

**Untersuchung zur Reproduzierbarkeit von Funktionsabformungen
im Oberkiefer mittels optischer 3D-Analyse**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereichs der Humanmedizin

der Justus-Liebig- Universität Gießen

vorgelegt von: Cantzler, Eva Maria

aus : Gießen

Gießen 2005

Untersuchung zur Reproduzierbarkeit von Funktionsabformungen im Oberkiefer mittels optischer 3D-Analyse

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereichs der Humanmedizin

der Justus-Liebig- Universität Gießen

vorgelegt von: Cantzler, Eva Maria

aus : Gießen

Gießen 2005

Abteilung Zahnärztliche Prothetik
des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen
Direktor: Prof. Dr. P. Ferger

Gutachter: Prof. Dr. P. Ferger

Gutachter: Prof. Dr. H.-J. Oehmke

Betreuer : Prof. Dr. P. Ferger / Dr. M. Balkenhol

Tag der Disputation: 24.05.2006

Meinem Großvater Karl Josef Cantzler

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	6
2	LITERATUR.....	7
3	ZIEL DER STUDIE.....	12
4	MATERIAL UND METHODE	13
	4.1 Abformlöffel für die Funktionsabformung und Abformmaterial.....	13
	4.2 Die Funktionsabformung.....	15
	4.3 Die dreidimensionale Vermessung der Funktionsabformung und Datenverarbeitung	18
	4.4 Statistische Methode	27
5	ERGEBNISSE	29
	5.1 Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen innerhalb der 3 Gruppen.....	29
	5.1.1 Kontrollgruppe.....	29
	5.1.2 Die Gruppe mit längerer Mundverweildauer.....	34
	5.1.3 Die Gruppe mit doppelter Menge an Abformmaterial	38
	5.1.4 Einfluss der Mundverweildauer und der Materialmenge auf die Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen.....	42
	5.2 Einfluss von Materialmenge und Mundverweildauer im Vergleich zur Kontrollgruppe	44
	5.2.1 Graphische Darstellung des Vergleichs der Kontrollgruppe mit den Abformungen mit längerer Mundverweildauer	46
	5.2.2 Graphische Darstellung des Vergleichs der Kontrollgruppe mit den Abformungen mit doppelter Menge an Abformmaterial	49
6	DISKUSSION	52
7	ZUSAMMENFASSUNG	56

8 SUMMARY..... 58

9 LITERATURVERZEICHNIS 60

10 ANHANGFEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

11 ERKLÄRUNGFEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

12 LEBENSLAUFFEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

1 Einleitung

Ziel der Versorgung eines zahnlosen Patienten mit einer Totalprothese ist die Wiederherstellung der Kau – und Sprachfunktion sowie auch des ästhetischen Erscheinungsbildes [17, 27, 33].

Um das zu ermöglichen, ist neben einer störungsfreien Okklusion (Aufeinandertreffen der Zähne beim Schließen des Mundes) und Artikulation (Aufeinandertreffen der Zähne während der Funktion) in korrekter Bisshöhe, der Halt der Prothese von entscheidender Bedeutung. Da eine Totalprothese keine Verankerungselemente hat, die sie fest mit dem zahnlosen Kieferkamm verbinden, müssen hier andere Mechanismen zum Tragen kommen.

Zwischen Prothese und Prothesenlager besteht ein mit Speichel gefüllter Spalt, wobei Adhäsionskräfte an den Grenzflächen Prothese – Speichel und Schleimhaut – Speichel wirken und Kohäsions- und Kapillarkräfte innerhalb des Speichelfilms wirksam werden. Es entsteht eine Art „Saugeffekt“, der dafür sorgt, dass die Prothese auf dem zahnlosen Kieferkamm fixiert wird. Dieser „Saugeffekt“ kann allerdings nur zu Stande kommen, wenn der Rand der Prothese so gestaltet ist, dass ein Abdichten durch die Schleimhaut am Prothesenrand möglich ist. So entsteht bei Abzug der Prothese ein Unterdruck [2, 6, 15, 17, 27, 32, 33].

In diesem Zusammenhang wurde der Ausdruck „Ventilrand“ geprägt [21, 26, 33]. Um den Ventilrand der Prothese korrekt zu gestalten, wird das Prothesenlager abgeformt, während der Patient funktionelle Bewegungen (z.B. Kauen, Sprechen, Schlucken,...) ausführt. Diese Art der Abformung nennt man Funktionsabformung. So ist für den Ventilrand auch die häufiger verwendete Bezeichnung „Funktionsrand“ entstanden [4, 6, 21].

Ziel der Funktionsabformung ist es, dass durch Kontraktionen der Kaumusculatur und der angrenzenden mimischen Muskulatur das Abformmaterial so geformt wird, dass sich der spätere Rand der Prothese störungsfrei in die umgebende Schleimhaut einlagern kann.

Eine große Anzahl von Muskeln ist an der Ausformung des Funktionsrandes der Prothese beteiligt. Zu erwähnen ist hier die Ringmuskulatur der Lippe, der M. orbicularis oris und die Muskelgrundlage der Wange der M. buccinator. Die Muskelfasern beider Muskeln durchkreuzen sich im Bereich einer kleinen Sehnenplatte distal des Mundwinkels. Hierhin zieht auch der M. depressor anguli oris, M. risorius, M. zygomaticus major und der M. levator anguli oris. Dieser Wangenmuskelknoten wird auch als Modiolus bezeichnet. Weiterhin sind die Mm. Incisivi von Bedeutung, die an der Oraleseite des M. orbicularis oris verlaufen. In der Medianen bildet die Schleimhaut das Lippenbänd-

chen (Frenulum labiale) und in der Region der Prämolaren die Wangenbändchen (Frenula buccalia). Die mimische Muskulatur wird über Äste des N. facialis motorisch innerviert [1, 30, 31].

Der Funktionsrand, der durch Kontraktionen der eben erwähnten Muskulatur geformt wird, darf weder unterdimensioniert sein, da so eine Abdichtung der Prothese gegenüber der Mundhöhle nicht möglich wäre, noch darf er überdimensioniert sein, da die Prothese sonst aktiv durch die Muskulatur abgehebelt würde.

Da der Funktionsrand durch funktionelle Bewegungen des Patienten gestaltet wird und anzunehmen ist, dass der Patient bei Wiederholung der Abformung nicht genau die gleichen Funktionsbewegungen durchführt, stellt sich die Frage in welchem Maße der auf diese Weise gestaltete Funktionsrand reproduzierbar ist. Ferner ist nicht hinreichend bekannt, welche Materialimmanenten oder verfahrenstechnischen Faktoren gegebenenfalls darauf Einfluss nehmen. In Frage kommt hier etwa die Dauer der Funktionsabformung oder die Menge des zur Abformung herangezogenen Abformmaterials.

Die Frage, ob die Funktionsabformung reproduzierbar ist, ist auch hinsichtlich der Beurteilung eines Funktionsrandes eines bereits eingegliederten Zahnersatzes von Bedeutung. Die Beurteilung des Funktionsrandes einer Totalprothese, zum Beispiel im Rahmen von Gutachten bei Arzthaftungsprozessen, ist nur dann sinnvoll, wenn man davon ausgehen kann, dass die Funktionsabformung während der Herstellung einer Totalprothese auch in gewissen Maßen reproduzierbar ist.

2 Literatur

Eine Totalprothese besteht grundsätzlich aus der Prothesenbasis und den künstlichen Zähnen, wobei die Prothesenbasis dem zahnlosen Prothesenlager formidentisch aufliegen sollte. Die Prothesenbasis dient der Fixierung der künstlichen Zähne und ersetzt die Teile des Kieferkammes, die durch Abbauprozesse des Kieferknochens verloren gegangen sind. Die äußere Begrenzung der Prothesenbasis bildet der Funktionsrand. Durch den Funktionsrand wird der Abschluss in Richtung umgebender Weichgewebe gebildet. Die Prothesenbasis und die künstlichen Prothesenzähne sind in der Regel aus Methymethacrylat gestaltet.

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, besteht die Funktion der Totalprothese darin die Kau – und Sprachfunktion und das ästhetische Erscheinungsbild wiederherzustellen. Dabei treten bei Gebrauch der Prothese eine Reihe von abziehenden Kräften auf, die dem Halt der Prothese auf ihrem Tegu-

ment entgegen wirken. Zu nennen sind hier in erster Linie okklusale Kräfte, welche während der Funktion über die Ersatzzahnreihen wirken und bedingen, dass die Prothese abgehoben wird. Weiterhin können Muskelkräfte, die über die Umschlagfalte oder inserierende Wangenbändchen wirken, vor allem dann einen destabilisierenden Effekt haben, wenn der Funktionsrand nicht richtig ausgeformt ist. Auch Abzugskräfte, die durch klebrige Speisen verursacht werden, wirken der Haftung entgegen. Zuletzt ist im Oberkiefer auch das Eigengewicht der Prothese zu erwähnen.

Damit die Prothese aber trotz der auf sie einwirkenden Kräfte ihre Aufgabe erfüllen kann, muss sie nach bestimmten Kriterien gestaltet sein.

Zunächst ist es wichtig, dass die Prothese ihrem Tegument passgenau aufliegt, was durch eine Feinabformung des Prothesenlagers mit einem dünnfließendem Silikon erreicht wird, die sich der Funktionsabformung anschließt. Nur dann können Adhäsions - und Kohäsionskräfte zwischen den Grenzflächen und innerhalb des Speichelfilms der sich zwischen Prothese und Schleimhaut befindet zustande kommen. Sehr wichtig für das zustande kommen dieses Saugeffektes ist der bereits erwähnte Ventilrand (Funktionsrand) der Totalprothese. Ein Ventil ist ein System welches sich zwischen zwei Räumen befindet in denen unterschiedliche Druckverhältnisse herrschen. Das System Ventil dient dazu den Druckunterschied beizubehalten [33]. Ein Unterdruck entsteht, wenn man versucht das Volumen eines abgeschlossenen Raumes zu vergrößern. Wirkt der Funktionsrand der Totalprothese nun tatsächlich als Ventilrand und dichtet den Raum zwischen Prothesenbasis und Prothesentegument gegen die Mundhöhle hin ab, so kommt es bei dem Versuch die Prothese von ihrem Tegument abzuziehen zu einem Unterdruck in dem Raum zwischen Prothesenbasis und Prothesenlager. So wird die Prothese an ihrer Stelle gehalten [6, 32].

Entscheidend ist, dass jeder Teil des Funktionsrandes so beschaffen ist, dass auch während der Funktion (Muskeltätigkeit) eine Abdichtung durch die Schleimhaut vorhanden ist und die Prothese nicht durch das Muskelspiel abgehebelt wird.

Einen Funktionsrand, der die eben genannten Anforderungen erfüllt, ist Ziel der Funktionsabformung.

In der Literatur wird zwischen myodynamischen und myostatischen Funktionsabformungen unterschieden [8, 12, 17, 21, 22, 26, 27). Das Wort „Funktion“, (eine in der Zeit verlaufende Tätigkeit oder Leistung eines Organs und seiner geweblichen Bestandteile), beinhaltet aber bereits, dass es sich hier um ein myodynamisches Vorgehen handeln sollte.

Bei der myostatischen (oder auch mukostatischen) Funktionsabformung, wird während der Ruhelage und nicht während der Funktion der Muskulatur abgeformt. Es stellt sich folglich ein Gleichgewicht zwischen dem Ruhetonus der Muskulatur und der Konsistenz des Abformmaterials ein. Diese Art der Abformung führt oft zu der sogenannten Extensionsabformung mit sehr weit dargestelltem Vestibulum [21].

Weiterhin gibt es die Möglichkeit zwischen aktiven und passiven Funktionsabformungen zu unterscheiden [4, 5, 8, 27, 33]. Bei der aktiven Funktionsabformung führt der Patient Funktionsbewegungen durch, bei der passiven werden die umgebenden Weichteile durch den Zahnarzt anrotiert. Die aktive Funktionsabformung ist der passiven vorzuziehen, da sich nur durch Anspannen der Muskulatur durch den Patienten Muskelbäuche ausbilden, die den Funktionsrand formen.

Zuletzt kann man noch die mundgeschlossene Vorgehensweise von der mundoffenen Funktionsabformung unterscheiden [8, 12, 21, 27]. Die mundgeschlossene Variante bietet den Vorteil, dass in richtiger Bisshöhe abgeformt werden kann und die Finger des behandelnden Zahnarztes im Mund des Patienten nicht stören.

Hieraus resultiert eine myodynamisch, aktive, mundgeschlossene Funktionsabformung in zentraler Relation.

Vorgehen bei der myodynamisch, aktiven Funktionsabformung in zentraler Relation im Oberkiefer:

Da sich die anatomischen Begebenheiten der zahnlosen Patienten mitunter sehr voneinander unterscheiden, ist die Voraussetzung für eine Funktionsabformung das Anfertigen eines individuell für den Patienten angefertigten Abformlöffels [4, 14, 25, 27, 28, 36].

Dieser sogenannte individuelle Löffel wird auf einem Gipsmodell angefertigt, welches durch eine Situationsabformung der Prothesenlager mit Alginat gewonnen wird. Bei der Situationsabformung müssen im Oberkiefer die A – Linie (Übergang von fester zu beweglicher Gaumenschleimhaut), die Tubera, das Gaumendach, der Alveolarfortsatz und der Übergang von fester zu beweglicher Schleimhaut des Mundvorhofes erfasst sein.

Der Löffel wird mit Aufbisswällen aus Wachs gestaltet, so dass eine Abformung in richtiger vertikaler Dimension (Bisshöhe) ermöglicht wird. Die Ränder des Löffels müssen so kurz sein, dass eine ungehinderte Muskelaktivität möglich ist, ohne dass Kontakt der beweglichen Schleimhaut der Um-

schlagfalte mit den Rändern des Löffels zustande kommt. Ebenso sollen Aussparungen für einstrahlende Wangen - und Lippenbändchen vorgenommen werden.

Als Abformmaterial wird ein Silikon verwendet. Auf dem Markt sind Silikone zu erhalten die speziell für die Funktionsabformung geeignet sind.

Bei der Funktionsabformung sollte das Abformmaterial eine geeignete Konsistenz aufweisen. Es sollte einerseits möglich sein, dass das Material so nachgiebig ist, dass es von der Muskulatur geformt werden kann, andererseits sollte bereits aufgebautes Material eine gute Standfestigkeit aufweisen um nicht wieder außer Form zu fließen. Das Silikon muss eine geeignete Abbindezeit aufweisen, damit dem Patienten genügend Zeit für die Funktionsbewegungen zur Verfügung steht.

Aus dem Silikon wird ein etwa griffeldicker Strang geformt und zirkulär auf den Rand des individuellen Löffels aufgetragen.

Der Löffel wird mit dem Abformmaterial in den Mund des Patienten eingebracht und leicht ange drückt. Es ist möglich den Funktionsrand durch leichtes anrotieren der Schleimhaut etwas vorzuformen. Die Ausprägung des Funktionsrandes soll aber hauptsächlich durch aktives Muskelspiel des Patienten ausgeformt werden. Hierzu wird der Patient aufgefordert unter Anleitung Funktionsbewegungen auszuführen. Man lässt den Patienten schlucken, mit der Zunge die Oberlippe befeuchten, lächeln, die Lippen spritzen, den Mund öffnen, sprechen, Seitwärtsbewegungen des Unterkiefers durchführen und die Muskulatur in Okklusionslage anspannen. Auch individuelle Bewegungsmuster des Patienten sind wichtig [4, 21, 22, 25, 27, 29, 37].

An die Randvorformung, durch welche der eigentliche Funktionsrand der Totalprothese gebildet wird, schließt sich die Sealabformung mit einem dünnfließenden Silikon an, wodurch die Feinabformung des Prothesenlagers vorgenommen wird.

Die Funktionsabformung ist ein sehr wichtiges Glied in der Kette der Teilschritte, welche bis zur Entstehung einer funktionstüchtigen Totalprothese notwendig sind.

Die Fragestellung, ob der durch die Funktionsabformung entstandene Funktionsrand einer Totalprothese reproduzierbar, war bereits Gegenstand früherer Untersuchungen.

KÖRBER und LENZ [20] veröffentlichten 1968 eine Studie mit dem Titel „Erste Ergebnisse über die reproduzierbare Darstellung des Funktionsrandes am Oberkiefer“. In dieser Untersuchung wurden ausschließlich Alginate als Abformmaterial verwendet. Da Alginate aus heutiger Sicht für die Funktionsabformung nicht geeignet sind, soll an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden.

1992 wurde ein ähnliches Thema von ELLENBECK [8] untersucht. An zwei Probanden wurden Funktionsabformungen unter standardisierten Bedingungen von einem Behandler durchgeführt. Es entstanden 56 Funktionsabformungen, die in die Untersuchung eingingen. Die Funktionsabformungen wurden maßstabsgetreu abfotografiert.

Um zu überprüfen, ob die Vermessung anhand von maßstabsgetreuen Fotografien anstelle des dreidimensionalen Funktionsrandes praktikabel ist, wurde ein Vorversuch durchgeführt. In diesem Vorversuch wurden die Werte, die aus der Vermessung der Prothesen resultierten mit den Werten verglichen, die man durch Vermessung der Fotos der Prothesen erhielt. Anhand der Ergebnisse dieses Vorversuchs wurde die Möglichkeit der Vermessung der Fotografien anstelle des dreidimensionalen Prothesenrandes als praktikabel gewertet.

Zur Beantwortung der Fragestellung, ob das Ergebnis einer Funktionsabformung reproduzierbar ist, wurde nun auf den Fotos der Abstand von einzelnen Punkten der Kammlinie der Funktionsränder zu definierten Fixpunkten vermessen. Insgesamt wurden pro Funktionsrand 11 Punkte vermessen, die jeweils 10 mm voneinander entfernt lagen. ELLENBECK kam zu dem Ergebnis, dass die Differenz zwischen Maximal – und Minimalwert für einen Messpunkt im Mittel bei 1,2 mm bzw. 1,6 mm (zwei Probanden) lag. Unter Berücksichtigung der Standardabweichung (0,38 mm bzw. 0,56 mm) ist nach ELLENBECK bei 95% der gemessenen Werte eine Abweichung von (+/-1 mm) zu erwarten. Damit wertete ELLENBECK die myodynamisch, aktive Funktionsabformung, von erfahrener Hand ausgeführt, als reproduzierbar.

Mit der heute zur Verfügung stehenden Technik ist es möglich, nicht nur wie bei ELLENBECK die vertikale Dimension zu erfassen, sondern es wurde hier die Funktionsabformung in allen drei räumlichen Dimensionen vermessen. Zusätzlich dazu ermöglichte die Auswertung der gewonnenen Daten nicht nur eine Aussage darüber, wie groß die Differenz zwischen zwei Abformungen ist, sondern auch darüber, an welchen Stellen des Funktionsrandes die Abweichungen zu liegen kommen.

Weiterhin kann die Fragestellung nach der Reproduzierbarkeit einer Funktionsabformung genauer beantwortet werden, je mehr Punkte des Funktionsrandes vermessen werden. In dieser Studie gingen pro Funktionsrand 80.000 bis 90.000 Messpunkte in die Untersuchung ein. Damit erhält man ein aussagefähigeres Ergebnis als bei der Vermessung von 11 Punkten pro Funktionsrand, wie es bei ELLENBECK der Fall war.

Die Fragestellung, ob es Faktoren gibt die, die Reproduzierbarkeit der Funktionsabformung beeinflussen, wurde von ELLENBECK nicht aufgegriffen. Es erscheint aber sinnvoll Faktoren wie zum Beispiel die Mundverweildauer der Abformung oder die Menge des zur Abformung verwendeten

Abformmaterials zu berücksichtigen, um aus den resultierenden Ergebnissen Empfehlungen für eine korrekte Arbeitsweise ableiten zu können.

3 Ziel der Studie

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, wie reproduzierbar die Funktionsrandgestaltung mittels myodynamisch, aktiver Funktionsabformung in zentraler Relation im Oberkiefer ist.

Ferner wurde untersucht, in wieweit die Reproduzierbarkeit durch Einflussfaktoren, wie die Mundverweildauer und die zur Abformung verwendete Menge an Abformmaterial, beeinflusst wird.

4 Material und Methode

4.1 Abformlöffel für die Funktionsabformung und Abformmaterial

Um zur Beantwortung der experimentellen Fragestellung Einflussfaktoren auszuschließen, die gegebenenfalls durch verschiedene Patienten gegeben sein könnten, wurden alle Abformungen an dem selben Patienten genommen.

Die hinsichtlich der Bisshöhe, Okklusion und Passgenauigkeit korrekt gestaltete Totalprothese des Patienten wurde so umgearbeitet, dass sie als Abformlöffel dienen konnte. Der Kunststoffgaumen der Prothese wurde entfernt, da er hinsichtlich der Fragestellung nicht relevant war. Dadurch wurde auch die Fläche der Prothese, die während des späteren Vorgehens von einem dreidimensionalen Scanner erfasst werden musste, verkleinert. Der Rand der Prothese, der den Abschluss der Prothese in Richtung Schleimhaut der Umschlagfalte der Mundhöhle bildet, wurde soweit gekürzt, dass bei Durchführung von funktionellen Bewegungen kein störender Kontakt mit der Schleimhaut zustande kommen konnte (muskelfrei geschliffen).



Abb. 4.1: Muskelfrei getrimmte Prothese von der Seite.



Abb. 4.2: Muskelfrei getrimmte Prothese von oben; ohne Gaumen.

Die so vorbereitete Prothese diente als Träger für das Abformmaterial. Als Abformmaterial wurde „Xantopren function“ von Heraeus Kulzer verwendet. Es handelt sich um eine knetbare Masse (Putty) auf der Basis eines kondensationsvernetzenden Silikons. Damit das Silikon abbindet, braucht man Activator – 1 und Activator –2. Hierbei handelt es sich um ein Härter - und Verzögerersystem der Abbindereaktion, wodurch es möglich ist die Dauer zu beeinflussen bis das Silikon ausgehärtet ist. Dieses Abformmaterial wird vom Hersteller für die mundgeschlossene, aktive Funktionsabformung empfohlen. Die Dosierung des Putty erfolgt mit standardisierten Löffeln. Härter und Verzögerer werden in einer Tropfflasche geliefert.

Zur Adhäsion des Silikons wird der Prothesenrand mit Universal Adhäsive für Silikonabformungen von Heraeus Kulzer bestrichen.



Abb. 4.3: Xantopren function.

4.2 Die Funktionsabformung

Das angemischte Abformmaterial wurde mit einer Kunststoffspritze (Ramitecspritze; Espe) auf den Rand der Prothese aufgebracht. Die Öffnung der Spritze ist ca. 3 * 5 mm groß und garantierte eine stets gleiche Strangdicke des aufgetragenen Abformmaterials.



Abb. 4.4: Aufbringen des Silikons durch eine Spritze auf den Prothesenrand.

Die Menge des aufgetragenen Silikons und die Zusammensetzung des Härter - Verzögerersystems wurde in 3 Serien folgendermaßen variiert :

Serie 1: Kontrollgruppe (einfache Menge an Abformmaterial und einfache Mundverweildauer)

4,8g Silikon (= einfache Menge an Silikon)

Verhältnis Härter : Verzögerer = 8 Tr. : 12 Tr. (einfache Menge Verzögerer)

Dauer der Abformung: ca. 8 min.

Serie 2: Serie mit längerer Mundverweildauer

4,8g Silikon (einfache Menge Silikon)

Verhältnis Härter : Verzögerer = 8 Tr. : 24 Tr. (doppelte Menge Verzögerer)

Dauer der Abformung ca. 18 min.

Serie 3: Serie mit doppelter Materialmenge

9,6 g Silikon (doppelte Menge Silikon)

Verhältnis Härter : Verzögerer = 8 Tr. : 12 Tr. (einfache Menge Verzögerer)

Dauer der Abformung ca. 8 min.

Bei allen drei Serien wurde durch den selben Behandler 10 Funktionsabformungen am selben Patienten auf gleiche Art und Weise durchgeführt. Die Prothese wurde dem Patienten eingegliedert und leicht angedrückt. Der Patient führte auf Anweisung folgende Funktionsbewegungen durch, bis die Abformung entnommen werden konnte:

- 1) Mund öffnen und schließen
- 2) Lippen spitzen
- 3) Lippen breit ziehen, lächeln
- 4) Gespitzte Lippen nach links und rechts bewegen
- 5) Sprechen
- 6) Leerkauen



Abb. 4.5: Fertig ausgeformter Funktionsrand mit "Occlu - Spray" grün gefärbt.



Abb. 4.6: Ergebnis einer Funktionsabformung auf einem Gipssockel.

4.3 Die dreidimensionale Vermessung der Funktionsabformung und Datenverarbeitung

Zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Funktionsabformung wurde jede Abformung elektronisch vermessen und die Abbildungen der verschiedenen Abformungen miteinander verglichen.

Die elektronische Erfassung erfolgte durch das diGiscan Gerät. Das diGiscan ist ein digitaler Scanner mit der Indikation dreidimensionale Körper zu erfassen und zu vermessen. Folglich konnten auch Funktionsabformungen mit Hilfe des diGiscan – Gerätes vermessen werden.

4.3.1 Allgemeine Informationen zu dem 3D-Scanner diGiscan

Der zu vermessende Körper wird über einen Sockel fest im Beobachtungsfeld des diGiscan fixiert.

Durch ein motorisch betriebenes Zoomsystem wird die Anpassung der Kamera an den im Beobachtungsfeld stehenden Körper vorgenommen. Der Körper kann während der Vermessung automatisch gedreht werden, sodass Bereiche erfasst werden können, die aus einer einzigen Kameraposition heraus nicht eingesehen werden können.



Abb. 4.7: Der 3D-Scanner diGiscan

Die Messung findet in einem definierten Koordinatensystem statt. Es können bis zu acht Teilansichten des Körpers aus verschiedenen Blickwinkeln vermessen werden, welche automatisch zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden.

Das Ergebnis einer Messung ist ein Datensatz aus ca. 120.000 – 200.000 erfassten Punkten. Jeder vermessene Punkt des Objektes wird über eine x-, y-, und z- Koordinate im Raum definiert. Optisch gesehen, stellt das Gesamtbild eine Punktwolke in Form des vermessenen Objektes dar [9].

Gemessen wird nach dem Grundprinzip der sogenannten Streifenprojektion [9, 23]. Die Grundidee wird in der unteren Abbildung veranschaulicht.

Bei der Streifenprojektion wird ein Streifenmuster auf ein dreidimensionales Objekt projiziert. Bei der digitalen Streifenprojektion werden die zu projizierenden Streifenmuster im Messrechner generiert und über einen digitalen Datenprojektor auf das Messobjekt projiziert. Von einer CCD – Aufnahmekamera werden sie dann wieder dem Mess – und Auswertrechner zur Auswertung zugeführt. Auf diese Weise ist für den gesamten Messprozess ein geschlossener Kreislauf zwischen Streifengenerierung, Projektion, Aufnahme und Auswertung der Daten gegeben, wodurch eine hohe Messgenauigkeit erzielt wird [23].

Aus einer um den Triangulationswinkel α verkippten Blickrichtung erscheinen die Streifen durch die Topographie verbogen. Das heißt die Höheninformation wird in die Phase des detektierten, verformten Streifenmusters übersetzt. Durch einen der aus der Interferometrie bekannten statischen oder dynamischen Algorithmen der Phasengewinnung kann zunächst die gefaltete Phasenkarte ermittelt werden, die dann durch das sogenannte Phase – Unwrapping in die Topographie umgerechnet wird.

Unter der Voraussetzung, dass der Abbildungsmaßstab über den gesamten Bereich der Schärfentiefe konstant ist und unter Vernachlässigung von Abbildungsfehlern, lassen sich die Pixelkoordinaten(i, j) eines Streifenbildes auf einen CCD-Kamerachip über den bekannten und konstanten Abbildungsmaßstab in Objektkoordinaten (x, y) umrechnen. Für die Höhen – bzw. Tiefenkoordinate z ergibt sich die Beziehung:

$$z = \frac{\varphi}{2\pi} \cdot \lambda_T \quad \text{mit der Triangulationswellenlänge} \quad \lambda_T = \frac{p}{\tan\alpha}$$

p = Streifenperiode des projizierten Streifengitters.

φ = die aus dem Streifenbild ermittelte Phase.

α = Triangulationswinkel

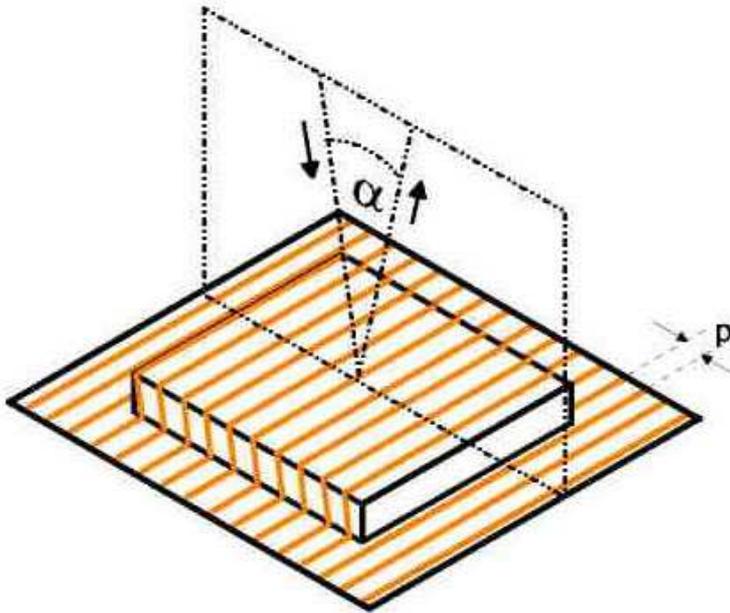


Abb. 4.8: Grundprinzip der Streifen -
projektion [23].

Um eine genaue Messung zu garantieren, muss das diGiscan - Gerät vor jedem Gebrauch mit Hilfe der zugehörigen Kalibrierkörper kalibriert werden.

In Abhängigkeit der Größe des zu vermessenden Objektes und der damit verbundenen Anzahl an Koordinatentripel des Ergebnisses, stehen verschiedene Messpläne zu Verfügung.

4.2.2 Einstellung des 3D Scanners diGiscan zur Vermessung von Funktionsabformungen

Für die Vermessung der Funktionsränder wurde der Messplan „Gingiva und Restbezaehlung“ gewählt. Bei jeder Messung wurden die gleichen Werte für Zoom (Wert: 80) und Blende (Wert: 66) eingestellt.

Um einen reproduzierbaren Sitz der Prothese im Scanner zu gewährleisten, wurde ein Sockel aus Spezialhartgips angefertigt. Über die Impressionen der Prothesenzähne war eine eindeutige Reposition gewährleistet. In der Unterseite dieses Sockels war ein Magnet eingegossen, über den der Gipssockel auf dem Modellträger des Scanners befestigt werden konnte. Die Zuordnung zwischen Sockel und Modellträger war über Führungsrillen eindeutig gewährleistet. Der Modellträger ließ sich nur in einer möglichen Position in den Scanner einsetzen und dort mit einer Feststellschraube fixieren.

Zur Vermeidung von Lichtreflexionen auf der Oberfläche während des Scannens, wurde die Kunststoff – und Abformmaterialoberfläche dünn mit grünem Occlu - Spray (Hager & Werken GmbH & Co.KG) eingesprüht.



Abb. 4.9: Sockel mit Impressionen der Prothesenzähne

Um zu überprüfen, dass die Reposition der Prothese auf dem Sockel und in dem Scanner zuverlässig funktionierte und die Funktionsränder immer in der selben Position gescannt wurden, wurde ein Vorversuch durchgeführt. Hierbei wurde 10 mal die selbe Funktionsabformung durch das diGiscan vermessen und vor jeder neuen Messung wurde die Abformung aus dem Gerät entnommen und erneut auf ihrem Sockel und in dem diGiscan Gerät fixiert. Hierauf wird an späterer Stelle eingegangen.

4.2.3 Datenverarbeitung

Die weitere Datenverarbeitung erfolgte mit den Programmen Metris Base und CAD Compare.

Um eine maximale Genauigkeit bei kleinst möglicher Datenmenge zu erreichen, wurden die erfassten Punkte gefiltert.

Es standen unterschiedliche Filter zur Verfügung mit denen man viele Punkte aus planen Flächen heraus filtern konnte, da zur Definition von planen Flächen weniger Punkte benötigt werden. In

gekrümmten Flächen wurden mehr Punkte belassen, da hier eine hohe Punktdichte für akkurate Information nötig war. Die maximale Spannweite zwischen zwei Punkten wurde bei 0,05 mm festgesetzt. In der Praxis bedeutet das, dass mindestens alle 0,05 mm ein Punkt belassen wurde.

Für die Seitenabweichung eines Punktes wurden 12 µm eingestellt. Damit liegt der für die Seitenabweichung gewählte Werte geringfügig über der Auflösungsgrenze des diGiscan. Damit erreichte man, dass eine Menge „Grundrauschen“ beseitigt wird.

Nach dem Filtern wurden die Punkte der Punktwolke verbunden, sodass ein Netzwerk aus kleinen Dreiecken entstand. Aus der Punktwolke erhielt man dadurch eine Oberfläche. So wurde eine minimale Anzahl an Punkten bei maximaler Genauigkeit erreicht. Die Anzahl der Punkte pro Funktionsrand wurde auf 85.000 bis 95.000 reduziert.

Nachdem die Daten aller Funktionsabformungen auf diese Weise verarbeitet wurden, wurden die Datensätze miteinander verglichen. Der Vergleich erfolgte paarweise. Aus jeder Gruppe wurde per Zufall eine Funktionsabformung ausgewählt und als Vergleichsabformung festgelegt. Alle anderen Abformungen der Gruppe wurden als Testabformungen bezeichnet, die mit der Vergleichsabformung verglichen wurden. Um auszuschließen, dass die als Vergleichsabformung gewählte Abformung zufällig besonders gut oder schlecht zu den übrigen Abformungen der gleichen Gruppe passt, wurde in jeder Gruppe in einem Vorversuch eine zweite Vergleichsabformung ausgewählt. Mit dieser zweiten Vergleichsabformung wurden ebenfalls alle übrigen Abformungen der gleichen Gruppe verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass kein nennenswerter Unterschied zwischen der Vergleichsabformung 1 und 2 besteht, so dass alle folgenden Vergleiche nur mit der Vergleichsabformung 1 vorgenommen wurden.

Paarweiser Vergleich der Datensätze:

Bereiche wie der Sockel der Prothese oder die Kunststoffzähne, die für diese Untersuchung nicht von Bedeutung waren, aber ebenfalls optisch erfasst wurden, wurden nun „elektronisch entfernt“. Das „elektronische beschneiden“ erfolgte bei allen Datensätzen an identischer Weise. Die als Vergleichsabformung gewählte Funktionsabformung einer Gruppe wurde nun in einem Koordinatensystem fest abgespeichert. Nun wurden jeweils die weiteren Testabformungen der entsprechenden Gruppe einzeln in dieses Koordinatensystem importiert. Sie kommen mit der Vergleichsabformung genau zur Deckung.

Man erhält folglich immer ein Pärchen aus Vergleichsabformung und einer weiteren zu überprüfenden Testabformung.

Nachdem die Differenzen zwischen den beiden Abformung eines Pärchens errechnet wurden, erhält man ein farbcodiertes Differenzenbild der beiden Funktionsränder.

Unterschiedliche Farben bedeuten unterschiedlich große Abweichungen voneinander in Millimeter. Es lässt sich also erkennen, wo die Unterschiede liegen und wie groß sie sind.

Als Beispiel ist hier das Ergebnis des an vorangegangener Stelle bereits erwähnten Vorversuchs dargestellt. Es handelt sich um zwei Vermessungsergebnisse der gleichen Funktionsabformung, die hier zur Deckung gebracht wurden. Folglich würde man erwarten, dass keine Differenzen zwischen den beiden Funktionsrändern zu finden sind:

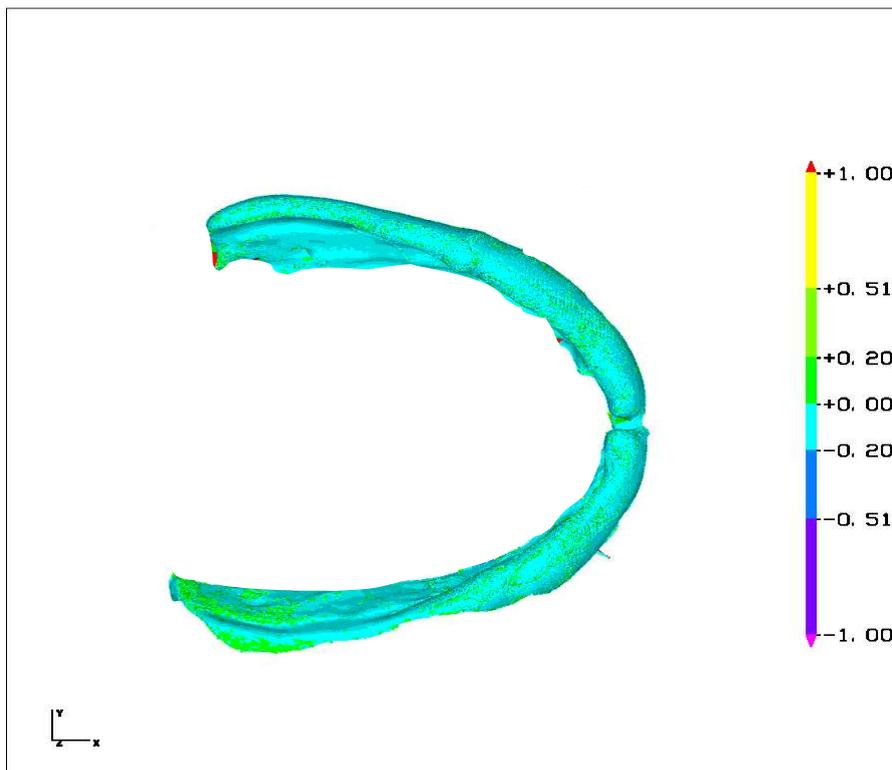


Abb. 4.10: Farbcodiertes Differenzenbild, bestehend aus zwei Vermessungsergebnissen der selben Funktionsabformung; Ansicht von oben

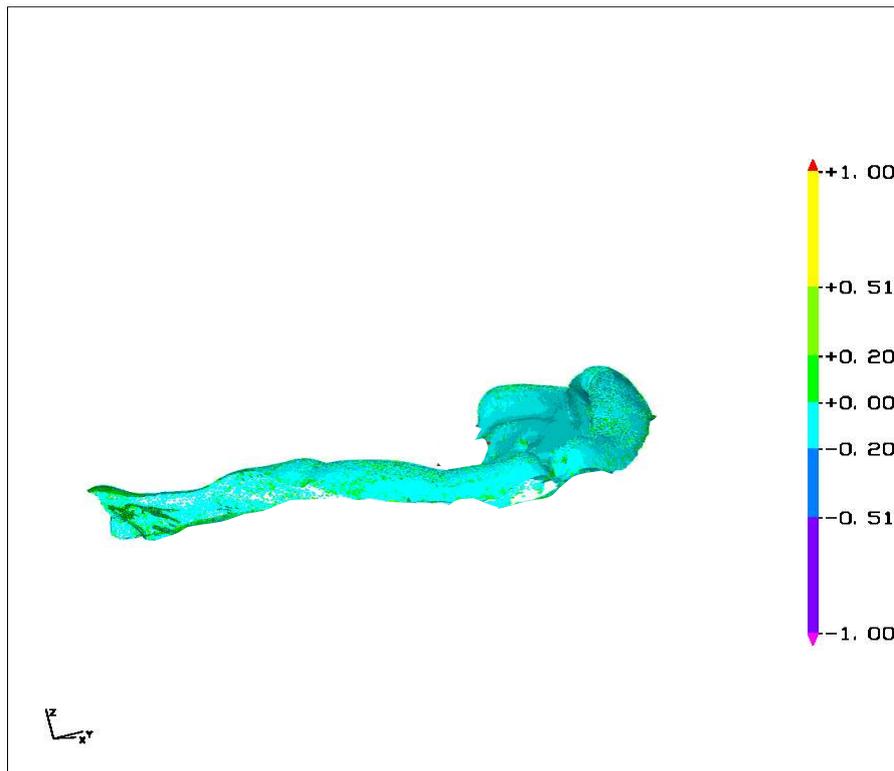


Abb. 4.11: Farbcodiertes Differenzbild, bestehend aus zwei Vermessungsergebnissen der selben Funktionsabformung; Ansicht von der rechten Seite

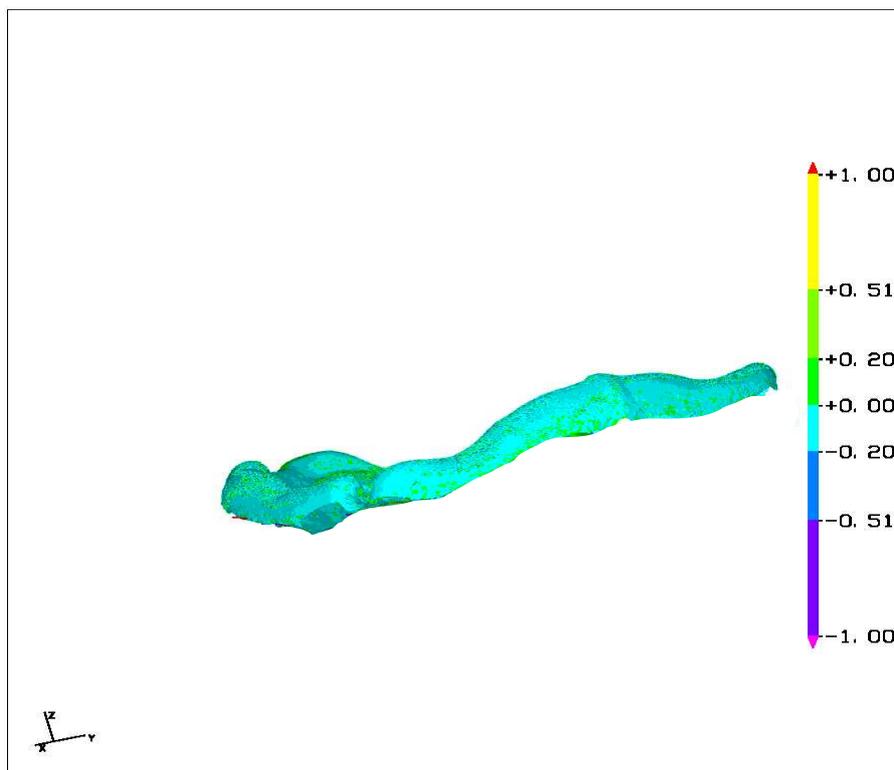


Abb. 4.12: Farbcodiertes Differenzbild bestehend aus zwei Vermessungsergebnissen der selben Funktionsabformung; Ansicht von links.

Auf der rechten Seite der Abbildung ist eine Farbskala zu erkennen. Unterschiedliche Farben sprechen für verschieden große Differenzen zwischen Testabformung und Vergleichsabformung. Abweichungen mit einem positiven Vorzeichen bedeutet, dass sich hier im Vergleich zur Vergleichs-

abformung auf der Testabformung mehr Abformmaterial aufgetragen hat. Ein negatives Vorzeichen spricht für weniger Abformmaterial. Der Abweichungsbereich wurde von (-1mm) bis (+ 1mm) festgelegt.

In diesem Fall zeigt sich uns ein hellblau und dunkelgrünes Bild. Das spricht für eine maximale Abweichung von $< (+/- 0,2\text{mm})$ zwischen den Funktionsrändern. Man kann daraus also ableiten, dass der Versuchsaufbau als verlässlich gewertet werden kann, da bei mehrmaligen Vermessen der selben Abformung keine relevanten Unterschiede zwischen den Vermessungsergebnissen auftraten.

Für eine bessere Übersicht wurden im weiteren Vorgehen die acht Abweichungsgruppen zu fünf zusammengefasst: Abw.< (- 1 mm); Abw. von (- 1 mm) bis (- 0,2 mm); Abw. von (- 0,2 mm) bis (+ 0,2 mm); Abw. (+ 0,2 mm) bis (+ 1 mm) und Abw. > (+ 1 mm).

Abweichungen ($> + 1 \text{ mm}$) bzw. ($< -1 \text{ mm}$) sind selten und wurden deshalb nicht weiter unterteilt.

Die experimentelle Fragestellung dieser Untersuchung lässt sich in zwei Aspekte untergliedern:

1) Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit innerhalb einer Serie, wurden folgende Kombinationen aus Vergleichsabformung und Testabformung ausgewertet:

a) Die Vergleichsabformung der Kontrollserie (einfache Menge an Silikon und einfache Mundverweildauer) wurde mit allen anderen Abf. dieser Serie verglichen.

b) Die Vergleichsabformung der Serie mit längerer Mundverweildauer wurde mit allen anderen Abf. dieser Serie verglichen.

c) Die Vergleichsabformung der Serie mit doppelter Silikonmenge wurde mit allen anderen Abformungen dieser Serie verglichen.

2) Zur Beantwortung der Fragestellung inwieweit eine längere Mundverweildauer oder eine größere Menge an Abformmaterial das Ergebnis der Funktionsabformung beeinflusst, wurden folgende Kombinationen ausgewertet:

a) Vergleichsabformung der Kontrollserie wurde mit allen Abf. der Serie mit längerer Mundverweildauer verglichen.

b) Vergleichsabformung der Kontrollserie wurde mit allen Abf. der Serie mit doppelter Materialmenge verglichen.

Als Ergebnis der Auswertung der Daten, die von dem dreidimensionalen Scanner geliefert wurden, erhält man, wie oben bereits erwähnt, eine graphische Darstellung der farbcodierten Differenzbilder aus Vergleichsabformung und Testabformung. Weiterhin erhalten wir die Information wie viel Prozent der Bildpunkte der Testabformungen auf welche Abweichungsgruppe entfallen. Während sich die Abbildungen nicht statistisch auswerten lassen, kann die prozentuale Verteilung der Bildpunkte gut statistisch ausgewertet werden.

Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass die Möglichkeit besteht, dass bei einem Vergleich zwischen zwei Abformungen zahlenmäßig ein ähnliches Ergebnis zu Stande kommt, die Abformungen aber trotzdem ganz unterschiedlich aussehen. Es ist wichtig zu erkennen, wo die Unterschiede zwischen den Abformungen liegen. Es ist möglich, dass bei Vergleich zweier Abformungen mit einer Vergleichsabformung bei beiden Testabformungen beispielsweise 20 % der Bildpunkte eine Abweichung von $> (+1\text{mm})$ von der Vergleichsanformung haben. Bei einer Testabformung ist die Abweichung von der Vergleichsabformung aber auf der Kammlinie (oberer Rand) zu finden, bei der anderen Testabformung liegt die Abweichung auf der vestibulären (seitlichen) Fläche. Zahlenmäßig haben beide das gleiche Ergebnis, obwohl sich beide Abformungen deutlich voneinander unterscheiden. Es ist nicht möglich diese Erkenntnis in die statistische Berechnung mit einzubeziehen.

Um ein abschließendes Urteil bezüglich der Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen einer Serie abgeben zu können, muss die graphische Darstellung in Box – and Whiskers – Plots mit den Differenzbildern in Zusammenhang betrachtet werden.

4.4 Statistische Methode

Im Rahmen der statistischen Auswertung erfolgte die graphische Darstellung der Ergebnisse in Box – and - Whiskers - Plots. So erhält man Informationen über die Symmetrie der Verteilung der Werte bezüglich des Medians. Die Box wird durch das 25% und 75% Quantil begrenzt. In der Mitte ist der Median eingezeichnet. An das obere und untere Ende schließen sich die sog. Whiskers an (10% und 90% Quantil). Die Punkte in der graphischen Darstellung stehen für Extremwerte [13, 35]

Im Rahmen der Auswertung wurde auf Normalverteilung der Werte getestet und eine multifaktoriellen Varianzanalyse durchgeführt. Anschließend wurde mit einem multiplen Mittelwertsvergleich (post hoc Test) überprüft, wo sich die Unterschiede befinden.

Bei gegebener Normalverteilung (Überprüfung anhand eines Normalverteilungsplots) der Residuen (Differenz zwischen den tatsächlich gemessenen Werten und den Mittelwerten innerhalb einer Gruppe) wurde hier der Games Howell Test angewandt. Bei dem Games – Howell – Test (parametrischer Test) handelt es sich um einen multiplen Mittelwertsvergleich (Post hoc – Test), der zur Anwendung kommt, wenn die Varianzen innerhalb einer Gruppe unterschiedlich sind (Überprüfung mit dem Levene Test), die Fallzahl in der Gruppe aber ungefähr gleich ist. Dieser Test gibt an, ob sich die Mittelwerte der Gruppen signifikant voneinander unterscheiden [13, 35].

Lag eine andere Art der Verteilung vor, so wurde der Mediantest (nicht parametrischer Test) durchgeführt.

Bei dem Mediantest wird der Median der Gesamtstichprobe gebildet, und verglichen wie viele Werte innerhalb der einzelnen Gruppen sich über dem Median oder unter und genau auf dem Median befinden. Im Ergebnis erhält man eine Kreuztabelle. Die darin enthaltenen Werte wurden mit dem Exakt –Test nach Fisher ausgewertet. Der Exakt – Test nach Fisher ist besonders für kleinere Anzahlen von Werten geeignet.

Alle Auswertungen erfolgten mit Hilfe des Programms SPSS (Fa. SPSS Inc., Columbus, USA).

Die Ergebnisse werden in Tabellenform dargestellt:

	Kontrollgruppe; Ergebn. für versch. Abweichungsgr.; Angabe in mm				
	<(-1)	(-1) – (-0,2)	(-0,2) –(+0,2)	(+0,2) – (+1)	>(+ 1)
Abf. mit längerer Mundverweildauer		Statist.	signifikante	Unterschiede?	
Abf. mit doppelter Materialmenge		Statist.	signifikante	Unterschiede?	

Tab. 4.1: Darstellungsweise der Ergebnisse der statist. Auswertung.

Das Niveau für statistische Signifikanz lag bei 5%.

5 Ergebnisse

5.1 Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen innerhalb der 3 Gruppen

5.1.1 Kontrollgruppe

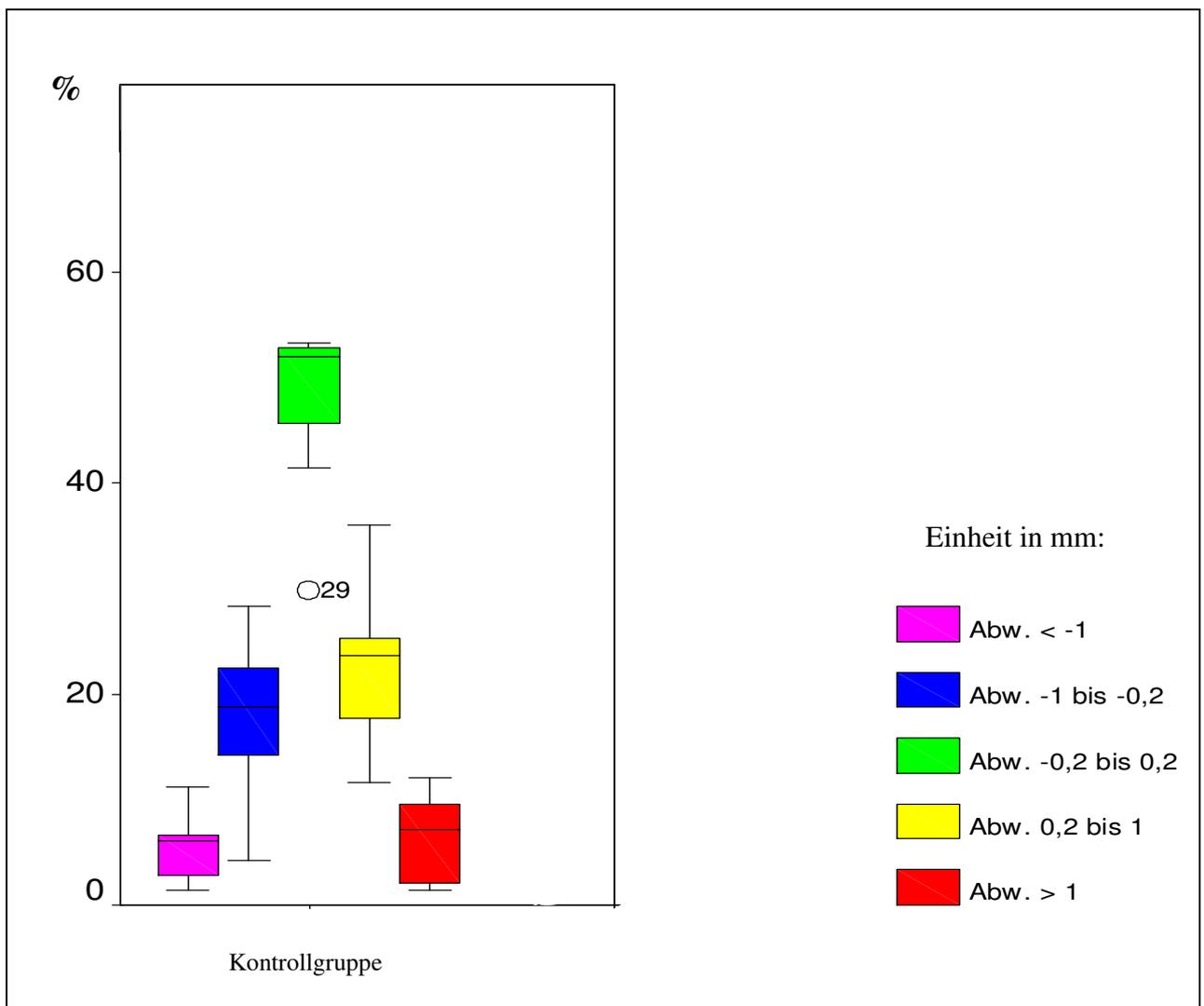


Abb. 5.1: Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen bei einfacher Menge an Silikon und normaler Mundverweildauer (einfache Menge an Verzögerer).

Die unterschiedlichen Farben bezeichnen die unterschiedlich großen räuml. Abweichungen der Testabformungen von der Vergleichsabformung in mm.

Auf der Y - Achse ist die jeweilige Abweichung in Prozent angegeben.

In dem Box - and Whiskersplot (Abb. 5.1) ist dargestellt, wie groß die Unterschiede zwischen den einzelnen Abformungen der Kontrollgruppe sind. Den verschiedenen Abweichungsbereichen sind unterschiedliche Farben zugeordnet.

Die horizontale Linie in den Boxen kennzeichnet den Median. Die obere und die untere Begrenzung der Boxes entspricht dem 25sten bzw. 75sten Perzentil.

Eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Vergleichsabformung und der jeweiligen Testabformung liegt vor, wenn zwei sich entsprechende Punkte eine möglichst geringe Abweichung voneinander haben. Das entspricht dem grünen Bereich, auf den alle Punkte entfallen, die eine maximale Abweichung von $(\pm 0,2 \text{ mm})$ haben.

In dem Boxplotdiagramm (Abb.5.1) ist zu erkennen, dass die meisten Punkte auf diesen Abweichungsbereich entfallen. Der Median liegt hier bei 52%. Das bedeutet, dass 52% der vermessenen Punkte zwischen der Vergleichsabformung und den Testabformungen eine geringere Abweichung als $(\pm 0,2 \text{ mm})$ voneinander haben. Damit ist der Funktionsrand der Testabformung an mehr als der Hälfte aller Messpunkte nahezu identisch mit dem Funktionsrand der Vergleichsabformung.

Die geringste Anzahl an Punkten der Testabformungen hat eine Abweichung, die größer ist als $(+1 \text{ mm})$ bzw. kleiner als (-1 mm) von den entsprechenden Punkten der Vergleichsabformung. Für eine Abweichung, die größer ist als $(+1 \text{ mm})$ liegt der Median bei 8%. Für eine Differenz von (-1 mm) zweier Punkte, liegt der Median bei ca. 7%. An diesen Stellen unterscheidet sich die Testabformung deutlich von der Vergleichsabformung.

Graphische Auswertung:

Folgende Differenzbilder (Pärchen aus der Vergleichsabformung und einer Testabformung) sind stellvertretend für alle Differenzbilder der Kontrollserie abgebildet. Die hier auftretende Verteilung von Abformmaterial ist für alle Abformungen dieser Gruppe charakteristisch.

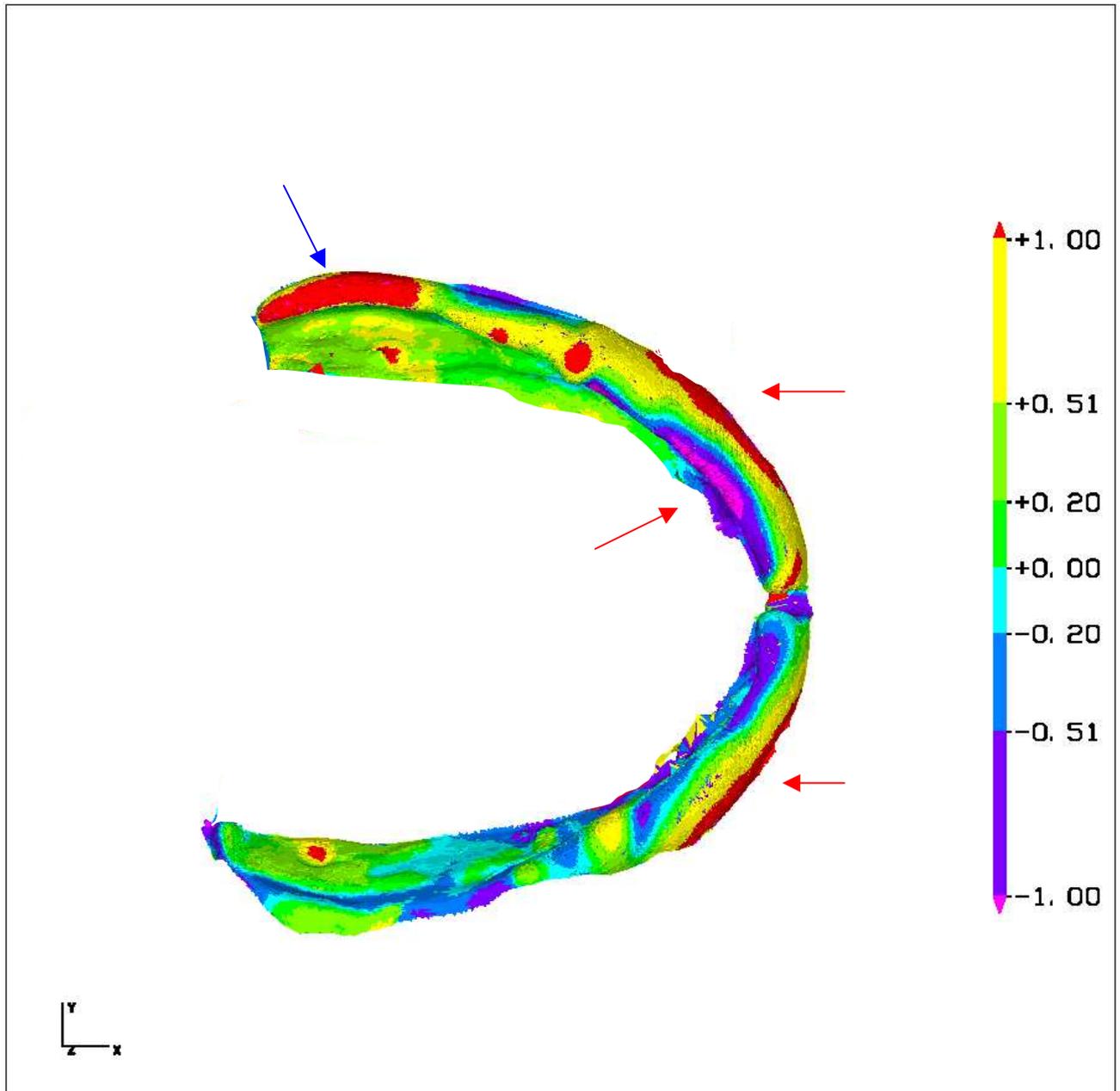


Abb. 5.2: Differenzbild zweier Abformungen der Kontrollserie; Ansicht von oben.
Anhand der Farbskala auf der rechten Seite ist zu erkennen, um welchen Betrag die Testabformung von der Vergleichsabformung an der jeweiligen Stelle abweicht.

Die beiden verglichenen Abformungen aus Abb. 5.2 sind in weiten Teilen nahezu identisch.

Die wenigen Unterschiede zwischen den Abformungen kommen im Frontzahnbereich am Übergang zur oralen bzw. vestibulären Fläche vor (mit roten Pfeilen gekennzeichnet) und im linken Tuberbereich (blauer Pfeil).

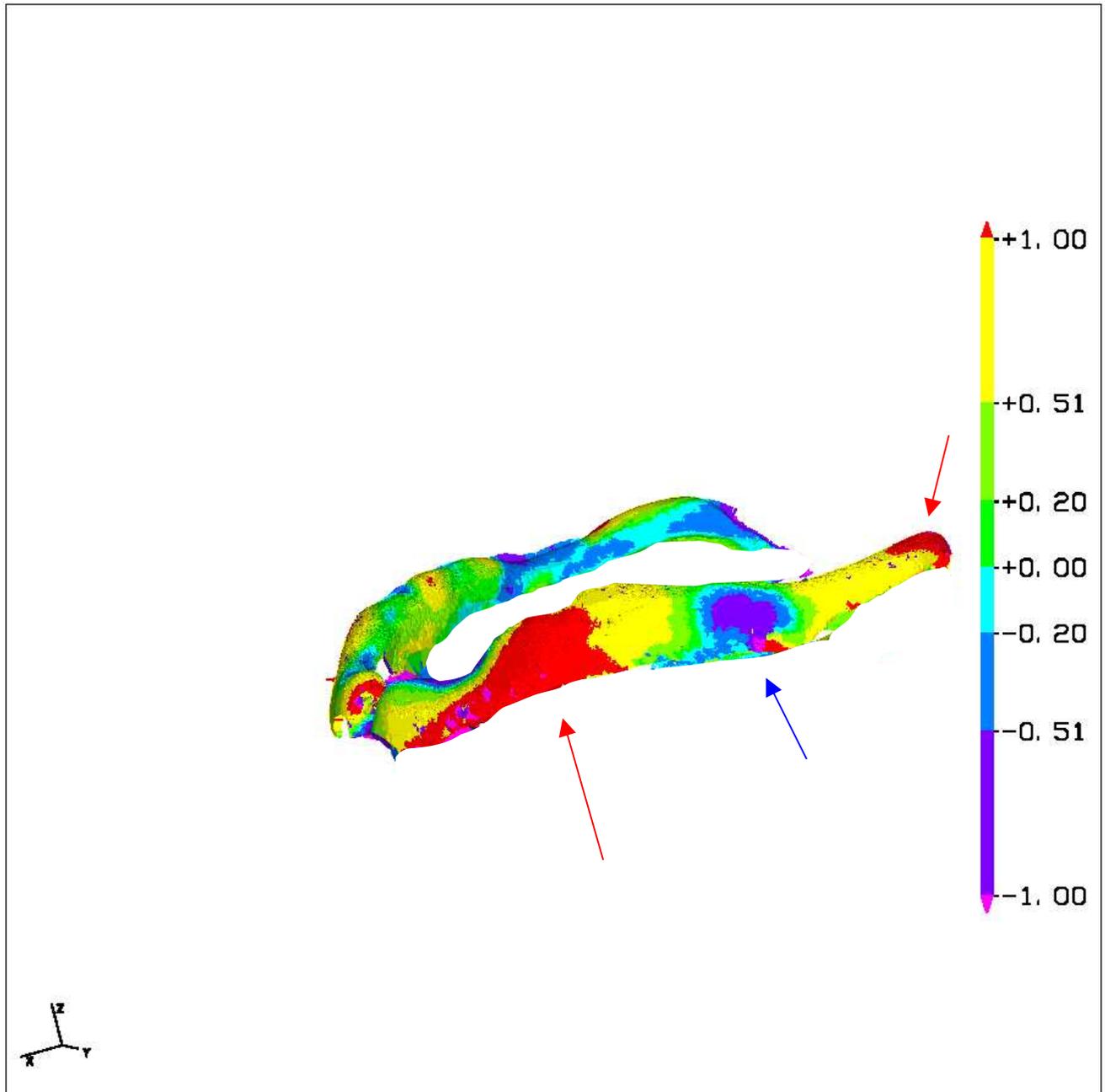


Abb. 5.3: Differenzbild zweier Abformungen der Kontrollserie; Ansicht von links.

Von der Seite gesehen, wurde die Gegend distal des ersten Prämolaren bis einschließlich dritten Molaren stets gut reproduziert. Der Bereich, in dem sich die Abformungen von der Seite gesehen am ähnlichsten sind, liegt ringförmig angeordnet in der Gegend des ersten Molaren (blauer Pfeil). Zum Zentrum und zum Rand des Ringes hin, nehmen die Unterschiede zwischen den Abformungen zu. Probleme bezüglich der Reproduzierbarkeit ergeben sich vestibulär im Anlagerungsbereich der Oberlippe und im distalen Tuberebereich (rote Pfeile).

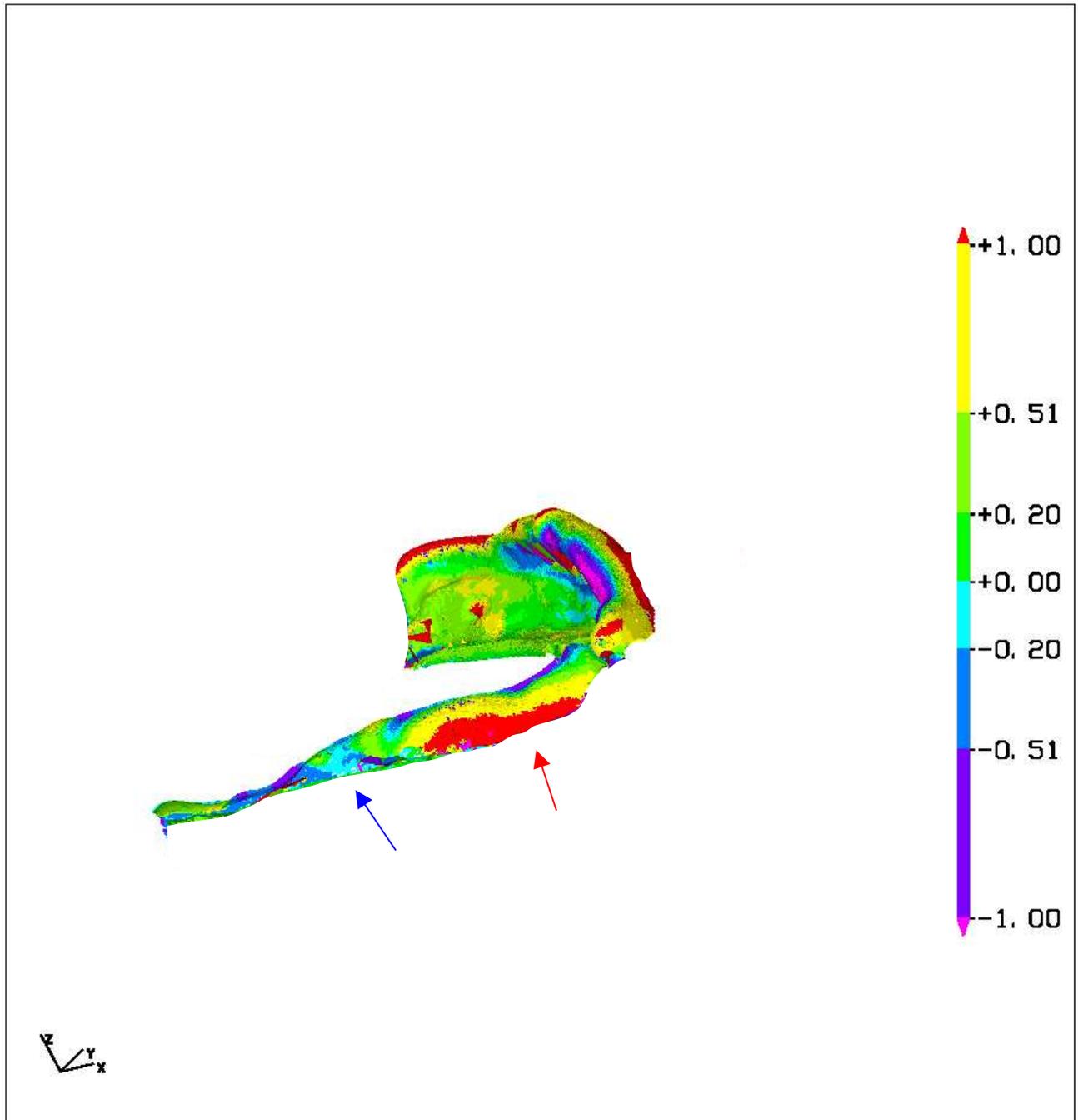


Abb. 5.4: Differenzenbild zweier Abformungen der Kontrollserie; Ansicht von rechts.

Das Vermessungsergebnis der rechten Seite ist weniger deutlich als das der linken Seite. Aber auch von der rechten Seite ist zu erkennen, dass der Bereich zwischen seitlichen Schneidezahn und Eckzahn, in der Ansicht von vestibulär, verhältnismäßig große Unterschiede zwischen den Abformungen aufweist (roter Pfeil). Distal von eben beschriebener Stelle schließen sich besser reproduzierbare Bereiche an (blauer Pfeil).

5.1.2 Die Gruppe mit längerer Mundverweildauer

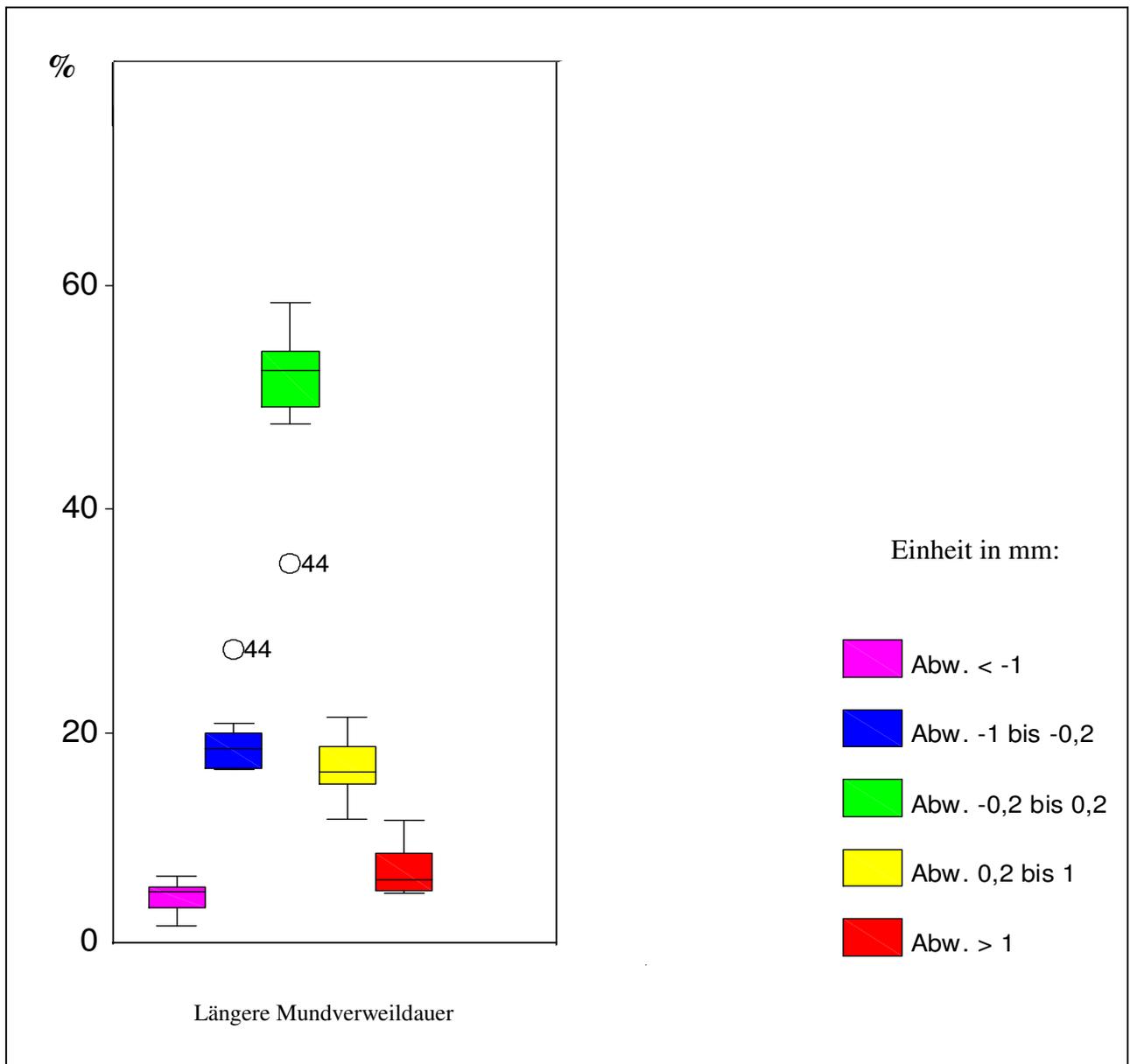


Abb. 5.5: Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen bei einfacher Menge an Silikon und doppelter Menge an Verzögerer (längere Mundverweildauer).

Bei längerer Mundverweildauer entfällt ein sehr hoher Anteil an Punkten auf den Bereich mit einer Abweichung von (+/-0,2 mm). Der Median liegt hier bei 53%. Entsprechend ist der Anteil an Punkten, der eine größere Abweichung aufweist kleiner. Die Ergebnisse sind eng um den Median gruppiert, was für ein einheitliches Ergebnis der Funktionsabformungen innerhalb dieser Gruppe spricht.

Graphischer Auswertung:

Auch hier wurde ein Differenzbild stellvertretend für alle anderen Bilder von Abformungen der Serie mit doppelter Menge an Verzögerer dargestellt. Die Verteilung des Abformmaterials ist für diese Serie charakteristisch und es ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Differenzbildern der unterschiedlichen Abformungen dieser Serie.

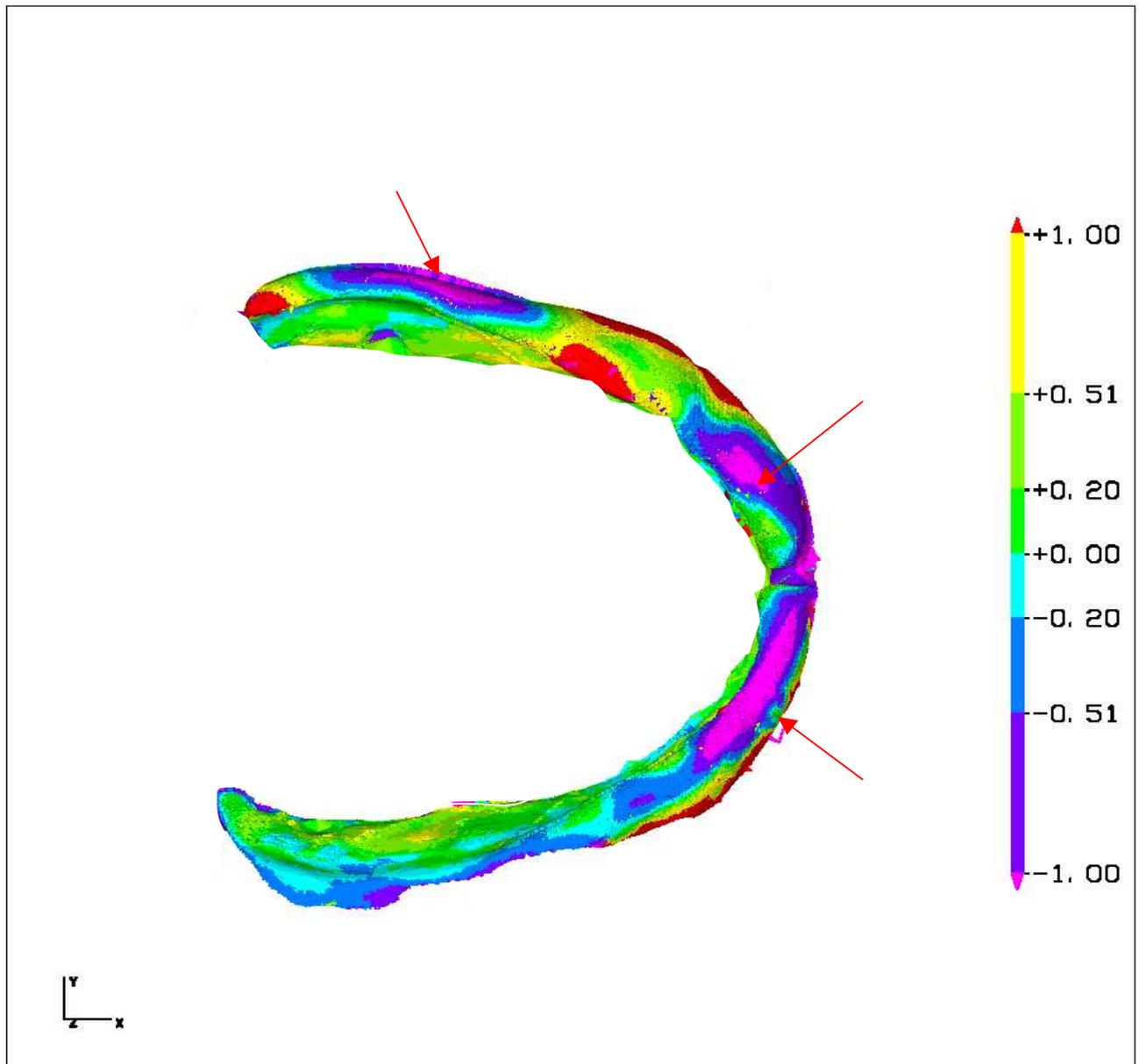


Abb. 5.6: Differenzbild zweier Abformungen mit längere Mundverweildauer;
Ansicht von oben.

Der überwiegende Teil des Funktionsrandes stellt sich in dieser Ansicht als gut reproduzierbar dar. Eine Ausnahme bilden Bereiche (rote Pfeile), die sich mit ihrem Zentrum beidseitig in der Gegend des seitl. Schneidezahnes und des zweiten Molaren befinden. Diese „pinkfarbenen Ovale“ sind charakteristisch für die Abformungen dieser Serie.

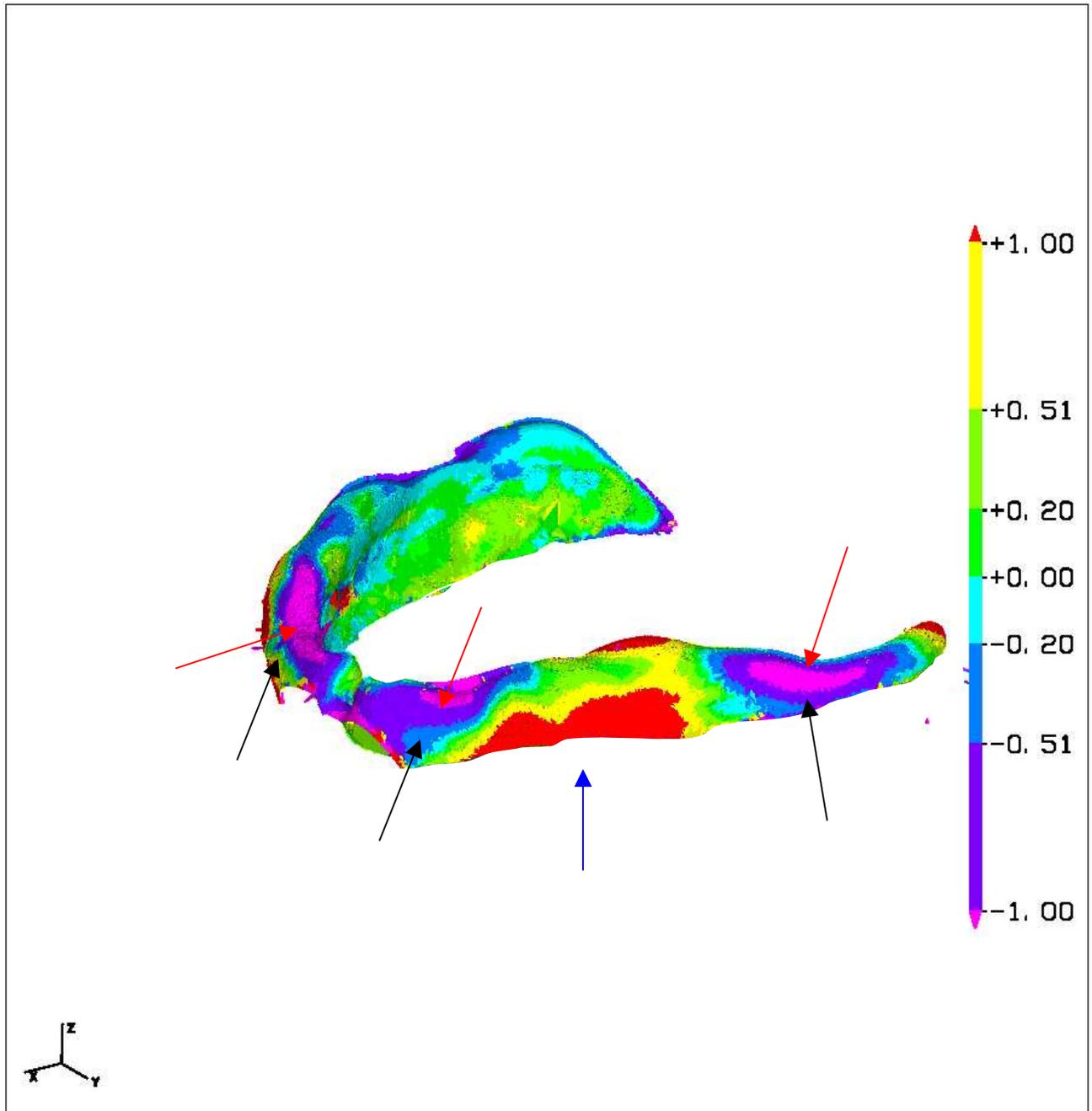


Abb. 5.7: Differenzbild zweier Abformungen mit längere Mundverweildauer;
Ansicht von links.

Hier erkennt man, dass die bereits für die Ansicht von oben beschriebenen schlechter reproduzierbaren Bereiche mit dem Zentrum in der Gegend der seitl. Schneidezähne und zweiten Molaren (rote Pfeile), in der Seitenansicht in gut reproduzierbare Bereiche übergehen (schwarze Pfeile). Insgesamt gesehen sind die Funktionsränder in der Seitenansicht, mit Ausnahme des Bereichs in der Gegend der Prämolaren kaudal am Funktionsrand gelegen (blauer Pfeil), gut reproduzierbar.

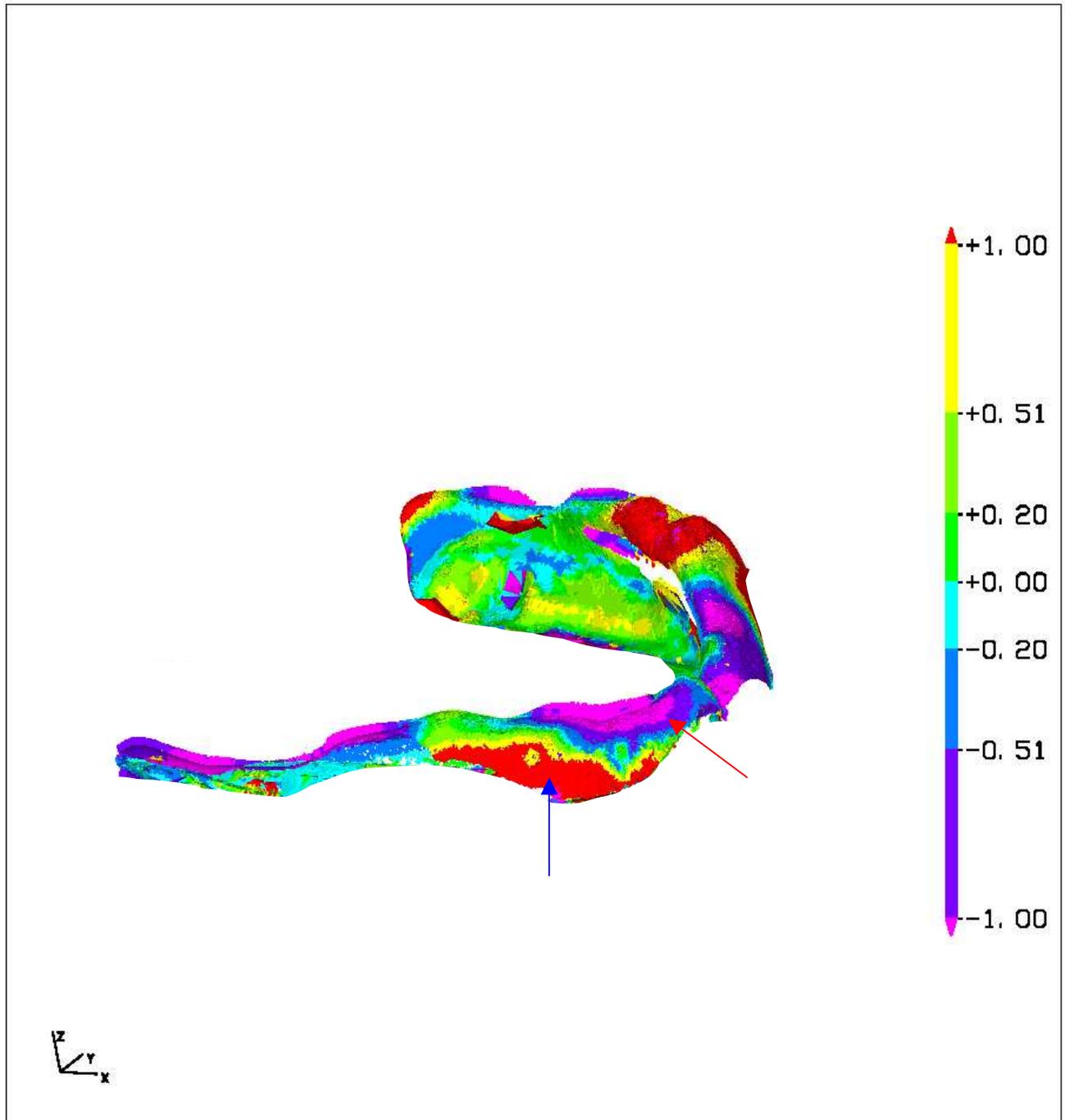


Abb. 5.8: Differenzbild zweier Abformungen mit längere Mundverweildauer;
Ansicht von rechts.

Es ist zu erkennen, dass für die rechte Seite ebenfalls gilt, was bereits für die linke Seite beschrieben wurde. Die linke Seite des Funktionsrandes wurde allerdings wesentlich besser von dem Scanner erfasst. Die für die Ansicht von oben beschriebenen schlechter reproduzierbaren Bereiche (roter Pfeil), gehen auch in der Ansicht von der rechten Seite in besser reproduzierbare Bereiche über. Kaudal am Funktionsrand liegt ein schlechter reproduzierbarer Bereich (blauer Pfeil)

5.1.3 Die Gruppe mit doppelter Menge an Abformmaterial

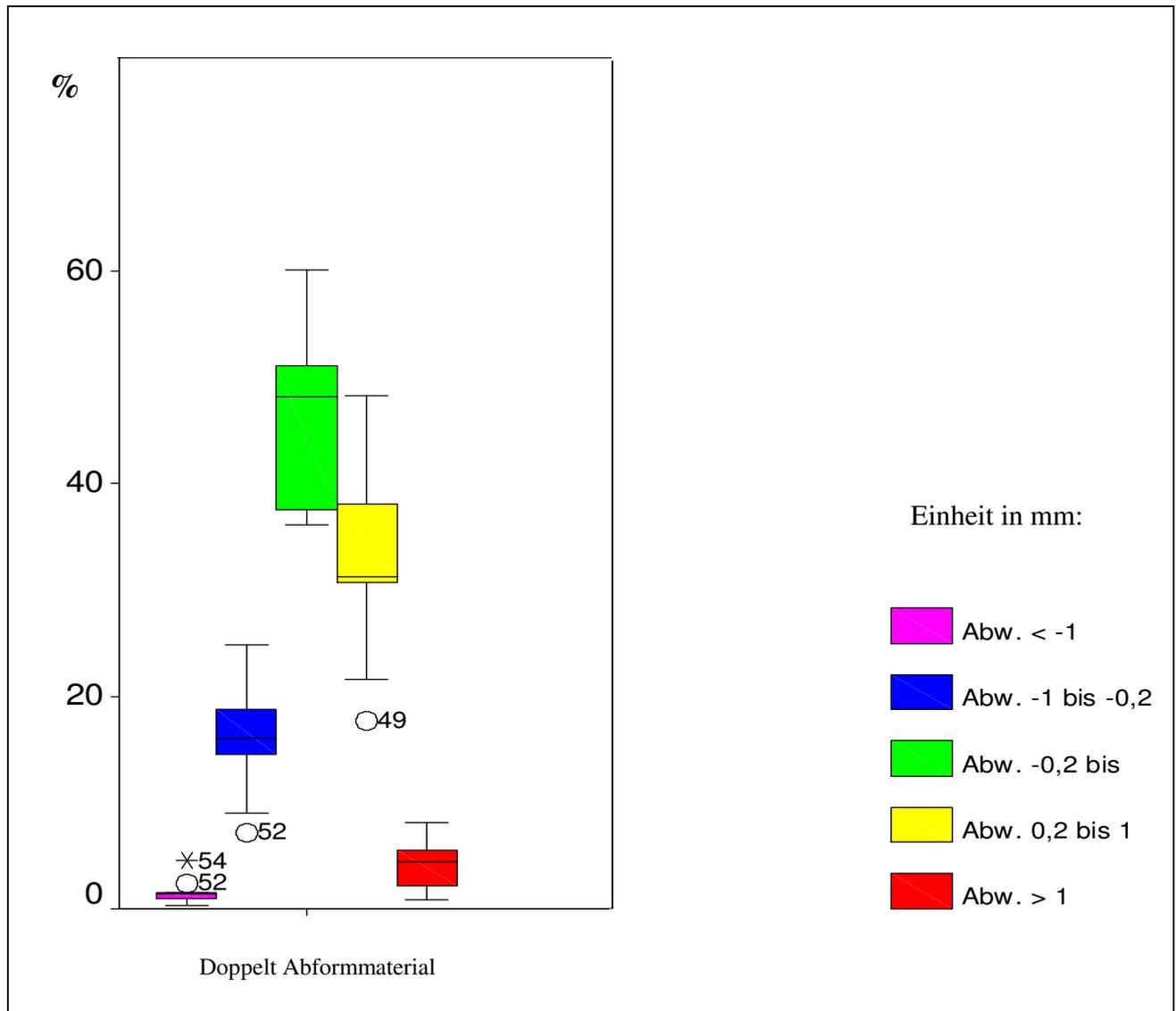


Abb. 5.9: Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen bei doppelter Menge an Abformmaterial und einfacher Menge an Verzögerer (normale Mundverweildauer).

Der größte Anteil an Punkten entfällt auf den Abweichungsbereich (+/- 0,2 mm). Der Streubereich der Ergebnisse ist allerdings sehr breit. Das bedeutet, dass der Anteil an Punkten, der auf diese Gruppe entfällt von Testabformung zu Testabformung recht unterschiedlich groß ist. Der Median liegt bei 48 %. Ein verhältnismäßig kleiner Anteil an Punkten der Testabformungen hat eine größere Abweichung als (+/- 1 mm) von der Vergleichsabformung.

Graphische Auswertung:

Die Differenzbilder dieser Gruppe haben kein immer wiederkehrendes für die jeweilige Gruppe charakteristisches Muster gemeinsam, wie es bei den Abformungen der anderen beiden Gruppen zu erkennen war. Trotzdem gibt es einige Merkmale, die für die Differenzbilder alle Abformungen dieser Gruppe gleichermaßen gelten. Diese Merkmale werden an nun folgenden Differenzbildern erläutert, die stellvertretend für alle Differenzbilder dieser Gruppe dargestellt stehen.

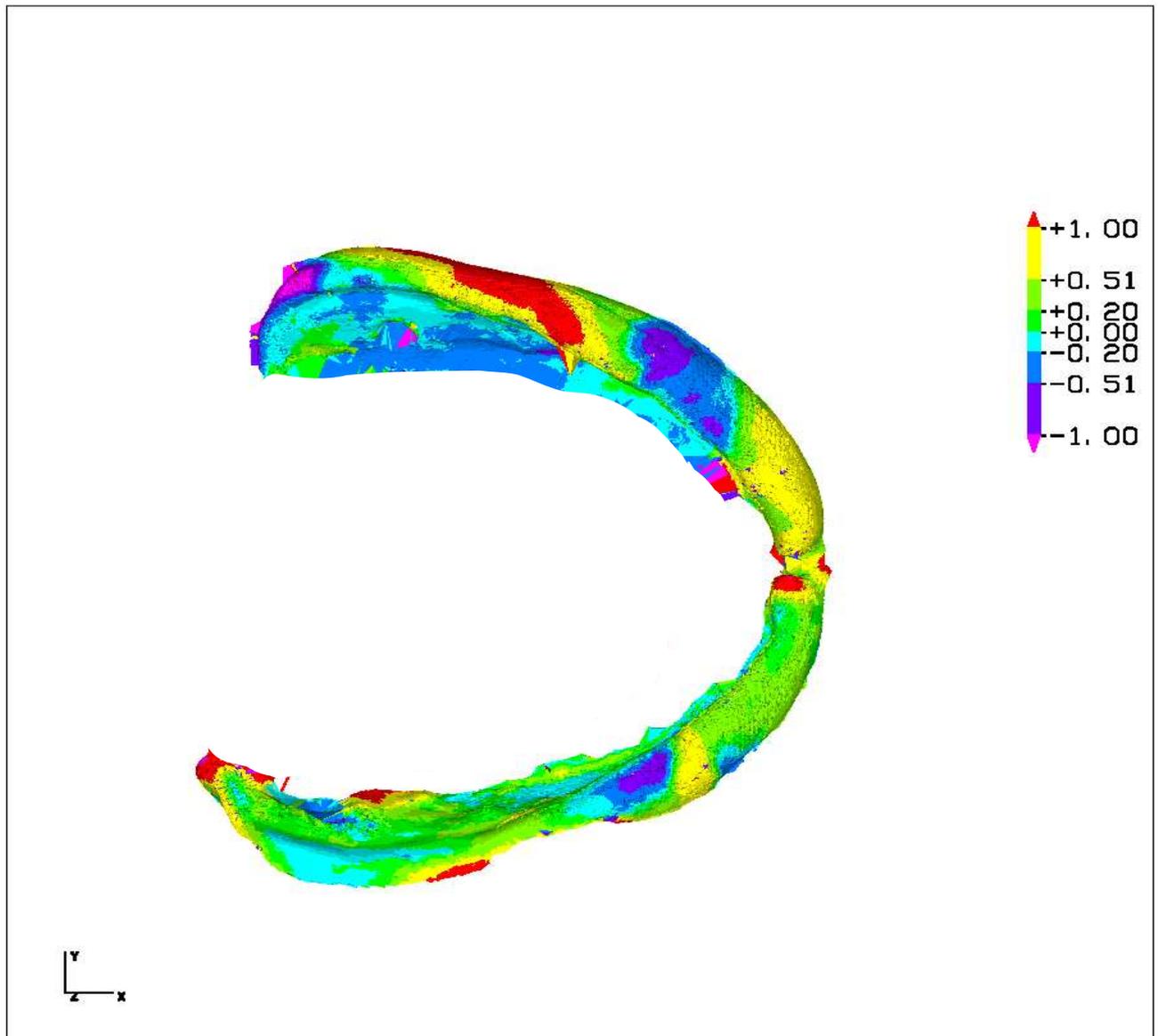


Abb. 5.10: Differenzbild zweier Abformungen mit doppelter Menge an Abformmaterial; Ansicht von oben.

In dieser Ansicht stellt sich der Funktionsrand als gut reproduzierbar dar. Alle Funktionsränder dieser Gruppe haben gemeinsam, dass in der Ansicht von oben kaum Bereiche auftreten, die für größere Unterschiede zwischen den Abformungen sprechen. Ein einheitliches Verteilungsmuster des Abformmaterials tritt aber nicht auf.

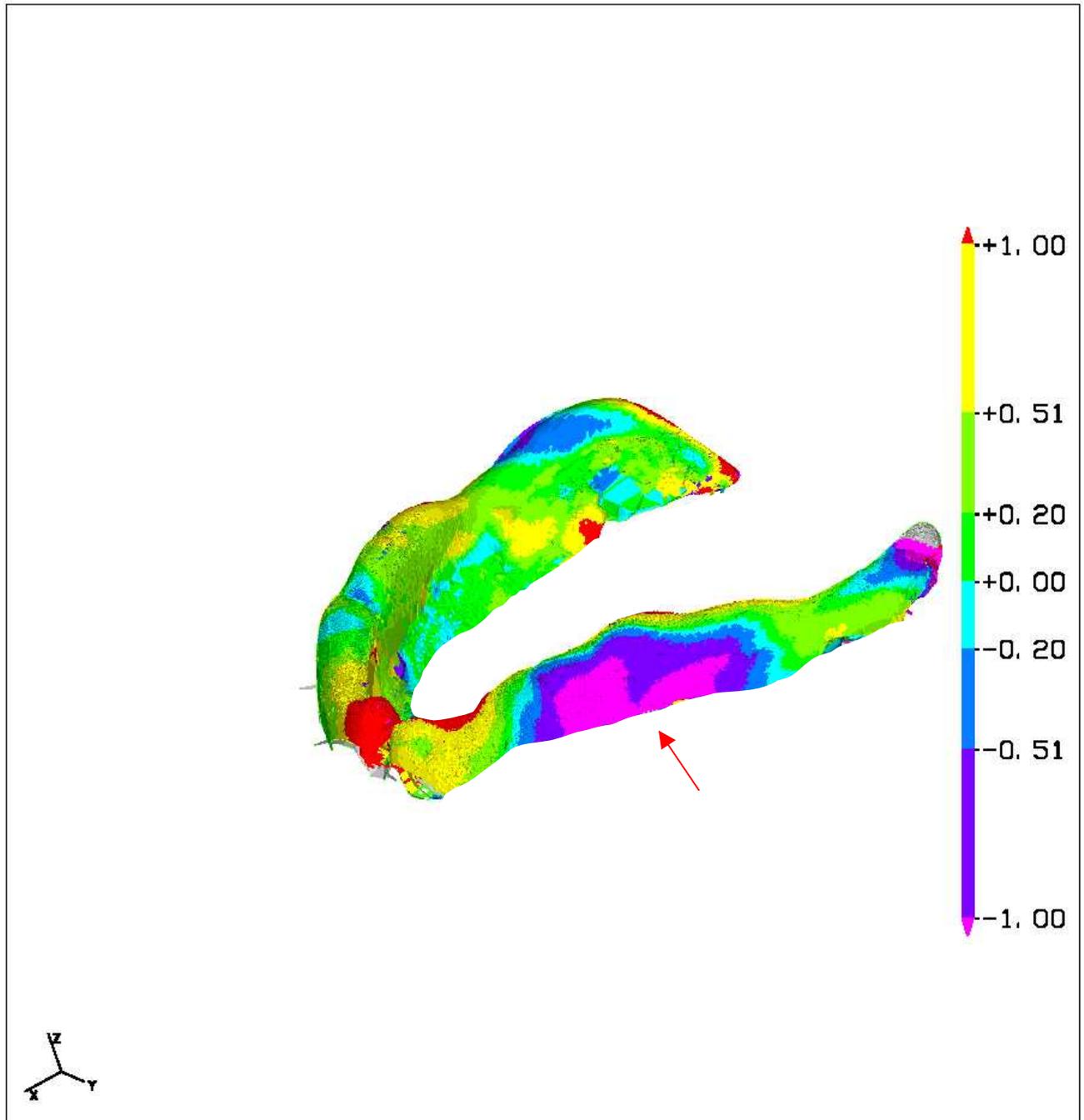


Abb. 5.11: Differenzbild zweier Abformungen mit doppelter Menge an Abformmaterial;
Ansicht von links.

Es treten bei allen Abformungen dieser Serie in der Seitenansicht großflächige Bereiche auf, die für deutliche Unterschiede zwischen den Funktionsrändern stehen (roter Pfeil). Von Abformung zu Abformung sind diese aber an verschiedenen Stellen zu finden.

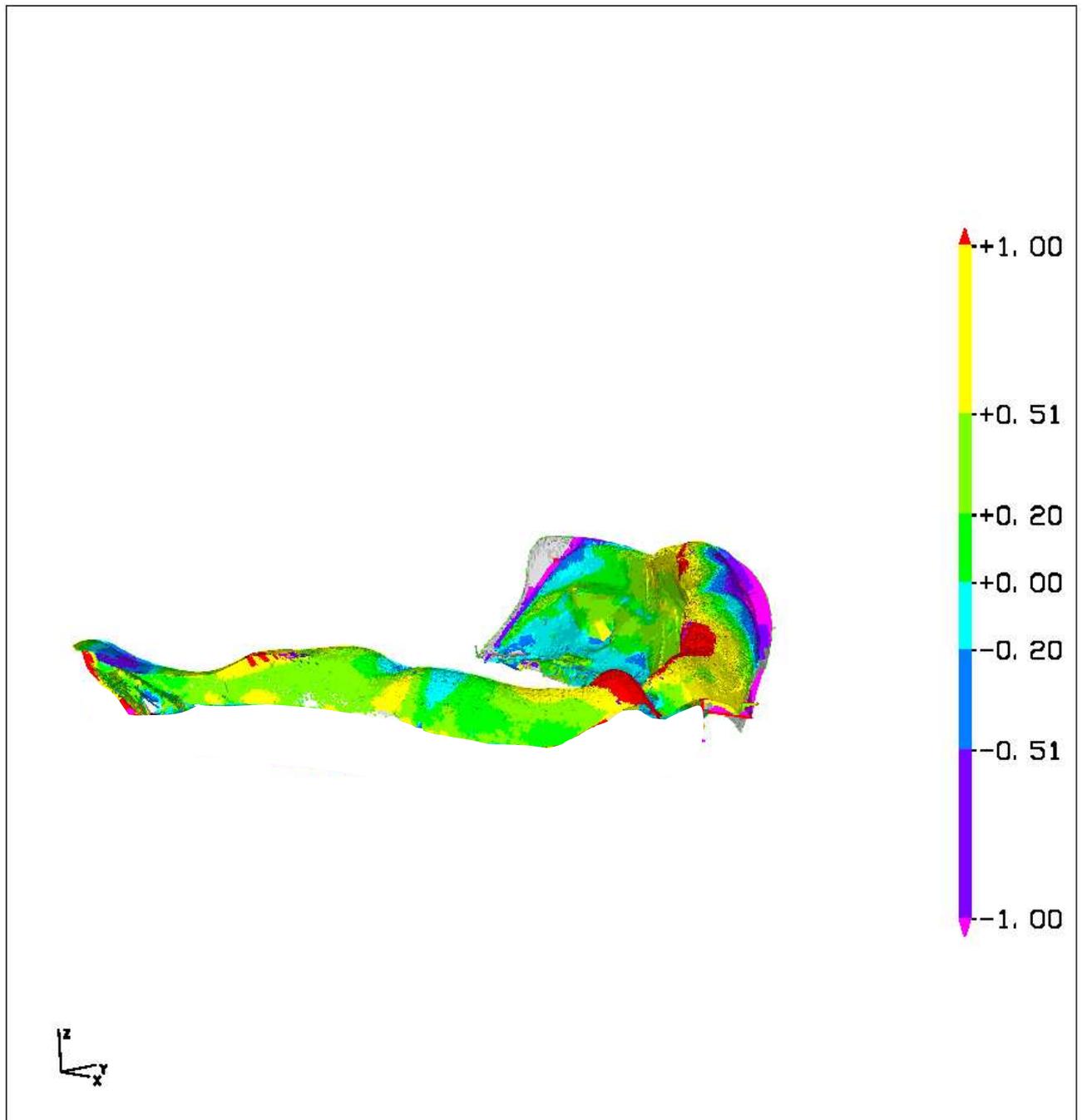


Abb. 5.12: Differenzbild zweier Abformungen mit doppelter Menge an Abformmaterial;
Ansicht von rechts.

Es ist auffallend, dass die rechte Seite sich nicht spiegelbildlich zur linken Seite des Funktionsrandes verhält, wie dass bei den Abformungen der Kontrollgruppe und der Gruppe mit längerer Mundweildauer der Fall ist. Die rechte Seite stellt sich in obiger Abbildung 5.12 als gut reproduzierbar dar. In Abbildung 5.11 kann man erkennen, dass die linke Seite dieser Abformung große schlecht reproduzierbare Bereiche aufweist.

5.1.4 Einfluss der Mundverweildauer und der Materialmenge auf die Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen

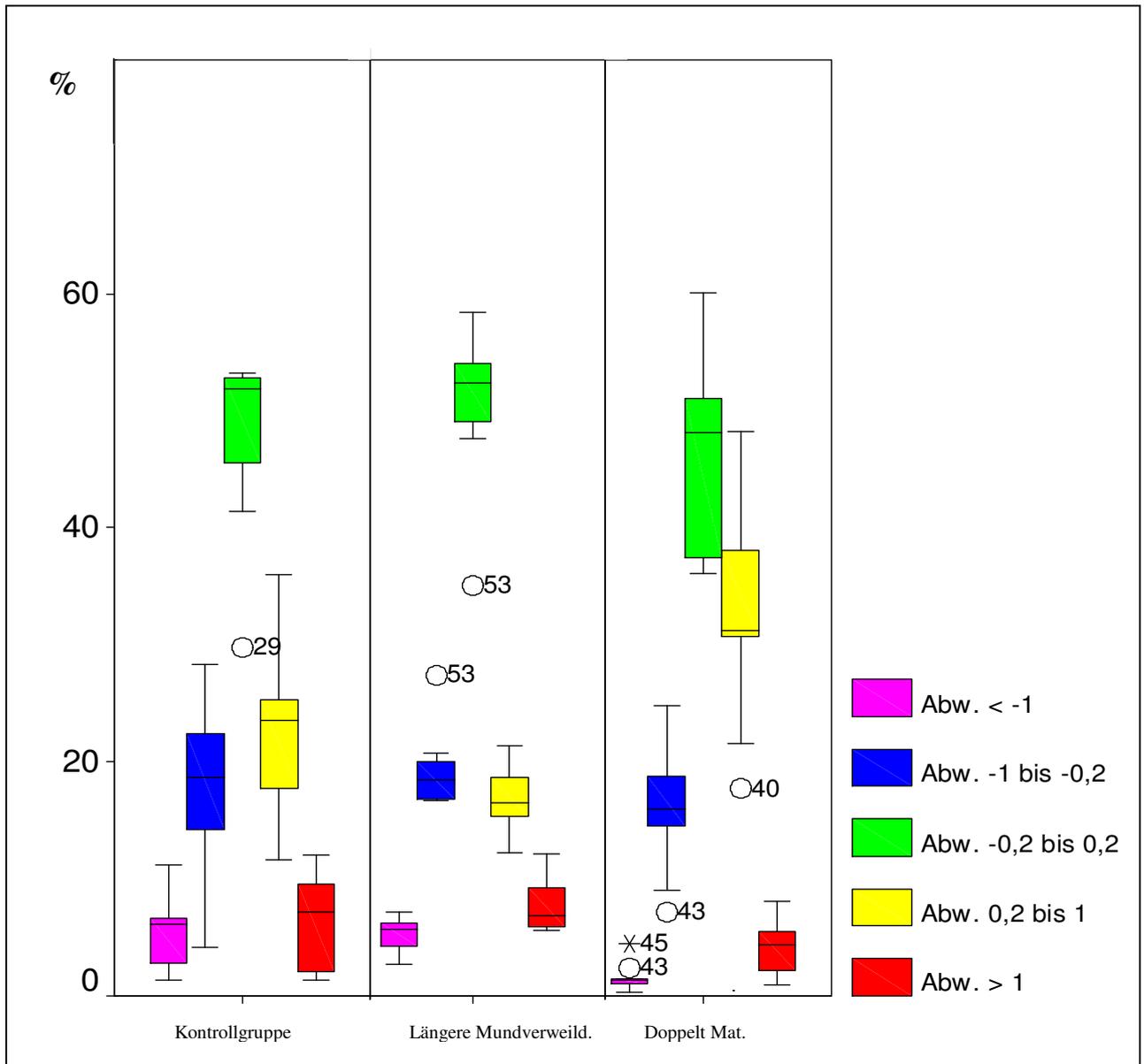


Abb. 5.13: Links: Kontrollgruppe; Mitte: Längere Mundverweildauer; Rechts: doppelt Material

In Abb. 5.13 sind die vorangegangenen beschriebenen Ergebnisse nebeneinander im Vergleich dargestellt.

Der Bereich, der für eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Funktionsränder steht, umfasst eine Abweichung von (+/- 0,2 mm) zwischen der Vergleichsabformung und den Testabformungen (grün)

Wie in Abbildung 5.13 erkennbar ist, liefert die Gruppe mit längerer Mundverweildauer (Mitte) hier das beste Ergebnis. Der Anteil an Bildpunkten, der in diese Gruppe der geringst möglichen Abweichung fällt, ist hier am größten. Ebenso sind die Ergebniswerte eng um den Median gruppiert, was für ein einheitliches Ergebnis der verschiedenen Abformungen dieser Gruppe spricht.

Die Kontrollgruppe (einfache Mundverweildauer und einfache Menge an Abformmaterial, links dargestellt) liefert das zweit beste Ergebnis für diese Abweichungsgruppe. Der Median der Kontrollgruppe (52%) liegt nur geringfügig unterhalb des Medians der Gruppe mit längerer Mundverweildauer (53%).

Die Kontrollgruppe hat im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen den größten Anteil an Punkten mit einer Abw. von ($> + 1$ mm) bzw. ($< - 1$ mm).

Der geringste Anteil an Punkten mit einer Abweichung ($> + 1$ mm) bzw. ($< - 1$ mm) ist bei der Gruppe mit doppelter Menge an Abformmaterial zu finden (rechts). Gleichzeitig entfällt hier aber auch der geringste Anteil an Punkten auf den Bereich, der für gute Übereinstimmung zwischen den Abformungen steht (Abw. +/-0,2 mm). Weiterhin gilt, dass die Ergebnisse im Abweichungsbereich (+/-0,2 mm) sehr stark gestreut sind, so dass man sagen kann, dass die Abformungen innerhalb der Gruppe sehr unterschiedlich ausfallen.

In Tabelle 5.1 sind die Ergebnisse der statistischen Prüfung dargestellt (Games Howell Test).

	einfache Menge an Abformmaterial. und einfache Menge an Verzögerer (Kontrollgruppe)				
	<(-1)	(-1)-(-0,2)	(-0,2)-(+0,2)	(+0,2)-(+1)	>(+1)
Längere Mundverweildauer	0,724	0,1	0,789	0,21	0,037*
doppelte. Material Menge	0,0002***	0,773	0,164	0,0011***	0,1

Tab. 5.1: Statist. signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Gruppen.

* = signifikant; ** = hoch signifikant; *** = höchst signifikant

5.2 Einfluss von Materialmenge und Mundverweildauer im Vergleich zur Kontrollgruppe

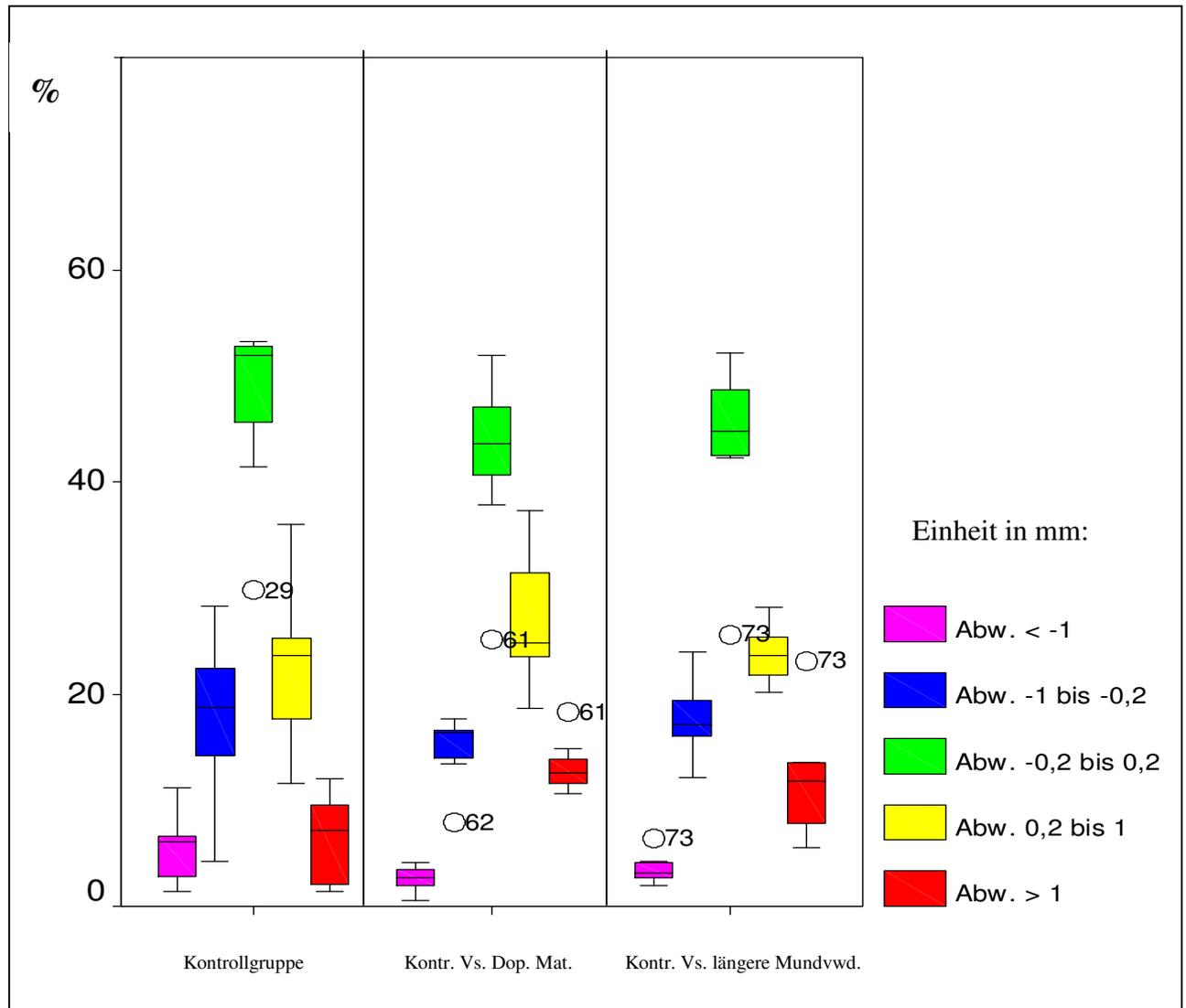


Abb. 5.14: Links: Reproduzierbarkeit der Kontrollgruppe;
 Mitte: Vergleich der Kontrollgruppe mit der Gruppe mit doppelter Materialmenge.
 Rechts: Vergleich der Kontrollgruppe mit der Gruppe mit längerer Mundverweildauer.

In dem obigen Diagramm (Abb. 5.14) ist ganz links zum Vergleich noch einmal die Kontrollgruppe dargestellt.

In der Mitte ist dargestellt, welche Gemeinsamkeiten sich ergeben, wenn man eine Abformung der Kontrollgruppe mit allen Abformungen mit doppelter Abformmaterialmenge vergleicht.

Dementsprechend wurden auch alle Abformungen mit längerer Mundverweildauer mit der Vergleichsabformung der Kontrollgruppe verglichen (rechts dargestellt in Abb. 5.14).

Aus der Abbildung 5.14 geht hervor, dass sich die Abformungen mit doppelter Menge an Abformmaterial oder längerer Mundverweildauer von den Abformungen der Kontrollgruppe unterscheiden. Tendenziell bestehen größere Unterschiede zwischen den Abformungen der Kontrollgruppe und den Abformungen mit doppelter Materialmenge, als zwischen den Abformungen der Kontrollgruppe und den Abformungen mit längerer Mundverweildauer.

Im Vergleich zur Kontrollgruppe hat bei der Gruppe mit doppelter Abformmaterialmenge ein größerer Anteil an Punkten eine positive Abweichung (gelb, rot). Das erscheint logisch, da es sich hierbei um einen Materialüberschuss der getesteten Abformung (doppelte Abformmaterialmenge) gegenüber der Kontrollabformung (einfache Abformmaterialmenge) handelt. Dementsprechend sinkt hier auch der Anteil an Punkten der eine negative Abweichung (Materialunterschuss) aufweist.

Aus Abbildung 5.14 geht weiterhin hervor, dass bei den Abformungen mit längerer Mundverweildauer der Anteil an Bildpunkten mit einer Abw. > (+1 mm) im Vergleich zur Kontrollgruppe, deutlich ansteigt. Bei den Testabformungen mit längerer Mundverweildauer gibt es folglich viele Stellen, an denen im Vergleich zur Kontrollabformung ein Materialüberschuss herrscht.

Für alle übrigen Abweichungsbereiche sinkt der prozentuale Anteil an Bildpunkten der Abformungen mit längerer Mundverweildauer im Vergleich zur Kontrollgruppe.

	einfache Menge an Abformmaterial und einfache Menge an Verzögerer (Kontrollgruppe)				
	<(-1)	(-1)-(-0,2)	(-0,2)-(+0,2)	(+0,2)-(+1)	>(+1)
Vergleich d. Kontrollgruppe mit doppelt Material – Gr.	1	0,872	0,012*	0,078	0,0004***
Vergleich der Kontrollgr. mit längere Mundverw.- Gr.	0,00032***	0,001**	0,078	0,0005***	0,09

Tab. 5.2 : Ergebnisse der statistischen Prüfung.

* = signifikant; ** = hoch signifikant; *** = höchst signifikant

5.2.1 Graphische Darstellung des Vergleichs der Kontrollgruppe mit den Abformungen mit längerer Mundverweildauer

Alle Differenzbilder die aus dem Vergleich der Kontrollgruppe mit den Abformungen mit längerer Mundverweildauer resultieren, weisen die gleichen Charakteristika auf.

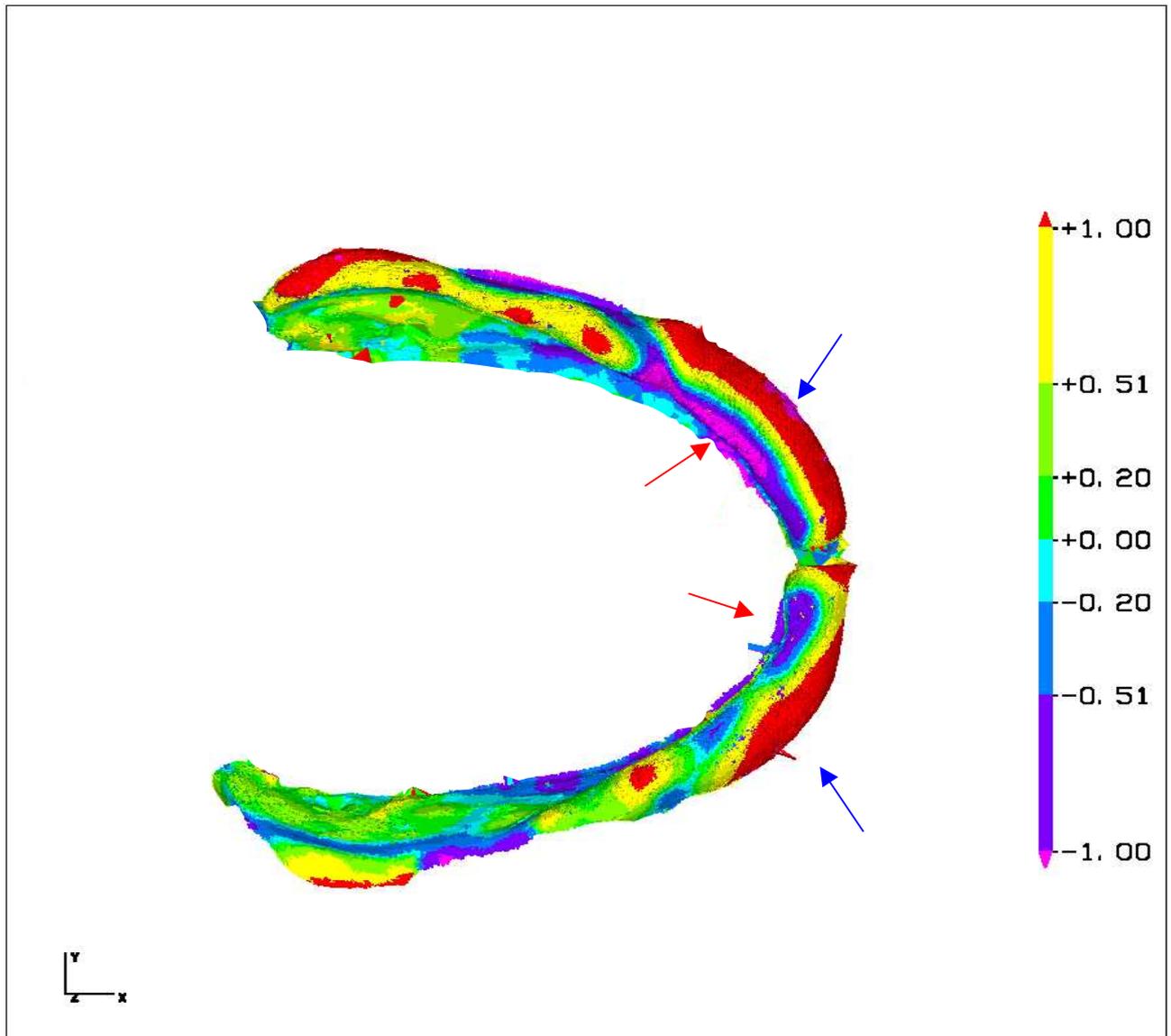


Abb. 5.15: Differenzbild einer Abformung der Kontrollgruppe und einer Abformung mit längerer Mundverweildauer; Ansicht von oben.

Vor allem im Bereich von Eckzahn zu Eckzahn ist gut zu erkennen, dass die Muskulatur bei den Abformungen der Gruppe mit längerer Mundverweildauer im oral gelegenen Bereich des Funktionsrandes mehr Abformmaterial verdrängt hat (roter Pfeil). Hier besteht hingegen zu den Abf. der Kontrollgruppe ein Materialdefizit. Weiter vestibulär ist bei der Abformung mit längerer Mundverweildauer ein Materialüberschuss zu erkennen (blauer Pfeil). Die Muskulatur hat also bei den Abformungen mit längerer Mundverweildauer oral mehr Silikon verdrängt und vestibulär aufgelagert.

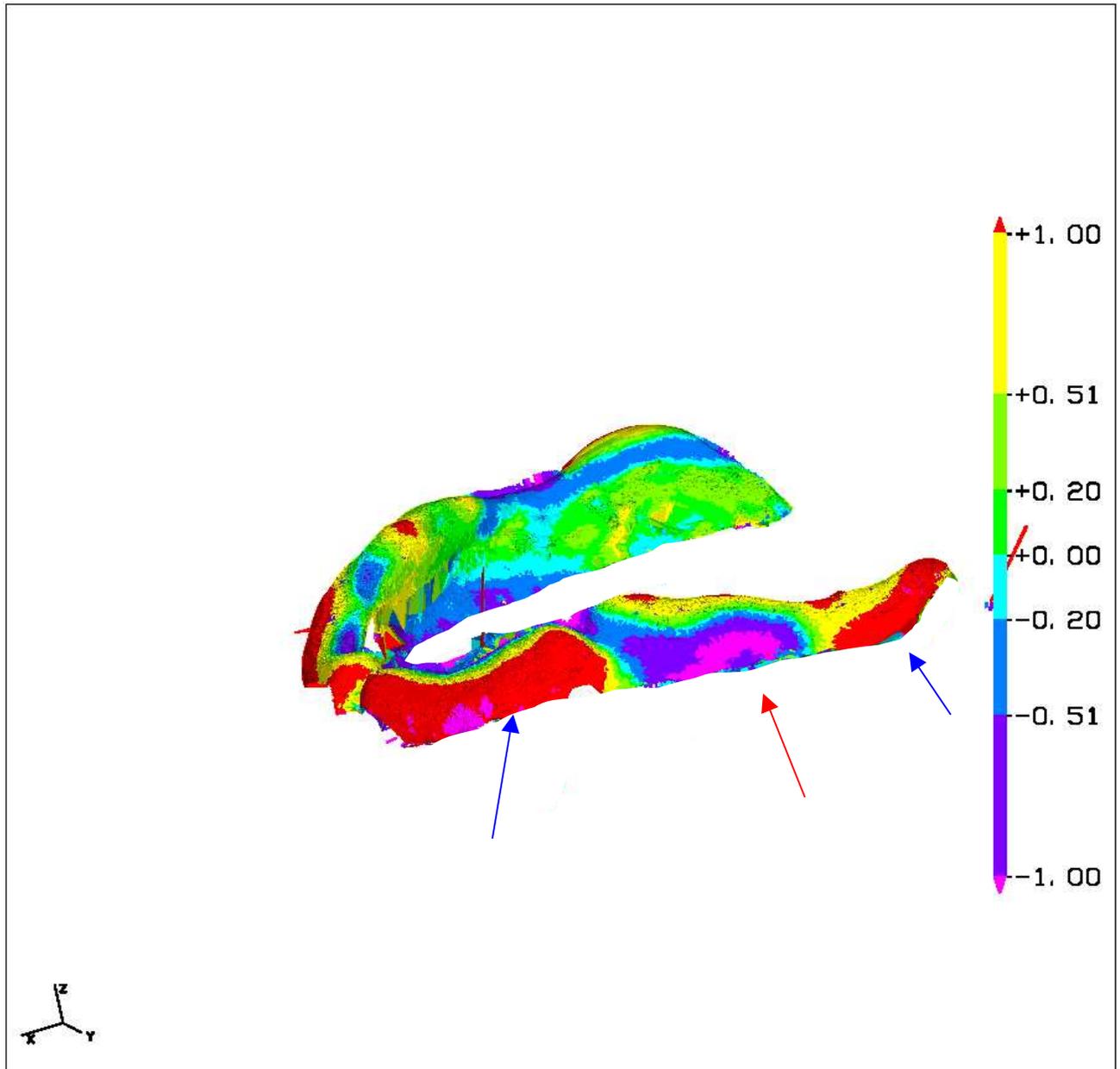


Abb.5.16: Differenzbild einer Abformung der Kontrollgruppe und einer Abformung mit längerer Mundverweildauer; Ansicht von links.

In einem Bereich mit dem Zentrum in der Gegend des ersten/zweiten Molaren hat die Muskulatur bei den Abformungen der Gruppe mit längerer Mundverweildauer hingegen der Funktionsabformungen der Kontrollgruppe vermehrt Abformmaterial weggedrückt (roter Pfeil). Diese verdrängte Material wurde vor allem mesial aber auch distal von eben beschriebenen Bereich aufgelagert (blaue Pfeile).

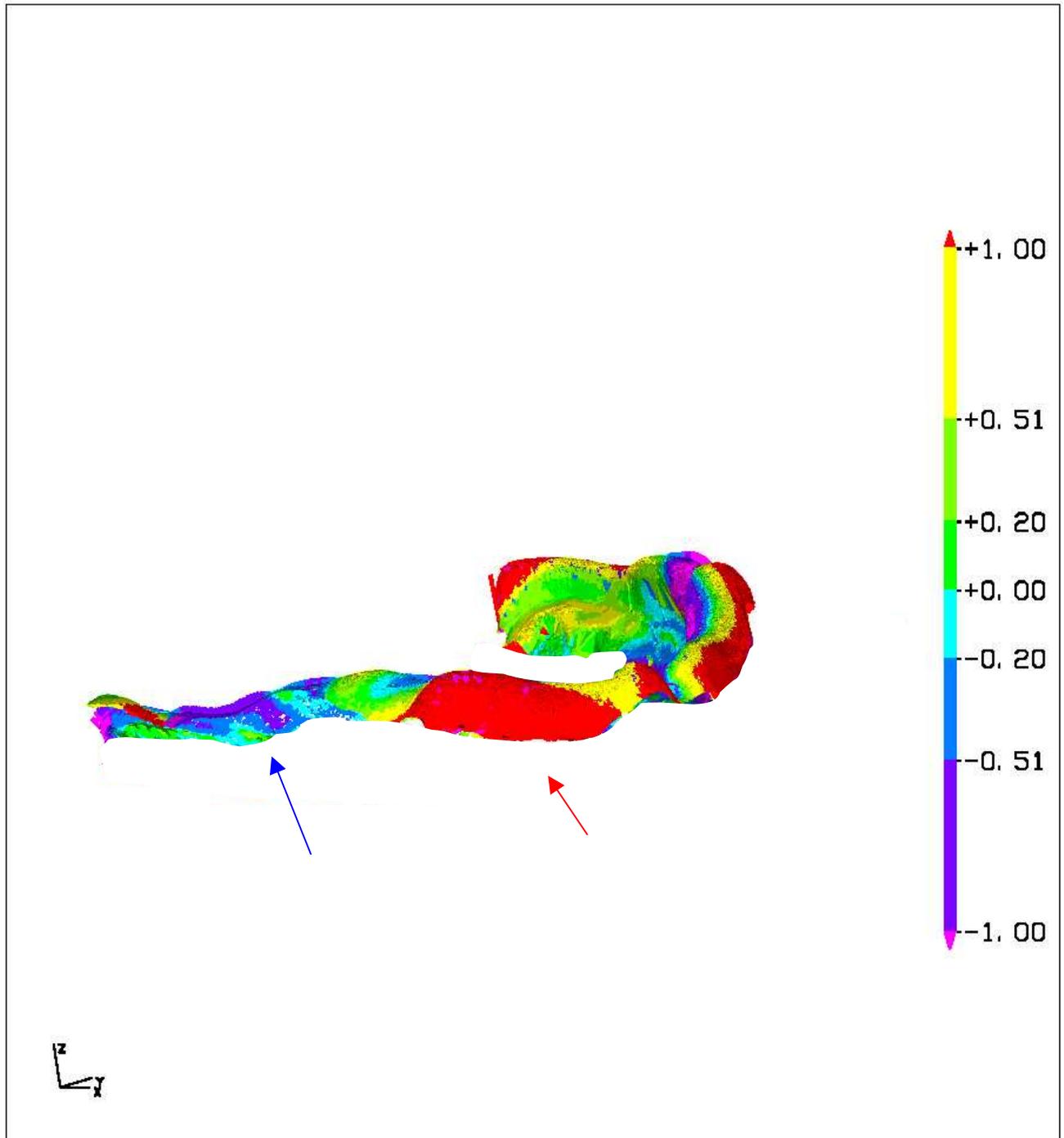


Abb. 5.17: Differenzbild einer Abformung der Kontrollgruppe und einer Abformung mit längerer Mundverweildauer; Ansicht von rechts.

Auch auf der rechten Seite deutet sich an, dass bei den Abformungen mit längerer Mundverweildauer im Bereich des zweiten Molaren durch die Muskulatur mehr Silikon verdrängt wurde (blauer Pfeil) und vor allem weiter mesial (roter Pfeil) aufgelagert wurde. Die linke und die rechte Seite verhalten sich in etwa spiegelbildlich.

5.2.2 Graphische Darstellung des Vergleichs der Kontrollgruppe mit den Abformungen mit doppelter Menge an Abformmaterial

Folgende Abbildungen sind stellvertretend für alle Differenzbilder dieser Gruppe.

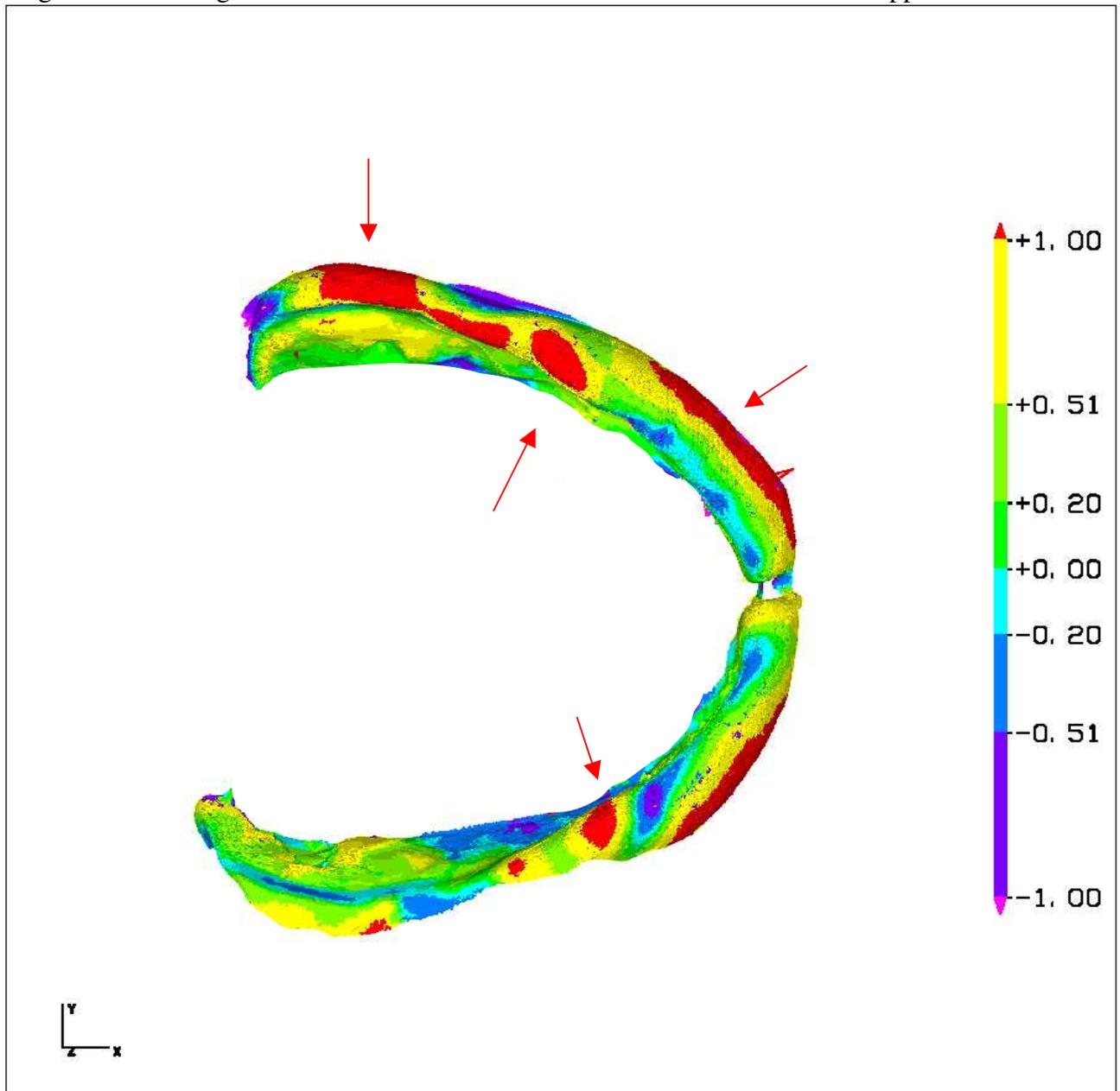


Abb. 5.18: Differenzbild einer Abformung der Kontrollgruppe und einer Abformung mit doppelter Abformmaterialmenge; Ansicht von oben.

In der Ansicht von oben ist zu erkennen, dass es hinsichtlich der Kammlinie der Abformungen keine großen Unterschiede zwischen den Abformungen gibt.

Kleine Bereiche mit größeren Differenzen (rote Pfeile) zwischen den Abformungen treten von Vergleich zu Vergleich an verschiedenen Stellen auf, da die Abformungen mit doppelter Menge an Abformmaterial innerhalb der Serie kein genau wiederkehrendes Muster aufweisen.

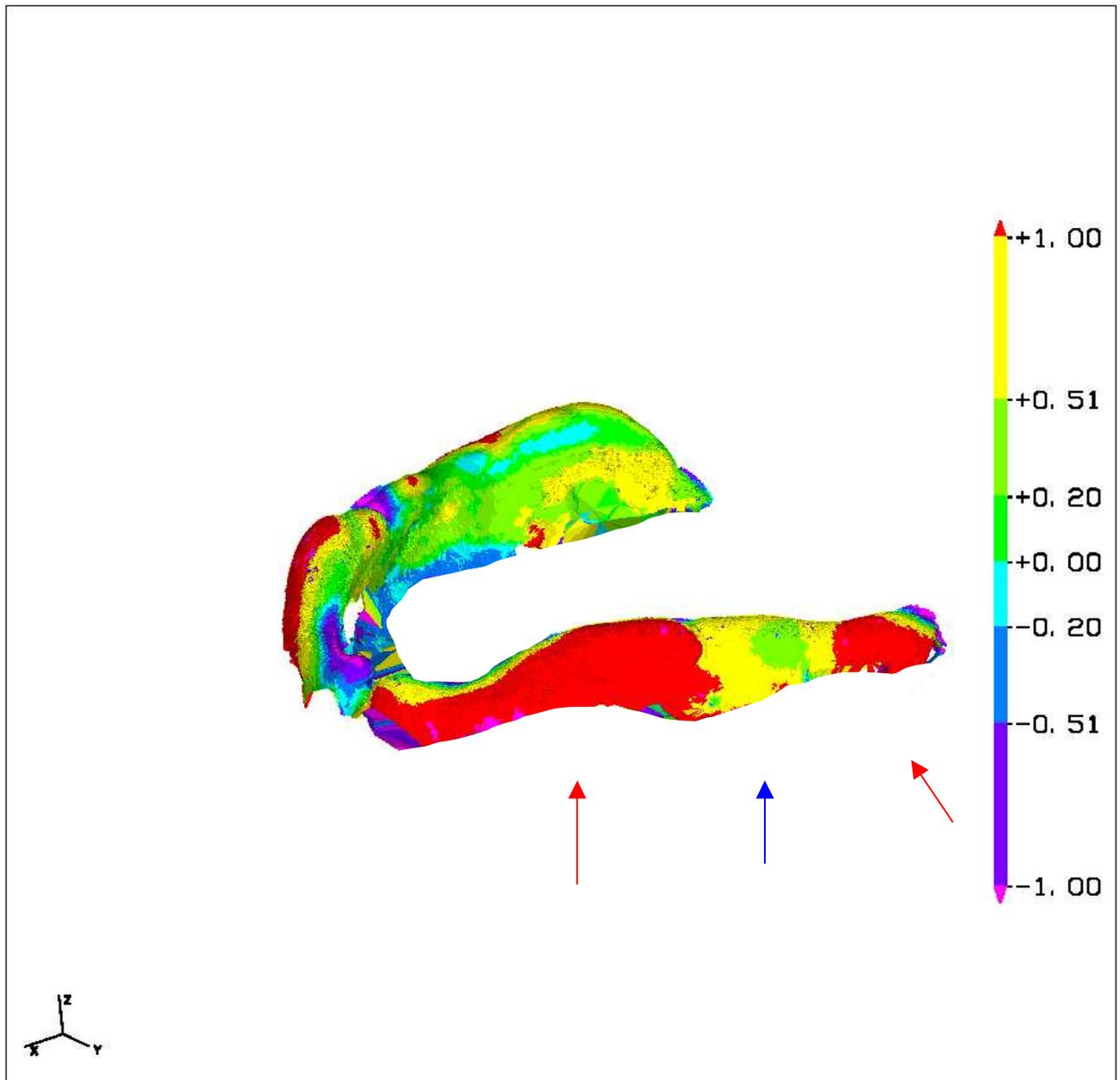


Abb. 5.19: Differenzenbild einer Abformung der Kontrollgruppe und einer Abformung mit doppelter Abformmaterialmenge; Ansicht von links.

Bis auf einen Bereich mit dem Zentrum in der Gegend des zweiten Molaren (blauer Pfeil) ergeben sich in der Seitenansicht große Unterschiede zwischen den Abformungen der beiden Gruppen. Mesial und distal des eben beschriebenen Bereichs wurde bei den Abformungen mit mehr Abformmaterial wesentlich mehr Silikon aufgebaut, als bei der Kontrollgruppe (rote Pfeile). Obwohl die Abformungen mit mehr Abformmaterial innerhalb der Gruppe unterschiedlich ausfallen, ist allen gemeinsam, dass der zusätzliche Silikonanteil durch die Muskulatur auf die vestibuläre Fläche verdrängt wurde und nur unwesentlich davon auf der Kammlinie der Funktionsränder zu finden ist.

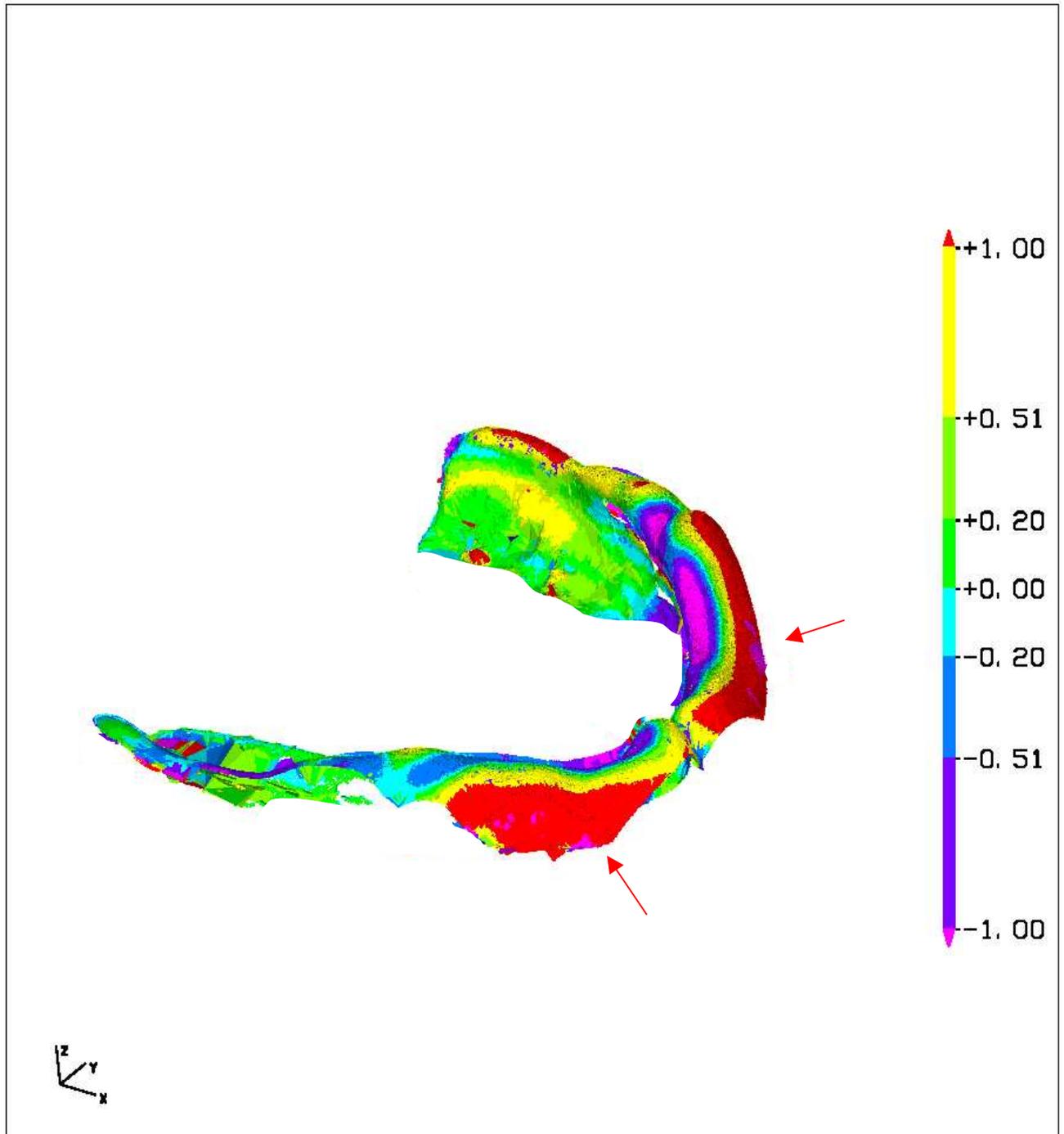


Abb. 5.20: Differenzenbild einer Abformung der Kontrollgruppe und einer Abformung mit doppelter Abformmaterialmenge; Ansicht von rechts.

Die rechte Seite der Funktionsabformung wurde von dem Scanner schlechter erfasst, trotzdem deutet sich an, dass auch hier das zu trifft, was für die linke Seite beschrieben wurde.

Das zusätzliche Silikon wurde durch die Muskulatur nach vestibulär verdrängt (rote Pfeile).

6 Diskussion

Wie zu Anfang beschrieben war das Ziel dieser Studie herauszufinden, wie reproduzierbar die Funktionsrandgestaltung mittels myodynamisch, aktiver Funktionsabformung in zentraler Relation im Oberkiefer ist.

Für die Abformung von präparierten Zahnstümpfen zur Herstellung von Kronen und die Abformung für die Herstellung von Modellgüssen gibt es exakte Anforderungen an das Abformmaterial bezüglich der Detailwiedergabe und Dimensionstreue. Bei Kronen - und Brückenarbeiten finden sich beispielsweise in der Literatur Hinweise, dass Feinheiten des beschliffenen Zahnstumpfes mit einer Präzision von 25 μm [7] durch das Abformmaterial wiedergegeben werden können. Für den Randspalt einer Krone ist anzustreben, dass er nicht größer als 100 μm ist [38].

Ein korrekt präparierter Zahnstumpf hat eine klar erkennbare, starre Abgrenzung zu den nicht beschliffenen Teilen des Zahnes. Anhand von Vermessungen des Präparationsrandes des Zahnstumpfes und des aus der Abformung resultierenden Modells, kann man eindeutige Aussagen über die erzielte Abformgenauigkeit und deren Reproduzierbarkeit machen.

Im Hinblick auf die Abformungen für totalen Zahnersatz wird in der Literatur [20] lediglich darauf hingewiesen, dass die Anforderungen an die Genauigkeit hier geringer sind als bei der Herstellung von Modellgüssen und Kronen. Das erscheint sinnvoll, denn bei der Abformung von Schleimhaut handelt es sich um ein dynamisches System mit fließenden Abgrenzungen und Übergängen. Werte, die für die Abformungen von beschliffenen Zahnstümpfen gelten, können folglich nicht auf die Abformung von Schleimhaut übertragen werden.

Weiterhin ergibt sich das Problem, dass keine eindeutig definierbare Ausgangssituation besteht, die als Vergleich dienen kann.

Da bei der gegenwärtigen Untersuchung also kein Original vorliegt, mit dem die Funktionsabformungen verglichen werden können, bleibt folglich nur die Funktionsabformungen untereinander zu vergleichen.

Um grundsätzliche Aussagen zur Reproduzierbarkeit von Funktionsabformungen machen zu können, muss zunächst geklärt werden, in welcher Größenordnung von einer guten Reproduzierbarkeit gesprochen werden kann.

Bereits 1992 war das Thema der Reproduzierbarkeit von Funktionsabformungen im Oberkiefer Gegenstand einer Untersuchung. ELLENBECK [8] kam zu dem Ergebnis, dass zwischen Minimal

– und Maximalwert eines Punktes im Mittel eine Differenz von 1,6 mm bzw. 1,2 mm (je nach Proband) besteht. Er konstatierte damit eine hohe Reproduzierbarkeit der unter standardisierten Bedingungen gewonnenen Funktionsabformungen.

Die Ergebnisse dieser Studie sind nur bedingt mit den Ergebnissen ELLENBECKS zu vergleichen, da es sich, wie bereits geschildert, um zwei verschiedenen Vorgehensweisen zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen handelt.

In der gegenwärtigen Studie lag der Mittelwert der Bildpunkte, die eine Abweichung $< (+/-0,2 \text{ mm})$ haben bei 47,8% (Kontrollgruppe), 51,3% (längere Mundverweildauer) und 45,7% (doppelt Material). Das heißt, dass abhängig von den unterschiedlichen Gruppen, annähernd jeder zweite vermessene Punkt der Testabformungen eine für Schleimhautverhältnisse sehr kleine Abweichung von der Vergleichsabformung hatte. Legt man diese Überlegung zugrunde kann man sagen, dass eine hohe Reproduzierbarkeit vorliegt.

Weiterhin war das Thema dieser Untersuchung, in wieweit die Reproduzierbarkeit durch Einflussfaktoren, wie die Mundverweildauer und die zur Abformung verwendete Menge an Abformmaterial, beeinflusst wird.

Es stellte sich heraus, dass die Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen innerhalb der Gruppe mit doppelter Menge an Silikon am geringsten war.

Anhand der graphischen Auswertung war zu erkennen, dass die Höhe der Kammlinie unverändert blieb und das zusätzliche Abformmaterial durch die Muskulatur auf die vestibuläre Fläche verdrängt wurde. Die Funktionsränder wurden also breiter aber nicht höher.

Es ist wohl eine Mindestmenge an Abformmaterial nötig, damit die Muskulatur daraus einen Funktionsrand formen kann. Wird dieses Maß überschritten, ist die Muskulatur kräftig genug um dass in vertikaler Höhe zu viel aufgebaute Silikon zu verdrängen. Vestibulär scheint die Muskulatur das Silikon nicht mehr richtig formen zu können. Die linke und rechte Seite der Abformungen verhalten sich nicht spiegelbildlich und die Abformungen unterscheiden sich hier stark voneinander. Wie in der graphischen Auswertung beschrieben, gab es auf der vestibulären Fläche nur eine Stelle die stets gut reproduzierbar war. Hier scheint die Muskulatur stark genug zu sein um auch die größere Menge an Abformmaterial zu verdrängen.

Abformungen mit doppelter Menge an Verzögerer liefern die besten Ergebnisse bezüglich der Reproduzierbarkeit. Es besteht also ein Zusammenhang zwischen der Zeit, die dem Patienten für die Funktionsbewegungen zur Verfügung steht und dem Ergebnis der Abformung.

Anhand der graphischen Auswertung war zu erkennen, dass die Kammhöhe der Abformungen mit längerer Mundverweildauer an bestimmten Stellen geringer war als bei den Abformungen der anderen Gruppen. Für die Seitenansicht gilt, dass auch hier eine charakteristische Stelle auffällt. Im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen wurde hier durch die Muskulatur noch mehr Material verdrängt. Man kann daraus schließen, dass die Muskulatur, besonders an den Stellen, an denen sie stark ausgeprägt ist, mit zunehmender Zeit mehr Material an Stellen mit geringerer Muskeltätigkeit verdrängt.

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Funktionsabformungen führten zu einem Ergebnis, das in hohem Maße reproduzierbar waren. Der Funktionsrand ist folglich kein einmaliges Zufallsprodukt. Daraus kann man schließen, dass es möglich sein sollte, für jeden zahnlosen Patienten einen auf die entsprechenden anatomischen Begebenheiten individuell angepassten Funktionsrand zu gestalten.

Die Reproduzierbarkeit ist jedoch an verfahrenstechnische Faktoren gekoppelt. In dieser Studie konnte der Einfluss der Menge des verwendeten Abformmaterials und der Mundverweildauer dargestellt werden. In der Praxis treten aber noch wesentlich mehr Aspekte auf, die einen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen haben könnten.

Es stellt sich beispielsweise die Frage, welchen Einfluss der behandelnde Zahnarzt auf die Funktionsabformung hat. Es ist nicht geklärt, ob Abformungen, die zwar am gleichen Patienten aber durch unterschiedliche Behandler durchgeführt wurden, zu einem gleichen Ergebnis führen oder nicht.

Weiterhin sind auf dem Markt zahlreiche verschiedene Abformmaterialien zu erhalten, die laut Herstellerangaben für die Funktionsabformungen geeignet sind. Auf die Frage welche Auswirkungen verschiedene Abformmaterialien auf die Reproduzierbarkeit der Abformungen haben, gibt es ebenfalls noch keine Antwort.

In dieser Studie wurden alle Funktionsabformungen mundgeschlossen, aktiv und in zentraler Relation vorgenommen. Wie aber bereits eingangs erwähnt, gibt es noch weitere Methoden der Funktionsabformung, deren Einfluss auf die Reproduzierbarkeit ebenfalls nicht untersucht wurde.

Es gibt folglich viele Faktoren, die für das Gelingen der Funktionsabformung eine Rolle spielen. Man kann allerdings keine eindeutige Aussage darüber treffen, was ausschlaggebend dafür ist, dass der Patient mit seiner Totalprothese zurecht kommt.

Mit Sicherheit spielt die Funktionsabformung und die Gestaltung des daraus resultierenden Funktionsrandes eine wesentliche Rolle. Es gibt aber noch viele andere Faktoren wie beispielsweise die

Okklusion und Artikulation, Bisshöhe, Zahnstellung und Ausdehnung der Prothese, die für den Patienten wesentlich sind. Es bleibt offen, wie groß die Rolle der einzelnen Faktoren ist und wie die einzelnen Faktoren sich gegenseitig beeinflussen. Es liegt aber auf der Hand, dass eine Totalprothese deren Funktionsrand korrekt gestaltet ist, aber einer oder mehrere der anderen Faktoren mangelhaft ausgeführt sind, zu einer herabgesetzten Patientenzufriedenheit führen wird.

Im Hinblick auf die Akzeptanz der Totalprothese durch den Patienten ist wohl aber auch das Alter und die geistige und körperliche Verfassung des Totalprothesenträgers nicht zu vernachlässigen.

7 Zusammenfassung

Gegenstand dieser Studie war es herauszufinden, wie reproduzierbar die Funktionsrandgestaltung mittels myodynamisch, aktiver Funktionsabformung in zentraler Relation im Oberkiefer ist.

Ferner wurde untersucht, in wieweit die Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen durch Einflussfaktoren, wie die Mundverweildauer und die zur Abformung herangezogene Menge an Abformmaterial, beeinflusst wird.

Untersucht wurden 3 unterschiedlichen Gruppen in denen die Mundverweildauer der Abformung und die Abformmaterialmenge variiert wurde: **1.** Kontrollgruppe mit normaler Mundverweildauer und einfacher Abformmaterialmenge. **2.** Gruppe mit doppelter Menge Abformmaterial und normaler Mundverweildauer **3.** Gruppe mit längerer Mundverweildauer durch Beeinflussung der Abbindereaktion des Silikons durch erhöhten Anteil an Verzögerer.

Es wurden in jeder Gruppe jeweils 10 Funktionsabformungen am selben Patienten durch den selben Behandler mit standardisierten Funktionsbewegungen abgeformt. Als Abformlöffel diente die Oberkiefertotalprothese des Patienten, deren Ränder muskelfrei gekürzt wurden. Als Abformmaterial wurde Xantopren function verwendet.

Die Abformungen wurden mit Hilfe des dreidimensionalen, digitalen Scanners diGiscan optisch erfasst und vermessen.

Im ersten Teil der Untersuchung wurde in jeder Gruppe zufällig eine Abformung als Vergleichsabformung ausgewählt, mit der alle übrigen Abformungen dieser Gruppe (= Testabformungen) verglichen wurden.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Reproduzierbarkeit der Funktionsabformungen in der Gruppe mit längerer Mundverweildauer, gefolgt von der Kontrollgruppe, am höchsten ist. Hier haben im Mittelwert 51,3% der vermessenen 85.000 Bildpunkte der Testabformung eine Abweichung von weniger als (+/- 0,2 mm) von den entsprechenden Bildpunkten der Vergleichsabformung. Die Standardabweichung betrug 5.1%.

Die Abformungen mit doppelter Materialmenge lieferten hinsichtlich der Reproduzierbarkeit das schlechteste Ergebnis. Im Mittelwert entfielen hier nur 45,7% der Bildpunkte auf die Abweichungsgruppe mit einer maximalen Differenz von < (+/-0,2 mm) zwischen zwei Punkten. Die Standardabweichung war mit 9,1 % verhältnismäßig hoch.

Abweichungen zwischen Vergleichsabformung und Testabformung, die größer als (+1 mm) bzw. kleiner als (-1 mm) sind, traten insgesamt nur wenig auf (gruppenabhängig 5,7% – 12,0%, Mittelwert). Die Funktionsabformungen können somit als reproduzierbar gewertet werden.

Im zweiten Teil der Studie wurde ein Vergleich der Funktionsabformungen zwischen den drei verschiedenen Gruppen vorgenommen. Hierzu wurde die Vergleichsabformung der Kontrollgruppe mit allen Testabformungen der beiden anderen Gruppen (doppelte Abformmaterialmenge / längere Mundverweildauer) verglichen.

Anhand der graphischen Auswertung der Ergebnisse ließ sich erkennen, dass in Abhängigkeit von Menge des Abformmaterials und Mundverweildauer charakteristische Verteilungsmuster des Silikons auf dem Funktionsrand auftreten.

Insgesamt kann aus den Ergebnissen gefolgert werden, dass die Reproduzierbarkeit von Funktionsabformungen maßgeblich von verarbeitungstechnischen Rahmenbedingungen abhängt.

8 Summary

The aim of this study was to discover how reproducible the functional peripheral contours are using a myodynamic, active functional impression technique in central relation in the upper jaw.

The effect that influencing factors, such as intraoral setting time and the amount of impression material used for taking the impression, have on the reproducibility of functional impressions was also examined.

The study covered three different groups in which the intraoral setting time of the impression and the amount of impression material were varied: **1.** Control group with normal intraoral setting time and single quantity of impression material. **2.** Group with double quantity of impression material and normal intraoral setting time. **3.** Group with longer intraoral setting time due to the effect of an increased proportion of inhibitor on the setting reaction of the silicone.

In each group 10 functional impressions were taken with the same patient by the same operator with standard functional movements. The patient's full upper denture, which was relieved at the peripheries in the muscle areas, was used as an impression tray. The impression material used was Xantopren function.

The impressions were optically recorded and measured using the diGiscan three-dimensional digital scanner.

In the first part of the study, an impression was randomly selected in each group as a comparison impression against which all the other impressions in this group (= test impressions) were compared.

It was concluded from the results that reproducibility of functional impressions was highest in the group with a longer intraoral setting time, followed by the control group. On average 51.3% of the measured 85,000 pixels of the test impression exhibited a deviation less than +/- 0,2 mm from the pixels of the comparison impression. The standard deviation was 5.1%.

The impression with double the quantity of material produced the worst results with regard to reproducibility. On average there was only 45.7% of the pixels in the deviation group with a maximum deviation of +/- 0,2 mm between to pixels. The standard deviation was relatively high at 9.1%.

Deviations between the comparison impression and the test impression, which were greater than +1 mm and less than -1 mm, only occurred rarely overall(on average of 5.7% - 12.0% depending on the group). Functional impressions can therefore be judged to be reproducible.

In the second part of the study, a comparison was made of the functional impressions between the three different groups. The comparison impression of the control group was compared to all the test impressions of the two other groups (double quantity of impression material/longer intraoral setting time).

A graphic evaluation of the results indicated that, depending on the amount of impression material and intraoral setting time, characteristic distribution patterns of the silicone occurred on the functional periphery.

It can be concluded from the results that the reproducibility of functional impressions depends greatly on technical processing parameters.

9 Literaturverzeichnis

1. Benninghoff/Goerttler
Lehrbuch der Anatomie des Menschen, Bd. 3
Urban und Schwarzberg, 9. Auflage, 1968

2. Böttger, H./Kolndorffer, K./Marxkors, R./Pfütz, E./Riethe, P./Stüttgen, U.
Funktionelle Okklusion
Quintessenz Verlag, 1982

3. Bolori, A./Mc Cathy, S.L.
The use of pre border-molded custom trays in complete denture fabrication
The journal of prosthetic dentistry, Vol. 86 (6), p. 655-657, 2001

4. Clancy, J.M./Dixon, D.L.
Making accurate final impressions for the fabrication of complete dentures
1. maxillary impressions
The Iowa dental journal, Vol. 76 (4), p. 21-23, 1990

5. McCord, J.F.
Impression making
Brit. dental journal, Vol. 188 (9), p. 484-492, 2000

6. Darvell, B.W./Clark, R.K.
The physical mechanisms of complete denture retention
Br. Dent. Journal, 189 (5), p. 248 – 252, 2000

7. Eichner, K./Kappert, H.
Zahnärztliche Werkstoffe u. ihre Verarbeitung, Bd.1
Hüthig Verlag, 6.Auflage, 1996
8. Ellenbeck, F.
Die Reproduzierbarkeit des Funktionsrandes bei myofunktionellen Abformungen
mit Xantopren function
Diss., Universität Münster, 1992
9. Ferger, P./Wöstmann, B./Balkenhol, M.
Gebrauchsanleitung zu Metris Base 5.1 und Metris CAD Compare 6.0
Justus Liebig Universität Gießen, Abtlg. für zahnärztl. Prothetik
10. Gühring, J.
3D – Erfassung und Objektrekonstruktion mittels Streifenprojektion
Bayrische Akad. D. Wiss., 2003
11. Guido, S./Fohey, T.
What is the best technique to rebase a complete denture ?
Journal of dental technology, Vol. 17 (4), p. 32, 2000
12. Haase, G.
Indikation myodynamischer und myostatischer Abformmethoden
Dtsch. Zahnärztl. Z. 37, 739, 1982
13. Harms, V.
Biomathematik Statistik und Dokumentation
Harms Verlag, Kiel, 4.Auflage, 1982

14. Huypen, V.
Der individuelle unbezahnte OK und UK Abformlöffel
Zahntechn. Z., 5/99, p.257 – 259, 1999
15. Jacob, R. F.
The traditional therapeutic paradigm: complete denture therapy
The Journal of prosthetic dentistry, Vol. 79(1), p. 6 – 13, 1998
16. Johannsen, B.
Erhebung und Untersuchung über die Funktion von Totalprothesen
Diss., Universität Kiel, 1996
17. Jüde, H.D./Kühl, W./Rossbach, A.
Einführung in die zahnärztliche Prothetik
Dt. Ärzte Verlag Köln, 1996
18. Jozic, M.
Untersuchung zur Kongruenz unterer Totalprothesen
Diss., Universität Mainz, 1987
19. Kikuchi, M/Ghani, F./Watanabe, M.
Method of enhancing retention in complete denture base
Journal of Prosthet. dent., 81(4), p. 399 – 403, 1999
20. Körber, K. H./Lenz, P.
Erste Ergebnisse über die reproduzierbare Darstellung des Funktionsrandes am
Oberkiefer
Dtsch. Zahnärzteblatt 22, 269, 1968

21. Körber, K. H.
Zahnärztliche Prothetik, Bd. 1
Thieme Verlag Stuttgart, 1975
22. Kois, J. C./Fan, P.
Complete denture impressioning technique
Comp. of continuing education in dentistry, Vol. 18(7), p. 699 – 704, p. 706 – 708, 1997
23. Körner, K./Droste, U./ Nivet, J.
Prinzip der Streifenprojektion, Tiefenscan mit Phasenauswertung und 3D
Kalibrierung
Universität Stuttgart, Abtlg. für Forschung, 2000
24. Kremeier, K.
Untersuchung zum Halt unterer Totalprothesen in Abhängigkeit der Ausformung
des Spatium sublinguale
Diss., Universität Göttingen, 1997
25. Kriest, M.
Eine Lit. Stud. über die Funktionsabformung und der dabei verwendeten
Materialien anhand des deutschspr. Schrifttums 1925 – 1975
Diss., Universität Münster (Westfalen), 1979
26. Lehmann, K.
Einf. in die Zahnersatzkunde
Urban und Schwarzenberg, 1975

27. Marzkors, R.
Lehrbuch der zahnärztl. Prothetik
Dt. Zahnärzte Verlag, 3. Auflage, 2000
28. Petropoulos, V.C./Rashedi, B
Current concepts and techniques in complete denture final impression procedures
Journal of prosthodontics, Vol. 12(4), p. 280 – 287, 2003
29. Rehm, H.
Die totale Unterfütterung ganzer oberer u. unterer Prothesen
Diss., Berlin, 1933
30. Reid, S.E./Broad, M.T/Dickson, M.
The anatomy of buccinator – insights from functional casts of the oral vestibule
Archives of oral biology, Vol. 48(11), p. 787 – 795, 2003
31. Rockel, A.
Mimische Muskeln mit Kontakt zum unteren Vestibulum oris bei bezahntem und
zahnlosen Unterkiefer und ihre Bedeutung für die untere Totalprothese
Diss., Universität Hamburg, 1991
32. Schimmer, M.
Ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung der Luftdruckverhältnisse in der
Mundhöhle und unter der Totalprothese
Diss., Universität Tübingen, 1990
33. Schreinemakers J.
Die Logik in der Totalprothetik
Quintessenz Verlag, 1979

34. Sturb, J. R./Kühl, W./Rossbach, A.
Einf. in die zahnärztl. Prothetik
Dt. Ärzte Verlag, Köln, 1996
35. Trampisch/Windeler
Med. Statistik
Springerverlag, 1997
36. Utz, K. H.
Ein modifiziertes Verfahren zur Totalprothesenherstellung,
Teil 2, Funktionslöffel und Registrierschablonen
Zahnärztl. Welt, Vol. 122 (11), S. 521 – 528, 2003
37. Utz, K. H.
Ein modifiziertes Verfahren zur Totalprothesenherstellung,
Teil 3: Funktionsabformung theoretische Erwägungen
Zahnärztl. Welt, Vol. 112 (12). S. 570 – 577, 2003
38. Wichmann, M.
Stellungnahme der DGZMK Kronen und Brücken
DZZ 54, Vol 1.0, 1999
39. Zöllner, A./ Loza, J./ Al-Hakim, M.S./Abendroth, H.
Funktionsabformung und Kieferrelationsbestimmung mit Duplikatprothesen
Quintessenz, 52(11), S. 1117 – 1122, 2001

10 Anhang

Ergebnisse der einzelnen Messungen bei Vergleich von 10 Vermessungsergebnissen der selben Funktionsabformung (Vorversuch):

(mm)	<(-1)	(-0,2) - (-1)	(-0,2) - (+0,2)	(+0,2) - (+1)	>(+1)
Messung 1	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Messung 2	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Messung 3	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Messung 4	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Messung 5	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Messung 6	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Messung 7	0,0	0,0	99,7	0,3	0,0
Messung 8	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Messung 9	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Mittelwert %	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Standardabweichung %	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0

Ergebnisse der einzelnen Messungen bei Vergleich aller Abformungen der Kontrollgruppe mit der Vergleichsabformung der Kontrollgruppe:

(mm)	<(-1)	(-0,2) - (-1)	(-0,2) - (+0,2)	(+0,2)-(+1)	>(+1)
Messung 1	2,2	4,2	45,6	36,0	12,0
Messung 2	6,1	28,3	29,8	26,3	9,5
Messung 3	3,0	14,6	52,2	18,4	11,7
Messung 4	1,4	13,3	52,8	25,3	7,2
Messung 5	6,4	22,4	53,2	16,1	2,1
Messung 6	7,3	21,8	51,9	17,7	1,4
Messung 7	11,2	24,7	50,4	11,6	2,1
Messung 8	6,6	18,7	41,4	23,6	8,9
Messung 9	2,8	14,2	52,8	24,3	6,0
Mittelwert %	5,2	18,0	47,8	22,1	6,8
Standardabweichung %	3,1	7,3	7,8	7,1	4,1

Ergebnisse der einzelnen Messungen des Vergleichs der Vergleichsabformung mit längerer Mundweilddauer mit den übrigen Abformungen der gleichen Serie :

(mm)	<(-1)	(-0,2) - (-1)	(-0,2) - (+0,2)	(+0,2)-(+1)	>(+1)
Messung 1	4,3	19,8	49,1	17,6	9,2
Messung 2	2,7	18,5	58,4	14,5	5,8
Messung 3	4,7	20,8	49,5	16,5	8,6
Messung 4	6,1	16,8	52,5	18,7	5,9
Messung 5	4,2	20,0	50,6	12,2	12,1
Messung 6	3,2	17,4	52,4	21,4	5,6
Messung 7	7,1	16,7	54,1	15,4	6,8
Messung 8	6,2	27,4	40,1	20,5	5,8
Messung 9	5,7	16,8	55,4	16,0	6,1
Mittelwert %	4,9	19,4	51,3	17,0	7,3
Standardabweichung %	1,5	3,4	5,1	2,9	2,2

Ergebnisse der einzelnen Messungen bei Vergleich der Vergleichsabformung mit doppelter Materialmenge mit allen übrigen Abformungen dieser Serie :

(mm)	<(-1)	(-0,2) - (-1)	(-0,2) - (+0,2)	(+0,2)-(+1)	>(+1)
Messung 1	1,4	16,0	60,1	21,6	0,9
Messung 2	0,3	17,6	48,7	31,2	2,2
Messung 3	0,8	14,5	48,2	30,7	5,8
Messung 4	1,0	24,8	55,6	17,7	0,9
Messung 5	1,5	9,0	36,1	48,3	5,2
Messung 6	1,4	15,9	37,9	39,3	5,5
Messung 7	2,4	7,2	51,1	31,3	8,1
Messung 8	1,3	18,8	37,5	38,1	4,2
Messung 9	4,5	21,9	36,2	33,0	4,4
Mittelwert %	1,6	16,2	45,7	32,3	4,1
Standardabweichung %	1,2	5,6	9,1	9,2	2,4

Ergebnisse der einzelnen Messungen bei Vergleich der Funktionsabformungen mit längerer Mundverweildauer mit der Vergleichsabformung der Kontrollgruppe :

(mm)	>(-1)	(-0,2) - (-1)	(-0,2) - (+0,2)	(+0,2)-(+1)	>(+1)
Messung 1	3,0	16,6	43,7	24,3	12,3
Messung 2	2,2	12,1	52,1	28,2	5,5
Messung 3	4,2	19,4	42,5	20,2	13,4
Messung 4	2,0	19,7	45,9	24,5	7,8
Messung 5	3,3	16,0	46,5	22,9	11,3
Messung 6	2,7	19,3	43,0	25,7	13,5
Messung 7	3,0	15,8	42,3	25,4	13,5
Messung 8	4,1	16,3	48,7	22,3	8,6
Messung 9	6,4	24,0	25,6	21,2	23,1
Messung 10	3,3	17,6	49,9	21,8	7,4
Mittelwert %	3,5	17,8	44,1	23,6	11,6
Standardabweichung %	1,3	3,3	7,7	2,5	5,3

Ergebnisse der einzelnen Messungen bei Vergleich der Abformungen mit längerer Mundverweildauer mit der Vergleichsabformung der Kontrollgruppe :

(mm)	<(-1)	(-0,2) - (-1)	(-0,2) - (+0,2)	(+0,2)-(+1)	>(+1)
Messung 1	3,4	14,7	51,9	18,6	11,5
Messung 2	4,0	16,6	44,0	24,8	10,6
Messung 3	1,9	16,4	47,2	19,6	14,8
Messung 4	2,8	16,4	37,8	31,4	11,6
Messung 5	4,1	17,7	41,6	23,5	13,0
Messung 6	2,6	13,4	40,7	29,5	13,8
Messung 7	1,9	17,4	25,1	37,3	18,3
Messung 8	0,5	7,9	47,0	32,9	11,7
Messung 9	2,2	14,0	45,1	24,9	13,9
Messung 10	3,5	16,5	43,2	24,5	12,1
Mittelwert %	2,6	15,1	41,3	27,6	13,3
Standardabweichung %	1,2	3,1	6,8	5,5	2,3

11 Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die ich wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen niedergelegt sind, eingehalten.“

Danksagung

Ich möchte mich bei Prof. Dr. P. Ferger an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und die wertvolle und hilfreiche Betreuung während dieser Arbeit bedanken.

Mein Dank gilt ebenfalls Dr. M. Balkenhol für die unermüdliche Unterstützung bei der Verfassung.

Bei Dr. Hollenhorst bedanke ich mich für die Beratung und die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

Mein herzlicher Dank gilt auch meinem ehemaligen Chef Dr. Dr. J. Welters für die Hilfe bei der Lösung aller Probleme mit dem PC.

Ein großer Dank gilt meinem Großvater Karl J. Cantzler, dass er sich als Proband für die Funktionsabformungen zur Verfügung gestellt hat und viel Zeit und Geduld aufgebracht hat.

12 Lebenslauf

Cantzler, Eva Maria

- 03.01.1977** geboren in Lich Lahn–Dill–Kreis, als Tochter von Barbara Maria Cantzler (MTA) und Karl Josef Cantzler (Diplom-Ökonom)
- 1983 - 1989** Besuch der Ludwig–Uhland–Schule in Gießen (Grundschule und Förderstufe)
- 1989 - 1996** Besuch des Gymnasialzweiges der Liebig Schule in Gießen; Abschluss: Abitur
- 1996 - 2002** Studium der Zahnmedizin an der Justus–Liebig–Universität in Gießen; Abschluss: Staatsexamen
- 2003 - 2005** Ableistung der Vorbereitungsassistentenzeit in der Praxis für Mund,–Kiefer- und Gesichtschirurgie Dr. Dr. J. Welters. Davon ein Jahr Weiterbildung auf dem Gebiet der Oralchirurgie
- Seit 2005** Verlängerung der Zeit als Vorbereitungsassistentin in der Zahnarztpraxis Karl Cantzler