

# Genauigkeitsanalyse zur navigationsgestützten Planung und Insertion von dentalen Implantaten an Unterkieferkunststoffmodellen

M. Schneider<sup>a</sup>, U. Eckelt<sup>a</sup> and V. Hietschold<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum „Carl Gustav Carus“ der Technischen Universität Dresden, Fetscherstraße 74, 01307 Dresden, Deutschland

<sup>b</sup>Institut und Poliklinik für Radiologie, Universitätsklinikum „Carl Gustav Carus“ der Technischen Universität Dresden, Fetscherstraße 74, 01307 Dresden, Deutschland

**Abstract:** The surgical insertion of dental implants requires careful preoperative diagnostics. Particularly, in morphologically difficult situations a CT scan is most useful for the true to scale three-dimensional imaging of the alveolar process and the implant planning. Using a navigation system we are enabled to transfer the preoperative planning and simulation accurately into the operating situs. In this study we examined the suitability and accuracy of the at present commercially available navigation system STN (Surgical Tool Navigator, Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) and the software STP 4 (Leibinger, Freiburg, Germany) for the use in dental implant surgery. CT data sets adjusted to 1.5/1.5/1.0 of 20 lower jaw phantom models were made. Under guidance of the navigation system, 100 implants altogether were inserted into 20 lower jaws. By means of image fusion the preoperative and postoperative CT scans could be compared and thus the deviation between the preceded planning and the result after operation measured in different axial layers. When using 5 fiducial marker we achieved a by the system calculated localization accuracy of 0.79 +/- 0.25 mm. The precise accuracy, i.e. the deviation of the operation result from the preceded planning, amounts to 0.68 +/- 0.63 mm in our investigation. With the described system configuration it was possible to achieve a sufficient accuracy for this specific indication. By extending the software by specific planning tools it could be adapted and improved.

## 1 Einleitung

Die dentale Implantologie hat in den letzten Jahren eine hohe Zuverlässigkeit erlangt. Der Forschungsschwerpunkt hat sich dabei immer mehr zu der Aufgabenstellung hin verlagert, eine chirurgisch sichere Implantation mit einem optimalen prothetischen Ergebnis zu verbinden. Bei komplexen Behandlungsfällen ist heute eine sorgfältige präoperative Diagnostik unter gleichwertiger Einbeziehung chirurgischer und prothetischer Gesichtspunkte Standard. Zur dreidimensionalen Darstellung des Alveolarfortsatzes ist dabei ein hochauflösendes Computertomogramm sinnvoll. Eine

Vielzahl spezieller Softwarelösungen ermöglicht inzwischen die präoperative Planung der Implantatposition am Computerbildschirm. Jedoch fehlt zum gegenwärtigen Zeitpunkt ein suffizientes Verfahren diese Planung sicher in den Operationssitus zu übertragen. Die Verwendung von Implantatschablonen mit Bohrhülsen scheitert beispielsweise, wenn sich die Notwendigkeit von intraoperativ Korrekturen ergibt. Auch ist die Ausrichtung und Richtungskorrektur der Bohrhülsen bereits in der Planungsphase mit Fehlern und Problemen behaftet.



Abb. 1: Navigationssystem STN (Carl Zeiss, Germany)

Der Einsatz eines Operations-Navigationssystems würde es ermöglichen, die präoperative Planung exakt in die Operationssituation zu übertragen. Deshalb wird die vorliegende Arbeit die Eignung und Genauigkeit des derzeit kommerziell verfügbaren Navigationssystems STN (Surgical Tool Navigator, Carl Zeiss Company, Oberkochen, Germany) und der Software STP 4 (Firma Leibinger, Freiburg, Germany) für den Einsatz in der dentalen Implantologie untersuchen. Die zunächst für neurochirurgische Anwendungen entwickelten Geräte werden in der Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie bislang zum Auffinden anatomischer Strukturen, zur Darstellung von Tumorgrenzen und Fremdkörpern sowie zur Rekonstruktion von Mittelgesichtsdefekten und -frakturen eingesetzt.

Die vorgestellte experimentelle Untersuchung soll über die systemimmanente Ungenauigkeit des Systems hinaus die gesamte mögliche Fehlerbreite beginnend von der Datenerfassung im Computertomogramm bis hin zur navigierten Implantatinserterion erfassen. Zusätzlich wird auch ein in vivo praktikabler Handlungsablauf für die navigationsgestützte dentale Implantation aufgezeigt.

## 2 Material und Methode

Das Schraubenplanungsmodul der Navigationssoftware STP 4, das ursprünglich für die Implantation von Schrauben in der Wirbelsäulenchirurgie konzipiert wurde, wird zur dreidimensionalen Implantatplanung und anschließend zur computerassistierten intraoperativen Navigation von 100 enossalen Implantaten (IMZ, Friadent, Mannheim Germany) in 20 Unterkieferkunststoffmodelle eingesetzt.

Von den 20 Unterkieferkunststoffmodellen wurden zunächst in einem Philips SR 7000 Spiral-CT Volumendatensätze nach dem Protokoll 1,5/1,5/1,0 (Thickness: 1,5 mm, Table-Index: 1,5 mm and Rekonstruktion-Index 1,0 mm) erzeugt. Zur Registrierung verwendeten wir als Fiducial-Markers in Miniplastschienen eingearbeitete Titanschrauben.



Abb. 2: Unterkiefermodell mit Miniplastschiene und Titanschraubenmarkierungen (Pfeil)

Die Planung der Implantate erfolgte ebenfalls mit dem screw planing modul der Software STP4. Auf Grundlage dieser Implantatplanung wurden unter Führung des Navigationssystems jeweils 5 IMZ-Implantate 3,3 x 13 mm pro Unterkiefer positioniert. Die Lage des Unterkiefers wurde während des Bohrvorganges über den ebenfalls an der Miniplastschiene befestigten Dynamische Referenzrahmen (DRF) Dynamic reference frame vermittelt.

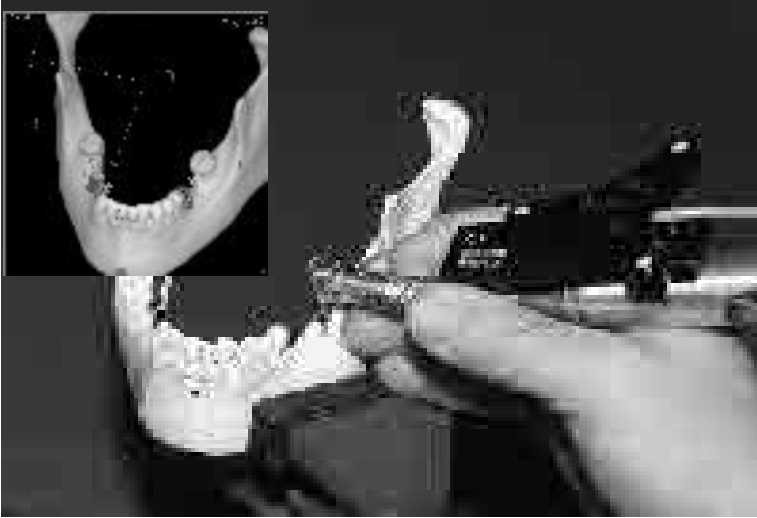


Abb. 3: Navigiertes Winkelstück. Der Infrarotsensor (rechts) vermittelt die Lage und die Achse des Bohrers. Links im Bild ist die Planungssituation dargestellt.

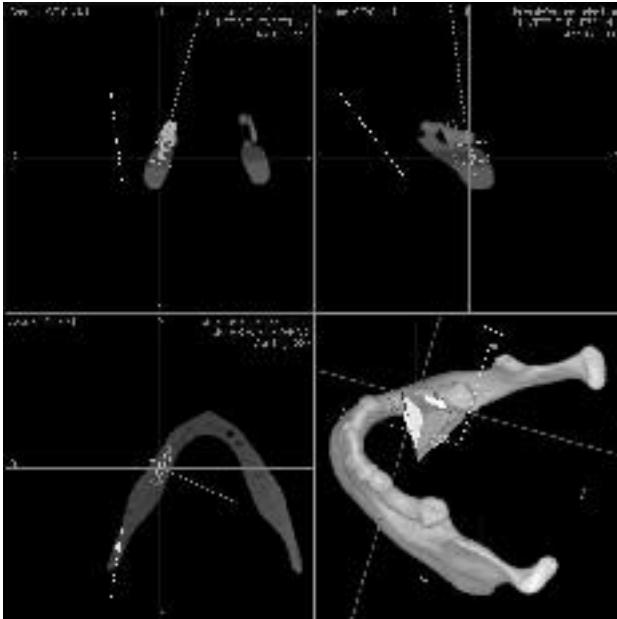


Abb. 4: Moment der navigierten Implantatinsertion

Die folgende Abbildung (Abb. 4) zeigt die multiplanare Rekonstruktion des Unterkiefers nach erfolgter Implantatplanung.

Der Computerbildschirm gibt den Moment der navigierten Implantatinserterion (vergl. Abb. 3) wieder. Die grüne gepunktete Linie symbolisiert die Achse des Implantatbohrers in den verschiedenen Ebene und ermöglicht somit eine exakte Positionierung.

Anschließend wurden die Kunststoffunterkiefer erneut im CT mit der gleichen Auflösung gescannt. Auf dem Wege der Imagefusion konnte jeweils das Planungs- und das "postoperative" CT übereinander projiziert werden. In der cranialsten und in der caudalsten axialen Schicht wurden die Abweichungen sowohl in der mesial/distal Richtung als auch in der vestibulär/lingualen Richtung zwischen Planung und Insertionsergebnis gemessen.

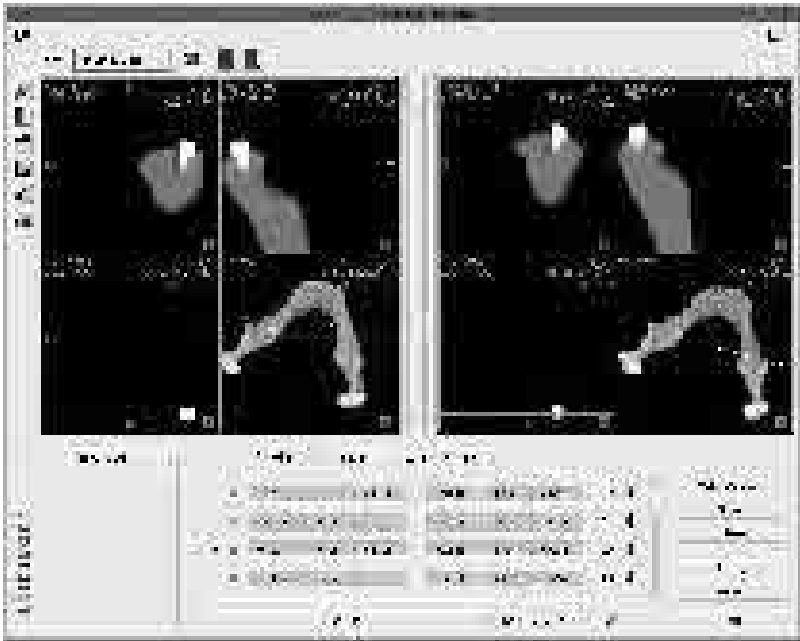


Abb. 5: Das Imagefusionmodul der Software STP 4

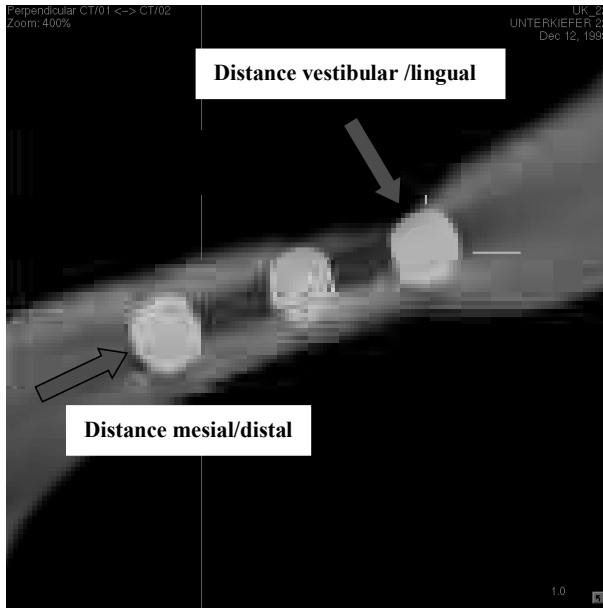


Abb. 6: Die Lage der Messpunkte in der cranialsten Schicht

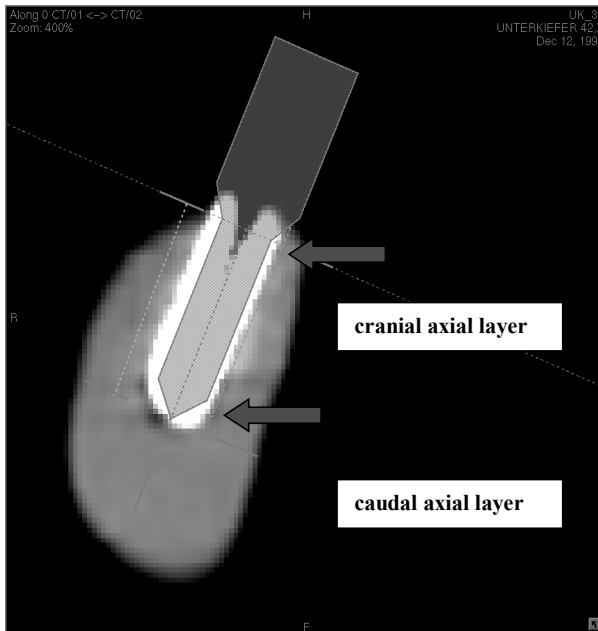


Abb. 7: Lage der Messpunkte im longitudinalen Schnitt

## 2.1 Ergebnisse

Bei Verwendung von 5 Fiducial-Markern erreichten wir zunächst eine vom System errechnete Lokalisationsgenauigkeit von 0,79 mm mit einer Standardabweichung von +/- 0,25 mm.

Die exakte gemittelte Genauigkeit, nämlich die Abweichung des Operationsergebnisses von der vorausgegangenen Planung, betrug im Rahmen unserer Untersuchungen 0,68 mm. Die Standardabweichung betrug hier 0,63 mm.

Das folgende Diagramm soll die Lage der Einzelwerte aufzeigen. Ausgehend von 100 Implantaten (n=100) zeigt die erste Säule die Abweichung der Implantate in der cranialsten Schicht in vestibulär/lingualer Richtung (V/L cranial), Säule zwei die Abweichung ebenfalls in der cranialsten Schicht in mesial/disaler Richtung (M/D cranial). Die Abweichungen von der Planung in der caudalsten Schicht werden analog durch die Säulen (V/L caudal) und (M/D caudal) veranschaulicht.

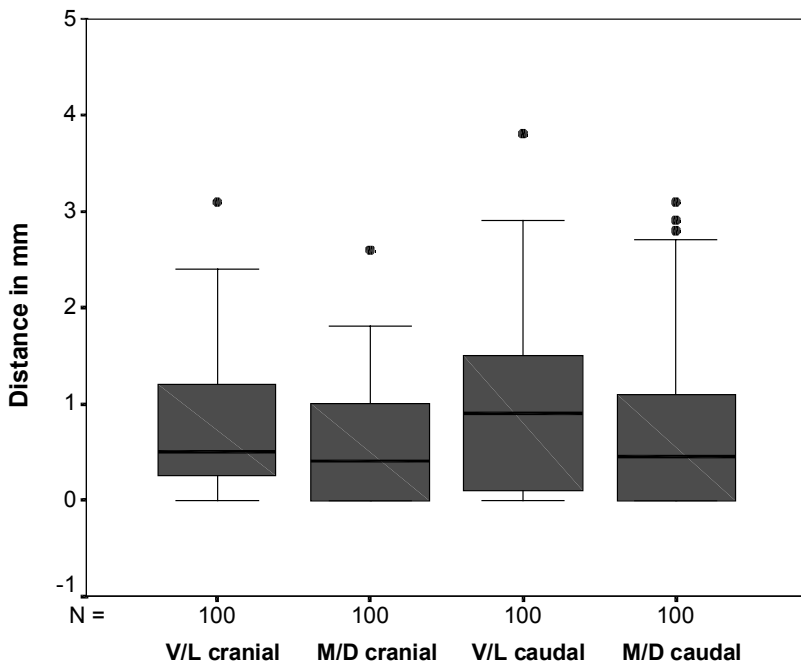


Diagramm 1: Verteilung der Einzelmesswerte

## 2.2 Diskussion

Bei der Untersuchung wurde insbesondere darauf Wert gelegt, den klinischen Ablauf der navigationsgestützten Implantatinserktion weitgehend zu simulieren. Mit der beschriebenen Systemkonfiguration konnte eine für das Indikationsgebiet ausreichende Genauigkeit erreicht werden. Reserven liegen in der Adaptation der Programmsoftware, die um für die Implantatplanung spezifische Planungswerkzeuge erweitert werden muss. Weitere Ursachen für Abweichungen sind die Schwierigkeiten bei der Instrumenten und Bohrerkalibration. Die feste Integration der Referenzgeber in die kieferchirurgischen Bohrgeräte wird weitere Fehlerquellen ausschalten.

## Literaturverzeichnis

- [Ha97] Haßfeld S, Raczowsky J, Bohner P, Hofele C, Holler C, Mühling J, Rembold U, Robotik in der Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie, Mund Kiefer GesichtsChir, 1: 316-323, 1997.
- [HMS98] Hilbert M, Marmulla R, Strutz J, A comparison of the accuracy of a medical navigation system (Viewing-Wand) with a laser supported microscope (MKM) navigation system performed on geometric test models, HNO; 46: 44-49, 1998.
- [Vo97] Voegelé M, Freysinger W, Bale R, Gunkel A R, Thumfart W F, Einsatz der ISG Viewing Wand am Felsenbein, HNO, 45: 74-80, 1997.
- [Ma98] Marmulla R, Hilbert M, Niederdellmann H, Intraoperative Präzision mechanischer, elektromagnetischer, infrarot- und lasergeführter Navigationssysteme in der computergestützten Chirurgie, Mund Kiefer GesichtsChir, 2: 145-148, 1998.
- [Bi97] Bier J: Telerobotic, Onkologe, 3. 154-156, 1997.
- [Ha90] Halling F, Merten H A, Dieckmann G, Luhr H G, Entfernung tiefliegender Fremdkörper im Gesichtsbereich nach stereotaktischer Lokalisation. Dtsch Z Mund Kiefer GesichtsChir, 14, 432-43, 1990.
- [Er97] Enislidis G, Wagner A, Ploder O, Ewers R, Computed intraoperative navigation guidance - A preliminary report on a new technique. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 34/4, 271-274, 1997.
- [Ja97] Jackowski J, Jöhren P, Hartmann N, Grimm WD, Wentz K, Wertigkeit der Computertomographie in der präimplantatorischen Diagnostik schwieriger anatomischer Situationen. Z Zahnärztl Implantol, 13, 83, 1997.
- [SEH99a] Schneider M, Eckelt U, Hietschold V, Image-guided operation in maxillofacial surgery, a model study of computer-assisted lag screw osteosynthesis of condylar neck fractures. In 5<sup>th</sup> Mediterranean congress of oral and maxillofacial Surgery. Monduzzi Editore S.p.A. Bologna (Italy) 47, 1999.
- [SEH99b] Schneider M., Eckelt U., Hietschold V, Positionierung von enossalen Implantaten mittels computerassistierter Operationsnavigation. 11. Internationales Symposium für Chirurgische Prothetik und Epithetik, Linz 1999.
- [La99] Langowsky K, Eckelt U, Päßler L, Pilling E, Walter, M, Computergesteuerte Implantationsplanung bei Patienten nach Tumoroperationen. 11. Internationales Symposium für Chirurgische Prothetik und Epithetik Linz 1999.