

3. Material und Methodik

Im Rahmen dieser In - vitro Untersuchung wurden Abformungen von Urmodellen angefertigt. Ziel war, die in den Urmodellen enthaltenen Implantatpositionen genauestmöglich auf ein Meistermodell zu transferieren.

Dabei symbolisierte das Urmodell eine typische Patientensituation. Die davon angefertigten Abformungen erlaubten die Erstellung von Meistermodellen. Durch elektronische Erfassung von Ur- und Meistermodell standen als vergleichbare Größen Punktwolken in der Form eines virtuellen dreidimensionalen Modells zur Verfügung. Diese Punktwolken wurden nach einer computergestützten Aufbereitung schablonenartig übereinander projiziert. Nach der mathematischen Methode einer geringstmöglichen Differenz wurden der Scan des Ur- und des Meistermodells in ihrer Position zueinander passungsoptimiert. Verbliebene Differenzen zwischen beiden Scans wurden grafisch dargestellt. In der Auswertung stellten diese Differenzen die Abweichungen des Meistermodells vom Urmodell dar. Als Messwerte für eine statistische Auswertung kamen die vertikalen Diskrepanzen zwischen den virtuellen Abbildern der Implantatabutments zum Tragen.

Der Versuchsablauf gliederte sich inhaltlich in drei Teile.

Im ersten Teil wurde anhand der oben beschriebenen Situation ein Vergleich von drei verschiedenen Abformmaterialien vorgenommen, die sowohl umgebende Weichteile detailliert wiedergeben als auch eine genauestmögliche Übertragung der Implantatpositionen gewährleisten sollten.

Im zweiten Teil wurde der Einfluss des Abformpfosten und der Abformtechnik untersucht. Variiert wurde sowohl die Form des Abformpfostens (quadratisch versus rund) als auch die Art der Abformtechnik (direkte Technik versus indirekte

Technik; reponierbarer und verschraubter Pfosten). Es wurden vier verschiedene Übertragungspfosten mit den zugehörigen Transfertechniken eingesetzt.

Im dritten Teil wurde der Einfluss der Verblockung erfasst. Die erreichte Übertragungspräzision mit ein- und mit zweizeitiger Verblockung wurde mit der Übertragungspräzision ohne Verblockung (Teil 1) verglichen.

Überblick

	Abformmaterial	Übertragungspfosten	Verblockung	Stichproben
Teil 1	Impregum®	Ankylos® Balance	ohne	7
	Impregum® soft	Ankylos® Balance	ohne	7
	Aquasil Monophase™	Ankylos® Balance	ohne	7
Teil 2	Impregum®	Brånemark reponierbar	ohne	7
	Impregum®	Brånemark verschraubt	ohne	7
	Impregum®	Ankylos® Balance	ohne	aus Teil 1
	Impregum®	Ankylos® Standard	ohne	7
Teil 3	Impregum®	Ankylos® Balance	ohne	aus Teil 1
	Impregum®	Ankylos® Balance	einzeitig	7
	Impregum®	Ankylos® Balance	zweizeitig	7

3.1 Einfluss des Abformmaterials – Teil1

Es kamen folgende Abformwerkstoffe zum Einsatz.

- Impregum® Penta,
- Impregum® soft Penta (jeweils Fa. ESPE, Seefeld)
- Aquasil™ Monophase (Fa. Dentsply DeTrey)

Alle Abformungen erfolgten auf dem Urmodell mit den Ankylos®-Implantaten unter Verwendung von Ankylos®-Balance-Übertragungspfosten und eines individuellen Abformlöffels aus lichthärtendem Kunststoff. Nach einem computergenerierten

Zufallsmuster wurden je 7 Abformungen mit den aufgeführten Abformmaterialien angefertigt (n=7; 3 Serien).

3.2 Einfluss des Übertragungspfoستendesigns / Abutments – Teil 2

Der variierte Parameter in dieser Abformserie war der Abformpfoست, der sich in Design, Befestigung, Material und Art der Positionsübertragung unterschied.

Es kamen folgende Kombinationen von Abutments und Übertragungspfoستen zum Einsatz.

- Ankylos[®]-Balance-Übertragungspfoستen (Bestell-Nr.: 3104 5410) mit entsprechendem Modellierimplantat (Bestell-Nr.: 3104 5272)
- Ankylos[®]-Standard-Übertragungskappe b 6,0 (Bestell-Nr.: 3104 5045) mit entsprechendem Modellierimplantat (Bestell-Nr.: 3104 5130 u. 3104 5050)

Als Referenzsystem wurde das Brånemark-Implantatsystem (Fa. Nobel Biocare) gewählt.

- Brånemark-Standarddistanzhülse SDCA 068 mit Abdruckpfoست DCC 026
- Brånemark-Standarddistanzhülse SDCA 068 mit Abdruckpfoست DCB 080

Das Ankylos[®] - Implantatsystem bietet als Übertragungspfoستen für die Balance-Komponenten einen tulpenförmigen Pfoست aus Stahl an, der manuell in das Implantat eingesetzt und durch eine mittige Fixationsschraube zentriert wird.

Die Abformung erfolgt damit direkt auf Implantatniveau, d.h. auf der Implantatschulter.

Das Interface zwischen Übertragungspfoستen und Implantat ist konisch gestaltet und fixiert den Übertragungspfoست bei Anwendung zu hoher Anzugsmomente auf die Fixationsschraube so stark, dass ein passives Lösen des

Übertragungspfostens im Rahmen der Entnahme der Abformung unmöglich wird. Es wird daher vom Hersteller empfohlen, die Fixationsschraube des Übertragungspfostens nur „handfest“ anzuziehen.

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten wurde in der Studie ein Anzugsmoment von 5 Ncm verwendet, welches über einen Drehmomentschlüssel kontrolliert und validiert wurde.

Für die Abformung der Standardkomponenten steht im Ankylos[®]-System eine Abformkappe aus Kunststoff zur Verfügung. Entsprechend der klinischen Situation wird intraoral ein Abutment ausgewählt und installiert. Anschließend wird auf das Abutment eine präfabrizierte Kunststoffkappe aufgesetzt. Visuell ist der exakte Sitz der Kappe nur bei sichtbarer Grenze zwischen oralem und intragingivalem Abutmentanteil (Abutmentschulter) kontrollierbar.

Am Ankylos[®]-Urmodell wurden für die Durchführung dieser Abformmethodik vier Standard-Abutments b/6,0 installiert und mit einem Drehmoment von 20 Ncm angezogen. Darauf wurden die Kunststoffabformkappen b/6,0 aufgesetzt und der korrekte Sitz überprüft. Es schloss sich eine Sammelabformung dieser Abformkappen mit einem geschlossenen individuellen Löffel an.

Der im Ankylos[®]-System verfügbare reponierbare Abformpfosten wurde nicht in dieser Studie berücksichtigt.

Das Prothetik-Set des Brånemark-Systems beinhaltet eine Fülle an Abutments, aus der stellvertretend die Übertragungspräzision des Abutments SDCA 068 untersucht wurde. Dieses Abutment hat keine zahnstumpfähnliche, sondern eine zylindrische Form mit planer Oberfläche und zentraler Verschraubung. Für die Übertragung der Position standen der verschraubte quadratische Abformpfosten DCC 026 und der reponierbare Abformpfosten DCB 080 zur Verfügung. Beide Übertragungspfosten sitzen plan auf dem Abutment auf.

Die Installation des Abutments erfolgte nach Herstellerangaben mit dem Torquecontroller und einem eingestellten Drehmoment von 25 Ncm.

Für die Abformungen wurden die verschraubten resp. reponierbaren Übertragungspfoften nur per Fingerkraft angezogen.

Als Abformmaterial für alle Abformungen wurde Impregum® Penta (Fa. ESPE, Seefeld) gewählt. Für alle Abformungen kamen individuelle Löffel aus lichthärtendem Kunststoff (Profibase, Fa. VOCO) zum Einsatz. Nach einem computergenerierten Zufallsmuster wurden je sieben Abformungen mit den aufgeführten Übertragungspfoften/Abutments angefertigt (n=7; 3 Serien).

3.3 Einfluss einer Verblockung – Teil 3

Der zu variierende Versuchsparameter bestand in der Art der Verblockung der Übertragungspfoften untereinander. Für die Versuchsdurchführung wurde das Ankylos®-Urmodell und der Ankylos®-Balance-Übertragungspfoften sowie als Abformmaterial Impregum® Penta benutzt.

Die Varianten

- unverblockt
- einzeitig verblockt
- zweizeitig verblockt

sollten miteinander verglichen werden.

Die Verblockung der Übertragungspfoften erfolgte mit einem Autopolymerisat, welches eine geringste Abbindeschumpfung aufweist (Pattern Resin LS, Fa. Fuji GC). Als Matrix wurde eine Zahnseidenligatur um die installierten Übertragungspfoften geschlungen und entlang dieser mit Pattern Resin LS und einem Pinsel eine Kunststoffverstrebung modelliert. Dazu musste der Pinsel kurzzeitig in das flüssige Monomer und anschließend mit der Spitze in das Polymergranulat getaucht werden. Dabei nahm der Pinsel das Granulat auf. Es bildete sich ein modellierfähiger Kunststofftropfen, der mit dem Pinsel an den Übertragungspfoften und der Zahnseidenligatur adaptiert werden konnte. Schrittweise ergab sich ein Kunststoffsteg zwischen den Übertragungspfoften.

Ein Versuchsdurchgang erfolgte mit einer Verblockung, die in einem Arbeitsgang modelliert wurde (einzeitige Verblockung). Der zweite Versuchsdurchgang beinhaltete eine Verblockung der Abformpfosten in zwei Arbeitsgängen. Initial wurde die Verblockung wie im vorangegangenen Durchgang modelliert. Diese Modellation wurde inklusive der fixierten Übertragungspfosten von Modell entfernt und nach 24 Stunden spaltförmig getrennt. Nach erneuter Installation der Übertragungspfosten und Segmente wurden diese im Spaltbereich mit dem Kunststoff zusammengefügt (zweizeitige Verblockung). Anschließend erfolgte jeweils nach einer klinisch relevanten Aushärtezeit von 5 min. die Abformung der Situation.

Alle Abformungen wurden ausschließlich mit einem individuellen Abformlöffel aus lichthärtendem Kunststoff durchgeführt (Profibase, Fa. VOCO). Als Abformmaterial wurde Impregum® Penta eingesetzt (Fa. ESPE).

Nach einem computergenerierten Zufallsmuster wurden je sieben Abformungen mit den aufgeführten Verblockungsvariationen angefertigt (n=7; 3 Serien).

3.4 Herstellung der Urmodelle

Da zwei verschiedene Implantatsysteme vergleichend eingesetzt werden sollten, mussten entsprechend zwei verschiedene Urmodelle mit vergleichbarer Position der Originalimplantate hergestellt werden.

Als Ausgangssituation wurden Modelle gewählt, die einen unbezahnten Unterkiefer darstellen. Zur Doublierung der Modelle wurde dünnfließendes Silikon eingesetzt. Die entstandene Form wurde mit erhitztem flüssigen Wachs aufgefüllt. Nach Erstarren des Wachses konnte entformt und die Wachsmodelle mit einer typischen Anordnung von Implantaten zur Versorgung mit einer Stegkonstruktion versehen werden. Diese Anordnung bestand in der

Positionierung der Implantate in der regio interforaminalis, klinisch etwa den Positionen der Zähne 3 und 4 beidseits.

Diese Anordnung ermöglicht klinisch die Anfertigung einer Stegsuprakonstruktion mit großen retentiven Flächen für die Stegreiter. Gleichzeitig wird mit dem Einsatz von distal angeordneten Extensionen (Cantilevern) ein großes Unterstützungspolygon geschaffen. Dies ermöglicht, den Zahnersatz starr zu lagern.

Das Urmodell für das Ankylos[®]-Implantatsystem wurde mit Ankylos[®]-Implantaten der Größe b 14 versehen (Durchmesser 4,5 mm, Länge 14 mm). Das Modellpendant für das Bränemark-System beinhaltete an den gleichen Positionen Implantate (Fixturen) der Produktlinie Regular Platform (Durchmesser 3,75 mm, Länge 14 mm). Alle Implantate resp. Fixturen wiesen durch Einsatz eines Parallelfräsgeräts maximale Achsdivergenzen von 4 Grad auf.

Die Wachsmodellation wurde eingebettet, gekontert und in heißpolymerisiertes Polymethylmethacrylat umgesetzt (Paladur klar; Fa. Hereaus Kulzer).

Die Problematik der Positionsvermessung resp. der Erfassung einer möglichen Positionsänderung der Implantatachsen bestand in der Definition einer Bezugsebene. Es war unmöglich, Urmodell und Meistermodell manuell genau und reproduzierbar zu justieren, um eine Vergleichsmessung durchzuführen.

Zu diesem Zweck erfolgte die Definition einer Bezugsebene auf dem Urmodell durch drei Messkugeln (aus Industriekugellager; Durchmesser der Kugeln 6,34 mm). Diese Kugeln waren auf dem Patientenmodell beidseits in der Retromolarpolsterregion und mittig regio 41/31 fixiert und wurden per Abformung ebenfalls auf das Meistermodell übertragen.

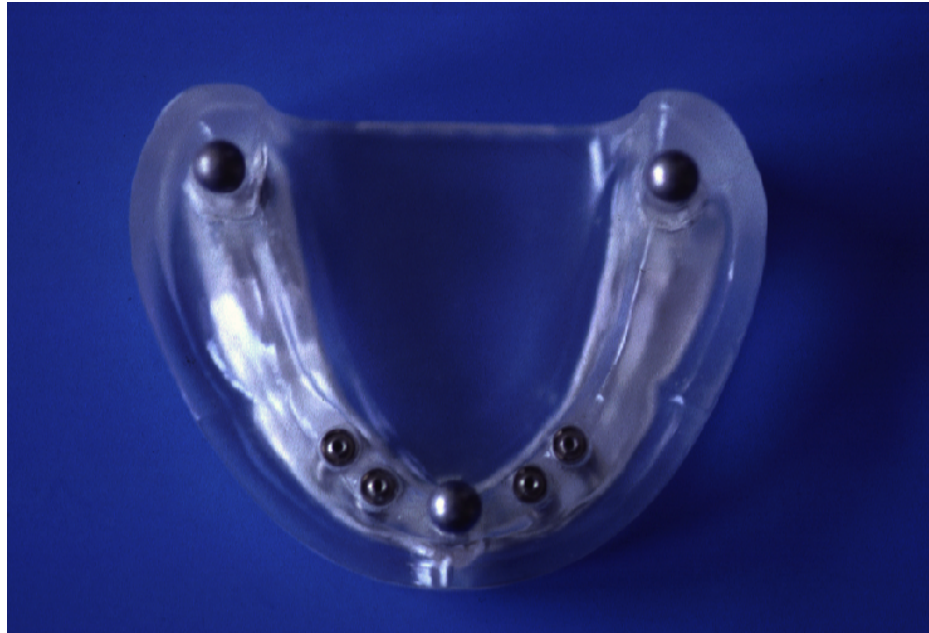


Abb. 2 Urmodell mit Implantaten und Messkugeln

Um die Konstanz der Implantat- und Kugelpositionen zu gewährleisten, waren alle Modellelemente durch eine in das Modell eingelagerte massive Modellgusskonstruktion aus Nichtedelmetall miteinander verbunden.

3.5 Herstellung der individuellen Abformlöffel

Die verwendeten Abformlöffel wurden standardisiert auf einem Urmodell unter Verwendung des lichthärtenden Kunststoffes Profibase (Fa. VOCO, Cuxhaven) hergestellt. Dieser Kunststoff wurde in Form von weichen Platten in einer Stärke von 3 mm geliefert, die unter UV-Licht aushärten.

Zur Löffelherstellung wurde das Urmodell mit Platzhaltern aus Silikon für die Implantatpfosten und die Positionierkugeln versehen. Anschließend erfolgte die Adaptation der weichen Kunststoffplatten auf dem Modell und die Ausmodellation des individuellen Löffels. Zur Versteifung des Löffels wurden im

Seitenzahnbereich vertikale Verstrebungen eingearbeitet. Es schloss sich die Aushärtung im Lichtofen (Polylux, Fa. VOCO) für 5 Minuten an. Da der Löffel nach der Aushärtung an der gesamten Oberfläche eine schmierige Sauerstoffinhibitionsschicht aufwies, wurde diese durch Sandstrahlen mit 250 µm Korund vorsichtig entfernt. Für einen ungehinderten Durchtritt der Fixierschrauben der Balance-Übertragungsposten wurden in die Abformlöffel Öffnungen von jeweils 5 mm Durchmesser gefräst. Generell erfolgte eine Perforation der Abformlöffel im Bereich der Platzhalter durch 1,5 mm große Öffnungen (Makroretentionen). Danach konnten verbliebene Korundreste mit Pressluft abgeblasen werden.

3.6 Vorbereitung und Durchführung der Abformungen

Zur Schaffung eines chemischen Verbundes zwischen Abformmaterial und Löffel haben sich Adhäsivlacke bewährt [17]. In Abhängigkeit vom jeweiligen Abformmaterial (Silikon oder Polyether) wurde der entsprechende Adhäsivlack auf die dem Patientenmodell zugewandte Löffelseite aufgetragen.

Für die Abformmaterialien auf Polyetherbasis (Impregum[®] Penta und Impregum[®] soft) wurde dazu Polyether Adhesive (Fa. ESPE, Seefeld) verwendet. Für das silikonbasierte Abformmaterial Aquasil Monophase[™] wurden die Löffel mit Universal Adhesive (Fa. Hereaus Kulzer) benetzt. Innerhalb einer Abluftzeit von 10 Minuten, in welcher der Adhäsivlack trocknete, wurden die Übertragungsposten nach Herstellerangaben installiert.

Die Abformmaterialien Impregum[®] und Impregum[®] soft werden jeweils getrennt in Basismasse und Katalysator in Schlauchbeuteln angeliefert. Ein Anmischgerät (Pentamix II, Fa. ESPE) dosiert die entsprechenden Mengen Basismasse und Katalysator automatisch und vermischt diese homogen.

Das Abformmaterial Aquasil[™] Monophase ist in einer Kartusche zur gleichzeitigen Anmischung und Applikation verpackt. Durch Aufsetzen einer

entsprechenden Mischkanüle und Einsetzen in eine Applikationspistole wird das Material gebrauchsfertig.

Der Abformlöffel wurde unter Kontakt mit der Austrittsöffnung des Mischgeräts resp. Applikators gleichmäßig und blasenfrei befüllt. Sofort nach Beschickung des Löffels wurde eine Applikationsspritze für Abformmaterialien mit dem jeweiligen Material befüllt und die Übertragungspfosten und Positionierkugeln mit Abformmasse umspritzt. Der befüllte Abformlöffel wurde unter schwachem Druck und leichten Rüttelbewegungen auf das Patientenmodell aufgesetzt, bis die Fixierschrauben der Übertragungspfosten durch die Löffelöffnungen fühl- und sichtbar waren.

Da die Abformungen unter Raumtemperatur (konstant 24 Grad Celsius) und nicht bei Körpertemperatur (ca. 37 Grad Celsius) aushärteten, wurde zur Sicherstellung einer abgeschlossenen Abbindereaktion jeweils 3 Minuten länger gewartet, als vom Hersteller vorgeschrieben. Die daraus resultierenden Abbindezeiten betragen für Abformungen mit Impregum® Penta und Impregum® Penta® soft jeweils 9 Minuten (Abbindezeit lt. Hersteller für die intraorale Verarbeitung jeweils 6 Minuten).

Die Abbindezeit von Aquasil Monophase wurde durch Addition der Gesamtanwendungszeit von 2 Minuten und der Mundverweildauer von mindestens 4,5 Minuten (Herstellerangaben) ermittelt. Die Sicherheitsspanne von weiteren 3 Minuten diente zur Sicherstellung einer abgeschlossenen Abbindereaktion bei Raumtemperatur.

Die Abformungen wurden vor Entnahme vom Urmodell auf klinische Anzeichen einer abgeschlossenen Abbindereaktion kontrolliert.

Durch Deformation (Eindrücken) des Abformmaterials mit einer zahnärztlichen Sonde wurde die Rigidität, Elastizität und das Adhäsionsverhalten evaluiert.

Nach Beendigung des Abbindeprozesses wurden die Fixationsschrauben entfernt. Die Entnahme vom Urmodell gestaltete sich komplizierter als beim Patienten, da keine isolierenden Schichten zwischen Abformmaterial und „Weichgewebe“ vorhanden waren. Um potentielle chemische Reaktionen zwischen einem Isolator und dem Abformmaterial zu vermeiden, war von vornherein auf eine künstlich aufgebrachte Isolationsschicht verzichtet worden. Die Abformungen vom Patientenmodell wurden unter Zuhilfenahme von Pressluft und einem Wachsmesser im IV. Quadranten zuerst vorsichtig von lingual gelöst. Dann erfolgte im III. Quadranten das vollständige Ablösen der Abformung vom Patientenmodell.

Wesentliches Augenmerk wurde dabei darauf gelegt, weder die Abformung noch die Übertragungsposten oder Positionierkugeln zu beschädigen. Es wurde auf mögliches Ablösen des Abformmaterials vom Abformlöffels geachtet. In einem Falle einer solchen Ablösung vom Löffel wurde die Abformung wiederholt.

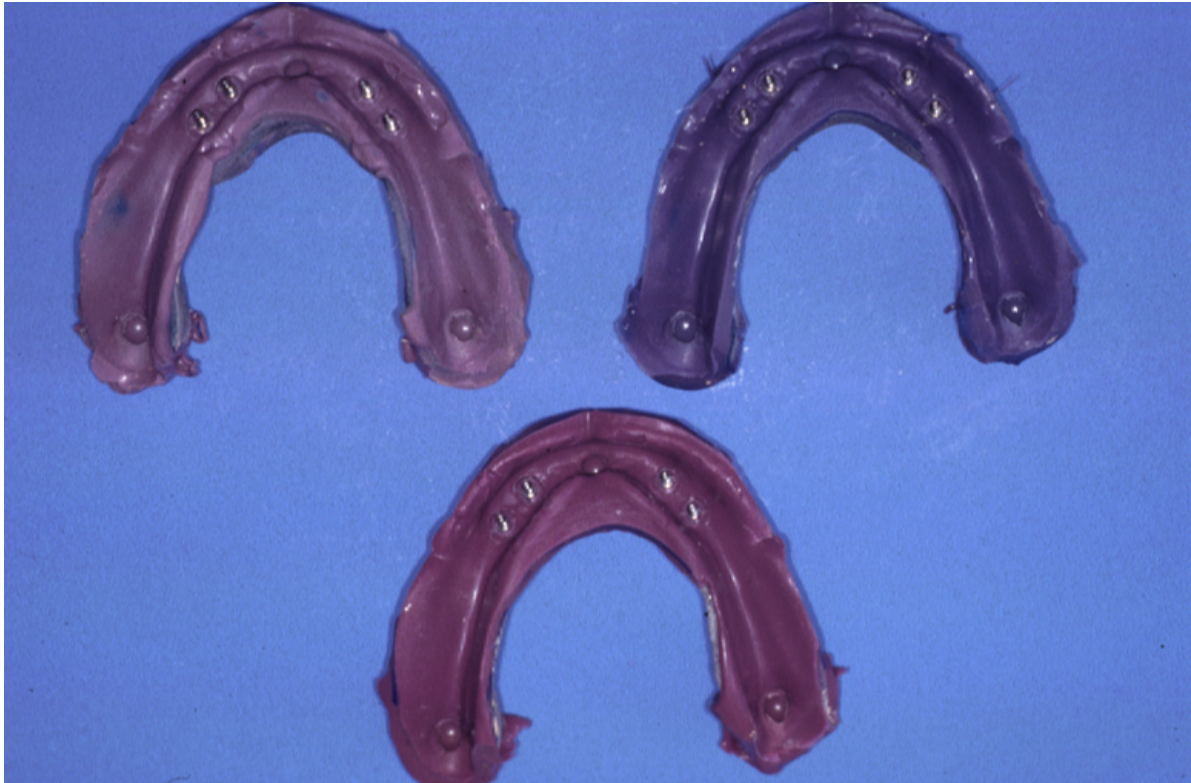


Abb. 3 Abformungen mit den 3 verschiedenen Abformmaterialien

3.7 Herstellung der Meistermodelle

Die Anfertigung der Meistermodelle wurde durch ein gewerbliches zahntechnisches Labor (Rübeling & Klar Dentallabor, Berlin) ausgeführt.

Dabei wurde eine Wartezeit von 8 Stunden nach Entnahme der Abformung eingehalten. Somit konnte eine weitgehende Rückstellung des Abformmaterials nach elastischer Deformation durch den Entnahmeprozess gewährleistet werden.

Aus Stabilitätsgründen erfolgte das Ausgießen der abgeformten Positionierkugeln mit Epoxydharz (Epoxydent; Fa. Kerr sowie Epoxydie; Fa. Ivoclar) in einer Schleudervorrichtung (Eigenentwicklung Rübeling & Klar Dentallabor). Über einen während der Abbindephase installierten Pin konnte der

sichere Verbund zum Gips gewährleistet werden. Anschließend erfolgte das Installieren der Manipulierimplantate resp. der Laboranaloge nach Herstellerangaben und der Ausguss der Abformung mit vakuumangemischtem Dentalgips der Klasse IV (Resinrock; Fa. SAE).

Die Meistermodelle wurden vor der Vermessung gesockelt (Sockelgips: Snow white plast) und im Artex-Artikulator (Fa. Girrbach GmbH) über einen Gegenkiefer-Schlüssel justiert. Ziel war, an allen Modellen die gleichen Voraussetzungen für die optische Vermessung zu erhalten.

Dabei wurden sowohl eine Modellhöhe von 45 mm zwischen Oberrand der medialen Positionierkugel und dem Unterrand des Sockels erreicht, als auch die zu vermessenden Implantate in ihrer gemeinsamen Achse senkrecht zur Camper'schen Ebene positioniert.

3.8 Messablauf

Zur optimalen Darstellung in einem optischen Meßsystem wurden jeweils vier Übertragungsposten aus Stahl der Systeme Ankylos® und Brånemark bei 1050 °C in einem Keramikbrandofen oxidiert, um unerwünschte Reflexionen zu vermeiden. Die oxidierten Übertragungsposten wurden als Messpfosten eingesetzt.

An den erstellten Meistermodellen wurden die Positionierkugeln mit einem reflexionshemmenden Feinstpartikelspray gleichmäßig dünn besprüht und jeweils 4 Messabutments installiert.

Das Modell wurde über seinen Modellsockel (Splitex, Fa. Girrbach GmbH) auf einer Artikulatorgrundplatte im 3D-Scanner diGiScan® magnetisch fixiert.

Die Messapparatur ist Teil eines CAD/CAM-Systems zur Herstellung von Gerüstrohlungen für festsitzenden Zahnersatz (DiGident®; Fa. Girrbach GmbH, Abb. 4).



Abb. 4 CAD/CAM-System DiGident®; Fa. Girrbach

Technologisch gesehen wird bei der Vermessung der Modelle eine Streifenlichtprojektion angewendet. Eine fest installierte Kaltlichtquelle erzeugt auf dem auf zwei Drehtellern fixierten Modell Lichtstreifen variabler Breite. In einem definierten spitzen Winkel (30 Grad) zur Achse Modell – Lichtquelle befindet sich eine CCD-Kamera (CCD – charged coupled device). Der

ursprünglich gerade Lichtstreifen erzeugt beim Auftreffen auf das Modell mit seinen Kieferkamm-, Kugel- und Implantatelementen gekrümmte Linien. Die CCD-Kamera erfasst und digitalisiert diese Informationen. Ein angeschlossener PC verarbeitet in Echtzeit diese Daten und errechnet aus der jeweiligen Differenz zwischen gerader Linie (Licht ursprünglich) und gekrümmten Lichtstreifen (Licht auf Modell aufgetroffen) Höhenlinien des Modells. Anschließend wird das Modell durch Rotation der Teller anhand des erstellten Messplanes in einem vorgegeben Winkel gedreht und die Streifenlichtprojektion und Digitalisierung wiederholt. Es entstehen erneut Höhenlinien, die so schrittweise in ihrer Gesamtheit ein Abbild des vermessenen Modells ergeben. Je nach benötigter Genauigkeit kann durch Vorgabe der Drehwinkel der Teller (Messplan) eine größere oder kleinere Punktwolke als Modellabbild erzeugt werden. Das System arbeitet mit einer Genauigkeit von 16 μm (Standardabweichung 8 μm - Herstellerangabe).

Sowohl an den Ur- als auch den Meistermodellen erfolgte mit dem 3D-Digitizer diGiscan[®] durch eine Streifenlichtprojektion die dreidimensionale Erfassung der Positionskoordinaten von Manipulierimplantaten, Messabutments, Positionierkugeln und Modellanteilen.

Dies fand in zwei Messdurchgängen statt. In einem ersten Messdurchgang wurde mit einem gröberen Raster das gesamte Modell als Punktwolke digitalisiert. In einem zweiten Durchgang erfolgte ein Feinscan der Implantate resp. der Abutments. Die Daten des zweiten Messdurchgangs wurden in den Datensatz des ersten verlustfrei eingemischt. Pro Scan wurde eine Datenmenge von ca. 16 MB erzeugt. Der gesamte Datensatz von etwa 32 MB wurde nun durch Maskieren und Löschen nicht benötigter digitalisierter Modellanteile reduziert. Anschließend wurden enthaltene Messfehler durch Interpolation entfernt. Digital erhalten waren

jetzt noch die Positionierkugeln und die Implantate resp. die Abutments sowie die unmittelbar umgebenden Kieferkammabschnitte.

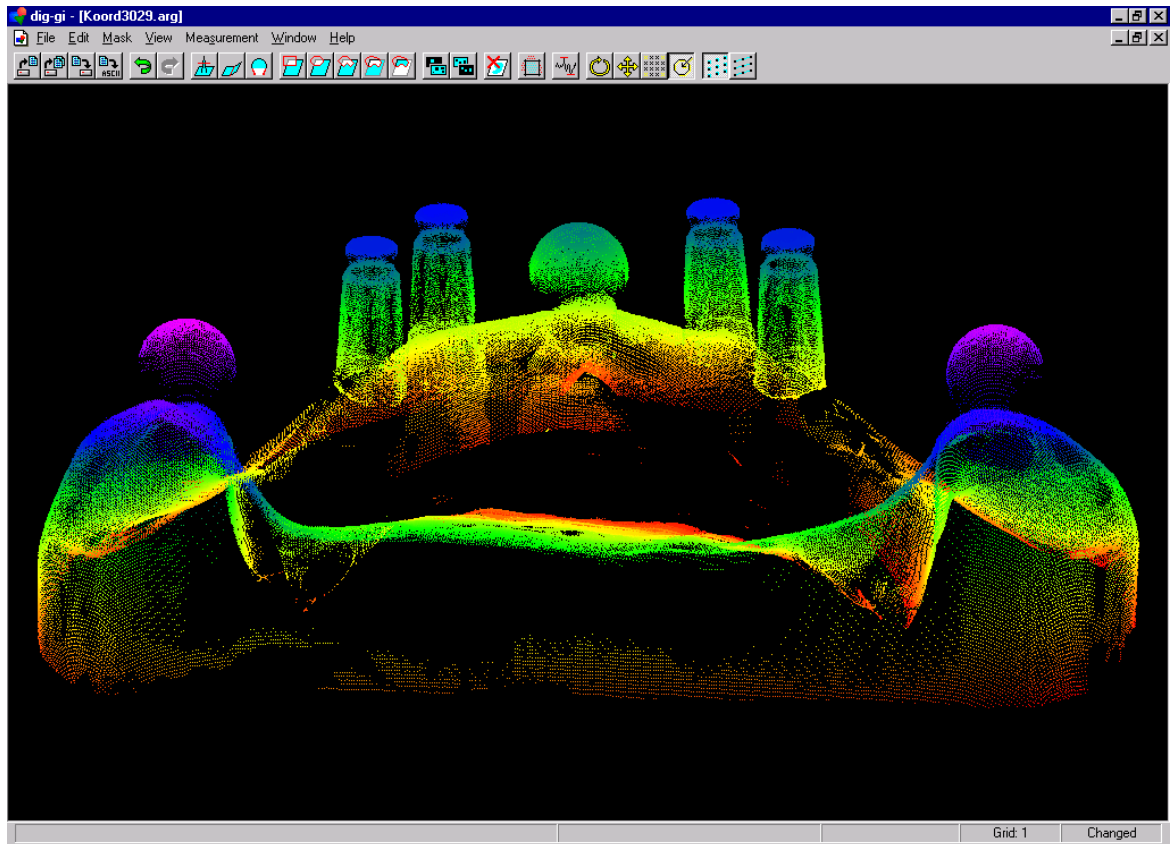


Abb.5 3D-Scan eines Modells mit Brånemark-Implantaten und Messabutments

Da die Modellabbilder als Punktwolken nicht miteinander vergleichbar waren, mussten die Datensätze noch mehrfach in andere Dateiformate konvertiert werden. Eine Auswertungssoftware (HintEI[®]) erzeugte aus den Punktwolken Flächen (zwischen jeweils 3 Punkten), die zu einer Gitternetzstruktur des virtuellen Modells führten.

Via CAD-Software konnten nun die digitalisierten Abbilder des Ur- und Meistermodells übereinander projiziert werden. Die Auswertungssoftware verglich die Datensätze von Urmodell und Meistermodell nach einem Best-Fit-Algorithmus. Damit wurde durch mathematische Rechenmodelle eine maximal

mögliche Übereinstimmung zwischen beiden virtuellen Modellen erzeugt. Eine maximal mögliche Übereinstimmung wurde erreicht, wenn die Differenzen zwischen beiden Gitternetzmodellen minimal waren. Die verbliebenen Differenzen zwischen den Positionen der Urmodellimplantate und der Implantatpositionen auf dem Meistermodell wurden durch Farbdifferenzen dargestellt und waren durch Vergleich an einer Farbskala in einen Zahlenwert übertragbar.

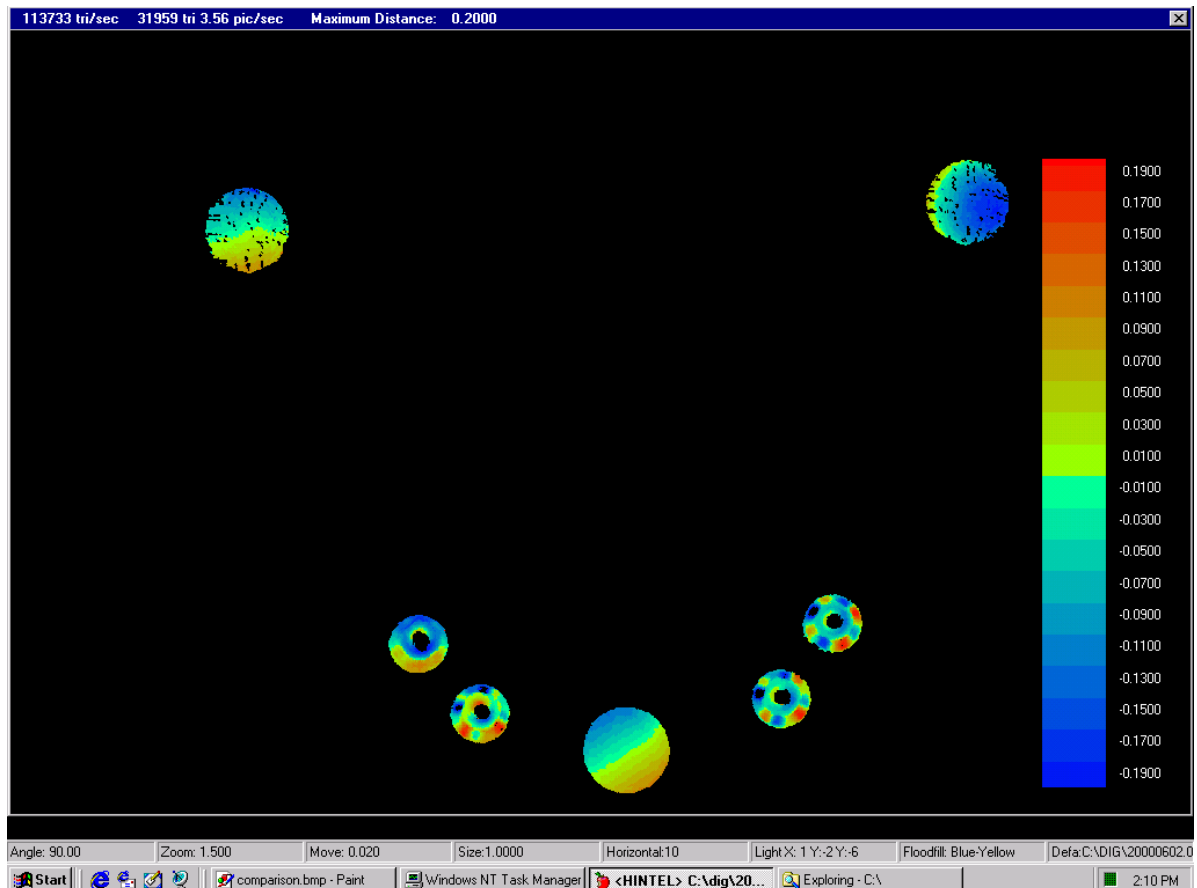


Abb.6 Screenshot der Differenzdarstellung zwischen Urmodell und Meistermodell

Da laut Fragestellung eine Aussage sowohl zu Positionsveränderungen der Implantate in Bezug auf das Gesamtmodell (absolute Verschiebung) als auch zueinander (relative Verschiebung) vorgesehen ist, wurden die erfassten Datensätze zweimal bearbeitet und miteinander verglichen.

Für die Aussage zum Gesamtmodell erfolgte die Justage und Passungsoptimierung durch die Software anhand der Positionierkugeln, welche das Gesamtmodell und die Bezugsebene repräsentierten.

Für die Aussage zu Positionsveränderungen nur der Implantate zueinander ist die Einbeziehung der Kugelpositionen nicht notwendig. Von den Datensätzen der Modelle wurden die Kugeldarstellungen entfernt. Es verblieben lediglich die 3D-Scans der Implantate. Diese wurden schablonenartig übereinanderprojiziert und durch die Software passungsoptimiert.

Klinisch ist eine rein implantatgetragene Suprakonstruktion nur bis zum ersten Kontakt mit den Abutments aufzupassen. Mathematisch ist jedoch eine gegenseitiges Durchdringen der Gitternetzmodelle mit dem Ergebnis einer geringsten Differenz möglich. Deshalb wurde die Projektion manuell korrigiert, um Messergebnisse in diesem klinisch unsinnigen Bereich zu vermeiden.

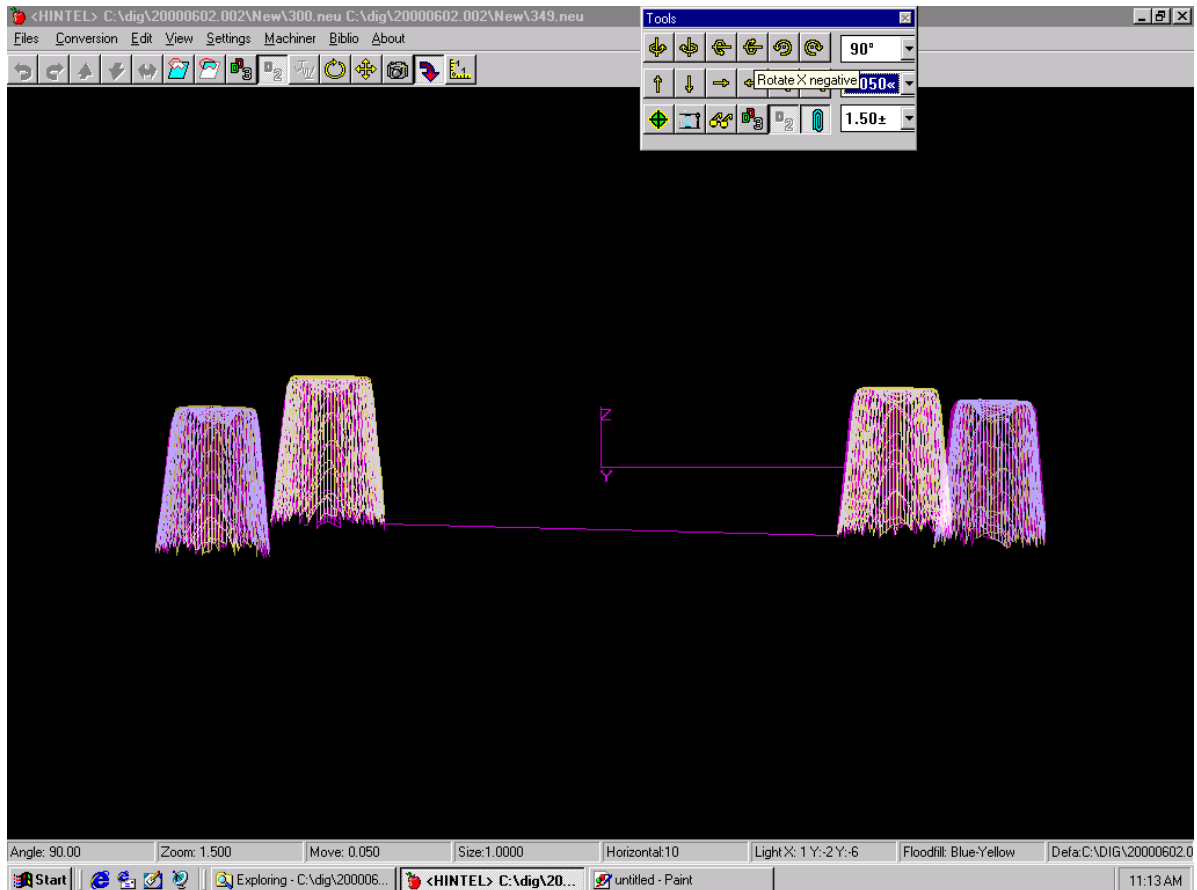


Abb.7 Gitternetzdarstellung der geschnittenen Implantate von Ur- und Meistermodell

Die manuelle Korrektur bestand darin, Gitternetzdarstellungen, die sich ggf. „durchdringen“, durch vertikale Justage eines einzelnen Gitternetzmodells auseinanderzubewegen.

Die verbliebenen grafisch dargestellten Differenzen zwischen den Gitternetzmodellen wurden in einer Grafikdatei abgespeichert. Nach dem Import dieser Grafikdatei in ein Bildbearbeitungsprogramm (Adobe Photoshop v. 5.0) konnten die **vertikalen Differenzen** zwischen den Messabutments auf dem Ur- und Meistermodellen ermittelt werden. Durch vergleichende Zuordnung der Farbe (inzisal / okklusal auf dem Messabutment) zur Farbskala (Legende) konnte

der grafisch dargestellte Wert wieder in einen numerischen Wert überführt werden.

Diese Zahlenwerte wurden in Tabellen des Programms Microsoft Excel zusammengetragen.

Die Auswertung der Übertragungspräzision in Bezug zum Gesamtmodell erfolgte durch Vergleich mit einer Referenzebene. Deren Referenzwert stellte der höchste vertikale Punkt der Positionierkugel dar, die mittig in regio 31/41 lokalisiert war.

Für die Auswertung der Übertragungspräzision der Implantate untereinander stellte das Abutment einer Abformung den Referenzwert dar, dessen Gitternetzprojektion von Urmodell und Meistermodell die geringste Distanz aufwies.

Durch Subtraktion der ermittelten Werte (jeweils höchster vertikaler Punkt der Messabutments) mit dem Wert der Referenz entstanden die relativen Differenzen zur Bezugsebene resp. zum Referenzabutment.

3.9 Reliabilität der Messergebnisse

Die Reproduzierbarkeit der 3D-Scans konnte im Rahmen von Vorversuchen bestätigt werden.

Vom gleichen Urmodell wurden jeweils zwei Scans angefertigt, zwischen denen beim ersten Vorversuch keine Entnahme aus dem Scanner stattfand, beim zweiten Mal eine Entnahme und sofortiges Wiedereinsetzen des Urmodells vorgenommen wurde. Im Anschluss wurden per Software Gitternetzmodelle aus den Punktwolken erzeugt und die Gitternetzmodelle per Software in einer Best-Fit-Methodik aufeinander projiziert. Die Differenzen der erzeugten Gittermodelle lagen im Rahmen der Messungenauigkeit des Systems.