: Deskriptive Statistik der Okklusionskontakte im Unterkieferseitenzahnbereich 1998

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
8,8	15	5	2,949	8,695

Die Anzahl der Okklusionskontakte im Unterkieferseitenzahnbereich 2003 ($n = 20$) betrug im Mittelwert 13,8. Bei einer Standardabweichung von 2,707 lagen das Minimum bei 8 und das Maximum bei 19 Kontakten (siehe Tab. 21).

Tab. 21: Deskriptive Statistik der Okklusionskontakte im Unterkieferseitenzahnbereich 2003

Mittelwert [n]	Maximum [n]	Minimum [n]	Standardabweichung [n]	Varianz
13,8	19	8	2,707	7,326

3.4.5 Vergleichende Darstellung der Anzahl der gemessenen Okklusionskontakte

Der graphischen Darstellung der im Befundbogen ermittelten Anzahl an Kontaktpunkten dienten die Boxplot-Diagramme in Abb. 26, die jeweils für die Oberkieferfront, den Oberkieferseitenzahnbereich, die Unterkieferfront und den Unterkieferseitenzahnbereich im direkten Vergleich zwischen der Befunderhebung von 1998 und 2003 aufgeschlüsselt wurden.

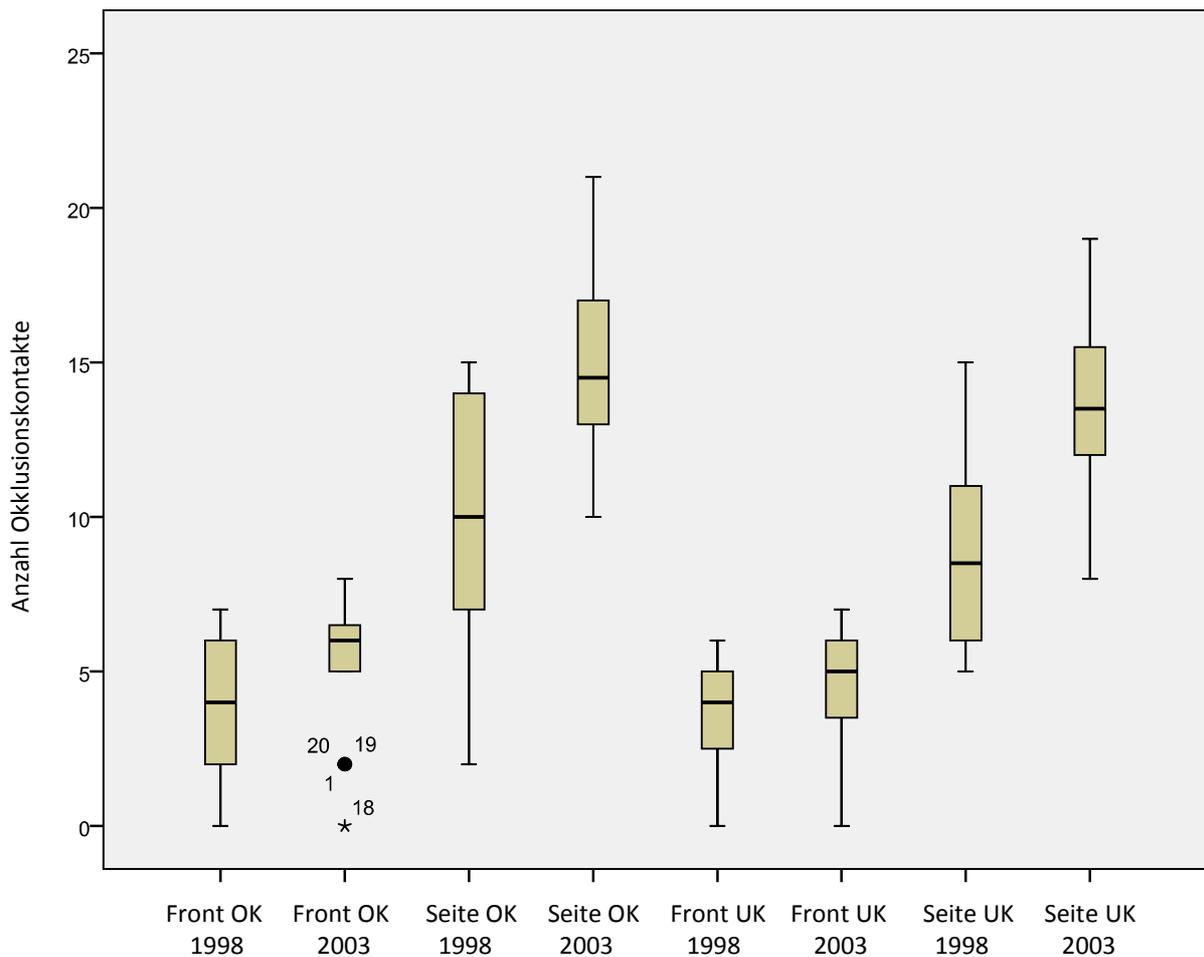


Abb. 26: Vergleichende Darstellung der Anzahl der im Befundbogen gemessenen Okklusionskontakte

3.4.6 Statistische Auswertung der Anzahl der Okklusionspunkte

Es zeigte sich, dass die Anzahl der Okklusionspunkte sich in allen Fällen im Untersuchungszeitraum der 5 Jahre signifikant erhöht hatte. Die Auswertung mit dem Statistikprogramm SPSS zeigt Signifikanzwerte $p < 0,05$ (siehe Tab. 22).

Tab. 22: Signifikanzwerte für die Veränderung der Anzahl der Okklusionspunkte

Region	Signifikanz
Front OK	$p = 0,00397889$
Front UK	$p = 0,03698347$
Seitenzahnbereich OK	$p = 0,00009956$
Seitenzahnbereich UK	$p = 0,00000452$
Gesamt OK	$p = 0,00007434$
Gesamt UK	$p = 0,00001526$

Besonders im Seitenzahnbereich vergrößerte sich die Anzahl an Okklusionspunkten im Oberkiefer um 56,57 % und im Unterkiefer um 56,82 %. Die gemessene Anzahl im Frontzahnbereich vergrößerte sich im Oberkiefer um 35,5 % und im Unterkiefer um 22,67 %.

3.5 Überprüfung der Zahlenwerte für die Auswertung der Translation nach Z

Um eine übersichtliche und unverfälschte Darstellung der Translation nach Z zu erreichen, wurden alle Translationswerte mit der Raumkoordinate Z mit dem Statistikprogramm SPSS® überprüft und mit einem Boxplotdiagramm (siehe Abb. 27) dargestellt. Die Verteilung der Translationswerte wurde aufgeteilt zum einen für den Oberkiefer und zum anderen für den Unterkiefer. Hierbei wurden für den Oberkiefer sowohl die ermittelten Werte des „Matchens“ der Kiefer am Gaumen und der Zahnreihe als auch die ermittelten Werte des „Matchens“ nur der Zahnreihe gezeigt. Für den Unterkiefer gab es natürlich nur einen Vergleich, da hierbei nur die gesamte Zahnreihe „gematched“ wurde.

Mit Kreisen und Sternchen in dem Boxplot-Diagramm wurden Werte gekennzeichnet, die im Verhältnis zu den übrigen Werten extrem groß oder extrem klein waren. Ausreißer mit Kreisen gekennzeichnet waren dabei Werte, die etwas größer oder kleiner als die übrigen Werte der Translation in der Achsenrichtung Z waren. Sternchen stellten Extremwerte dar. Dies waren

3.5.1 Graphische Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z

Bei dieser Darstellung wurden für jeden einzelnen Zahn im direkten Vergleich der Probanden die Translationswerte in der Raumkoordinate Z dargestellt. Die Abbildungen 28a bis 55a zeigen die ursprünglich ermittelten Translationswerte in der Achsenrichtung Z. Es gab sowohl positive als auch negative Veränderungen der Zahnoberfläche in dieser Raumachse. Hierbei wurden nur einzelne Zähne von Probanden vorher aussortiert, die konservierend oder prothetisch in dem Untersuchungszeitraum von 5 Jahren behandelt wurden und beim visuellen Modellvergleich Veränderungen aufwiesen.

Die Grafiken der Abbildungen 28b bis 55b zeigen jedoch eine „modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z. Zusätzlich wurden hierbei die unter 3.5 ermittelten Extremwerte und Ausreißer berücksichtigt und aus der Auswertung herausgenommen. Zudem wurde die Summe des jeweils negativsten Translationswertes in der Achsenrichtung Z jedes Zahnes mit den anderen Translationswerten nach Z jedes Zahnes addiert, so dass keine negativen Werte mehr in der Darstellung vorkamen.

3.5.1.1 Oberkiefertranslationswerte in der Achsenrichtung Z

Die Translationswerte in der Koordinatenrichtung Z wurden für jeden einzelnen Zahn im Oberkiefer ermittelt. Bei der Darstellung sollte die X-Achse mit jeder einzelnen Ziffer einem Probanden entsprechen. Da je nach Zahn die Anzahl an Probanden unterschiedlich war, variierte in den Diagrammen auch die Anzahl der Balken. Die Y-Achse spiegelte die räumliche Veränderung wider. Dabei lag das Augenmerk auf der „modifizierten“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z. Die Grafiken 28a bis 41a dienten lediglich der Veranschaulichung. Die Zähne waren sortiert durch den Medianwert der deskriptiven Statistik der „modifizierten“ Darstellung. Die Reihenfolge ergab sich durch eine ansteigende Auflistung des Medianwertes.

Translation Zahn 12

Tab. 23: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 12

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
12	0,5595	0,8385	0,7399

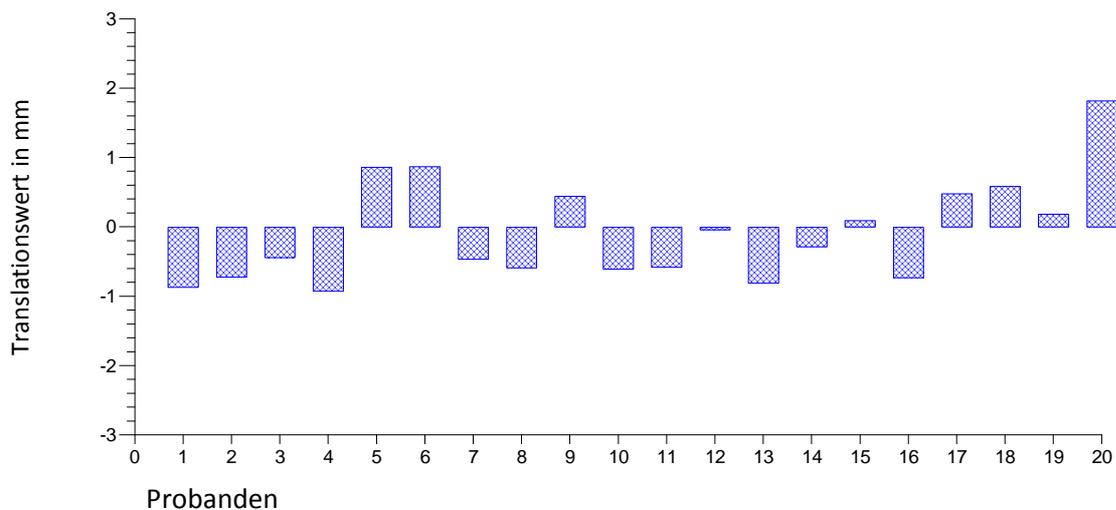


Abb. 28a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 12

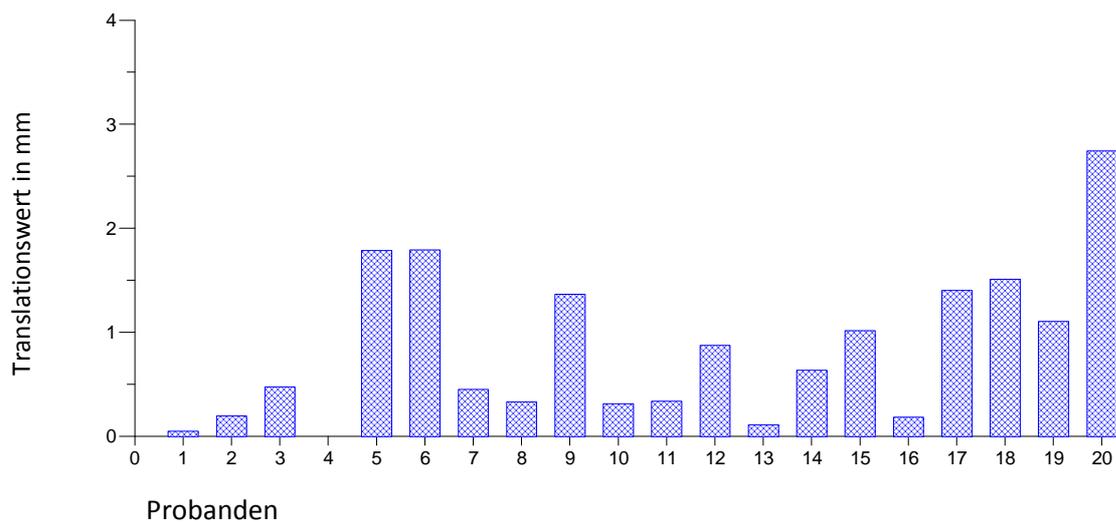


Abb. 28b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 12

Translation Zahn 13

Tab. 24: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 13

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
13	0,6766	0,7174	0,5356

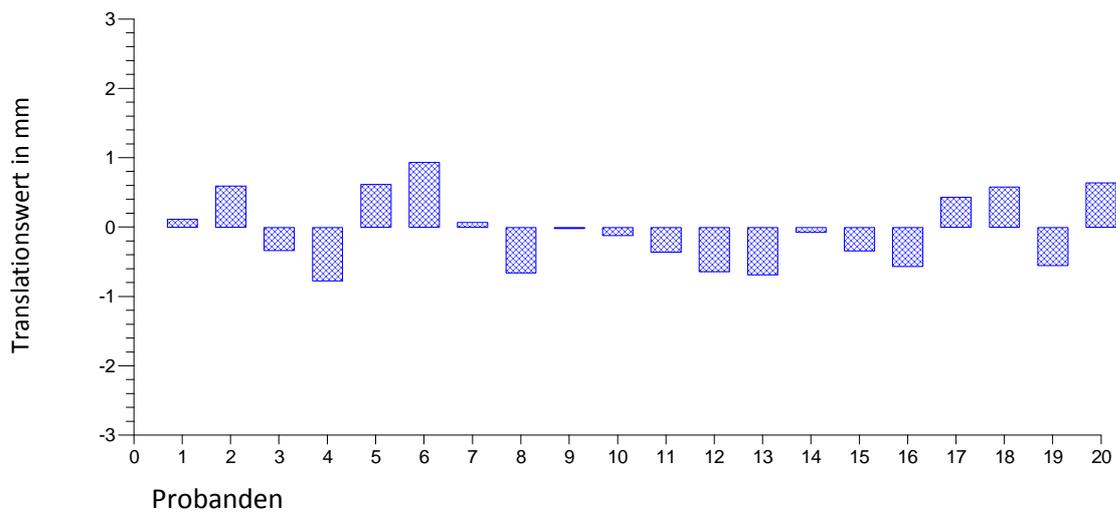


Abb. 29a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 13

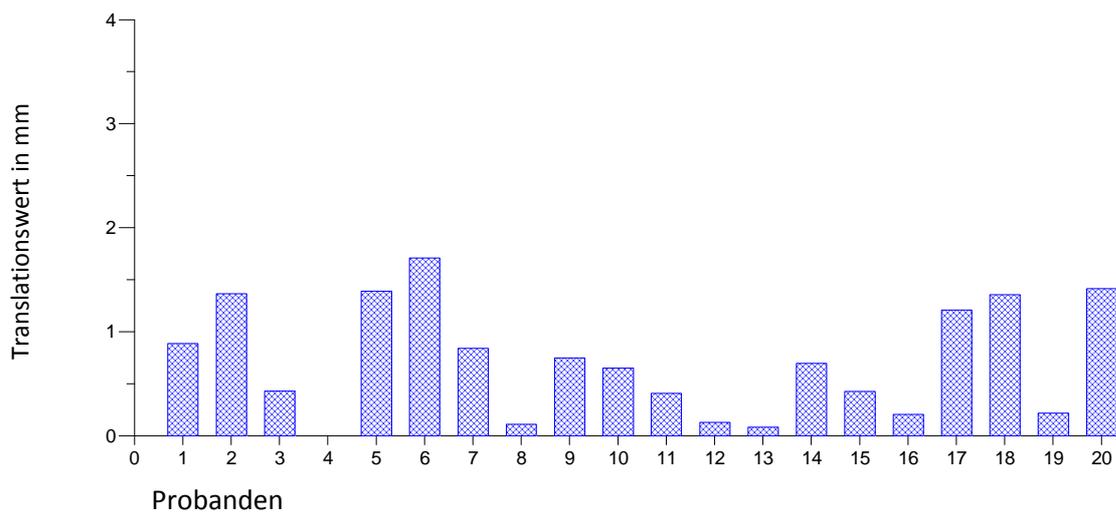


Abb. 29b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 13

Translation Zahn 14

Tab. 25: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 14

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
14	0,7407	0,7335	0,3869

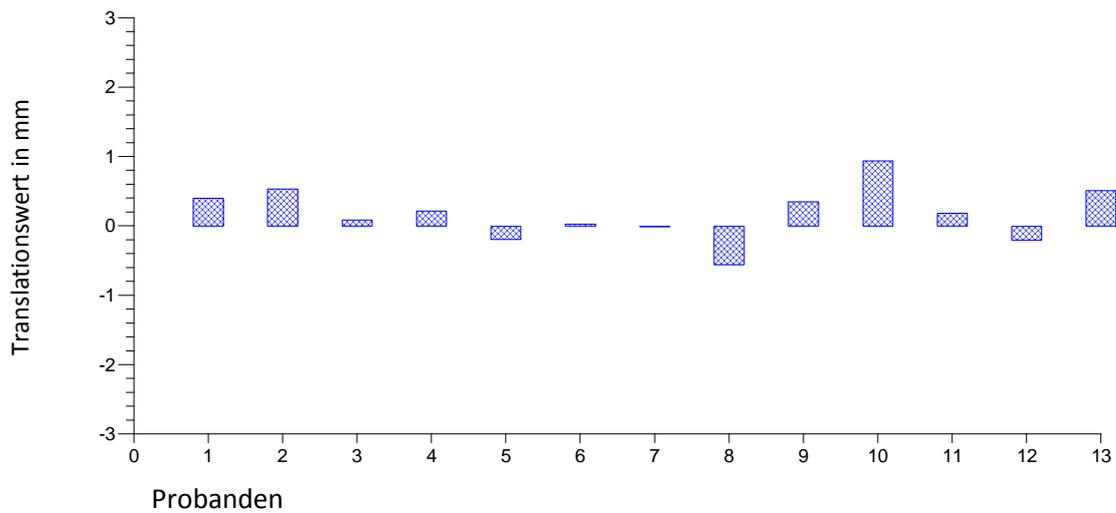


Abb. 30a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 14

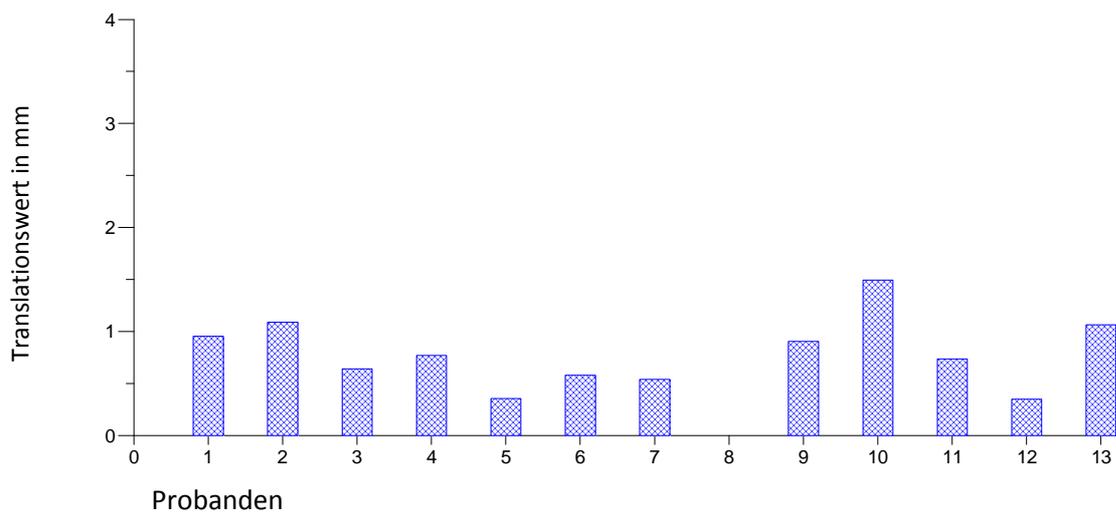


Abb. 30b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 14

Translation Zahn 21

Tab. 26: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 21

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
21	1,2056	1,0838	0,7744

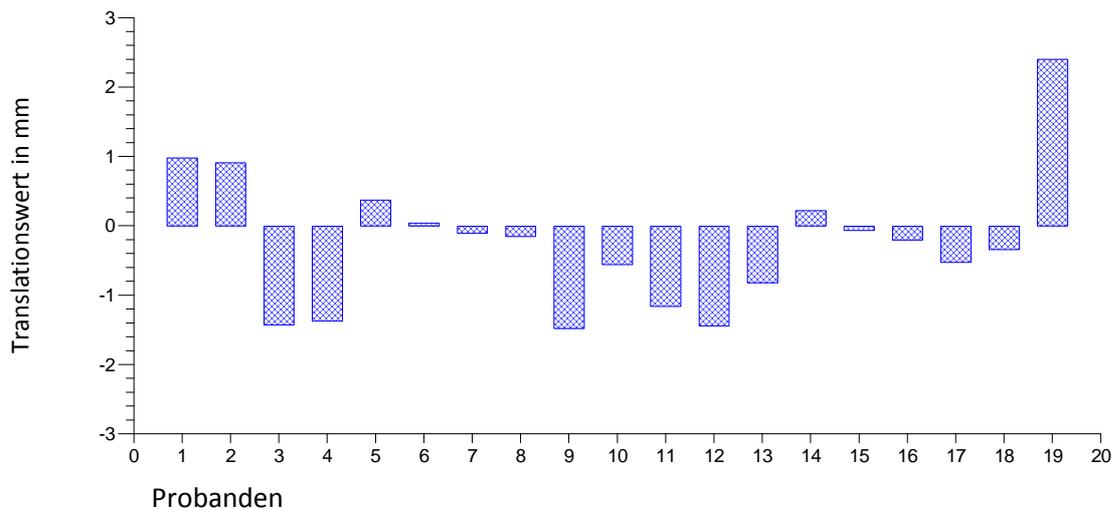


Abb. 31a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 21

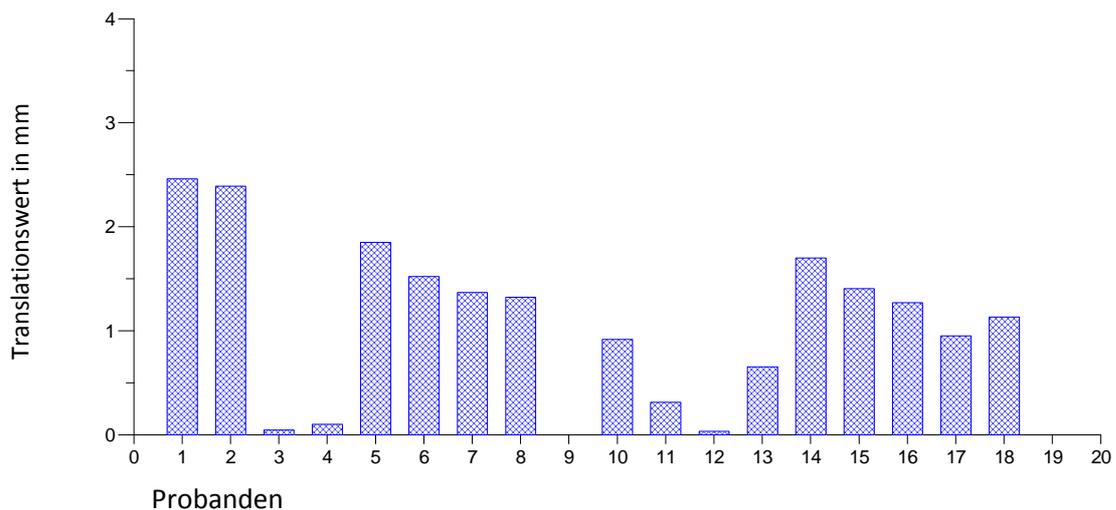


Abb. 31b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 21

Translation Zahn 24

Tab. 27: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 24

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
24	1,3774	1,0692	0,7778

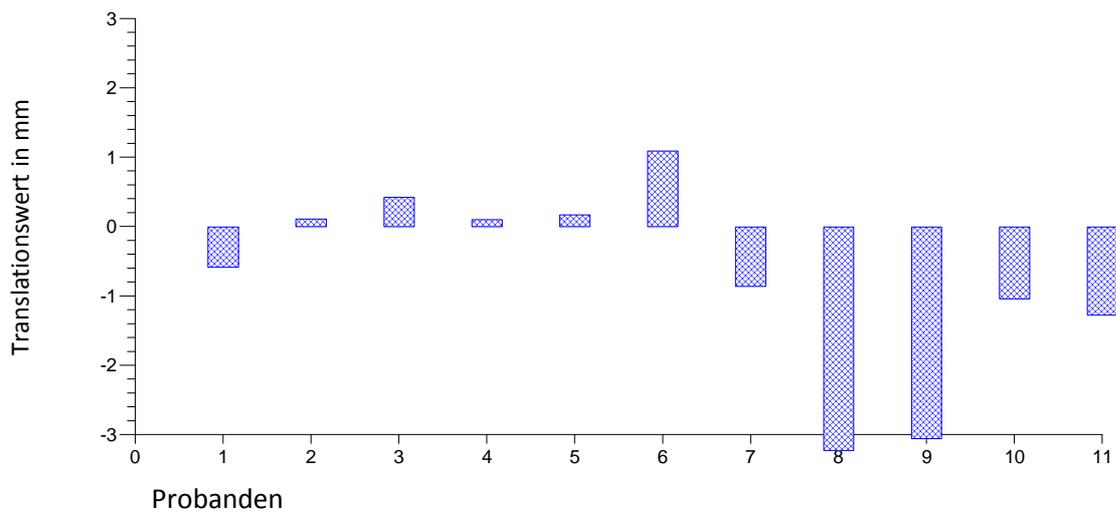


Abb. 32a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 24

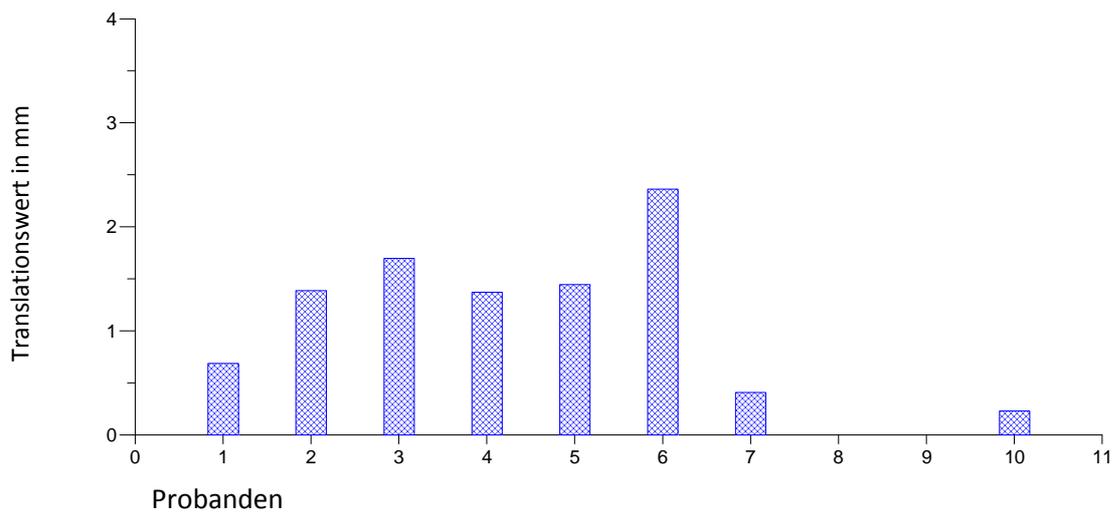


Abb. 32b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 24

Translation Zahn 11

Tab. 28: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 11

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
11	1,3574	1,3167	0,6062

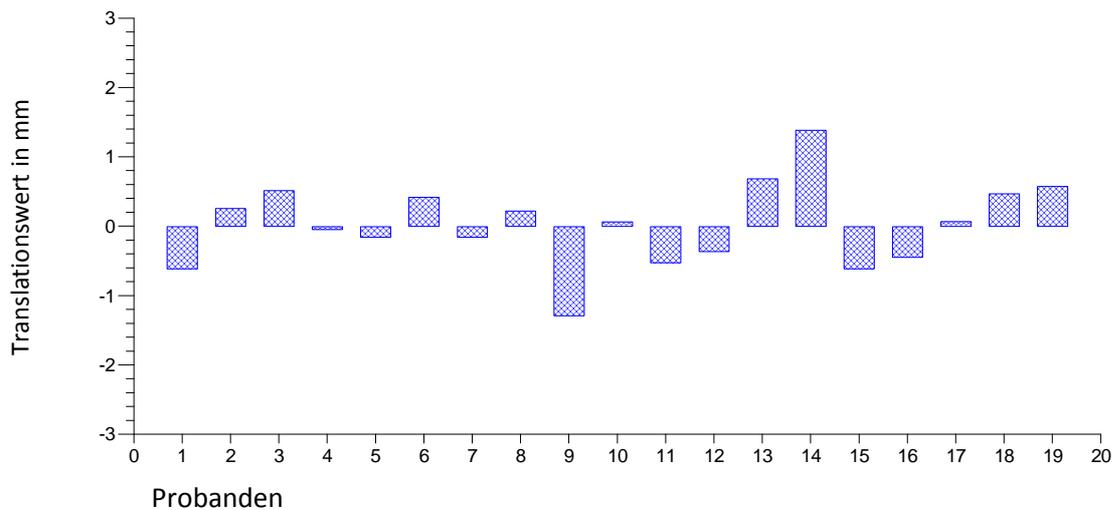


Abb. 33a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 11

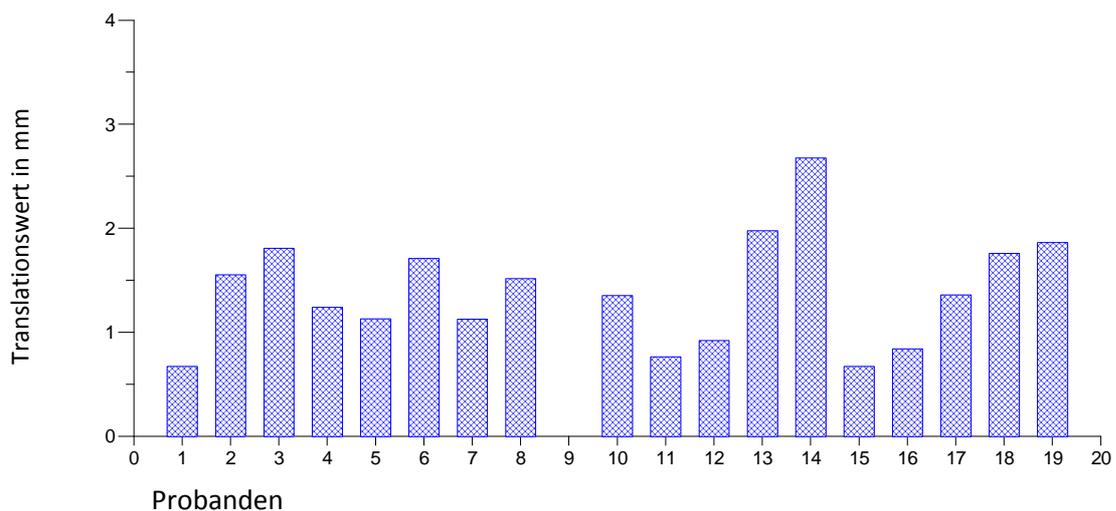


Abb. 33b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 11

Translation Zahn 25

Tab. 29: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 25

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
25	1,3968	1,7187	1,2435

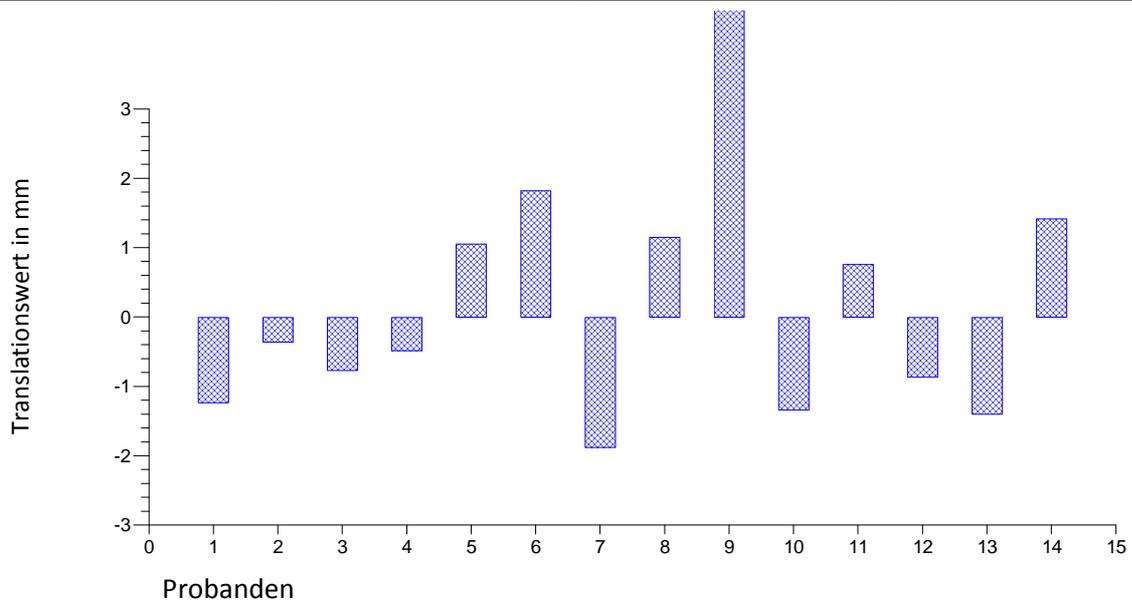


Abb. 34a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 25

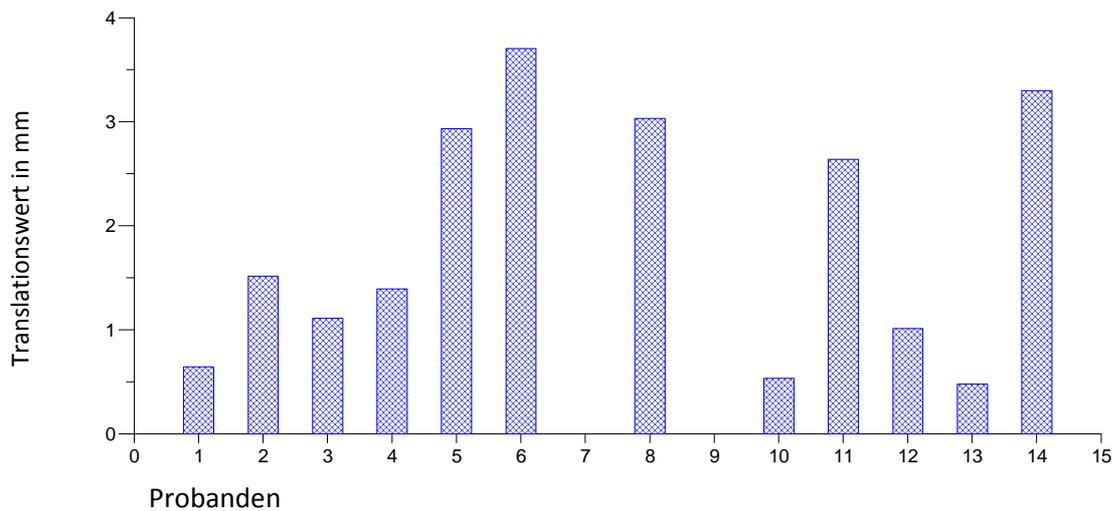


Abb. 34b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 25

Translation Zahn 26

Tab. 30: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 26

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
26	1,5939	1,8561	1,1784

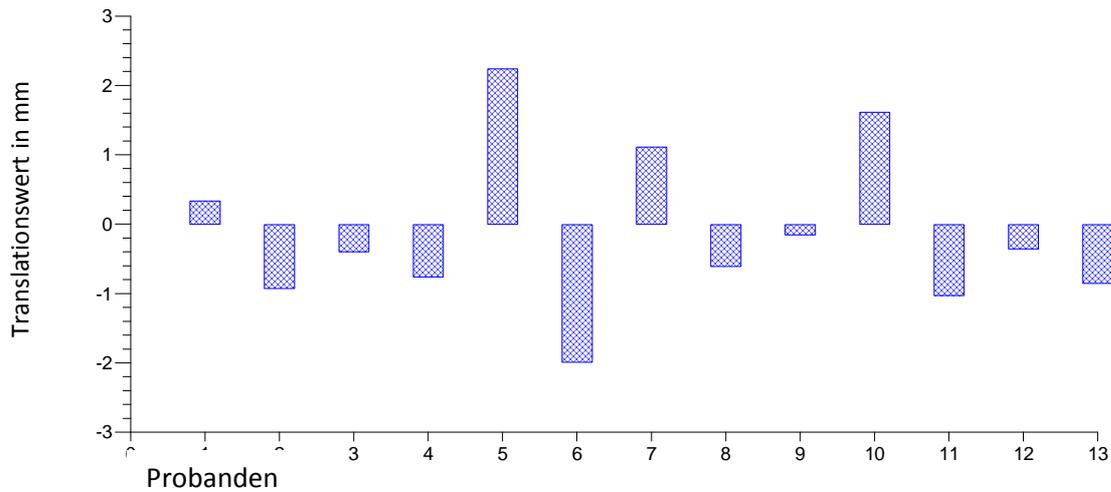


Abb. 35a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 26

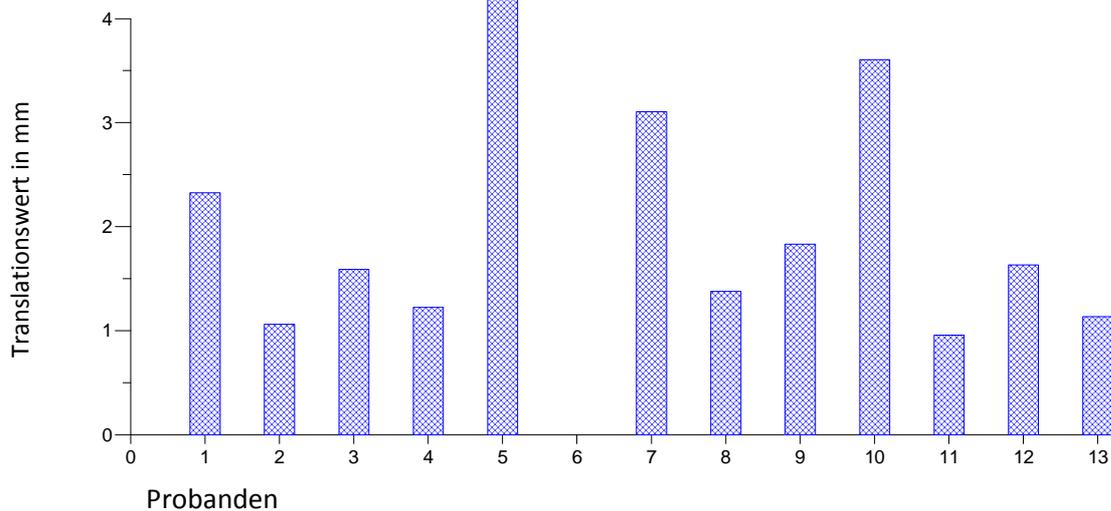


Abb. 35b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 26

Translation Zahn 16

Tab. 31: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 16

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
16	1,8970	1,9655	0,9821

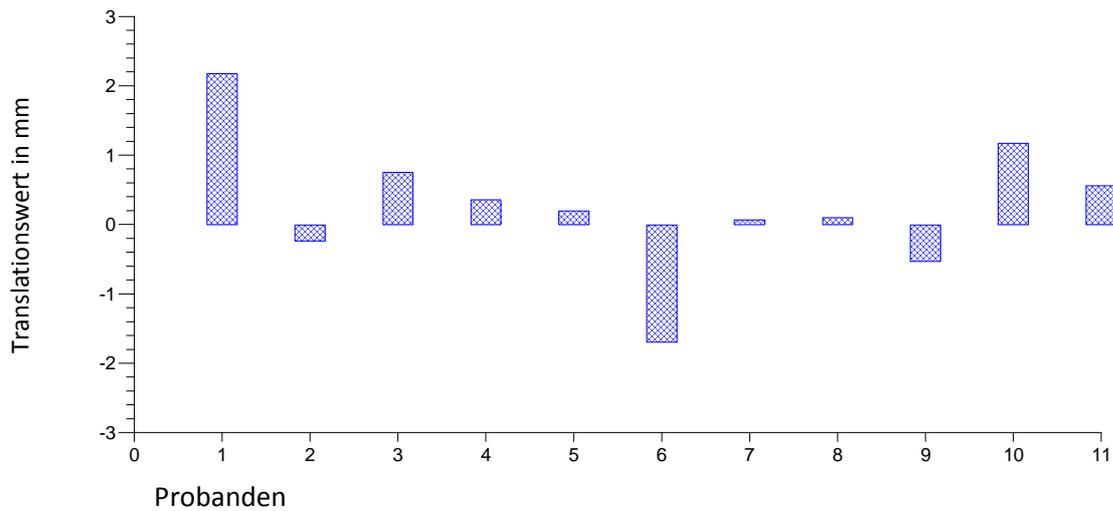


Abb. 36a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 16

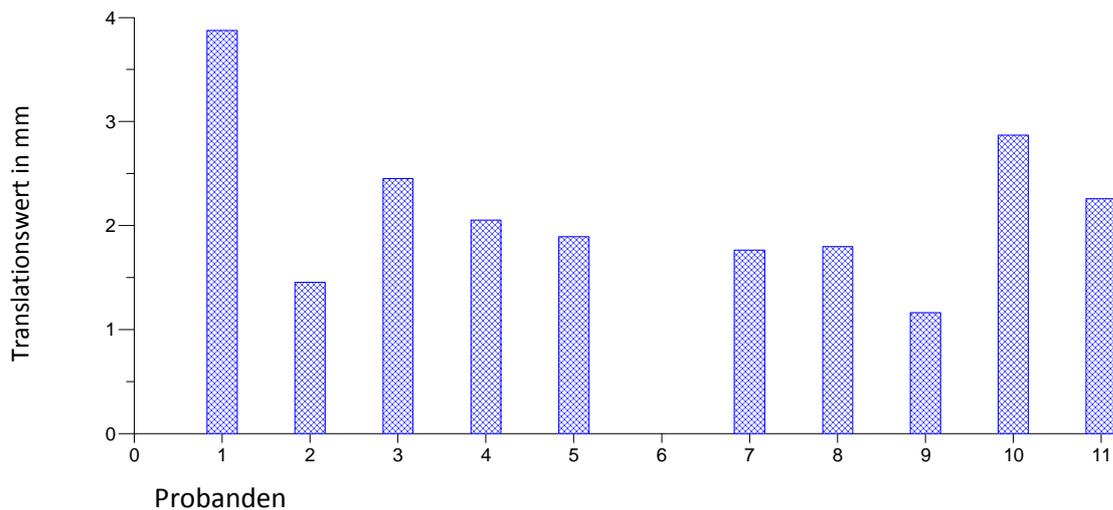


Abb. 36b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 16

Translation Zahn 22

Tab. 32: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 22

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
22	1,9602	1,9931	1,2278

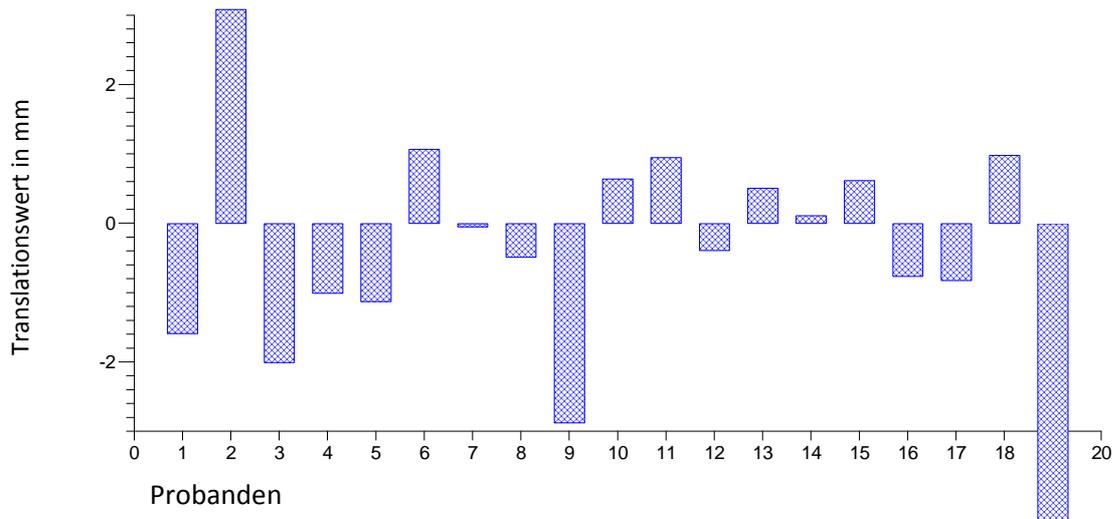


Abb. 37a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 22

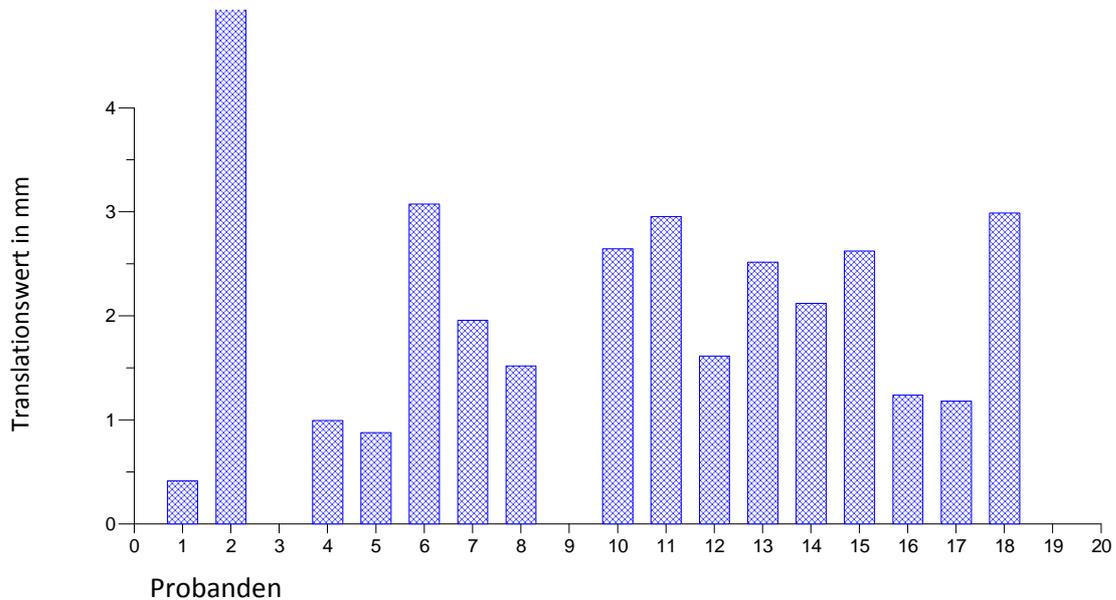


Abb. 37b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 22

Translation Zahn 23

Tab. 33: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 23

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
23	2,0142	1,9271	0,634283

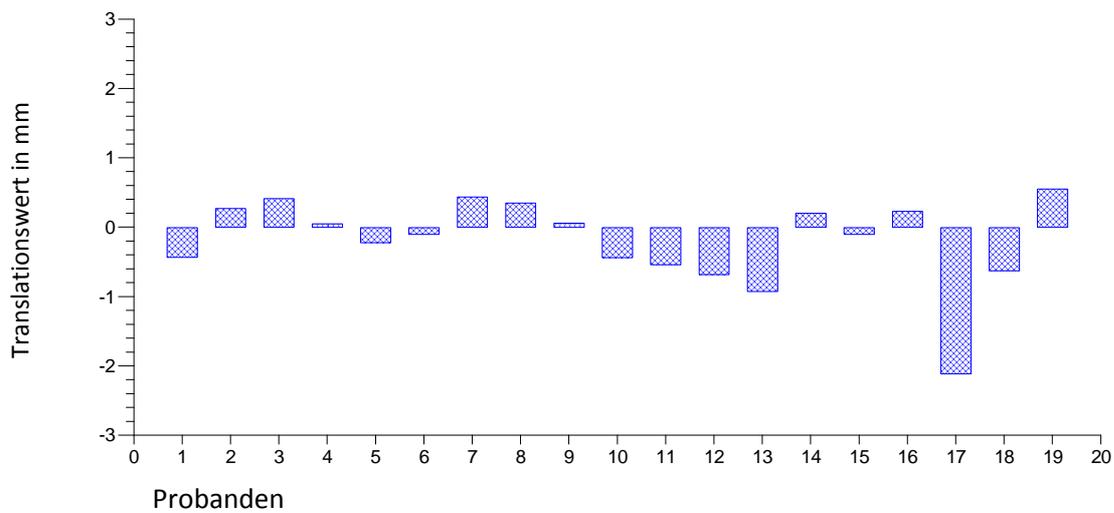


Abb. 38a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 23

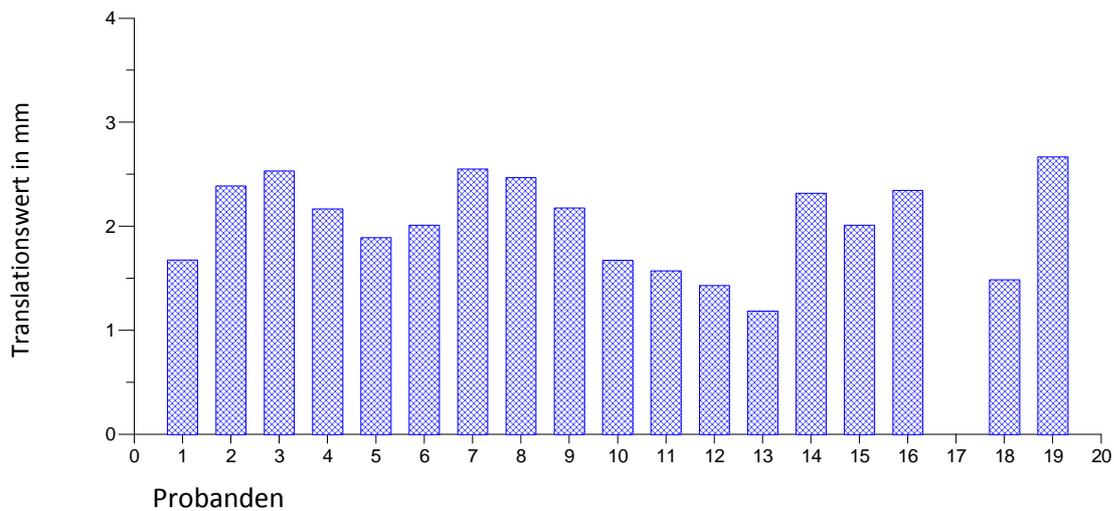


Abb. 38b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 23

Translation Zahn 27

Tab. 34: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 27

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
27	2,2112	1,9095	1,2801

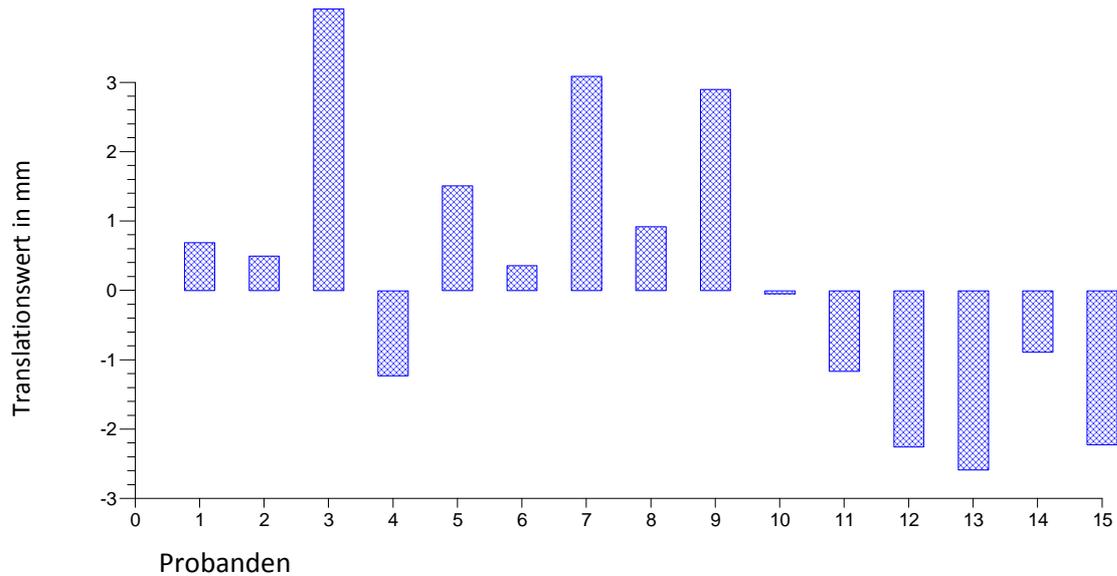


Abb. 39a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 27

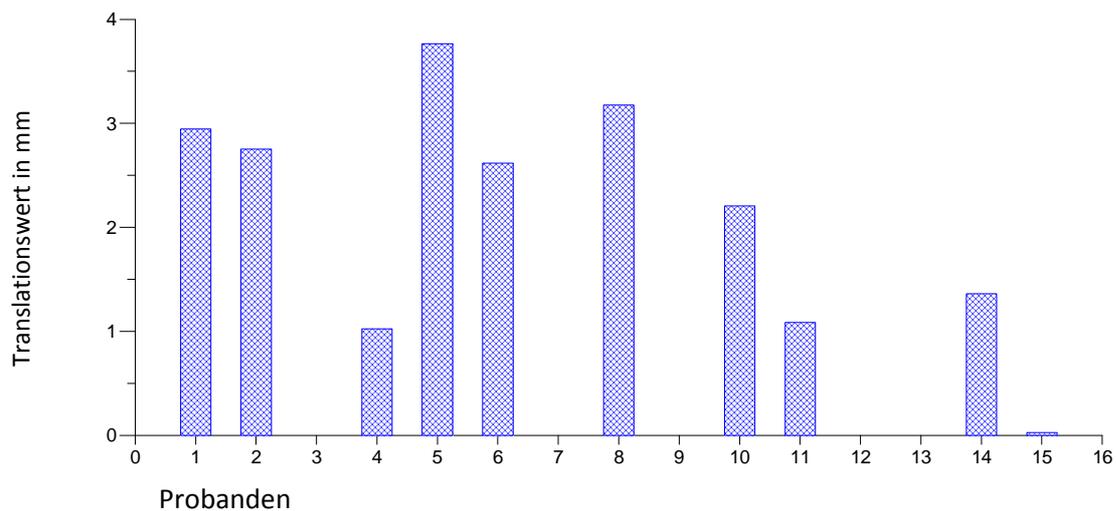


Abb. 39b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 27

Translation Zahn 15

Tab. 35: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 15

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
15	2,3459	2,3306	0,866472

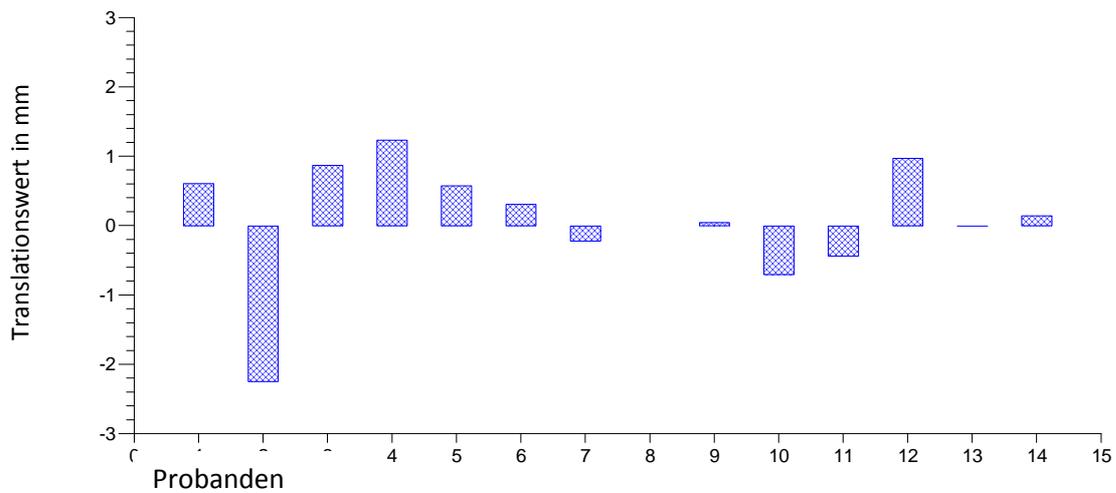


Abb. 40a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 15

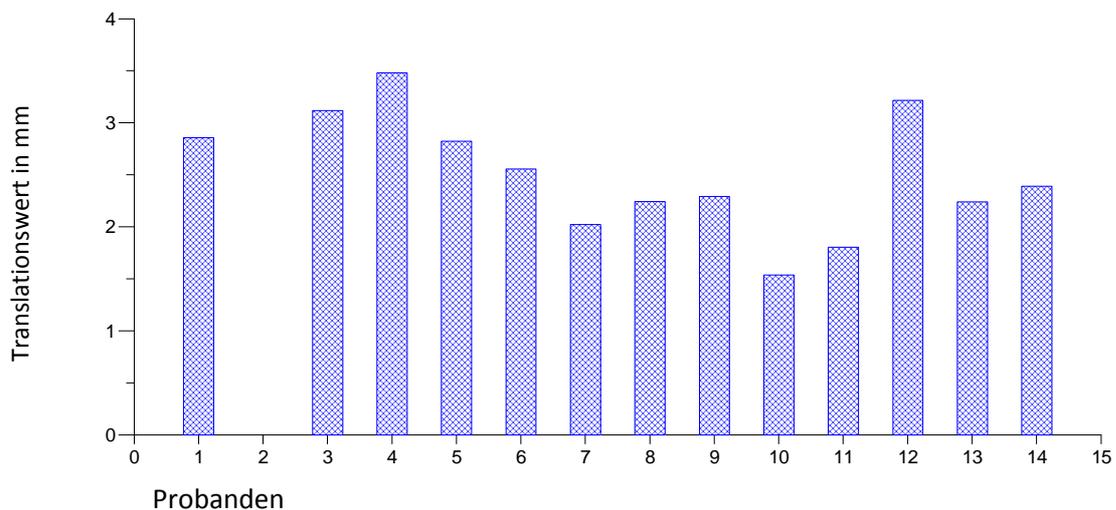


Abb. 40b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 15

Translation Zahn 17

Tab. 36: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 17

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
17	2,4599	2,4119	1,3026

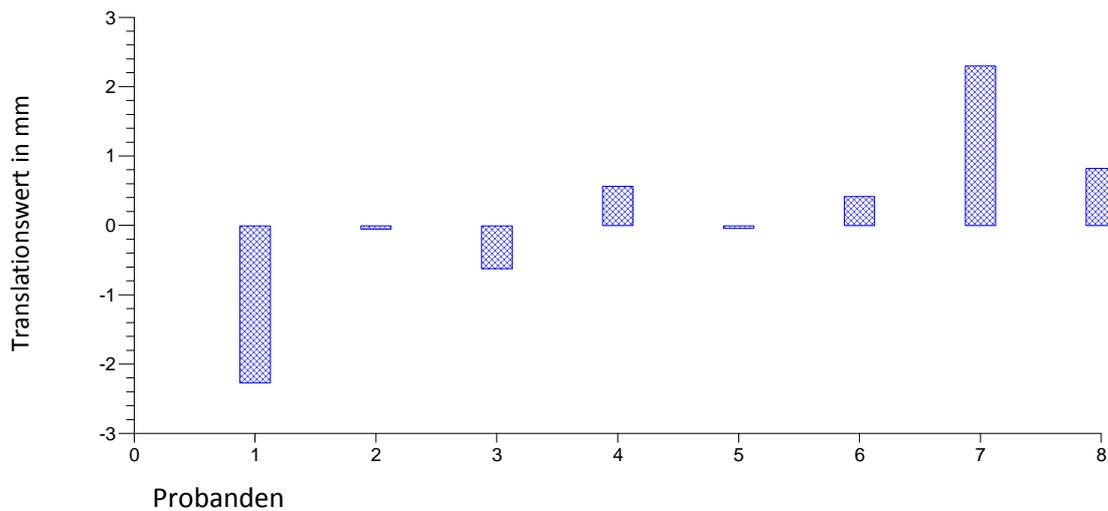


Abb. 41a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 17

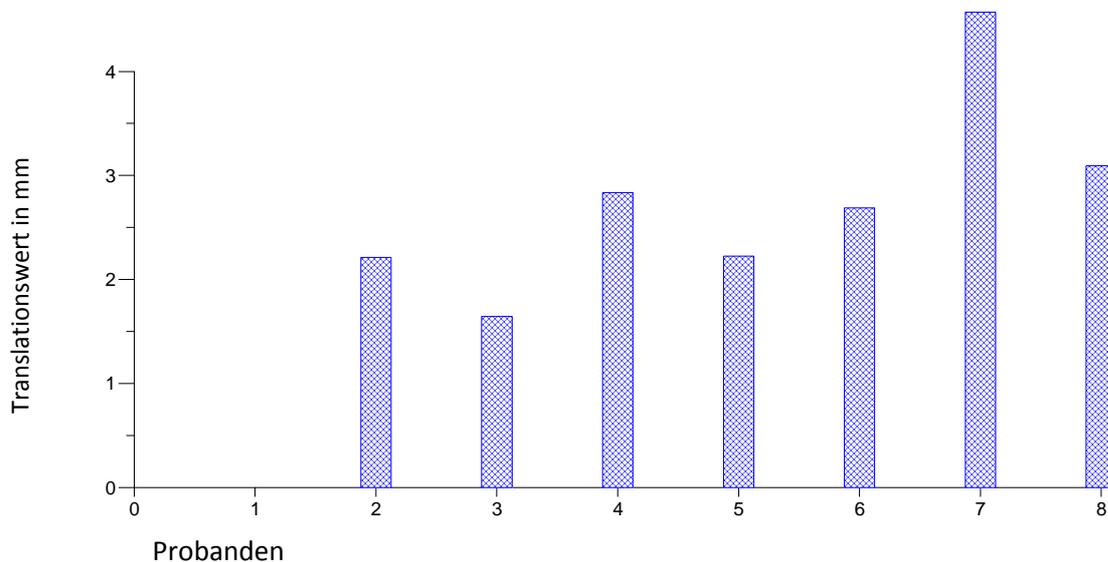


Abb. 41b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 17

3.5.1.2 Unterkiefertranslationswerte in der Achsenrichtung Z

Die Translationswerte in der Koordinatenrichtung Z wurden hier für jeden einzelnen Zahn im Unterkiefer ermittelt. Bei der Darstellung sollte die X-Achse mit jeder einzelnen Ziffer einem Probanden entsprechen. Da je nach Zahn die Anzahl an Probanden unterschiedlich war, variierte in den Diagrammen auch die Anzahl an Balken. Die Y-Achse spiegelte die räumliche Veränderung wider. Dabei liegt das Augenmerk auf der „modifizierten“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z. Die Grafiken 42a bis 55a dienten lediglich der Veranschaulichung. Die Zähne waren sortiert durch den Medianwert der deskriptiven Statistik der „modifizierten“ Darstellung. Die Reihenfolge ergab sich durch eine ansteigende Auflistung des Medianwertes.

Translation Zahn 36

Tab. 37: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 36

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
36	0,5463	0,6628	0,6291

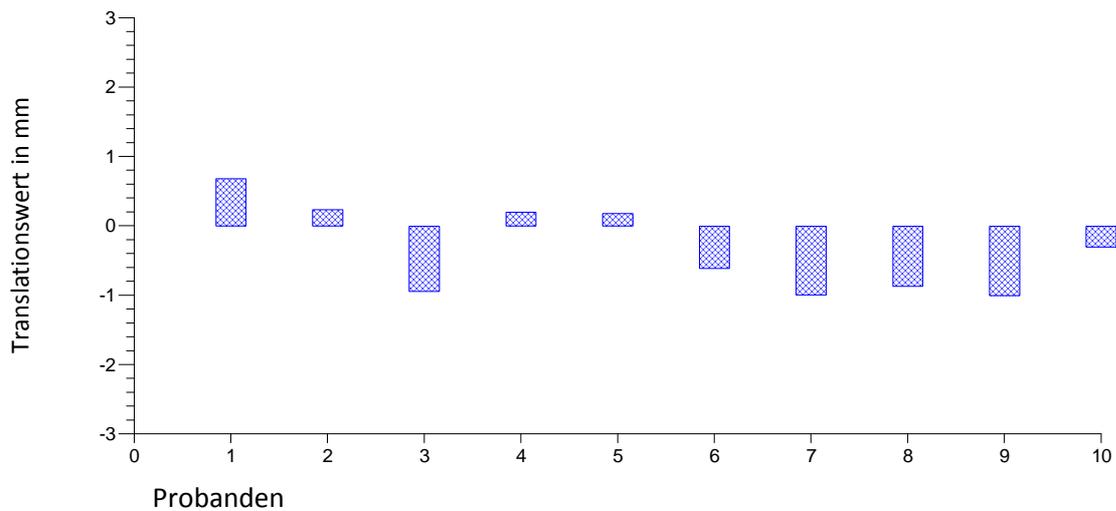


Abb. 42a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 36

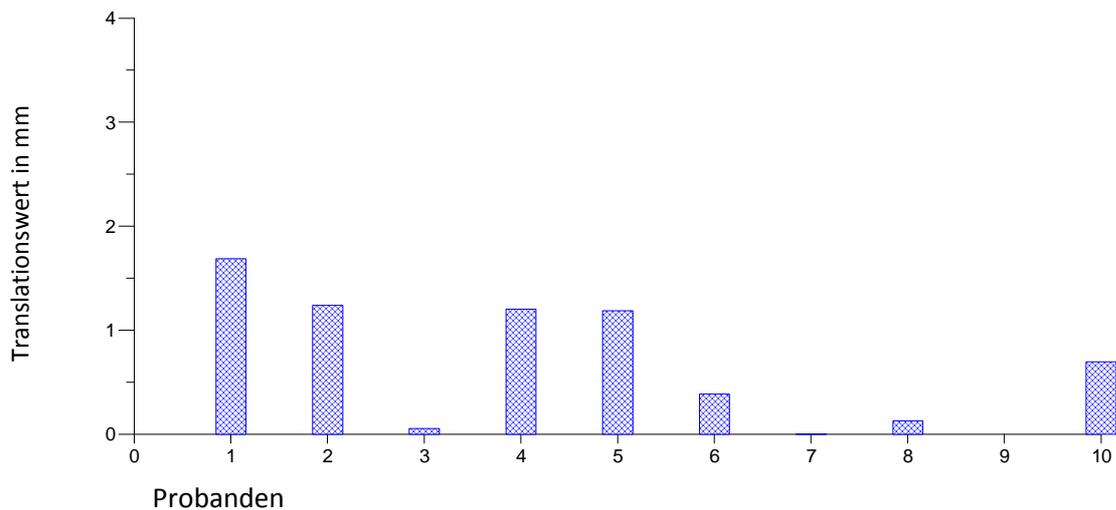


Abb. 42b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 36

Translation Zahn 33

Tab. 38: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 33

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
33	0,5502	0,6494	0,5379

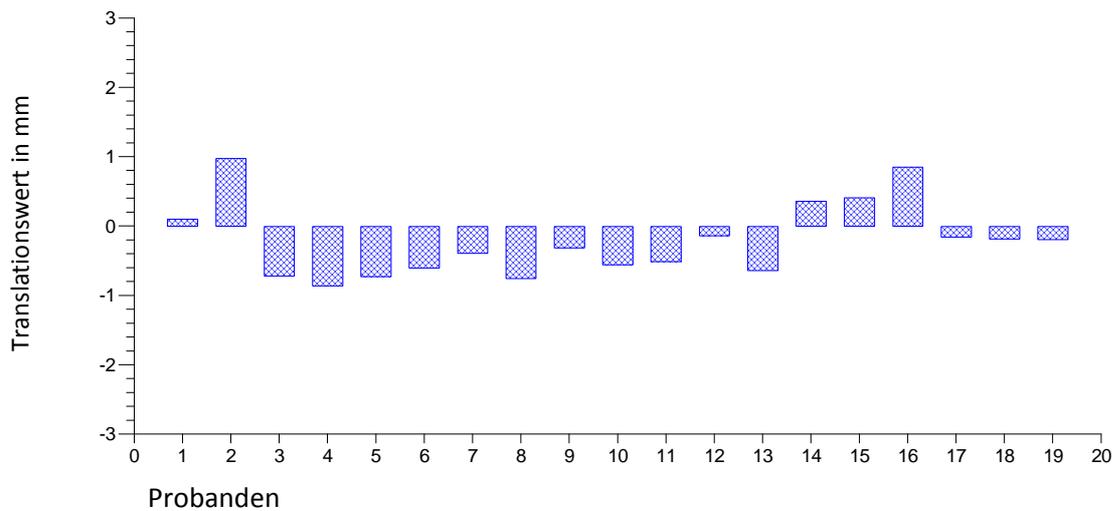


Abb. 43a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 33

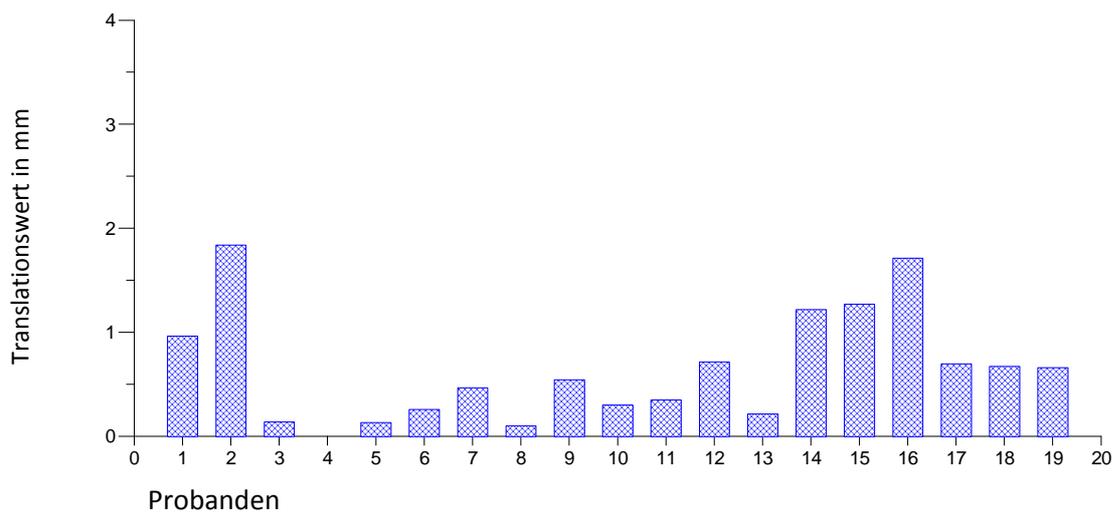


Abb. 43b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 33

Translation Zahn 34

Tab. 39: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 34

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
34	0,6353	0,7679	0,5534

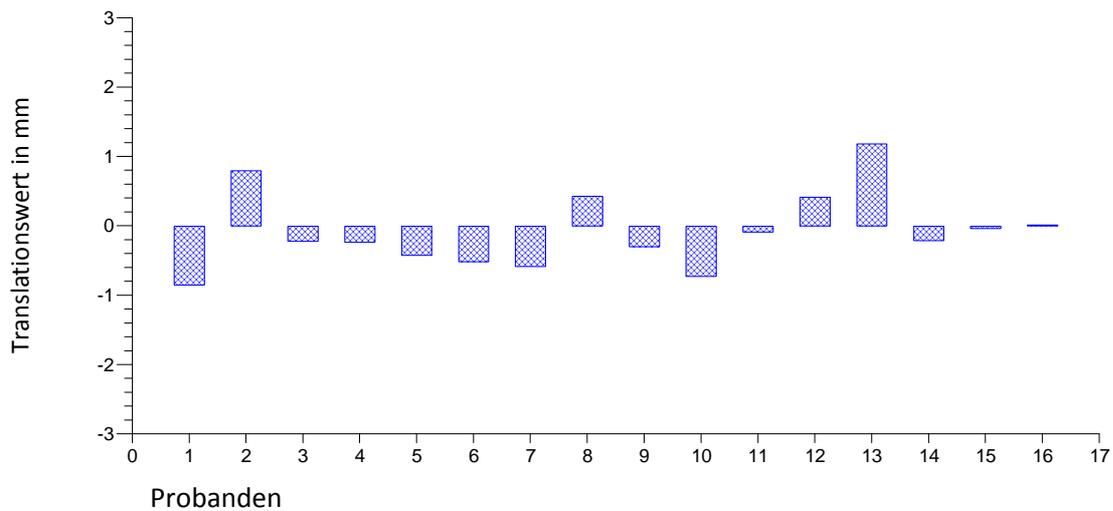


Abb. 44a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 34

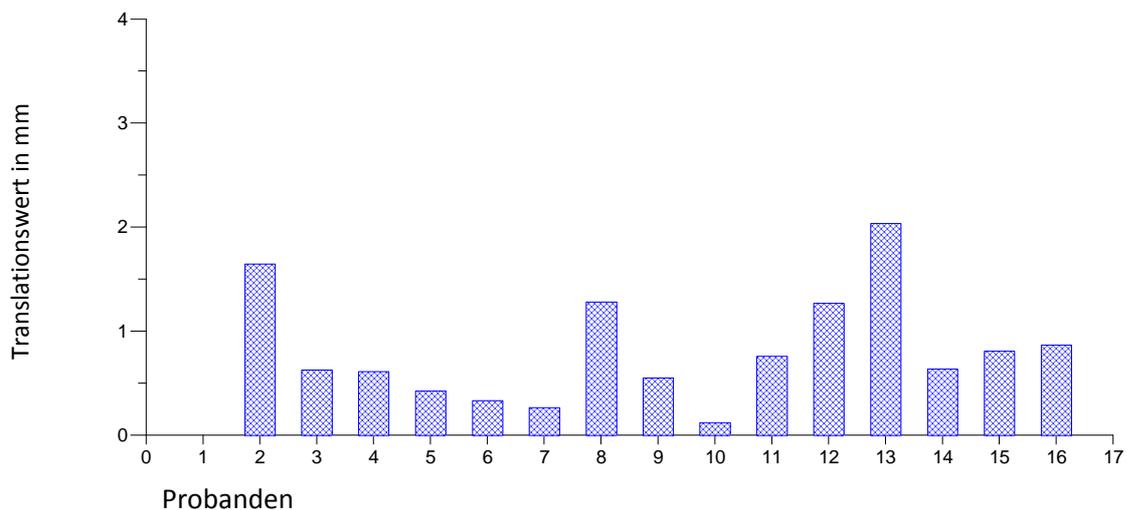


Abb. 44b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 34

Translation Zahn 35

Tab. 40: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 35

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
35	0,8029	0,7553	0,4873

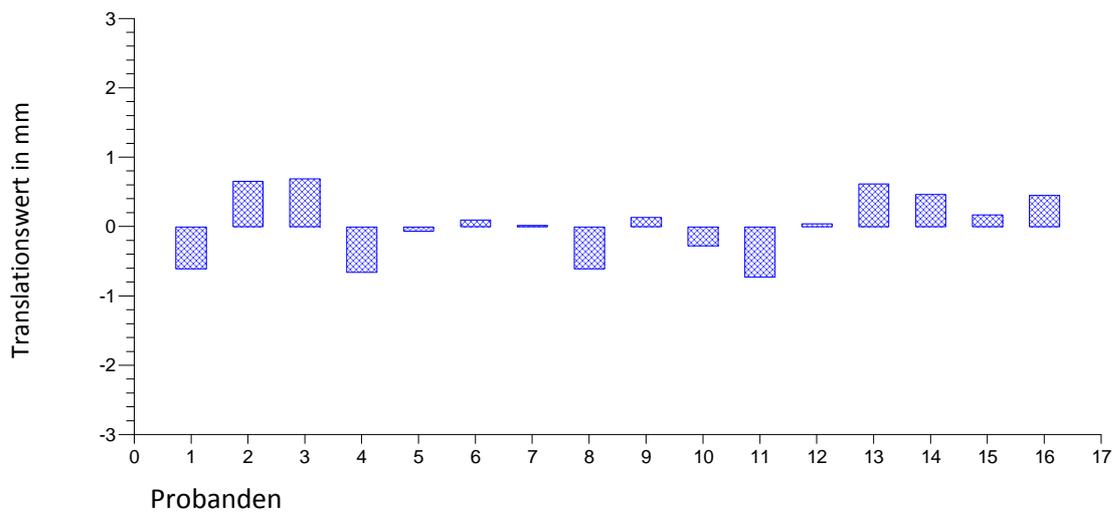


Abb. 45a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 35

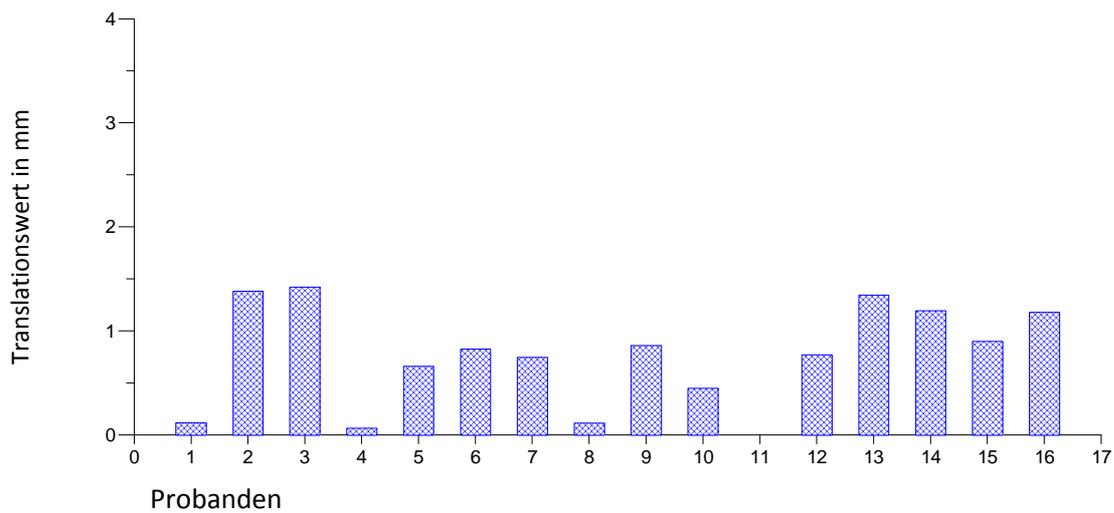


Abb. 45b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 35

Translation Zahn 43

Tab. 41: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 43

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
43	0,9028	0,9534	0,4747

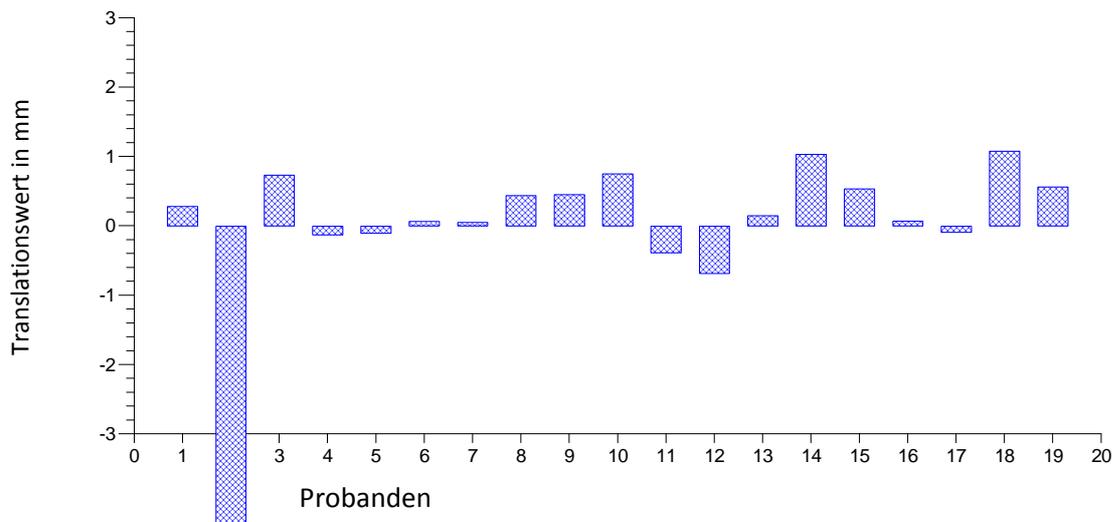


Abb. 46a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 43

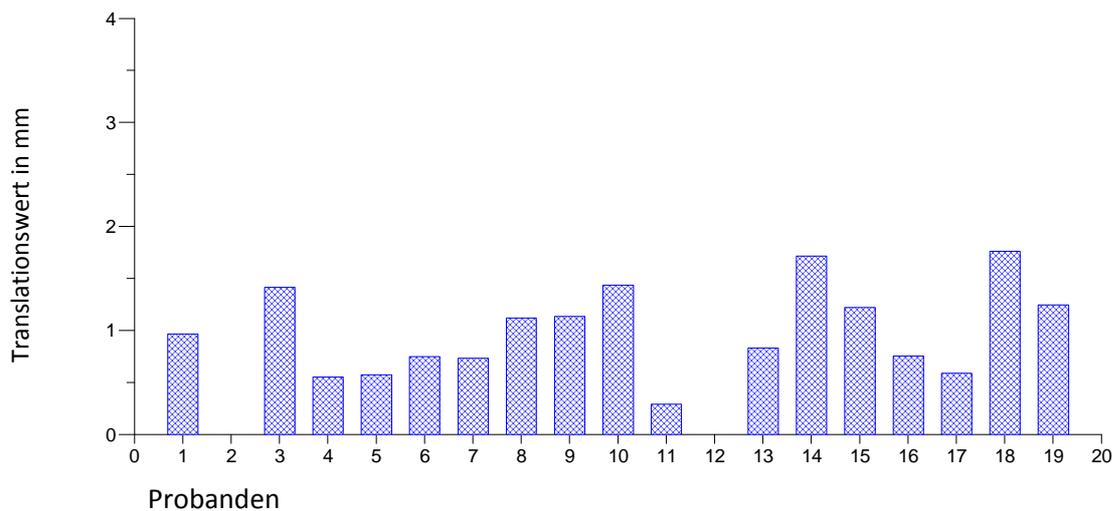


Abb. 46b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 43

Translation Zahn 32

Tab. 39: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 32

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
32	1,0401	1,0447	0,4512

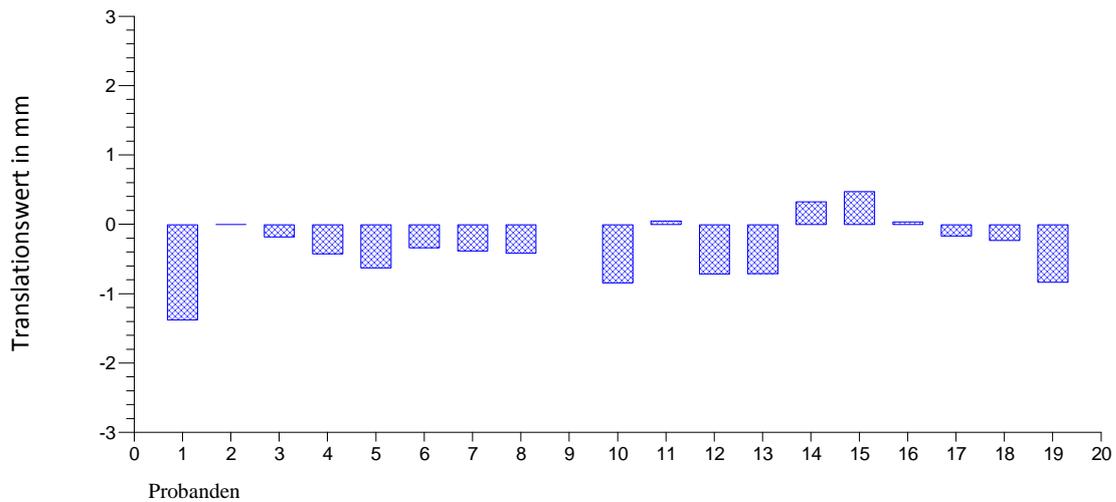


Abb. 47a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 32

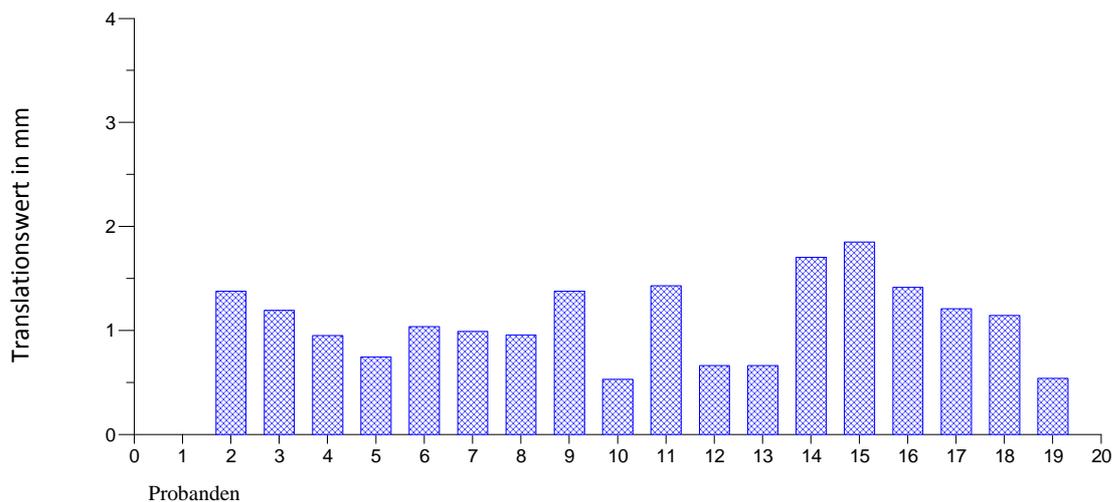


Abb. 47b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 32

Translation Zahn 41

Tab. 43: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 41

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
41	1,106	1,162	0,5844

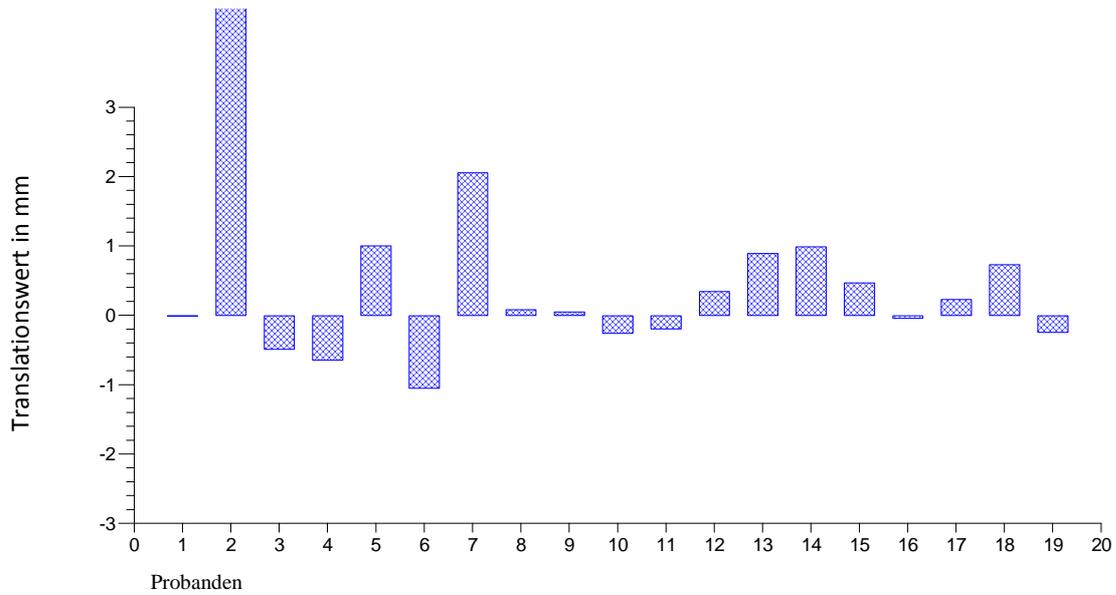


Abb. 48a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 41

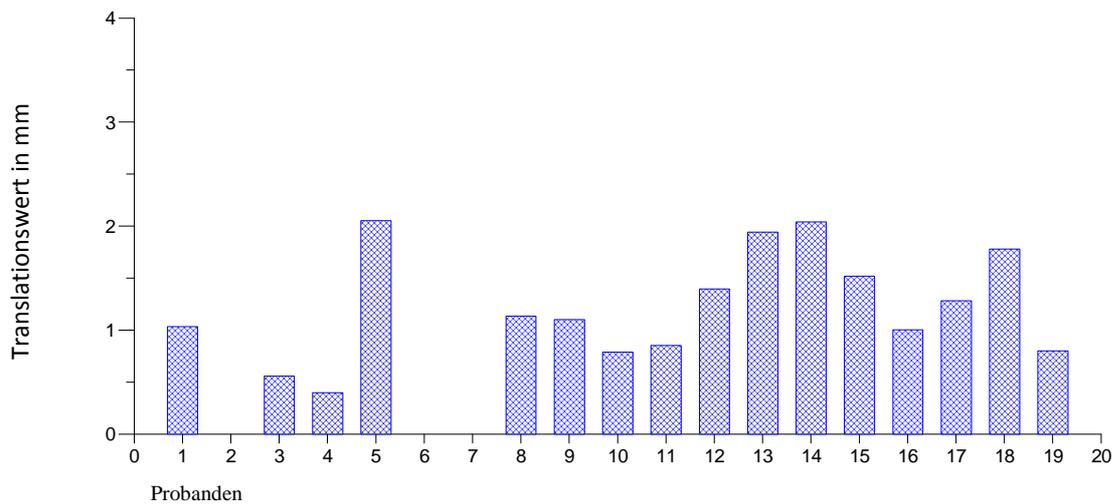


Abb. 48b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 41

Translation Zahn 45

Tab. 44: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 45

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
45	1,3626	1,3321	0,6926

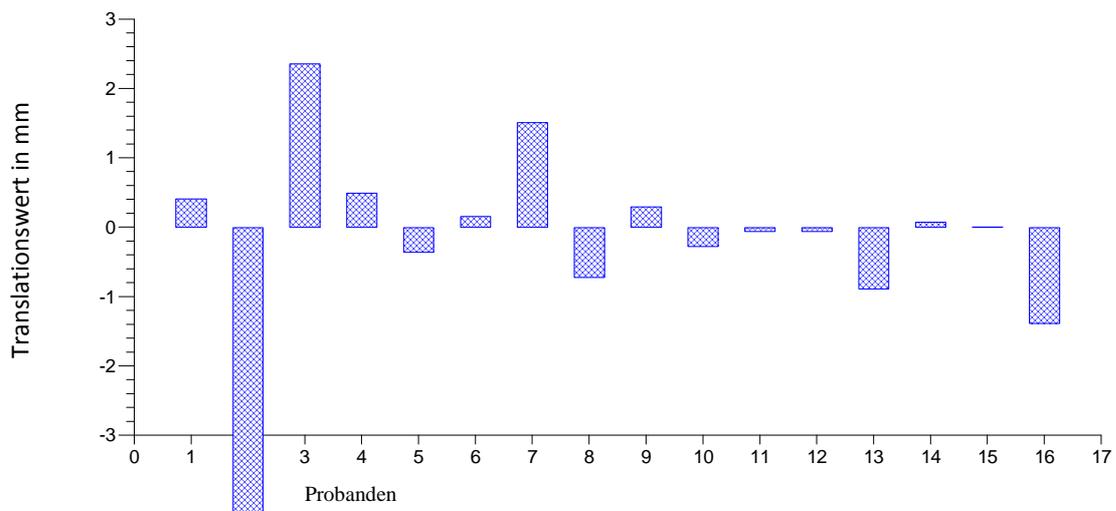


Abb. 49a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 45

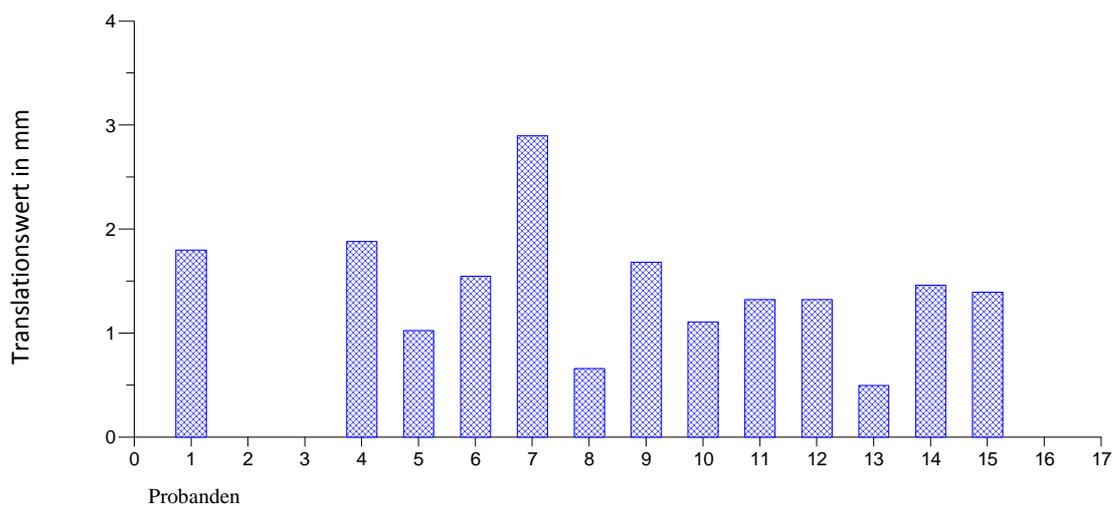


Abb. 49b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 45

Translation Zahn 37

Tab. 45: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 37

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
37	1,5887	1,3898	0,8866

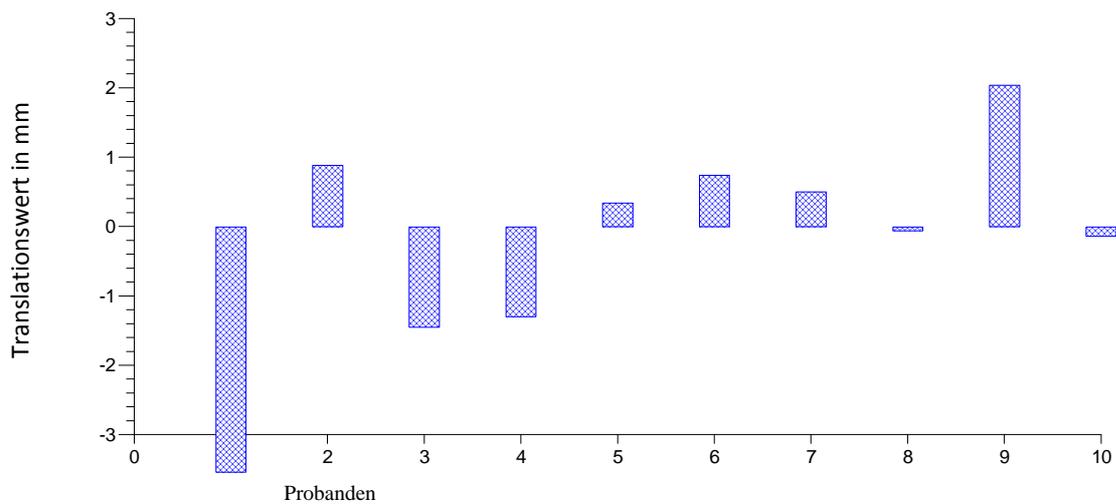


Abb. 50a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 37

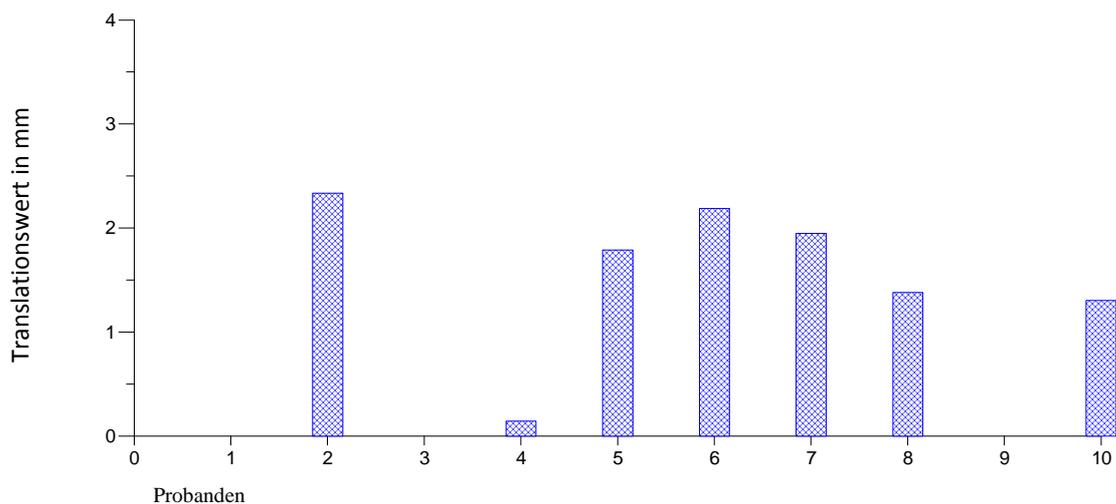


Abb. 50b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 37

Translation Zahn 42

Tab. 46: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 42

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
42	1,5937	1,4461	0,7209

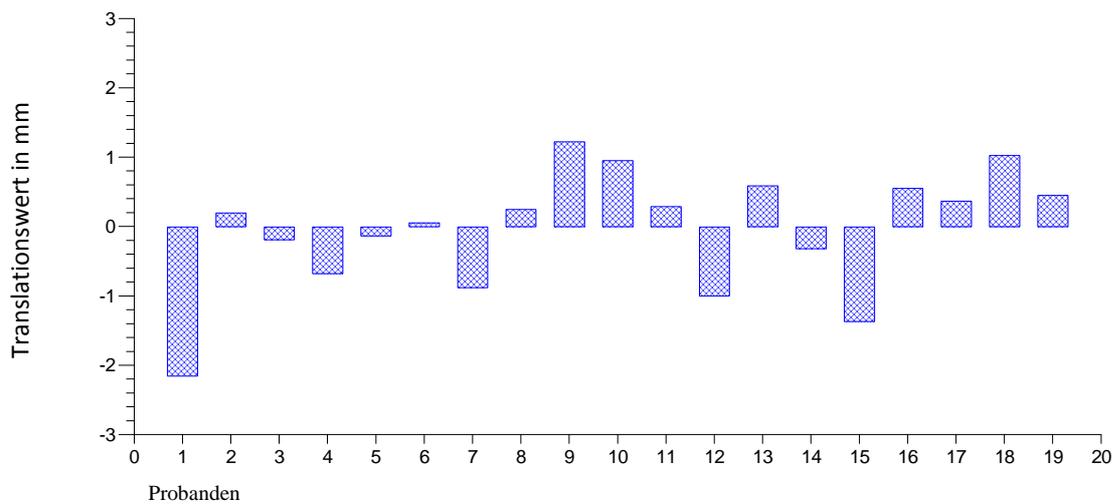


Abb. 51a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 42

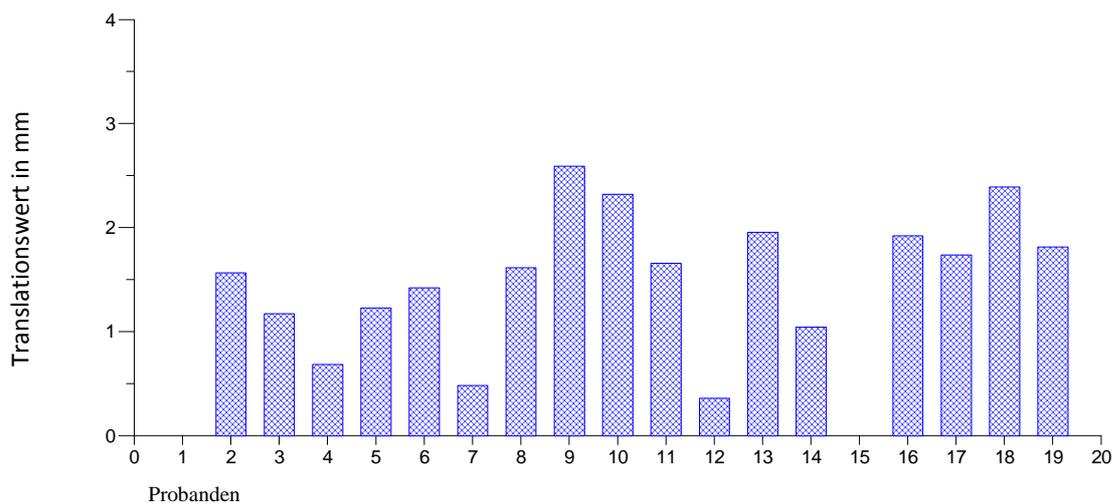


Abb. 51b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 42

Translation Zahn 47

Tab. 47: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 47

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
47	1,7167	1,3988	0,9705

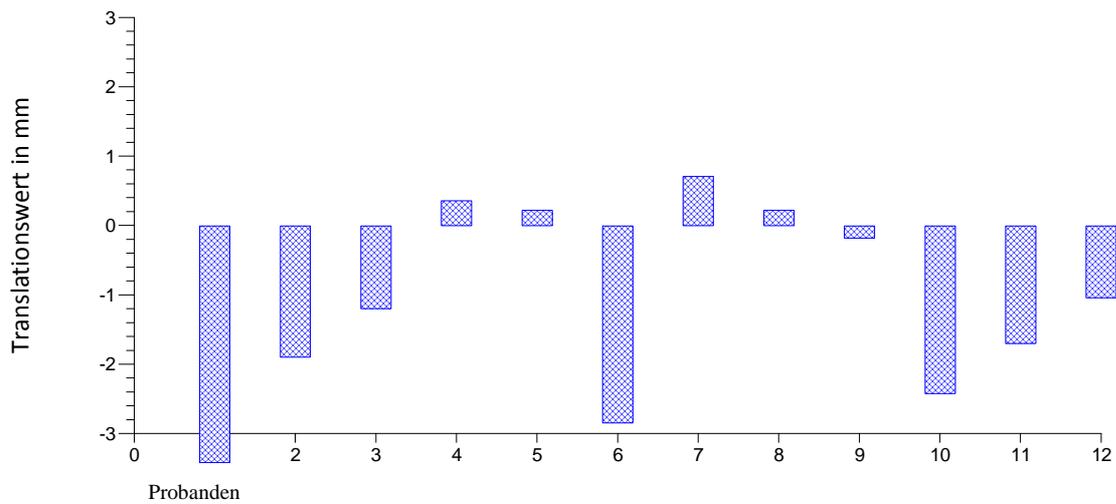


Abb. 52a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 47

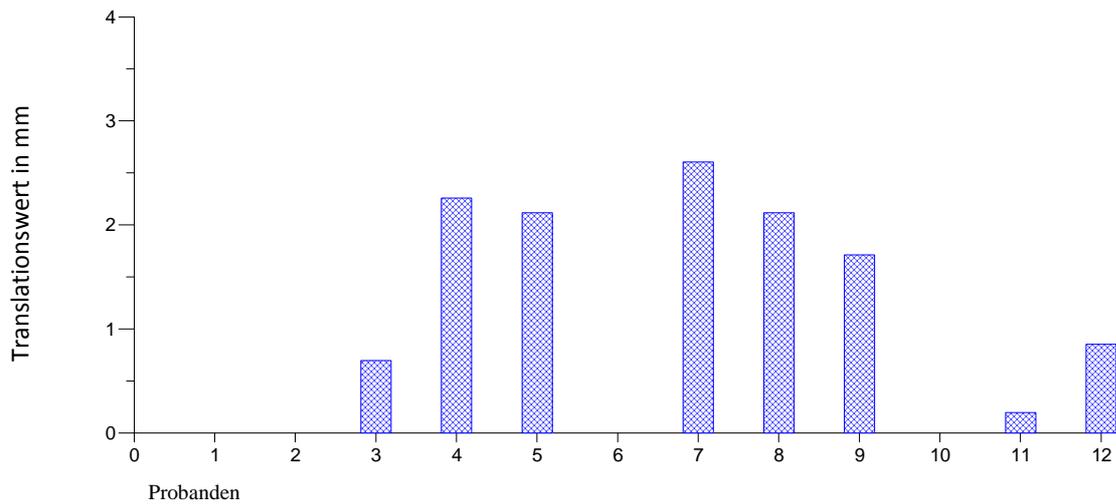


Abb. 52b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 47

Translation Zahn 46

Tab. 48: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 46

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
46	1,9036	1,6712	0,9431

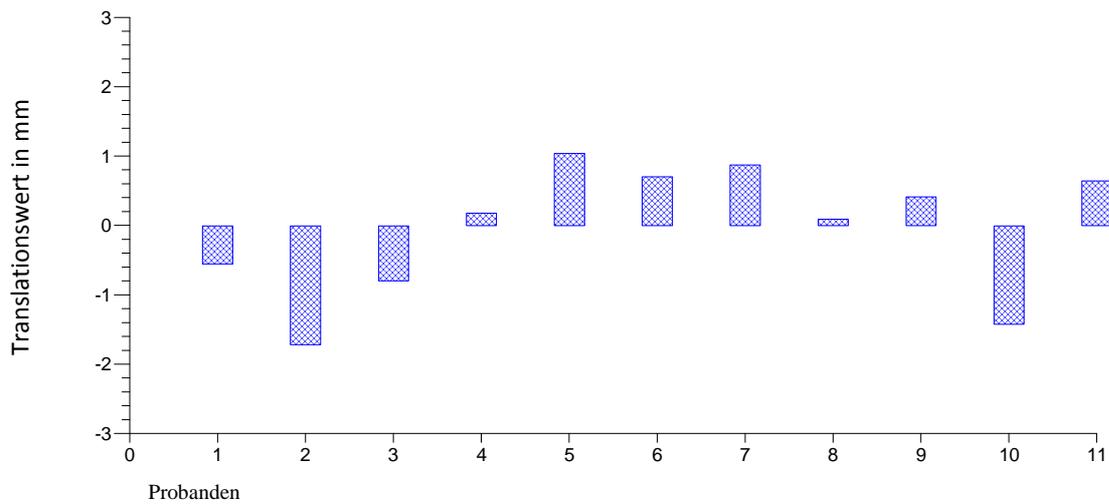


Abb. 53a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 46

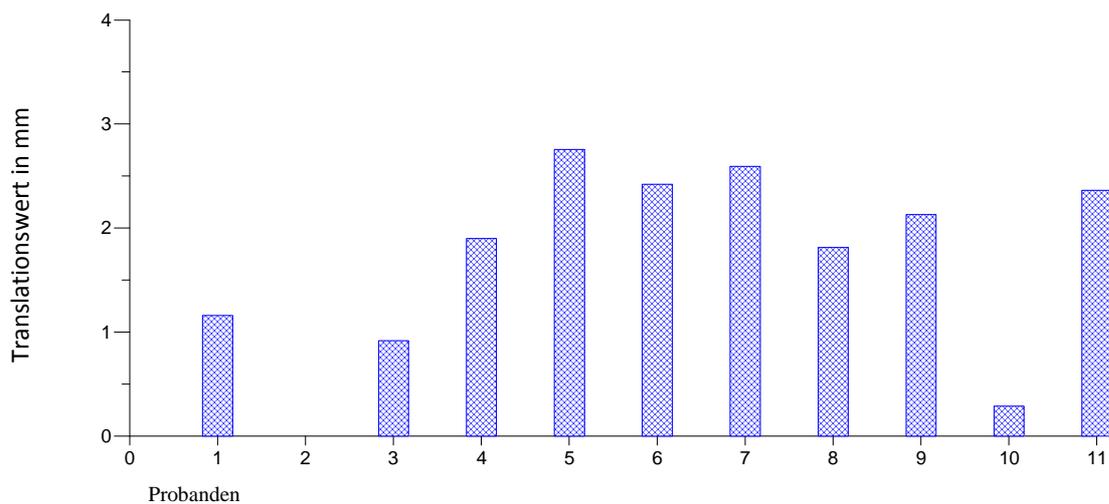


Abb. 53b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 46

Translation Zahn 31

Tab. 49: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 31

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
31	2,0350	1,9245	0,7746

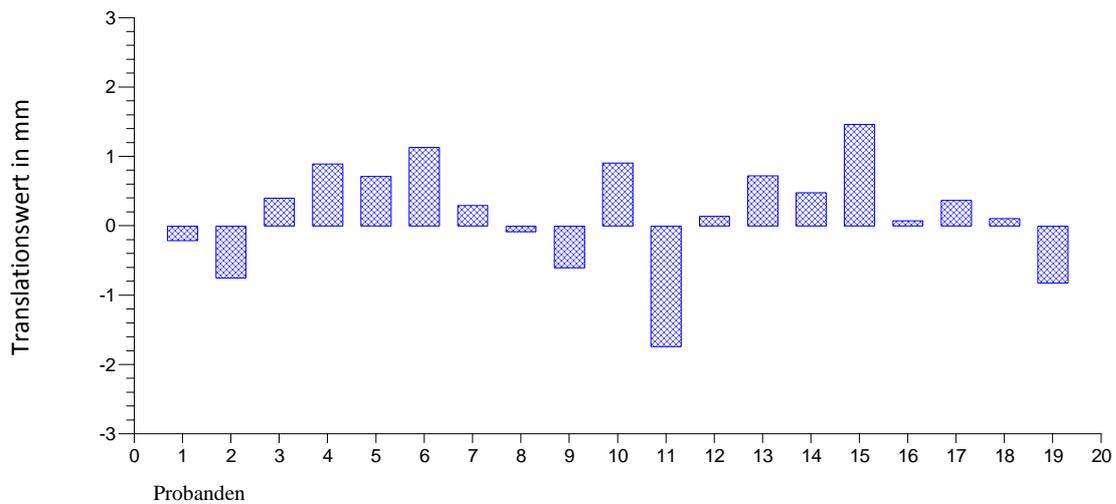


Abb. 54a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 31

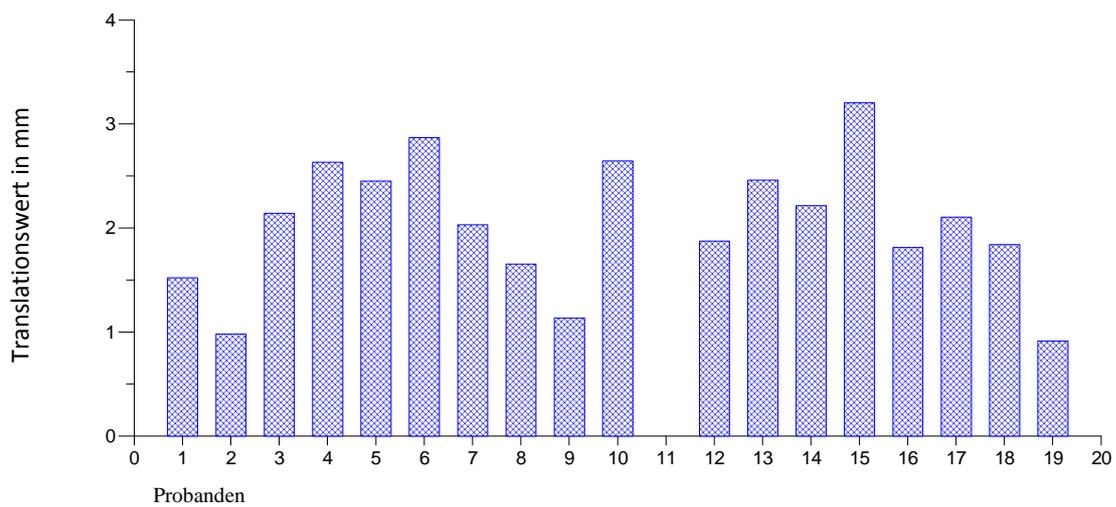


Abb. 54b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 31

Translation Zahn 44

Tab. 50: Deskriptive Statistik der „modifizierten“ Darstellung der Translation nach Z für den Zahn 44

Zahn	Medianwert [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
44	2,3405	2,1545	0,9686

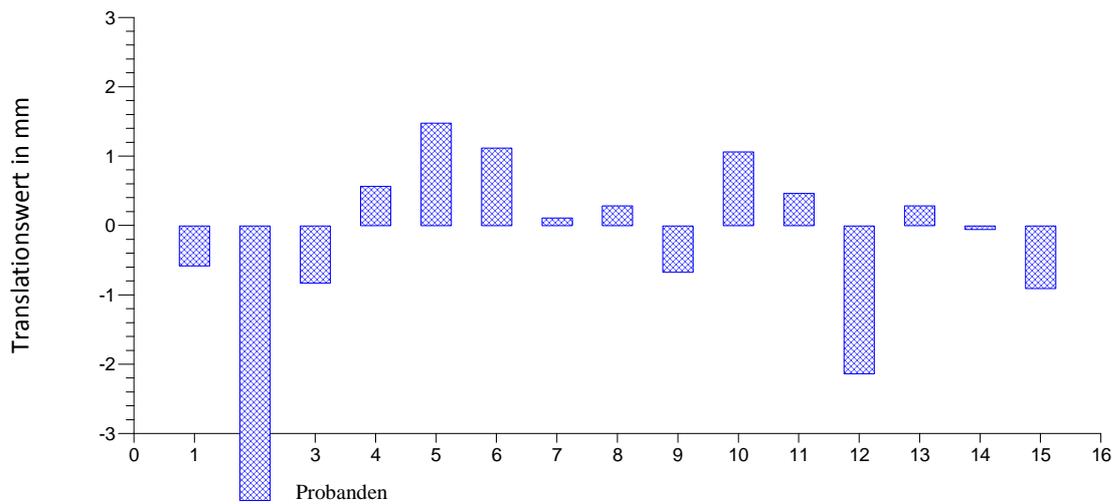


Abb. 55a: Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 44

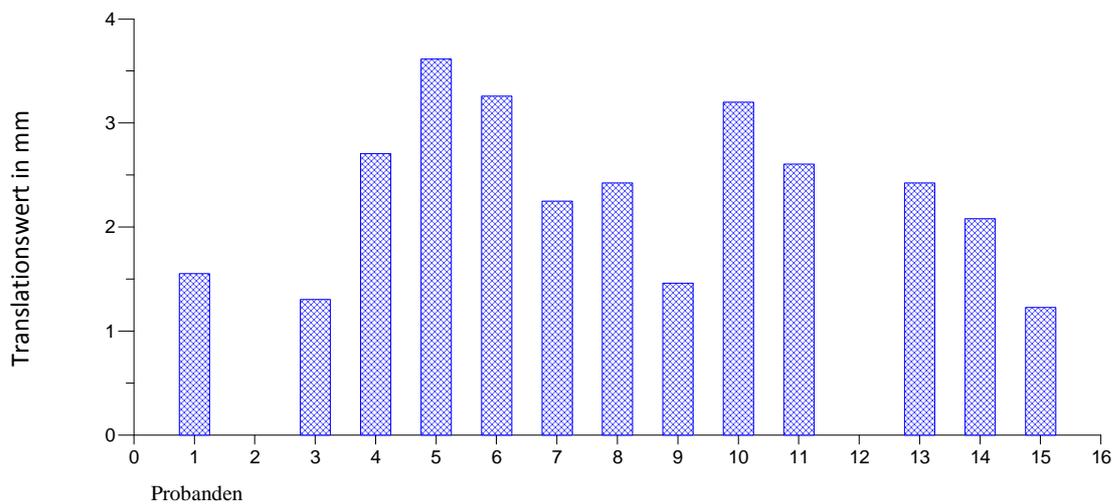


Abb. 55b: „Modifizierte“ Darstellung der Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Zahn 44

3.5.2 Zusammenfassende Auswertung und Darstellung der „modifizierten“ Translationswerte in der Achsenrichtung Z

Nachdem die Änderungen in der Translation für jeden einzelnen Zahn ermittelt wurden, konnten anschließend die Ergebnisse für den gesamten Ober- und Unterkiefer zusammengefasst und dargestellt werden. Zugrunde lagen auch hier die Medianwerte der Translationswerte in der Koordinatenrichtung Z. Dies konnte in vereinfachter Art und Weise dazu dienen, mögliche Abrieb- und Verschleißprozesse in dem Beobachtungszeitraum der 5 Jahre an der Zahnoberfläche zu dokumentieren. Eine Verkürzung der Zahnkrone in vertikaler Dimension wurde hier dargestellt. Die ermittelten Medianwerte je Zahn wurden auf ein Ober- und Unterkieferzahnschema mit Hilfe einer Temperaturfarbskala übertragen und in 10 Schritten von je 0,25 mm jede Änderung verschieden farblich angezeigt. Keine oder leichte Veränderungen wurden im Zahnschema grün, mittlere bis starke Veränderungen über gelb, dann orange bis hin rot farblich differenziert.

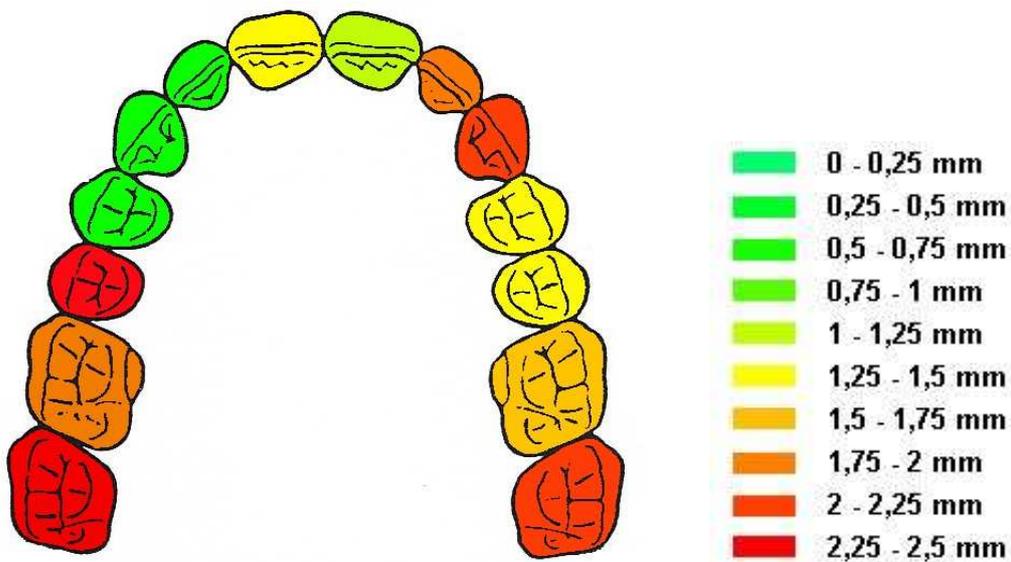


Abb. 56: Auswertung der „modifizierten“ Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Oberkiefer

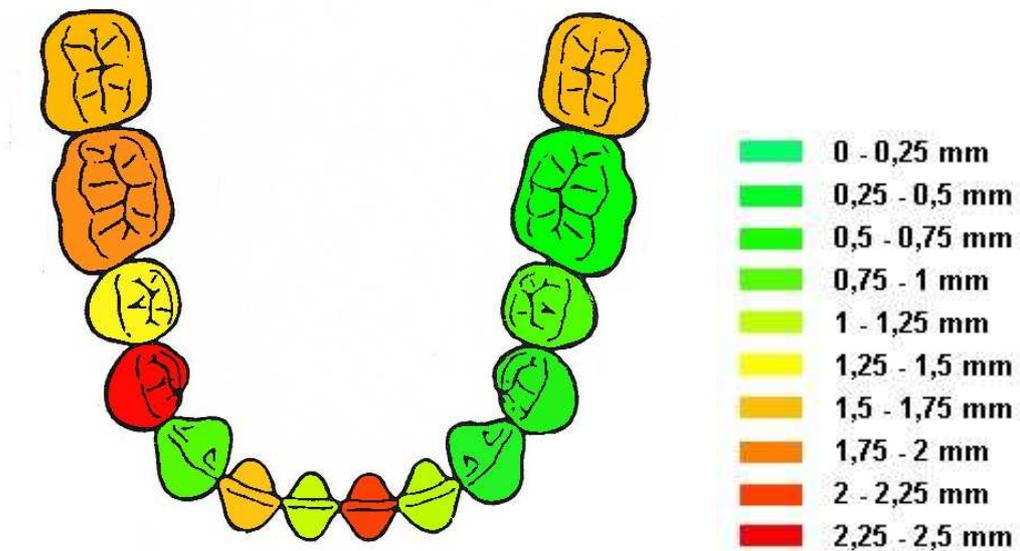


Abb. 57: Auswertung der „modifizierten“ Translationswerte in der Achsenrichtung Z für den Unterkiefer

Im direkten Vergleich von Ober- und Unterkiefer fällt auf, dass die Veränderungen der Translationswerte in der Achsenrichtung Z unterschiedlich ausfielen. Während im ersten Quadrant es eher im posterioren Bereich zu starken Veränderungen gekommen war, hatte sich die Okklusionshöhe der Zähne 12-14 kaum verändert. Der zweite und vierte Quadrant zeigten dagegen eher eine mittlere bis starke Veränderung an Okklusionshöhe. Der dritte Quadrant zeigte bis auf den Zahn 37 kaum eine Veränderung.

3.6 Muskelbefund

Die untersuchten Probanden waren alle funktionsgesund und wiesen keine pathologischen Auffälligkeiten im Bereich der Kaumuskulatur auf.

4. Diskussion

4.1 Klinische Relevanz

Die verschiedenen Parameter dieser Untersuchung beinhalten grundlegende, diagnostische Hinweise für die gesamte Zahnmedizin, denn die Okklusion vermittelt eine große Anzahl an Informationen für jeden praktisch tätigen Zahnarzt und spielt eine zentrale Rolle. Besonders im Bereich der Funktionsdiagnostik und der Untersuchung von Para- und Dysfunktionen ist ein profundes Wissen zu dem Thema Okklusion und Bruxismus unerlässlich. Parafunktionen und Bruxismus gelten bei vielen Autoren als Hauptursachen für Kiefergelenkserkrankungen (De Boever, 1985; Carlsson et al., 1985; Drum, 1962; Ramfjord und Ash, 1983; Schulte, 1983; Graf, 1973; Steinhardt und Gerber, 1973; Molin und Levi, 1966) und Abnutzungserscheinungen an den Zähnen wie Abrasionen, die zu Veränderungen der Okklusion und damit zu Änderungen am gesamten mastikatorischen System führen können. Zum mastikatorischen System gehören neben den Kiefergelenken auch das unterstützende Parodontium (Dotto et al., 1967; Schareyka-Fussan et al., 1976; Mühlemann et al., 1956; Glickmann und Smulow, 1965), die mandibuläre Muskulatur und auch die Lippen-, Wangen- und Zungenmuskulatur (Schulte, 1983; Ramfjord, 1961; Beck und Kraft, 1959; Ahlgren, 1969), die Weichgewebe sowie die Versorgung mit Nerven und Blutgefäßen (Müller, 1971). Eine eingeschränkte Mundöffnung kann neben Schmerzen ein Symptom für eine craniomandibuläre Dysfunktion sein und die Messung der maximalen SKD kann der Diagnostik dienen (Stelzenmüller und Wiesner, 2010).

Mit der klinischen Beobachtung und Befundung der Okklusion kann der praktisch tätige Zahnarzt rein visuell Parafunktionen erkennen. Nicht altersentsprechende Abrasions- und Attritionsflächen und ein frühzeitiger Verlust der front- und eckzahngeschützten Okklusion sind meist ein Hinweis auf Bruxismus (Ahlers und Jakstat, 2001; Pintado et al., 1997; Lyons, 2001; Hirsch et al., 2004; John et al., 2002).

4.2 Kritische Anmerkungen zur Methodik

4.2.1 Die Befundaufnahme

Die verschiedenen Befunde, die auf dem Befundbogen ermittelt wurden, sind gut in der Praxis reproduzierbar, jedoch können verschiedene Fehler bei der Durchführung auftreten. Bei der Ermittlung der Okklusionspunkte mit dem Okklusionspapier können durch Speichel, der auf der Zahnoberfläche aufliegt, Kontaktpunkte möglicherweise nicht korrekt oder gar nicht angezeigt werden (Gazit et al., 1986). Da die Probanden zum Teil sowohl konservierend als auch prothetisch festsitzend versorgt waren, kamen auf der Okklusalfäche unterschiedliche Materialien wie Gold, Metalllegierungen oder Keramik vor. Diese zum Teil sehr glatten Oberflächen stellten nicht immer die Okklusionskontakte genauso gut dar, wie natürlicher Zahnschmelz oder Dentin (Gazit et al., 1986). Durch die Benutzung des progressiven 200 µm dicken Kontaktpapiers wurden die Kontaktpunkte unterschiedlich intensiv angefärbt. Die farbschattierte Anfärbung war kaudruckabhängig. Je dunkler die Farbe war, umso stärker war auch die Aufbisskraft. Frühkontakte wurden hierdurch sofort und sehr deutlich sichtbar. Jedoch bedingte das progressive Kontaktpapier eine relativ dicke Schichtstärke von 200 µm und es wurden mehr Kontaktpunkte dargestellt, wie bei dünnerem Kontaktpapier der Stärke 10-40 µm. Das verwendete etwas dickere Kontaktpapier ermöglichte eine recht unkomplizierte Erfassung der Okklusionskontakte auch bei leicht speichelbenetzten Okklusalfächen. Dünneres Kontaktpapier wäre wünschenswert, bedingt jedoch einen höheren Aufwand bei der Befunderhebung, wie eine sehr konsequente Trockenlegung der Okklusalfäche (Gazit et al., 1986). Dass für spätere Studien und den Gebrauch in der Praxis dünneres Kontaktpapier empfohlen wird, bestätigt auch Anderson (1993). Er verglich die Zuverlässigkeit bei der Erhebung von Okklusionskontakten mit Shim Stock Folie[®] (GHM Hanel-Medizinal) und Kontaktpapier (Accufilm II[®]). Die sehr dünne Shim Stock Folie[®] liegt mit ihren 8 µm unterhalb der Tastbarkeit der dentalen Propriozeptoren und stört dadurch nicht den empfindlichen Kaumechanismus. Die genaue Stärke des Kontaktpapiers (Accufilm II[®]) wird in dieser Studie nicht näher genannt, müsste aber laut Hersteller im aktuellen Programm 2011 bei 21 µm liegen. Anderson empfahl für den klinischen Gebrauch Shim Stock Folie[®], da diese eine größere Verlässlichkeit als Accufilm II[®] aufzeigte und eine standardisierte Technik bei der Befundaufnahme mit festgelegter Kopfhaltung und Tageszeit begünstigte.

Frick (2010) wies darauf hin, dass in der restaurativen Therapie Patienten beim Einschleifen die neuen Restaurationen nicht als belastbare Kaufläche, sondern als zerbrechliche, nicht belastbare Rezeptoroberfläche betrachten und behandeln sollen, da die innerhalb des Parodontalligaments liegenden Mechanosensoren für geringe Kräfte bei einer kraftlosen Berührung am empfindlichsten sind.

Noch mehrere andere Studien haben sich in der Vergangenheit mit der Übertragungsqualität von Kontaktpapier beschäftigt. In einer Studie wurde die Genauigkeit von sechs verschiedenen farbigen Kontaktpapieren photographisch mit den Perforationen von Silikonschlüsseln verglichen (Millstein, 1983). Hierbei wurden Modelle aus Acrylharz in maximaler Interkuspitation in einem Artikulator montiert. Es stellte sich heraus, dass sich bei den verschiedenen Kontaktpapieren eine Variation an Größe und Lage der Kontaktpunkte zeigte und die Silikonperforationen insgesamt weniger waren. Bei einer anderen Untersuchung, bei der Wachsdurchbisse bei Patienten im Mund genommen wurden (Ehrlich und Taicher, 1981) und dann unter Licht verglichen wurden, waren die Ergebnisse stimmig und zeigten die gleichen Impressionen und Perforationen.

Messverfahren zur Erfassung der okklusalen Morphologie mit dem sogenannten photoelastischen Verfahren (Photo-Okklusionsmethode) (Dawson, 1974; Athanasiou et al., 1989; Gianniri et al., 1991) und elektronischen Sensoren (z.B. T-Scan[®]) (Maness et al., 1987 und 1989) waren für ihre Zeit innovativ, führten aber durch ihre dicken Sensoren auch zu einer Hemmung der dentalen Propriozeptoren und einer unbefriedigenden Zuverlässigkeit (Hsu et al., 1992; Harvey et al., 1992). Weitere Studien von 1997 hingegen bescheinigten dem T-Scan[®]-System beim direkten Vergleich der maximalen Interkuspitation bei viermaliger Erfassung innerhalb einzelner Probanden eine Übereinstimmung von 90,3 % (Garrido Garcia et al., 1997) und befanden dieses System als eine einfach zu handhabende Möglichkeit, um okklusale Kontaktpunkte reproduzierbar darzustellen (Gonzales Sequeros et al., 1997). Stern und Kordaß verglichen 2010 das „Greifswald-Digital-Analysing-System“ (GEDAS) mit dem T-Scan-III System[®]. Das GEDAS-System beruht auf einem Durchbissregistrat mit einem extraharten Silikon, welches digital eingescannt und so analysiert werden kann. Das T-Scan-III System[®] hatte dabei 80,5 % Übereinstimmung mit dem GEDAS-System und konnte somit in Grenzen die Genauigkeit des Systems bestätigen.

Vermehrt wurden seit den 90er Jahren auch an elektronischen Registrier- und Artikulatorsystemen gearbeitet, so zum Beispiel das ECRS-System[®] (Freesmeyer und Luckenbach, 1987),

das Cardiax-System[®] (Slavicek, 1988) und der Jaw-Motion-Analyser[®] der Firma Zebris (D-Isny) (Brunner, 1999).

Gärtner (2003) konnte aufzeigen, dass die Reliabilität und Reproduzierbarkeit im virtuellen Artikulator DentCam[®] ausreichend hoch ist, um eine computergestützte Okklusionsanalyse unter Berücksichtigung funktionsanalytischer Komponenten durchzuführen. Er untersucht in seiner Arbeit das 3D-Scannersystem „Laserscan-3D[®]“ (Fa. Willytec München) und das elektronische Bewegungsmesssystem Jaw-Motion-Analyser[®] hinsichtlich deren Eignung zur Verwendung als Datenschnittstelle zum virtuellen Artikulator DentCam[®].

In ihrer Arbeit mit dem Programm 3D BioGeneric-DentVisual[®] zeigte End (2010), „dass der virtuelle Artikulator neben dem mechanischen Artikulator in der Wiedergabe der statischen und dynamischen Okklusionsverhältnisse mindestens als gleichwertig angesehen werden muss. Mit dieser Studie wurde jedoch erneut belegt, dass die Übertragungsgenauigkeit auch unter präzisen Arbeitsweisen nicht die Probandensituation exakt wiedergeben kann. So konnte bezüglich der statischen Okklusion eine 45-prozentige Übertragungsgenauigkeit im mechanischen Artikulator und eine 62-prozentige Übertragungsgenauigkeit im virtuellen Artikulator festgestellt werden. Bezüglich der dynamischen Okklusion ergaben sich eine 36-prozentige Übertragungsgenauigkeit im mechanischen Artikulator und eine 47-prozentige Übertragungsgenauigkeit im virtuellen Artikulator. Somit ist der virtuelle Artikulator nicht nur dem mechanischen Artikulator gleich zu setzen, sondern im Rahmen dieser Studie sogar diesem in der Wiedergabegenauigkeit überlegen.“

Dass die Möglichkeiten der virtuellen Welt mit immer weiter fortschreitenden Techniken und Technologien immer genauer und echtzeitfähiger werden und in Zukunft immer mehr biophysiological Parameter sich in den Virtuellen Artikulator implementieren lassen um der realen Situation so nah wie möglich zu kommen, zeigten Kordaß und Gärtner bereits in ihrem Ausblick 2000.

Die Befundaufnahme 1998 und 2003 wurde von zwei verschiedenen Untersuchern mit unterschiedlicher klinischer Erfahrung durchgeführt. Auch dies kann unter Umständen zu Messfehlern zum Beispiel bei der Erfassung der Okklusionskontakte mit Kontaktpapier oder der Messung der Anzahl an Schmelzrissen führen. Jedoch zeigt eine andere Studie, bei der 3 verschiedene Untersuchende mit verschiedener klinischer Erfahrung an 29 Probanden mittels 40 µm dünnem Kontaktpapier statische und dynamische Okklusionskontakte ermitteln sollten, einen sehr hohen Grad an Reproduzierbarkeit und eine fast perfekte Übereinstimmung (Davies et al., 2005). In

einer weiteren Studie zur Darstellung der Okklusion mit Xantropren[®] als Registrierungsmaterial wurden an einer Gruppe von 9 Probanden mit verschiedenen Behandlern wiederholt an mehreren Tagen Bissregistrat genommen und verglichen. Als Ergebnis zeigte sich kein Unterschied der gewonnenen Daten, obwohl sie durch verschiedene Untersucher erhoben wurden (Battistuzzi et al., 1982).

Ein zusätzliches Problem einer solchen Langzeitstudie über 5 Jahre bestand darin, dass es bei den Probanden in der Zwischenzeit zu konservierenden und prothetischen zahnärztlichen Behandlungen kam, die immer auch Änderungen in der okklusalen Morphologie mit sich brachten. Wünschenswert wäre für zukünftige Studien auf diesem Gebiet, dass nur Probanden untersucht werden, bei denen der zahnärztliche Befund sich in dieser Zeit nicht geändert hat.

4.2.2 Problematik des „Matchens“ der Kauflächen

Bei einem „Matchen“ von Zahnbögen benötigt man eine gleich bleibende anatomische Struktur des Schädels, welche als Referenz und Ausgangspunkt für die digitale Überlagerung dient. Dies ist idealerweise eine knöcherne Struktur des Schädels, welche zum Beispiel mit einem Gesichtsbogen die Position der Kiefer und der Zähne zu dieser Struktur festlegt. Dadurch kann für jeden einzelnen eingescannten Punkt auf der Zahnoberfläche eine definitive und vergleichbare Position im dreidimensionalen Raum beschrieben werden. Zum einen wäre es aber technisch nicht möglich, dies auf den 3D-Laserscanner Micromesure 70[®] zu übertragen, und zum anderen müsste diese Struktur in irgendeiner Weise chirurgisch freigelegt werden, um Messfehler durch die Beweglichkeit und unterschiedliche Dicke des Teguments zu vermeiden.

Eine andere Möglichkeit wären zum Beispiel drei kleine Hilfsimplantate, die zahnnahe in der Kieferstruktur verankert werden und über die Dauer der Untersuchung im Knochen verbleiben. Diese könnten mit abgeformt werden und dann als Matching-Referenz dienen. Solche durchmesserreduzierten Hilfsimplantate werden bereits neben der klassischen Anwendung in der Kieferorthopädie zur Fixierung von Implantatpositionierungsschablonen und dem Schutz von augmentierter und implantierter Regionen erfolgreich verwendet (Stimmelmayer, 2010). Die Verhältnismäßigkeit dieses Vorgehens ist aber natürlich für eine solche Untersuchung nicht gegeben und so musste auf eine andere anatomische Struktur zurückgegriffen werden.

Im Oberkiefer wurden zu Beginn der Untersuchung die Gaumenfalten als anatomische, sich nicht verändernde Referenzstruktur ausgewählt und die digitale Überlagerung mit Hilfe der Surfacer[®]-Software anhand dieser Struktur zunächst ausgeführt. Für den Unterkiefer boten die Gipsmodelle keine entsprechende Struktur, so dass nur die Möglichkeit bestand, wie unter Kapitel 2.4 beschrieben, die gesamte Zahnreihe miteinander zu „matchen“. Dies hat jedoch den Nachteil, dass jede Veränderung der Zahnstellung, Abrasionen etc. im Verlauf der Untersuchungszeit natürlich auch einen Einfluss auf die genaue Überlagerung hatte. Es zeigte sich allerdings im Verlauf der Auswertung der Daten, dass die Methode des Matchens nur mit Hilfe der Zahnreihe dennoch recht genau war.

Die Daten der Oberkieferzahnbewegungen wurden zunächst nur durch ein „Matchen“ der Gaumenfalten ermittelt, dann durch ein „Matchen“ der Zahnreihen und zuletzt durch eine Kombination der Gaumenfalten und der Zahnreihen. Die ermittelten Zahlenwerte waren in allen Fällen fast gleich. Dennoch muss dies kritisch betrachtet werden, da diese Methode auf jeden Fall zu Messfehlern führt und in späteren ähnlichen Untersuchungen knöcherne Referenzstrukturen immer der Vorzug gegeben werden sollte.

Die Beispiele aus 3.3 sollten darstellen, wie hoch die Aussagekraft der Temperaturbilder und somit auch des „Matchens“ war. Veränderungen der Kaufläche und des Okklusalliefs in den 5 Jahren waren auf den Bildern nachweisbar. Als problematisch erwies sich allerdings, dass die Kiefer mit der gesamten Kaufläche gematched wurden. Eine neue Krone wie in Abb. 25 oder eine linguale Fraktur der Zahnwand wie in Abb. 23 flossen mit in die Berechnung des Programms Surfacer[®] ein und verfälschten damit das Ergebnis des „Matchens“. Dies erklärt auch, weswegen es auf einigen Temperaturbildern zu einer scheinbaren Anhebung der Okklusalfäche gekommen war. Erkennbar war dies vor allem an einer Änderung in den bläulichen Farbbereich. Bei diesen Probanden war kein neuer Zahnersatz eingegliedert worden, der für dieses Phänomen verantwortlich gewesen wäre.

Nachteilig für die optische Auswertung der Temperaturbilder waren jedoch die nicht so genaue Einteilung der Farbskala und die schlechtere direkte Vergleichbarkeit der Bilder.

Weiterhin waren bei der kritischen Betrachtung der Arbeit gewisse Fehlerquellen nicht auszuschließen. So konnten geringfügige Kalibrier- und Ablesefehler enthalten sein, da bei der Übertragung der Daten zwischen der Surfacer[®]-Software und SPSS[®]/Microsoft Excel[®] riesige Daten-

bzw. Zahlenwerte aufgrund von Inkompatibilität der Softwareprogramme per Hand sehr aufwendig übertragen werden mussten.

4.3 Veränderungen der SKD

Sowohl bei der aktiven als auch bei der passiven Messung der SKD stellte sich im direkten 5-Jahresvergleich eine Abnahme der Schneidekantendistanz dar. Jedoch nahm die SKD im Tagesverlauf wieder zu. Diese Abnahme lässt sich im Grunde nur mit einer Veränderung im neuromuskulären System erklären. Durch die während des Tages stattfindende natürliche Dehnung und Beanspruchung der Kaumuskulatur kommt es zu einer Vergrößerung der SKD. Bei der ersten Untersuchung 1998 wurde nicht tageszeitabhängig gemessen. Die Werte lagen schon näher an den Werten, die 2003 nachmittags gemessen, aber deutlich höher, als die Werte, die 2003 vormittags ermittelt wurden. Generell lagen die gemessenen SKD-Werte im Mittel zwischen den Untersuchungsergebnissen von Lehmann et al. (2008) mit 40-50 mm und denen von Schwenzer (2000) und Agerberg (1974) mit 54-58 mm. Die Ergebnisse von Solberg (1986) entsprachen denen dieser Studie. Ebenso konnten die tageszeitlichen Schwankungen bei der SKD von Bartels (1999) von 1-2 mm durch unsere Ergebnisse bestätigt werden.

Tschernitschek (1994) zeigte mit einer elektromyographischen Untersuchung an 100 Patienten, dass durch altersbedingte Abbauvorgänge in der Kaumuskulatur die „neuro- und myobiologische Reserve“ deutlich sank. Dies könnte in Teilen die leichte Abnahme der SKD-Werte in den 5 Jahren erklären. Die Untersuchungen von Aniansson et al. (1986) und Maroso (1992) nannten nervale Ab- und Umbauvorgänge und muskuläre Veränderungen als typische Altersmerkmale bei der physiologischen Veränderung der stomatognathen Bewegungsabläufe. Hierzu kam es laut Aniansson durch eine komplexe morphologische und enzymatische Umstrukturierung und auch zu einer „Kraftreduktion“ des M. masseter. Bestätigt wurde die Verringerung der Kontraktionskraft in einer Untersuchung über die Altersveränderungen der Extremitätenmuskulatur durch Tervinen und Calne (1983). Zudem gehören pathologische Zustände zu den typischen Altersmerkmalen und können zu einer Abnahme der SKD führen. In der Studie zur Prävalenz von kranio-mandibulären Dysfunktionen (CMD) (John, 1999) wurde auf die Einschränkung der Unterkieferbeweglichkeit mit wachsendem Alter hingewiesen. Jedoch treten die meisten Beschwerden, die in Zusammenhang mit CMD stehen zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr auf und sind signifikant häufiger bei Frauen anzutreffen (Poveda Roda et al., 2007; Nilsson et al.,

2007). Hormonelle Einflüsse führen bei Frauen zu einem 3- bis 9-fach höheren Risiko, eine CMD zu entwickeln (List et al., 1996; Macfarlane et al., 2002). So zeigten Seneadza et al. (2010), dass bei einer untersuchten Altersgruppe zwischen 73 bis 75 Jahren die Prävalenz für gelenkpezifische CMD relativ gering war und keine größeren geschlechtsspezifischen Unterschiede im höheren Alter festgestellt wurden. Auch jeder prothetische Zahnersatz, der in den 5 Jahren eingegliedert worden ist, kann neuromuskuläre Veränderungen nach sich ziehen (Kühl, 1970) und somit die SKD beeinflussen.

4.4 Veränderungen bei Schmelzrissen

Als signifikant erwies sich in dieser Arbeit die Änderung der Anzahl an Schmelzrissen. Im Frontzahnbereich verdoppelte sich die Anzahl und im Seitenzahnbereich verdreifachte sich diese sogar. Grundsätzlich fanden sich mehr Schmelzrisse im Frontzahnbereich als im Seitenzahnbereich, selbst nach Ablauf der 5 Jahre. Dies bestätigte auch die Studie von Zachrisson et al. (1980).

Schmelzrisse oder Schmelzsprünge, die durch heiße oder kalte Speisen oder durch das Einatmen von kalter Luft verursacht werden, würde man grundsätzlich eher im Frontzahnbereich erwarten, da dort zumeist der erste Kontakt stattfindet. Es war schon lange bekannt, dass vor allem schnelle Temperaturveränderungen Schmelzrisse verursachen können (Bachman et al., 1976; Brown et al., 1972; Lutz et al., 1974). Auch durch externe Traumata verursachte Schmelzrisse müssten im Frontzahnbereich vermehrt auftreten. Järvinen fand sogar bei Patienten mit starkem Frontzahnüberbiss ein erhöhtes Risiko für traumatische Zahnverletzungen (1978), welches die Theorie bestätigt. Da in der Gruppe der Probanden niemand während des Untersuchungszeitraums feststehend kieferorthopädisch behandelt wurde, konnten Schäden durch das Entfernen von Brackets vernachlässigt werden. Interessant in dieser Studie erscheint die starke Zunahme der Risse im Seitenzahnbereich. Dies kann außer durch thermische und traumatische Einflüsse auch durch konservierende oder prothetische Behandlungen der Zähne und Zahn-zu-Zahn Traumata begründet sein. Zachrisson fand in Bezug auf die Lokalisation von Schmelzsprünge besonders viele im Bereich der oberen und unteren mittleren Frontzähne und der ersten Molaren und erklärt dies mit der längsten Expositionszeit im Mund und einer besonders starken Belastungswirkung. Grundsätzlich sollte bei der klinischen Untersuchung Fiber-Optik-Transillumination angewendet

werden, da mit bloßem Auge oder photographisch nicht alle Schmelzrisse erkannt werden können (Göbel, 2003; Zachrisson et al., 1980).

4.5 Anzahl an Okklusionskontakten und „Modifizierte Translation nach Z“

Die Untersuchung ergab einen signifikanten Anstieg an Okklusionskontakten in habitueller Interkuspitation im Untersuchungszeitraum von 5 Jahren. Dies ist durchaus nachvollziehbar, da durch Abrieb und Abnutzung die Kontakte flächiger und zahlenmäßig häufiger werden. Genaue Studien zum Zusammenhang zwischen Okklusion und Abrasion liegen zurzeit nicht vor.

Jedoch beschreibt die Literatur für Schmelz im Durchschnitt zwischen 15 µm und 94 µm Abrieb pro Jahr (Christensen et al., 2000; Ishizaki et al., 2000; Lambrechts 1989).

Dieser Abrieb bedingt einige wichtige Folgen für das stomatognathe System. Mongini (1975) und Owen et al. (1991) beschrieben, dass Abrasionen zu einer Veränderung in der Morphologie der Kondylen und einem Verlust an vertikaler Dimension führen. Luke und Lucas (1983) stellten einen grundsätzlichen Verlust der anatomischen Form der Höcker fest, welcher dadurch eine weniger effiziente Nahrungszerkleinerung nach sich zieht. Bei weiter fortgeschrittenen Abrasionen konnte ein Aufbrechen des Schmelzes und somit eine Freilegung des Dentins beobachtet werden, was wiederum aufgrund der geringeren Härte des Dentins zu einer Beschleunigung des Zahnhartsubstanzverlustes führte (Ingle, 1960). Zudem liegt die Vermutung nahe, dass okklusale Faktoren, hervorgehoben z.B. durch Abrasionen in Kombinationen, möglicherweise eine Bedeutung für kranio-mandibuläre Dysfunktionen haben könnten (John et al., 1998). Die Veröffentlichung von Manfredini (2010) hingegen widersprach der Vorstellung, dass okklusale Faktoren in der Ätiologie von temporomandibulären Dysfunktionen eine kausale Rolle spielen könnten. Paesani (2010) beschrieb zudem, dass Okklusionsstörungen als Ursache und ihre Beseitigung als Therapie von Bruxismus ausgedient haben. Alanen (2012) hingegen kritisierte, dass Schlussfolgerungen, die aus solchen Studien zur ätiologischen Rolle okklusaler Faktoren gezogen werden, haltlos und voreilig sind.

Momentan gibt es nur wenige Studien, die sich mit dem Zahnhartverlust über einen bestimmten Zeitraum befassen. In einer Studie mit australischen Aborigines stellten Molnar et al. (1983) bei 18-Jährigen einen Verlust an Höckerhöhe von durchschnittlich 500 µm fest. Lambrechts et al. (1989) beschrieben 29 µm für Molare und 15 µm für Prämolare in einer Studie mit 21 Probanden

in einem Zeitraum von 48 Monaten. Roulet et al. (1980) fanden 33 μm an Abrasion in 2 Jahren an Unterkiefermolaren.

Pintado et al. (1997) fanden in ihrer 2-Jahres-Studie mit 18 jungen Erwachsenen einen generellen Verlust an Zahnhartsubstanz von 10,7 μm an Tiefe und 0,04 mm^3 an Volumen im ersten Jahr und eine ungefähre Verdopplung dieser Werte nach einem weiteren Jahr. Ihrer Untersuchung zufolge haben besonders die Frontzähne durch Abrieb die meiste Veränderung erfahren. Auch waren die Abriebwerte bei denen in der Studie mit Bruxismus bei der Volumenabnahme signifikant größer. Pigno et al. (2006) bestätigen, dass der größte Substanz- und Volumenverlust bei Bruxismus im Frontzahnbereich stattfindet.

Die Auswertung der „modifizierten“ Translationswerte in der Achsenrichtung Z in dieser Studie sollte ebenso dazu dienen, Abnutzungserscheinungen und Abrasionen an den Zähnen darzustellen. Die Methodik, dabei den Schwerpunkt der einzelnen Zahnpunktewolken in der vertikalen Dimension nach 5 Jahren miteinander zu vergleichen, erschwerte den direkten Vergleich mit den anderen Studien, da bei diesen die reine Zahnoberflächenmorphologie auf Abrasionszeichen verglichen wurde. Die in den Abbildungen 51 und 52 dargestellten Zahlenwerte zwischen 0 und 2,5 mm stellten hierbei keine direkten Zahlenwerte für Abrasionen dar, sondern sollten nur dazu dienen, eine Tendenz für eine Zahnabnutzung zu zeigen.

Es konnte hierbei nicht gezeigt werden, dass die größten Abriebwerte wie bei Pigno et al. (2006) und Pintado et al. (1997) besonders im Frontzahnbereich auftraten. Es zeigten sich zwar auch zum Teil deutlich Veränderungen in der Achsenrichtung Z an einzelnen Frontzähnen, dagegen zeigten mehrere aber keine bis kaum eine Veränderung. Tendenziell konnte aber mit Ausnahme von Zahn 44 die Beobachtung von Lambrechts et al. (1989) bestätigt werden, dass im hinteren Seitenzahnbereich stärkere Abrasionen zu erwarten sind, wie im vorderen Seitenzahnbereich. Es ist aufgrund des Funktionsprinzips des Kiefergelenks und besonders der Geometrie des Schließweges (Nähe zum Rotationszentrum) nachvollziehbar, dass im Molarenbereich durch die dort höher auftretenden Kaukräfte auch stärkere Abrasionen zu erwarten sind (Stumpenhausen, 1997).

Die Vermutung, dass die anfängliche Front- und Eckzahnführung sich im Verlauf der Jahre weiter nach distal verlagert, kann bei jungen Menschen einen verstärkten Zahnhartsubstanzabtrag im Front- und Eckzahnbereich bis hin zum Prämolarenbereich bedingen. Da diese Studie an einer Gruppe an Zahnmedizinstudenten durchgeführt wurde, würde man auch hier altersbedingt eine

ähnliche Abnutzungstendenz erwarten. Es zeigten sich jedoch im zweiten und dritten Quadranten kaum Änderungen im Eck- und Prämolarenbereich.

Pintado et al. (1997) wiesen auch darauf hin, dass Zahnhartsubstanzabtrag an einem Zahn niemals für sich allein beobachtet werden darf, da der Abrieb in einer Region eine neue Kontaktbeziehung in einer anderen Region mit sich bringt und so Schliffacetten eine unregelmäßige, reduzierte oder komplett inaktive Aktivität im Verlauf der Zeit aufweisen können.

Auch durch die im Untersuchungszeitraum konservierend und prothetisch durchgeführten Behandlungen war eine Veränderung der Oberfläche und der Anzahl an Okklusionskontakten zu erwarten und es kam zu einem Eingriff in das natürliche Verschleißmuster. Graf et al. (2001) beschrieben in ihrer in-vitro-Studie die Abrasion von Zahnhartsubstanz und Metalllegierungen nach 200000 Abrasionszyklen mit der von De Gee entwickelten ACTA-Maschine, dass der medianen Abrieb von Gold bei 51 μm , Schmelz bei 61 μm , Dentin bei 165 μm , Variolink bei 81 μm und Harvard bei 352 μm liegt. Ebenfalls mit der ACTA-Maschine gemessen zeigen sich moderne Vollkeramiksysteme verschleißfester als humaner Schmelz oder Dentin (Graf et al., 2002). Ob eine Restauration jedoch im Mittel eher zu einer Zu- oder Abnahme der Kontaktpunktzahl führt, müsste weitergehend untersucht werden. Sicher ist jedoch, dass es durch die Differenz im Verschleißverhalten zwischen Zahnhartsubstanz und Restaurationsmaterial zur Stufenbildung zwischen Zahn und Zahnersatzmaterial und antagonistisch bei sehr verschleißfesten Materialien zu Schädigungen durch übermäßige Abrasionen kommen kann (Graf et al., 2002).

Die Auswertung der Temperaturbilder lässt vermuten, dass beim Einschleifen häufig mehr Zahnhartsubstanz wie nötig abgetragen wird und sich dadurch die Anzahl an Kontaktpunkten reduziert.

Zudem haben Untersuchungen ergeben, dass die Anzahl an Kontaktpunkten bei leichtem Schließen und beim Pressen differiert (Reiber und Müller, 1994). So nahm beim Pressen die Zahl an Kontakten im Mittel von 17 auf 24 pro Kiefer zu. Mit durchschnittlich 13,2 Kontakten im Oberkiefer und 12,55 Kontakten im Unterkiefer lagen in dieser Untersuchung die Werte 1998 im unteren Bereich der Studie von Reiber und Müller. Die hier ermittelten Werte von 2003 mit 20,65 Kontakten im Oberkiefer und 18,4 Kontakten im Unterkiefer liegen deutlich höher. So sollte bei zukünftigen Untersuchungen auch die neuromuskuläre Aktivität gemessen werden, um besser vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Bei stärkerem Kaudruck ist der Anstieg der Anzahl von Kontakten im Frontzahnbereich größer als im Seitenzahnbereich (Riise, 1982; Riise und Ericson, 1983). Bei seinen Studien zeigten sich mehr Kontakte beim festen Zusammenpressen der Zähne als beim leichten Beißen. Auch wurden bei diesen Studien zwischen einer Gruppe Erwachsener

und Jugendlicher unterschieden. Dabei hatte die Gruppe der Erwachsenen eine signifikant kleinere Anzahl an Kontakten bei leichtem Zusammenbeißen wie die Jugendlichen. Bei festem Zusammenpressen der Zähne war kein Unterschied zwischen diesen Gruppen festzustellen.

Der Zunahme an Okklusionskontakten widerspricht jedoch die Studie von Stumpenhausen (1997). Dieser untersuchte die zeitabhängigen, okklusalen Veränderungen während eines Jahres, welche mit Hilfe einer computergestützten Messvorrichtung anhand von enoral hergestellten Silikon-Durchbissregistraten visuell dargestellt und anschließend metrisch ausgewertet wurden.

Damit war es möglich, mittels mathematisch-statistischer Analysen einige Tendenzen nachzuweisen, die sich hauptsächlich auf eine aufgrund des Zeitablaufs abrasiv bedingte Zunahme der Kontaktflächen sowie Abnahme der Kontaktpunktzahl beschränken.

Hierbei muss aber das computergestützte Vermessungssystem kritisch hinterfragt werden. Wenn zum Beispiel aufgrund verfahrensbedingter Messgenauigkeitsschwankungen zwei separierte Kontaktpunkte als ein konfluierender erkannt werden, unterliegt die Gesamtpunktfläche zwar kaum einer Veränderung, die Kontaktpunktzahl nimmt prozentual gesehen jedoch deutlich ab.

Auch die Tageszeit und die psychische Verfassung haben einen Einfluss auf die Okklusion und Okklusionskontakte (Berry und Singh, 1983; Molligoda et al., 1988). Die Aufgabe der zahnärztlichen Prothetik und Funktionstherapie liegt in der Simulation von klinischen okklusalen Verhältnissen auf die Modellokklusion. Eine Vielzahl an Gegebenheiten erschwert allerdings die Reproduktion. So haben im Vergleich zur Modellokklusion die Zahnbeweglichkeit, die elastische Deformation der Kiefer, die Kiefergelenkresilienz und das neuromuskuläre System einen Einfluss auf die Anzahl und Lage der Okklusionskontakte. So belegen experimentelle Studien, dass in den Bereichen mit der größten Genauigkeit die okklusalen Kontakte auf dem Modell nur bis zu 40 % wiedergegeben werden können (Reiber und Trbola, 1993).

Weitgehend ungeklärt sind auch der Einfluss „approximaler Attrition“ und die generelle Mesialwanderungstendenz der Seitenzähne auf Okklusionsveränderungen. Unter „approximaler Attrition“ wird der Zahnhartsubstanzverlust verstanden, der durch direkten Abrieb zweier intakter, benachbarter Zähne zustande kommt und im Durchschnitt 0,02 mm im Jahr beträgt (Geim, 2004; Imfeld, 1996). Da die approximalen Kontaktpunkte im Verlauf des Lebens immer flächiger werden und sich nach apikal verlagern, kann einer Speiseimpaktion durch die parodontale Papillenreduktion vorgebeugt werden (Sauerwein, 1985). Dies muss aber zwangsläufig auch mit einer Veränderung der Okklusion einhergehen.

Auch der Einfluss der Kopfhaltung auf das okklusale Kontaktmuster muss weiterhin diskutiert werden. Dass die Kopfhaltung einen Einfluss auf die Anzahl und Verteilung von Okklusalkontakten hat, zeigt Mohl (1976). Bei einer Studie zum Kontaktmuster bei myozentrischer Okklusion (Remien und Ash, 1974) konnte festgestellt werden, dass bei nach hinten geneigter Kopfposition die Zahl anteriorer Zahnkontakte abnimmt, verbunden mit einer Zunahme posteriorer Kontakte besonders im Molarenbereich. Der Grund hierfür ist, dass sich bei jeder Änderung der Kopfhaltung auch die intermaxilläre Lagebeziehung verändert. Je mehr der Kopf nach anterior geneigt ist, umso kleiner wird die Interokklusaldistanz, und es findet eine leichte Vorverlagerung der Mandibula statt. Je weiter der Kopf nach posterior geneigt ist, steigt die Interokklusaldistanz, und der Unterkiefer nimmt eine retrudierte Position ein. Spijker (2011) empfahl in seiner Studie zur Körperposition und Okklusion, bei größeren okklusalen Rehabilitationen die Registrierung in mehr als nur einer Körperposition durchzuführen, da bei fast allen Probanden Veränderungen in der Führungsform nach Positionsänderung auftraten. Auch beeinflusst die Änderung der Kopfhaltung die Muskelausgangslänge (Hils, 1986). Zum Beispiel verlängern sich die Unterkieferadduktoren bei Rückwärtsneigung des Kopfes, während sich gleichzeitig die Antagonisten verkürzen. Diese Änderungen führen zu einer anderen Muskelkontraktion und haben somit auch Einfluss auf die Okklusion.

Die Studie von Armijo-Olivo et al. (2011) ging der Frage nach, ob Patienten mit alleiniger Myopathie und gemischter Myoarthropathie eine andere Kopfhaltung haben als entsprechende Kontrollprobanden. Die von den CMD-Patienten angegebenen funktionellen Beeinträchtigungen ließen sich jedoch nicht signifikant in einen kausalen Zusammenhang mit der Kopf- und Körperhaltung bringen.

Otsuka et al. (2011) untersuchten mithilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), ob eine Veränderung der Okklusion und damit der Kiefergelenkposition mit emotionalen und/oder neurologischen Prozessen zusammenhängen bzw. Auswirkungen haben auf den emotionalen Zustand. Es konnte gezeigt werden, dass es eine Wechselwirkung zwischen dem „emotion circuit“ (limbisches System) im menschlichen Gehirn und der Okklusion und Kiefergelenkposition gibt. Zudem zeigten Kubo et al. (2007) und Yoshihara et al. (2001) im Tierversuch, anhand erhöhter Cortisolwerte im Urin und Corticosteronwerte im Plasma, dass Okklusionsstörungen die neurophysiologische Funktion des zentralen Nervensystems beeinträchtigen.

5. Schlussfolgerung

Mit jeder konservierenden oder prothetischen Behandlung nimmt der Behandler Einfluss auf die Okklusion. Die Ergebnisse zeigen, dass dabei die Restaurationen zu häufig zu stark eingeschliffen werden. Ein vorsichtiges Vorgehen bei der okklusalen Anpassung sollte gewählt werden, wobei eine Okklusionskontrolle bei unterschiedlicher Kopfneigung erstrebenswert ist.

Besonders zum Gebrauch von möglichst dünnem Okklusionspapier kann dem praktisch tätigen Zahnarzt bei der tägliche Arbeit geraten werden. Dies muss dann unter guter Trockenhaltung der Okklusalfächen geschehen. Zudem muss bei verschiedenen Restaurationsmaterialien auf die unterschiedliche Abzeichnungsfähigkeit des Okklusionspapiers geachtet werden.

Selbst in einem relativ kurzen Zeitraum von fünf Jahren muss bei Patienten mit parafunktionellen Einflüssen auf den Kauflächen der Zähne gerechnet werden. Abrasionen bzw. Hartschubstanzabtrag auf den Kauflächen können in dieser Arbeit nachgewiesen werden.

Ein deutlicher Anstieg an Schmelzrisen ist selbst nach 5 Jahren in der Praxis zu erwarten.

In Bezug auf die Änderung der Anzahl an Okklusionskontakten zeigt diese Studie einen signifikanten Anstieg. Dies sollte kritisch betrachtet werden, da dies der Studie von Stumpfenhausen (1997) widerspricht und weitergehend untersucht werden müsste.

Bisher wird bei der Funktionsanalyse und der Anfertigung von prothetischem Zahnersatz zumeist auf mechanische Simulatoren (Artikulatoren) und Registriersysteme gesetzt. Der Einsatz von virtuellen Artikulatoren jedoch eröffnet neue Möglichkeiten in Planung und Simulation auch komplexer Patientenfälle. Dieser Bereich der digitalen und virtuellen Zahnheilkunde wird sich durch die Forschung immer weiter an die reale Welt annähern und einen immer größeren Einfluss auf alle Gebiete der modernen Zahnmedizin nehmen.

Gleichzeitig aber zeigen die Ergebnisse auch die Schwierigkeit der Übertragung anatomischer Strukturen in die digitale Welt. Eine sinnvolle Registrierung kann nur über knöcherne Strukturen erfolgen und über dreidimensionale radiologische Untersuchungsmethoden.

Besonders aber durch den Tätigkeitsbereich der Implantologie und die 3-D-Behandlungsplanung hat sich in den letzten Jahren auf diesem Gebiet sehr viel getan und es sind auch in den nächsten Jahren rasante Weiterentwicklungen im Bereich der virtuellen Zahnmedizin zu erwarten.

6. Zusammenfassung

In dieser Langzeitstudie über 5 Jahren an einer Gruppe von 20 Zahnmedizinstudenten sollte die Frage beantwortet werden, ob es im Untersuchungszeitraum zu nachweislichen Veränderungen der Okklusaloberfläche kommt. Hierbei wurden bei allen Probanden ein zahnärztlicher Befund und eine genaue Aufzeichnung der Okklusionskontakte auf einem Befundbogen vorgenommen. Die Modelle aus Superhartgips von Anfang und Ende der Studie wurden mit dem 3D-Laser-scanner Micromesure 70[®] digital eingescannt und mit dem Computerprogramm Surfacar 6.0[®] überlagert, so dass sich eine grafische Darstellung der Veränderung der Okklusionsfläche darstellte. Diese digitale Überlagerung sollte zur Ermittlung von Abrasionen und zur grafischen Darstellung von Veränderungen der okklusalen Oberfläche verwendet werden. Es ließ sich eine Veränderung in der „Translationsrichtung Z“ nachweisen, die auf Abrasionen in den 5 Jahren hinweist. Dabei waren mögliche Abrasionen im Oberkiefer besonders im dorsalen Bereich und an dem Zahn 23 nachweisbar, während im Unterkiefer die Oberflächenveränderungen in der Höhe eher ungleichmäßig und verteilt auftraten. Nachteilig zeigte sich in dieser Studie, dass Füllungen, Inlays oder Kronen, die in den 5 Jahren angefertigt wurden, mit in die Berechnungen des Surfacar[®] einfließen und somit die Ergebnisse beeinflussten. Für die Zukunft sollten bei solchen „Matching-Studien“ nur Probanden ausgewählt werden, die konservierend und prothetisch unbehandelt sind.

Die zusätzliche Auswertung der digital überlagerten eingescannten Kiefermodelle mit Hilfe von Temperaturbildern ermöglichte eine grafische Darstellung von okklusalen Veränderungen innerhalb der fünf Jahre. An Hand von Beispielen konnte die Genauigkeit dieser digitalen Überlagerung im direkten Modellvergleich nachgewiesen werden.

Die SKD und die Anzahl an Schmelzsprüngen bei den Probanden wurden ermittelt. Die Ermittlung der Okklusionskontakte war weiterer Bestandteil der Untersuchung.

Die Untersuchung der Schneidekantendistanz ergab eine signifikante Abnahme im 5-Jahresvergleich bei der aktiven als auch eine nichtsignifikante Abnahme bei der passiven Messung, wobei im direkten Tagesvergleich zwischen Vormittag und Nachmittag die SKD wiederum deutlich zunahm. Altersbedingte Abbauvorgänge in der Kaumuskelatur, pathologische Zustände und nervale Ab- und Umbauvorgänge als typische Altersmerkmale wurden als Gründe für die Abnahme der SKD diskutiert.

Die Anzahl an Schmelzrissen nahm innerhalb des Untersuchungszeitraums stark zu. Dabei verdoppelte sich die Anzahl im Frontzahnbereich und verdreifachte sich sogar im Seitenzahnbereich. Temperaturveränderungen, externe Traumata, wie auch Zahn-zu-Zahn Traumata oder kieferorthopädische Apparaturen können hierfür verantwortlich sein. Fiber-Optik-Transillumination sollte bei der klinischen Untersuchung von Schmelzrissen angewendet werden.

Die Anzahl an Okklusionspunkten hat sich in allen Fällen über den Untersuchungszeitraum der 5 Jahre signifikant erhöht. Besonders im Seitenzahnbereich vergrößerte sich die Anzahl an Okklusionspunkten um ca. 57 %. Die gemessene Anzahl im Frontzahnbereich vergrößerte sich im Oberkiefer um 35,5 % und im Unterkiefer um 22,67 %. Da die Tageszeit und die psychische Verfassung, genau wie die Kopf- und Körperhaltung einen Einfluss auf die Okklusion haben, sollte dies im klinischen Alltag unbedingt beachtet werden. Die unterschiedliche Abzeichnungsfähigkeit des Okklusionspapiers auf verschiedenen Restaurationmaterialien gilt es zu berücksichtigen. Des Weiteren sollten die Zahnoberflächen möglichst speichelfrei sein und dünnes Okklusionspapier sollte Verwendung finden.

7. Literaturverzeichnis

Abejean J, Korbendau JM. Okklusion, Klinische Aspekte und therapeutische Richtlinien. Berlin: Quintessenz, 1979: 25-31

Agerberg G. Maximal mandibular movement in young men and women. *Svensk Tandläk Tidsskr* 1974; 67: 81

Ahlers MO, Biffar R, Bumann A, Freesmeyer WB, Fuchs B, Hugger A, Kordaß B, Klett R, Koeck B, Meyer G, Ottl P, Seeher WD, Schindler HJ, Türp JC. Terminologie der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (AFDT) und der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW). Bad Homburg, 2005

Ahlers MJ, Jakstat HA. Klinische Funktionsanalyse: interdisziplinäres Vorgehen mit optimierten Befundbögen. Hamburg: Denta Concept, 2001

Ahlgren J. Bruxism and hypertrophy of the masseter muscle. *Pract otorhino-laryng* 1969; 31: 22

Alanen P, Kirveskari P. Occlusion, evidence and causality – etiology of temporomandibular disorders. *J CranioMand Func* 2012; 4: 9-19

Anderson GC, Schulte JK, Aepli DM. Reliability of the evaluation of occlusal contacts in the intercuspal position. *J Prosthet Dent* 1993; 70: 319-320

Aniansson A, Hedberg M, Henning GB, Grimby G. Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: a follow-up study. *Muscle Nerv* 1986; 9: 585

Armijo Olivo S, Rappoport K, Fuentes J, Gadotti IC, Major PW, Warren S, Thie NM, Magee DJ. Head and cervical posture in patients with temporomandibular disorders. *J Orofac Pain* 2011; 25: 199-209

Athanasiou AE, Melsen B, Kimmel P. Occlusal tooth contacts in natural normal adult dentition in centric occlusion studied by photocclusion technique. *Scan J Dent Res* 1989; 97: 439-445

Bachmann A, Lutz F. Schmelzsprünge durch die Sensibilitätsprobe mit CO₂-Schnee und Dichlormethan, eine vergleichende In-vivo-Untersuchung. Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 1976; 86: 1042-1059

Bartels AR. Der Mundöffnungswinkel in Abhängigkeit zur Schneidekantendistanz unter Berücksichtigung anthropometrischer Werte. Med Diss Uni Hamburg, 1999

Battistuzzi PG, Eschen S, Peer PG. Contacts in maximal occlusion. J Oral Rehabil 1982; 9: 499-507

Beck H, Kraft E. Untersuchung zur Frage der Masseterhypertrophie. Stoma 1959; 12: 14

Berry DC, Singh BP. Daily variations in occlusal contacts. J Prosthet Dent 1983; 50: 386-391

Bock JJ. The Helkimo-Index as an instrument of clinical functional analysis in orthognathic surgery. Int Poster J Dent Oral Med 2003; 4: Poster 201

Braumann B, Keilig L, Bourauel C, Jäger A. Three-dimensional analysis of morphological changes in the maxilla of patients with cleft lip and palate. Cleft Palate Craniofac J 2002; 39: 1-11

Brown WS, Jacobs HR, Thompson RE. Thermal fatigue in teeth. J Dent Res 1972; 51: 461-467

Brunner W. Informationsbroschüre Zebris JMA-System, Isny, 1999

Carlsson GE, Kopp S, Öberg T. Arthritis und verwandte Krankheiten des Kiefergelenks. Grundlagen und Praxis von Diagnose und Therapie. Berlin: Quintessenz, 1985

Christensen RP, Smith SL, Aina TC. Quantifying Wear in Human Adult Teeth, in vivo-2 Year Report. J Dent Res 2000; 79: 543

Davies S, Al-Ani Z, Jeremiah H, Winston D, Smith P. Reliability of recording static and dynamic occlusal contact marks using transparent acetat sheet. *J Prosthet Dent* 2005; 94: 458-461

Dawson PE, Arcan M. Attaining harmonic occlusion through visualized strain analysis. *J Prosthet Dent* 1981; 46: 615-622

Dawson PE. Evaluation, diagnosis and treatment of occlusal problems. St. Louis: C.V. Mosby Co., 1974

De Boever JA. Funktionelle Störungen des Kiefergelenks. Physiologie und Pathologie des Kiefergelenks. Grundlagen und Praxis von Diagnose und Therapie. Berlin: Quintessenz, 1985

Decker M. Untersuchung zur Erosion des Zahnschmelzes durch saure Genussmittel. Med Diss Uni Jena, 2009: 16-17

Dotto CA, Carranza FA, Cabrini RL, Itoiz ME. Vascular changes in experimental trauma from occlusion. *J Periodontol* 1967; 38: 183-188

Drum W. Klassifikationen von Parafunktionen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1962; 17: 411

Ehrlich J, Taicher S. Intercuspal contacts of the natural dentition in centric occlusion. *J Prosthet Dent* 1981; 45: 419-421

End E. Statische und dynamische Okklusionstheorien. Untersuchung zu bestehenden Theorien, Vorkommen im natürlichen Gebiss und deren Anwendung im Artikulator. Med Diss Uni München, 2010: 16-66

Exarchou F. Gewebespezifische Befunde der Struktur und Funktion bei Kiefergelenken jugendlicher Personen und ihr Zusammenhang mit der bestehenden Okklusion. Med Diss Uni Berlin, 2010: 12-13

Freesmeyer WB, Luckenbach A. ECR-System-Analyse der Zusammenhänge zwischen anteriorer und posteriorer Führung. Dtsch Zahnärztl Z 1987; 42: 17-22

Frick K. Cognitive strategy in the stomatognathic organ. J CranioMand Func 2010; 2: 139-148

Geim CJF. Untersuchung auf approximale Attrition bei kieferorthopädisch behandelten Jugendlichen. Med Diss Uni Marburg an der Lahn, 2004

Garrido Garcia VC, Garcia Cartagena A, Gonzalez Sequeros O. Evaluation of occlusal contacts in maximum intercuspation using the T-Scan system. J Oral Rehabil 1997; 24: 899-903

Gärtner C. Der Virtuelle Artikulator „Dent Cam“ Evaluation und Konzepte zur praktischen Realisierung, Med Diss Uni Greifswald, 2003: 69,57

Gazit E, Fitzig S, Lieberman MA. Reproducibility of occlusal marking techniques. J Prosthet Dent 1986; 55: 505-509

Gerber A. Okklusion und Kiefergelenk. Zürich: Kursschrift Berienthaus, 1973: 20

Gianniri AI, Melsen B, Nielsen L, Athanasiou AE. Occlusal contacts in maximum intercuspation and craniomandibular dysfunction in 16- to 17-year-old adolescents. J Oral Rehabil 1991; 18: 49-59

Gibbs CH, Lundee HC. Jaw movement and forces during chewing and swallowing and their clinical significance. In: Lundeen HC, Gibbs CH, Hrsg. Advances in occlusion. Boston: John Wright-PSG Inc, 1982; 2-32

Glaros AG, Rao SM. Effects of bruxism: a review of the literature. J Prosthet Dent 1977; 38: 149

Glickmann J, Smulow JB. Effect of excessive occlusal forces upon the pathway of gingival inflammation in humans. J Periodontol 1965; 36: 51,141

Göbel M. In-vitro-Untersuchung kieferorthopädischer Haftverbundsysteme mit Scher- und Zugkräften unter dem Aspekt standardisierter Prüfverfahren. Med Diss Uni Freiburg i. Br., 2003: 35

Gonzalez Sequeros O, Garrido Garcia VC, Garcia Cartagena A. Study of occlusal contact variability within individuals in a position of maximum intercuspation using the T-SCAN system. J Oral Rehabil 1997; 24: 287-290

Graf H. Neuromuskuläre Norm und neuromuskuläre Störung, in Okklusion und Kiefergelenk. Bern: Kursschr SSO Fortbildungskurs, 1973

Graf K, Müller FX, Rammelsberg P. In-vitro-Untersuchungen zur Drei-Medien-Abrasion von Zahnhartsubstanz und dentalen Keramiken. Dtsch Zahnärztl Z 2002; 57: 599-601

Graf K, Rammelsberg A, Mehl A, Kunzelmann K-H. In-vitro-Untersuchung zur Drei-Medien-Abrasion von Zahnhartsubstanz und Metalllegierungen. Dtsch Zahnärztl Z 2001; 56: 495-500

Guichet NF. Innere Kiefergelenkstörungen und die Bedeutung einer richtigen Diagnose. Philipp J 1985; 5: 27

Harvey WL, Osborne JW, Hatch RA. A preliminary test of the replicability of a computerized occlusal analysis system. J Prosthet Dent 1992; 67: 697-700

Helfgen EH. Zur Ätiologie keilförmiger Defekte. Dtsch Zahnärztl Z 2001; 56: 273-275

Helfgen EH. Untersuchungen zur maximalen Mundöffnung und Unterkieferdeviationen. Med Diss Uni Bonn, 1987

Helfgen EH. Funktionsmorphologische Zusammenhänge im stomatognathen System. Metrische Vergleiche an 109 knöchernen Schädeln. Dtsch Zahnärztl Z 1994; 49: 473-476

Hickel R. Forschungsbericht Zahnabration: Zahnabration und beruflich bedingte Einflüsse bei Steinbrucharbeiten. Sankt Augustin: Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, 1989

Hils E. Die Anwendung des Myo- Monitors zur Registrierung der Okklusionskontakte. Eine vergleichende Studie zwischen habitueller und myozentrischer Okklusion. Med Diss Uni Tübingen, 1986: 60-62

Hirata Y, Yamamoto T, Kawagoe T. Relationship between occlusal contact pattern and non-carious cervical lesions among male adults. J Stomatol Occ Med 2010; 3: 10-14

Hirsch C, John M, Lobbezoo F, Setz JM, Schaller HG. Incisal tooth wear and self-reported TMD pain in children and adolescents. Int J Prosthodont 2004; 17: 205-210

Howat A, Capp N, Barrett V. Farbatlas der Okklusion und Malokklusion. London: Schlütersche Verlagsanstalt, 1992: 10

Hsu M, Palla S, Gallo LM. Sensitivity and reliability of the T-Scan System for occlusal analysis. J Craniomandib Disord Facial Oral Pain 1992; 6: 17-23

Imfeld T. Dental erosions. Definition, classification and links. Eur J Oral Sci 1996; 104: 151-155

Ingle JJ. Alveolar osteoporosis and pulpal death associated with compulsive bruxism. Oral Surg 1960; 13: 1371-1381

Ishizaki H, Fukushima M, Makino H, Iwaku M. Relationship between occlusal force and enamel wear in caries-free dentition. J Dent Res 2000; 79: 543

Jahn AK. Bruxismus und Parafunktion- Eine weiterführende Metaanalyse von 1984 bis zum heutigen Stand. Med Diss Uni Würzburg, 2010: 4

Jankelson B, Hoffman GM, Hendron JA. The physiology of the stomatognathic system, J Am Dent Assoc 1953; 46: 375

John MT, Frank H, Lobbezoo F, Drangsholt M, Dette KE. No association between incisal tooth wear and temporomandibular disorders. J Prosthet Dent 2002; 87: 197-203

John M. Prävalenz von kranio- und mandibulären Dysfunktionen. Dtsch Zahnärztl Z 1999; 54: 306

John M, Zwijnenburg A, Reiber T, Haerting J. Okklusale Faktoren bei Patienten mit kranio- und mandibulären Dysfunktionen (CMD) und symptomfreien Probanden. Dtsch Zahnärztl Z 1998; 53: 670-673

Kahl-Nieke B. Einführung in die Kieferorthopädie. München: Urban und Fischer, 2001: 6-7

Keilig L, Piesche K, Jäger A, Bourauel C. Applications of surface-surface matching algorithms for determination of orthodontic tooth movements. Comput Methods Biomech Biomed Engin 2003; 6: 353-359

Klett R. Einfluss des sagittalen Kiefergelenksspiels auf die Okklusion. Dtsch Zahnärztl Z 1994; 36: 462

Koeck B. Instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: Hupfaut L, Hrsg. Praxis der Zahnheilkunde 8, Funktionsstörungen des Kauorgans. München: Urban und Schwarzenberg, 1989: 126-127

Kordaß B, Gärtner C. Der „Virtuelle Artikulator“ - Chancen und Einsatzmöglichkeiten der virtuellen Realität in der Zahntechnik. Quintessenz Zahntech 2000; 26: 686-692

Kubo KY, Yamada Y. Occlusal disharmony induces spatial memory impairment and hippocampal neuron degeneration via stress in SAMP8 mice. Neurosci Lett 2007; 414: 188-191

Kühl W. Okklusion und Artikulation in der Totalprothetik. Dtsch Zahnärztl Z 1970; 25: 218-222

Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Quantitative in vivo wear of human enamel. *J Dent Res* 1989; 68: 1752-1754

Lampe M. Untersuchung zur Oberflächenrauigkeit von Zähnen mit Abrasionen und keilförmigen Defekten. *Med Diss Uni Bonn*, 1988

Lehmann KM, Hellwig E, Wenz HJ. Zahnärztliche Propädeutik. Einführung in die Zahnheilkunde. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag, 2008: 77

Lindquist B. Bruxism in children. *Odont Revy* 1971; 22: 413

List T, Dworkin SF. Comparing TMD diagnoses and clinical findings at Swedish and US TMD centers using research diagnostic criteria for temporomandibular disorders. *J Orofac Pain* 1996; 10: 240-253

Lotzmann U. Die Prinzipien der Okklusion. Grundwissen für Zahntechniker. München: Dental Labor Fachbuch Reihe, 1985: 18

Lückerath W, Helfgen EH. Untersuchung zur transversalen Bewegungskapazität des Kiefergelenkes. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991; 46: 197-200

Luke DA, Lucas PW. The significans of cusp. *J Oral Rehabil* 1983; 10: 197-206

Lutz F, Mörmann W, Lutz T. Schmelzsprünge durch die Vitalitätsprobe mit Kohlesäureschnee? *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 1974; 84: 709-725

Lyons K. Aetiology of abfraction lesions. *N Z Dent J* 2001; 97: 93-98

Macfarlane TV, Blinkhorn AS, Davies RM, Kincey J. Association between female hormonal factors and oro-facial pain: study in the community. *Pain* 2002, 97: 5-10

Maness WL, Benjamin M, Podoloff R, Bobick A, Golden R. Computerized occlusal analysis: a new technology. *Quintessence Int* 1987; 18: 287-292

Maness WL, Podoloff R. Distribution of occlusal contacts in maximum intercuspation. *J Prosthet Dent* 1989; 62: 238-242

Manfredini D. Current concepts on temporomandibular disorders. London: Quintessence Publishing, 2010

Maroso EJ. Physiologie des Alterns. In: Holm PP, Loe H, Hrsg. Zahnärztliche Betreuung älterer Menschen. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 1992

Millstein PL. An evaluation of occlusal contact marking indicators: A descriptive qualitative method. *Quintessence Int* 1983; 14: 813-836

Mohl ND. Head posture and its role in occlusion. *NY State Dent J* 1976; 42: 17-23

Molin C, Levi L. A psycho-odontologic investigation of patients with bruxism. *Acta Odontol Scand* 1966; 24: 373

Molligoda MA, Abuzar M, Berry DC. Measuring diurnal variation in the dispersion of occlusal contacts. *J Prosthet Dent* 1988; 60: 235-238

Molnar L. Abkauungserscheinungen an den natürlichen Zähnen und ihre Nutzbarmachung für die Formgestaltung künstlicher Zähne. *Z Stomat* 1939; 37: 124

Molnar S, McKee JK, Molnar IM, Przybeck TR. Tooth wear rates among contemporary Australian aborigines. *J Dent Res* 1983; 62: 562-565

Mongini F. Dental abrasion as a factor in remodeling of the mandibular condyle. *Acta Anat* 1975; 92: 292-300

Mühlemann HR, Herzog H, Vogel A. Occlusal trauma and toothmobility. Schweiz Mschr Zahnheilk 1956; 66: 527

Müller W. Der Weichteilrheumatismus. Begriffsbestimmung, Epidemiologie, Ätiopathogenese und Therapie als Überblick. Fortbil. K. Rheumatol. Vol. 1. Basel: Karger, 1971: 1-17

Nilsson IM, List T, Drangsholt M. Incidence and temporal pattern of temporomandibular disorders pain among Swedish adolescents. J Orofac Pain 2007; 21: 127-132

Okeson JP. Management of temporomandibular disorders and occlusion. 2nd ed. St. Louis: CV Mosby, 1989: 500-525

Otsuka T, Sasaguri K, Watanabe K. Influence of the TMJ position on limbic system activation-an fMRI study. J CranioMand Func 2011; 3: 29-39

Owen CP, Wilding RJ, Morris AG. Changes in mandibular condyle morphology related to tooth wear in a prehistoric human population. Arch Oral Biol 1991; 36: 799-804

Paesani DA. Bruxism - Theory and Practice. Berlin: Quintessenz Verlag, 2010

Panek H, Matthews T, Nowakowska D. Dynamic occlusions in natural permanent dentitions. Quintessence Int 2008; 39: 337-342

Payne EV, Lundeen HC. Die Aufwachstechnik. In: Theoretische Grundlagen und Praxis. Schulz HH, Hrsg. München: Neuer Merkur Verlag, 1974

Peroz I. Differenzierung temporomandibulärer Funktionsstörungen anhand anamnestischer und klinischer Befunde. Dtsch Zahnärztl Zeitung 1997; 52: 299-304

Pigno MA, Hatch JP, Rodriguez-Garcia RC, Sakai S, Rugh JD. Severity, distribution, and correlates of occlusal tooth wear in a sample of Mexican-American and European-American adults. Int J Prosthodont 2001; 14: 65-70

Pintado MR, Anderson GC, DeLong R, Douglas WH. Variation in tooth wear in young adults over a two-year period. *J Prosthet Dent* 1997; 77: 313-320

Poveda Roda R, Bagan JV, Diaz Fernandez JM, Hernandez Bazan S, Jimenez Soriano Y. Review of temporomandibular joint pathology. Part I: classification, epidemiology and risk factors. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2007; 12: 292-298

Ramfjord SP, Ash M. *Occlusion*. Philadelphia: Saunders, 1983

Ramfjord SP. Ist das Aufzeichnen von Kieferbewegungen wirklich notwendig? Registrierung der Unterkieferbewegung. Berlin: Quintessenz, 1982

Ramfjord SP. Dysfunctional temporomandibular joint and muscle pain. *J Prosthet Dent* 1961; 11: 353

Ramfjord SP. Bruxism a clinical and electromyographic study. *J Amer Dent Ass* 1961; 62: 21

Reiber TH, Müller F. Klinische Untersuchung zur statischen Okklusion. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49: 363-366

Reiber TH, Trbola U. Vergleich der klinischen Okklusion und der Modellokklusion. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993; 48: 170-173

Reitemeier B, Schwentzer N, Ehrenfeld M. *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde, Einführung in die Zahnmedizin*. Stuttgart: Thieme Verlag, 2006: 102-103

Remien JD, Ash M. Myo-monitor Centric: An Evaluation. *J Prosth Dent* 1974; 31: 137-145

Riise C. A clinical study of the distribution of occlusal tooth contacts in the intercuspal position at light and hard pressure. *J Oral Rehabil* 1982; 9: 469-477

Riise C, Ericson SG. A clinical study of the distribution of occlusal tooth contacts in the intercuspal position at light and hard pressure in adults. *J Oral Rehabil* 1983; 10: 473-480

Rix D, Foley TF, Mamandras A. Comparison of bond strength of three adhesives: composite resin, hybrid GIC, and glass-filled GIC. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001; 119: 36-42

Roulet JF, Mettler P, Friedrich U. Ein klinischer Vergleich dreier Komposits mit Amalgam für Klasse-II-Füllungen unter besonderer Berücksichtigung der Abrasion: Resultate nach 2 Jahren. *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 1980; 90: 18-30

Sauerwein E. Entwicklung und Aufgaben der Zahnerhaltung. *Zahnerhaltungskunde: Karietherapie-Endodontie-Parodontologie, eine Einführung*. Stuttgart: Thieme, 1985

Schärer P. Bruxism. In: Kawamura Y, Hrsg. *Physiology of Mastication*, Vol. 1 (Frontiers of Oral Physiology). Basel: Karger, 1974: 293-322

Schareyka-Fussan S, Schmidt H, Schulte W. The excessive grinding surface as a pathogenetic cofactor in dentitions with periodontal disease. *Dtsch Zahnärztl Z* 1976; 31: 414-417

Schmuth G. *Kieferorthopädie I, Praxis der Zahnheilkunde 11*. München: Urban und Schwarzenberger, 1990: 44

Schulte W. *Die exzentrische Okklusion. Folgeschäden im stomatognathen System, Diagnose, Therapie, Prophylaxe*. Berlin: Quintessenz Verlag, 1983

Schulyer CH. The function and importance of incisal guidance in oral rehabilitation. *J Prosthet Dent* 1963; 13: 1011-1021

Schwenzer N. *Zahnärztliche Chirurgie Lehrbuch*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2000: 279

Seneadza V, Balke Z, Schröder J. Prevalence of arthrogenetic temporomandibular disorders in the elderly. *J CranioMand Func* 2010; 2: 205-215

Slavicek R. Clinical and instrumental functional analysis for diagnosis and treatment planning. Part VII. *J Clin Orthod* 1988; 22: 776-782

Solberg WK. Temporomandibular disorders: physical tests in diagnosis. *Br Dent J* 1986; 160: 273

Spijker A, Creugers NH, Bonkhorst EM, Kreulen CM. Body position and occlusal contacts in lateral excursion: a pilot study. *Int J Prosthodont* 2011; 24: 133-136

Steinhardt G, Gerber A. Die Bedeutung von Strukturveränderungen in den Kiefergelenken für den Zahnarzt. Okklusion und Kiefergelenk. Bern: Kursschr. SSO Fortbildungskurs, 1973

Stelzenmüller W, Wiesner J. Therapie von Kiefergelenkschmerzen, Ein Behandlungskonzept für Zahnärzte, Kieferorthopäden und Physiotherapeuten. Stuttgart: Thieme Verlag, 2010: 72-75

Stern K, Kordaß B. Comparison of the Greifswald Digital Analysing System with the T-Scan-III with respect to clinical reproducibility for displaying occlusal contacts. *J CranioMand Func* 2010; 2: 107-119

Stimmelmayer M. Durchmesserreduzierte Implantate als kieferorthopädische und provisorisch-prothetische Verankerungselemente: Fallberichte. *Z Zahnärztl Impl* 2010; 26

Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M. Curriculum Prothetik Band I, Einführende anatomisch-prothetische Grundlagen. Berlin: Quintessenz, 1994: 142-143

Stumpfenhausen M. Klinisch-experimentelle Langzeitstudie zur metrischen Analyse habitueller Okklusionskontakte. *Med Diss Uni München*, 1997

Suckert R. Okklusionskonzepte 1992, München: Neuer Merkur Verlag, 1992: 43-48

Tervinen H, Calne DB. Motor system in normal aging and Parkinson`s disease. In: Katzman R, Terry R, Hrsg. *The neurology of aging*. Philadelphia: F.A. Davis Company, 1983

Thomas PK. Syllabus on full mouth waxing technique for rehabilitation. Tooth to tooth, cusp to fossa concepts. San Francisco: UCS Postgraduate Education, 1965

Tsetsilas MS. Klinische und experimentelle Studie zur Effektivität des Transpalatinalbogens. Med Diss Uni Bonn, 2010

Tschernitschek H. Der Einfluß von Alter und Zahnersatz auf die stomatognathen Bewegungen. Dtsch Zahnärztl Z 1994; 49: 174-176

Walker BN, Makinson OF. Enamel cracks. The role of enamel lamellae in caries initiation. Australian Dental Journal 1998; 43: 110-116

Weber JM. Vergleichende Untersuchungen von Abrasion und Attrition an menschlich-historischen Kiefern. Med Diss Uni Frankfurt am Main, 2007

Willems G, Lambrechts P, Braem M Vanherle G. Three year follow-up of five posterior composites: in vivo wear. J Dent 1993; 21: 74

Yoshihara T, Matsumoto Y, Ogura T. Occlusal disharmony affects plasma corticosterone and hypothalamic noradrenalin release in rats. J Dent Res 2001; 80: 2089-2092

Zachrisson BU, Skogan O, Hoymyhr S. Enamel cracks in debonded, debanded and orthodontically untreated teeth. Am J Orthod 1980; 77: 307-319

8. Danksagung

- Meinem Doktorvater, Herrn Priv. Doz. Dr. med. dent. E.-H. Helfgen, für die Überlassung des Themas, für die intensive Unterstützung und die fachliche und geduldige Betreuung bei der Erstellung dieser Arbeit.
- Herrn Prof. Dr. rer. nat. C. P. Bourauel und Dr. rer. nat. Ludger Keilig für die vorbildliche Unterstützung und Hilfe bei der Umsetzung der Versuche.
- Meinem Vater StD Wolf-Dieter Raudsep für das Korrekturlesen.
- Frau Schiermeyer-Dunkhase und Frau Butz, die mir jederzeit den Zugang zur Bibliothek der Zahnklinik Bonn ermöglichten.