

3D-Implantatplanung und Stereolithographie-Implantatbohrschablonen

P. Schuller-Götzburg¹, P. Sattlegger², K. Grossschmidt³ und P. Schachner⁴

¹ Abteilung für Prothetik-, Biomechanik- und Biomaterialforschung, Paracelsus Medizinische Privatuniversität, Salzburg

² Dr. Doring Institut für CT und MRT, Salzburg

³ Abteilung für Stützgewebe- und Biomaterialforschung, Histologisch-Embryologisches Institut, Universität Wien

⁴ Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, LKH Salzburg

Eingegangen am 8. Mai 2003, angenommen am 16. November 2003

ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung der CT-Daten gestützten 3D-Planungsprogramme (Tabelle 1) bietet dem implantologisch tätigen Zahnarzt, Oral- oder Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen bei der Planung und der Umsetzung anspruchsvoller Implantatversorgungen bisher ungekannte Möglichkeiten und hohe Präzision (Lewis 2002, Sarmant et al. 2003a, b). Bei der Planung von Implantaten zeigen sich neben den üblichen 2D diagnostischen Hilfsmitteln wie OPTG und Dental-CT deutlich die Vorteile der 3D-Modelldarstellung (Abb. 3, 4). Die Insertion der Implantate kann mit den verschiedenen präoperativen Planungsprogrammen, wie z.B. SimPlant 8®, einfach und effizient, gerade bei aufwändigen, nicht routinemäßigen Versorgungen, mit schwierigen anatomischen und prothetischen Verhältnissen geplant werden.

Die in der Datenbank verfügbaren Implantate und die einfache Möglichkeit der Gestaltung von Implantaten und auch der Suprastrukturen macht die Software von einzelnen Implantatssystemen unabhängig und universell einsetzbar.

Ein besonderer Aspekt besteht für den Behandler in der Veranschaulichung der geplanten Therapie für den Patienten in der präoperativen Aufklärung durch die 3D-Visualisierung und in der Dokumentation auch unter forensischen Gesichtspunkten.

Im Vergleich zu Systemen mit intraoperativer Navigation der Bohrung zeigt sich bei der Technik durch Schablonen ein reduzierter zeitlicher und Materialaufwand. Durch die Herstellung von knochen-, schleimhaut- und zahngetragenen Bohrschablonen lassen sich für alle Bedürfnisse geeignete Bohrschablonen herstellen.

Intraoperative Komplikationen und Umplanungen lassen sich so vermindern und führen zu einer höheren Erfolgsrate. Die gezielte Planung und der Einsatz der SLA-gefertigten Bohrschablone erweitert die Anwendungsgebiete und Indikationen erheblich, wie z.B. Implantation im Os zygomaticum oder für Epithesen (Vrielinck et al. 2003).

SUMMARY

3D-Implant planning and stereolithography implant drill guide. The development of CT-assisted planning software programs (Table 1) offers the implantologist (dentist), the oral- or the maxillofacial surgeon hitherto unknown possibilities and degrees of precision in planning complex implant procedures (Lewis 2002, Sarmant et al. 2003a, b).

While planning implantations it was found that, in addition to commonly used 2-D diagnostic aids like OPTG and dental CT, 3-D models offer significant advantages (Figs. 3, 4). The insertion of implants can be planned simply and efficiently using various preoperative planning software like SimPlant 8®, especially in cases of laborious non-routine treatments involving complex anatomical and prosthetic conditions.

The available implants in the database and the simple possibility of designing implants as well as suprastructures allow the software to be applied universally, regardless of the individual implant system.

A specific advantage is that, when explaining the procedure to the patient before surgery, the treating implantologist is able to demonstrate the planned therapy in the three-dimensional mode. This is also useful for the purpose of documentation from a forensic point of view.

Compared to systems involving intraoperative navigation of drilling, the guide technique requires significantly less time and material. The production of drill guides borne by the bone, the mucosa and the teeth allows the creation of drill guides for different kinds of situations.

Intraoperative complications and re-planning efforts are reduced, and a higher rate of success is achieved. Targeted planning and the use of SLA-based drill guides extend the applications and indications for this procedure, e.g. for implantation in the Os zygomaticum or for epitheses (Vrielinck et al. 2003).

Schlüsselwörter: Stereolithographie SLA, Implantologie, 3D-Computer Implantatplanung, Implantatbohrschablone

Keywords: Stereolithography SLA, implantology, 3D-software implant planning, individually implant drill guide

EINLEITUNG

Die Anwendung von Stereolithographie-Modellen (SLA-Modelle) ist eine eingeführte und erprobte Technik im Rapid Prototyping Sektor (Wolf et al. 1992, Kermer et al. 1998, Bill et al. 1995, Santler et al. 1998), bei der Entwicklung von Prototypen im technischen Bereich und in der Medizin. In der Medizin hat diese Technik in den verschiedensten Fachgebieten breiten Eingang gefunden. In der Zahnheilkunde und Kieferchirurgie finden die SLA-Modelle Anwendung in der Operationssimulation der craniofacialen Chirurgie, orthognaten Chirurgie, präprothetischen Chirurgie und der Implantologie.

Die Möglichkeit der Einfärbung der SLA-Modelle erlaubt die selektive Hervorhebung von spezifischen anatomischen Strukturen im 3D-Modell. Die Informationen des soliden Modells mit den eingefärbten Strukturen erlaubt die Erkennung von z.B. Nerven und Gefäßen und ermöglichen so eine präzise präoperative Diagnostik und Planung.

Bei aufwändigen implantatgestützten Versorgungen gewinnt die präoperative computerunterstützte Planung und deren Umsetzung in Form von Bohrschablonen zunehmend an Bedeutung. Mit der präoperativen Planungssoftware SimPlant 8® (Materialise Leuven, Belgien), basierend auf CT-Daten, kann die anatomische und prothetische Position der Implantate am Computer anhand der Dental-



Abb. 1. SLA-Modell eines zahnlosen Unterkiefers, hergestellt nach CT-Daten

CT Schnittbilder simuliert und in 3D-Modellen dargestellt werden. Mit der Computerplanung können individuell angepasste schleimhaut-, knochen- oder zahngetragene Bohrschablonen angefertigt werden, die das präzise Setzen von Implantaten erlauben.

TECHNISCHES VORGEHEN

Erst durch die Fortschritte der Computerwissenschaften und die dadurch mögliche Verarbeitung und Generierung dreidimensionaler Bilder aus CT-Daten, ermöglicht „Computer Aided Design“ (CAD) für die präoperative Planung von dentalen Implantaten und „Computer Aided Manufacturing“ (CAM) für die Herstellung von SLA-Modellen und SLA-Bohrschablonen.

Die Computer-Tomographie (CT) ist das Mittel der Wahl für die detaillierte Planung von Implantaten bei anspruchsvollen Fällen. Auf Grund der heute zur Anwendung



Abb. 2. Knochengestützte SLA-Bohrschablone mit integrierten Bohrhülsen und Unterkiefer SLA-Modell

kommenden Spiraltechnik mit einer Schichtdicke von unter 1 mm und einem Rekonstruktionsintervall von 1 mm liegt die Dosis nur mehr über dem 2,2-fachen eines konventionellen Zahnfilmstatus (Lenglinger et al. 1999, Thiel und Haufeld 2001).

Der erste Schritt bei der SLA-Modellherstellung ist das Segmentieren der CT-Daten in dem alle knöchernen Strukturen definiert werden. Dies geschieht mit der Methode der „Schwellenüberschreitung“. Alle Pixel, deren Grauwert einen bestimmten Wert übersteigen (Schwelle), werden den knöchernen Strukturen zugezählt. Durch lineare Interpolation der Pixel findet eine Annäherung an die Konturen statt. Schwerwiegende Artefakte stammen von metalli-

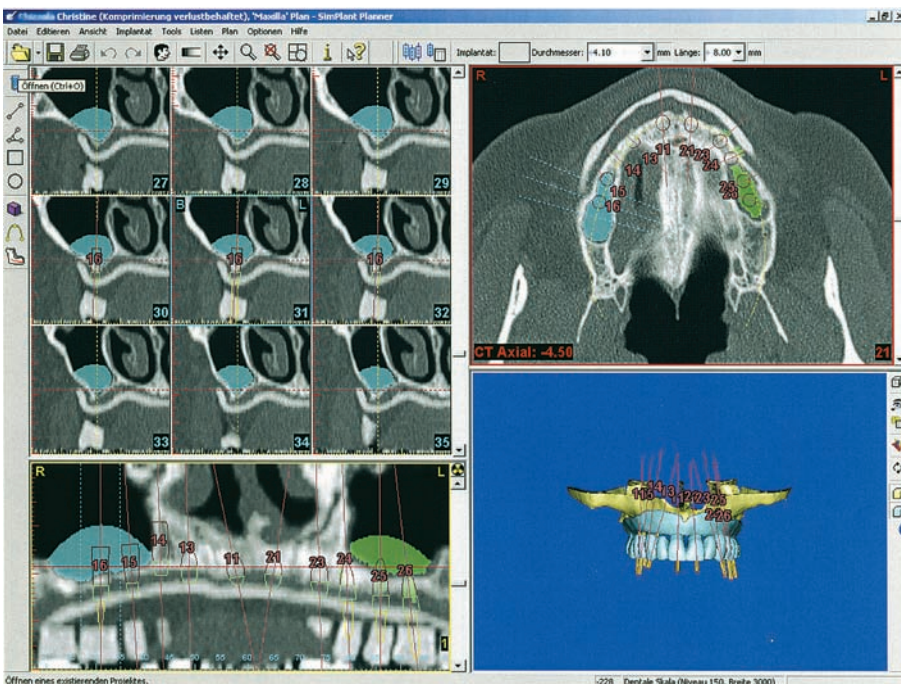


Abb. 3. Bildschirmansicht des Planungsprogrammes SimPlant 8 mit zwei- und dreidimensionaler Ansicht. Die blau und grün eingezeichneten Bereiche zeigen den virtuellen Sinuslift

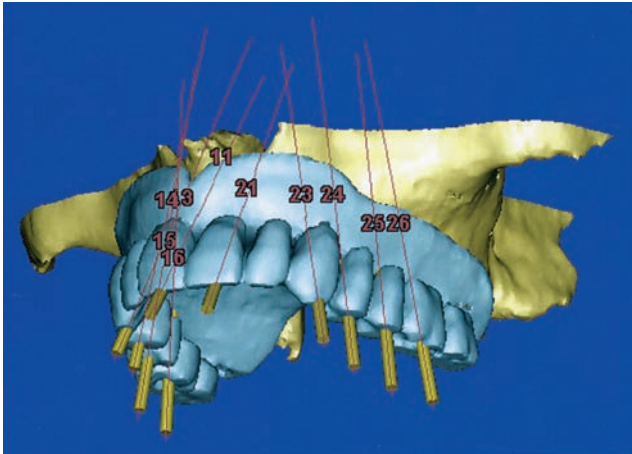


Abb. 4. Dreidimensionale Ansicht des Planungsprogrammes SimPlant 8, mit platzierten Implantaten und der prothetischen Situation entsprechend der Aufstellung mit radioopaken Zähnen und radioopaker Basis. Die prothetische Planung kann zur besseren Übersicht ausgeblendet werden

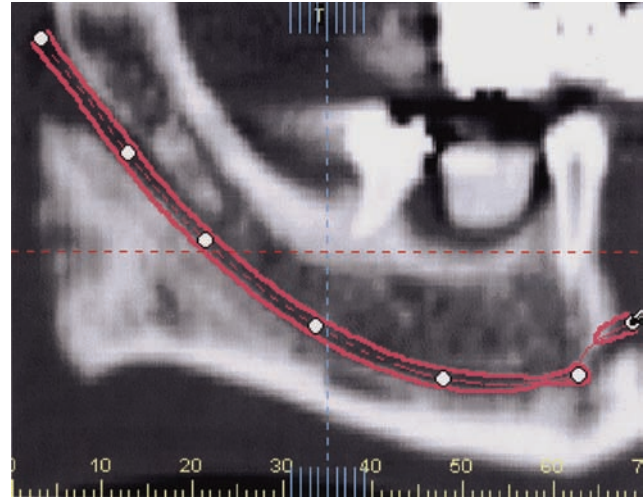


Abb. 5. Definition des N. mandibularis in SimPlant 8 durch Anklicken mit einem Werkzeug

schen Implantaten, Zahnfüllungen und Zahnersatz wie Kronen und Brücken beim Scannen. Die einzige Möglichkeit diese Artefakte auszuschalten ist die manuelle Nachbearbeitung. Es wird eine dreidimensionale Vorschau auf das Modell generiert, nach Abschluss der medizinischen Kontrolle werden die Daten zum Rapid Prototyping transferiert. Das SLA-Modell und dessen Stützkonstruktion werden automatisch generiert (Franke 2001) (Abb. 1).

Die Entwicklung in der Erstellung von SLA-Modellen ermöglichte zuerst die Herstellung von auf CT-Daten basierenden Modellen des knöchernen Skelettes in allen Dimensionen des Raumes mit der Möglichkeit der Hohlkörperdarstellung wie z.B. Sinus-, NN-Höhlen, Nerv- und Gefäßkanäle mit großer Genauigkeit (Wolf et al. 1992, 1994, Z'Graggen et al. 2002). Durch die Verwendung von MR-Daten konnten in weiterer Folge auch Weichgewebsstrukturen, wie z.B. der Diskus articularis des Kiefergelenks, mit dargestellt werden. Die selektive Einfärbung erlaubt es, wichtige Strukturen, wie z.B. N. mandibularis, darzustellen.

Die Genauigkeit ist so groß, dass komplexe Operationen vorgeplant und simuliert werden können, um Osteosynthesematerialien oder Implantate vor der Operation anzupassen oder auszuwählen.

Durch die Entwicklung präoperativer CT-Daten gestützter Planungssoftware, wie z.B. SimPlant 8®, wurde die Operationsplanung virtuell erweitert und die Anfertigung von sowohl knochen-, schleimhaut- oder zahngetragenen SLA-Bohrschablonen (SurgiGuide) möglich (Abb. 2).

SLA-MODELLE

In der Implantologie findet der Einsatz der SLA-Modelle Anwendung bei:

- Schulungen in die Implantologie. An Hand eines realen Patientenfalles kann am individuellen patientenspezifischen SLA-Modell die Implantation geplant und ausgeführt werden. Dabei kann auf die individuellen anatomischen Gegebenheiten Rücksicht genommen werden wie z.B. die Kieferkammbreite, Kieferkammhöhe, Sinus

maxillaris und den N. alveolaris, der im gesamten Verlauf farblich dargestellt werden kann.

- Fallplanung bei schwierigen anatomischen Verhältnissen und Regionen wie z.B. nach konventionellem Sinuslift oder nach Traumata und Tumorexcisionen.
- Anfertigung von Bohrschablonen (Abb. 8). Die Position der Implantate wird am 3D-Computer-visualisierten Modell vom Operateur bestimmt.

Bisher konnte nach erfolgter Planung im Artikulator vom Zahntechniker nur schleimhautgetragene oder zahngetragene Bohrschablone angefertigt werden. Bei rein schleimhautgetragenen Schablonen im unbezahnten Kiefer, verliert diese Schablone jedoch nach Abpräparieren der Schleimhaut ihre Basis und eine genaue Justierung und Insertion der Implantate kann schwierig sein. Die Auswahl ob knochen-, schleimhaut- oder zahngetragener SLA-Bohrschablone lässt für jede Indikation die richtige Methode finden um die Implantate genau positionieren zu können.

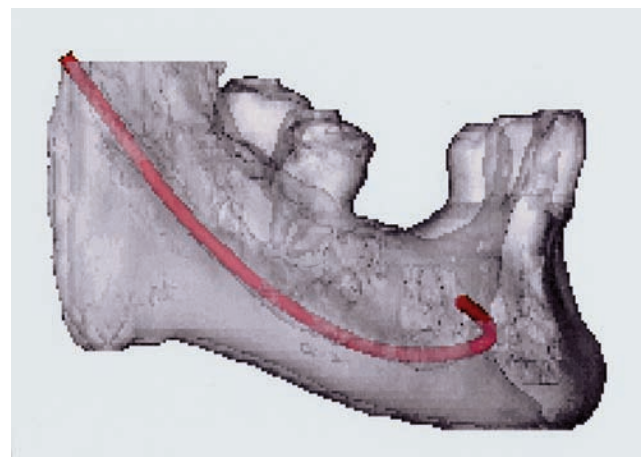


Abb. 6. Dreidimensionale Ansicht eines Unterkiefers im Planungsprogramm SimPlant 8 mit Darstellung des N. mandibularis, entsprechend der zuvor durchgeführten Definition

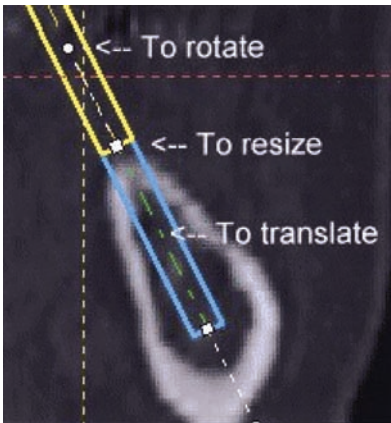


Abb. 7. Ansicht der CT Cross-Section im Planungsprogramm mit dem geplanten Implantat. Das virtuelle Implantat kann leicht durch Anklicken in seiner Position, Lage und Länge verändert werden

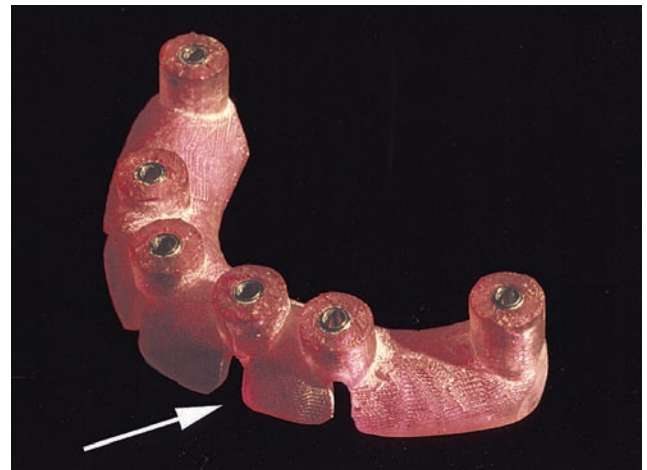


Abb. 8. Knochengestützte SLA-Bohrschablone. Pfeil Kühlwasseröffnung

nen, sowohl nach anatomischen und prothetischen Gesichtspunkten.

3D-PLANUNGSSOFTWARE UND SLA-BOHRSCHABLONE

Die durch das CT gewonnenen Daten werden generiert und können in einem Personalcomputer mittels geeigneter Planungssoftware verwendet werden. Auf dem Markt werden verschiedene Software Planungsprogramme angeboten (siehe Tabelle 1). Seit dem Zusammenschluss der Firmen SurgiCase und Materialise wurde die gewohnte Benutzerfreundlichkeit von SimPlant mit den 3D-Planungsmöglichkeiten von SurgiCase[®] im Programm SimPlant 8[®] (Abb. 3) vereinigt. Das Programm SurgiCase[®] ist nicht mehr im Einsatz.

Das Programm CoDiagnosticX[®] ermöglicht die Planung am Computer, die Bohrschablonen werden vom Zahntechniker individuell mit Hilfe eines Koordinatenschlüssels und eines Positionierungstisches direkt am Gipsmodell hergestellt und sind schleimhaut- oder zahngetragen. Mittels intraoperativen optischen Navigationssystems erlaubt dieses System auch die computergestützte Visualisierung und Navigierung des Handstückes.

Einer der führenden innovativen Entwickler dieser Technik ist Materialise mit seiner präoperativen Planungssoftware SimPlant 8[®] (Abb. 3). Die Stärke liegt in der ausgefeilten 3D-Ansicht, diese erleichtert die richtige Positionierung von Implantaten nach chirurgisch-anatomischen Überlegungen, wie Knochenkontinuität, Knochenvolumen und Knochendichte und nach prothetisch-ästheti-

schen Überlegungen, der geplanten prothetischen Versorgung. Die Planungssoftware eliminiert die Ungenauigkeiten der bisher üblichen manuellen Planung anhand von Implantatschablonen und Röntgenbildern. Das Programm SimPlant 8[®] ermöglicht größtmögliche Flexibilität durch spezifische Querschnitte der Axialbilder. Werden die CT-Bilder mittels radioopaker Zähne und Basis gescannt, die die geplante prothetische Situation wiedergeben, kann neben der idealen anatomischen Position auch die prothetische Situation berücksichtigt werden (Abb. 4).

Die relevanten Strukturen wie der N. mandibularis werden anhand der Schnittbilder definiert (Abb. 5) und vom Programm dreidimensional umgerechnet und dargestellt (Abb. 6).

In der Planungssoftware sind die gängigsten Implantattypen inklusive Suprastruktur in einer Datenbank vorgegeben. Es kann jedoch ganz einfach jede beliebige Implantatlänge, Implantatdurchmesser und Suprastruktur selbst definiert werden und ist so uneingeschränkt erweiterbar. Das Positionieren der Implantate erfolgt an den Schnittbildern per Mausklick in jede gewünschte Richtung, die richtige Implantatlänge wird sofort ermittelt (Abb. 7). Als besondere Features kann z.B. die Knochendichte um das Implantat ermittelt werden, oder ein virtueller Sinuslift kann durchgeführt werden, wobei das Volumen des Sinusliftes berechnet wird (Abb. 3).

Aus den Positionen der geplanten Implantate generiert die Planungssoftware die Daten für die knochengetragene Bohrschablone (Abb. 8). Die Daten werden per Datenträ-

Tabelle 1

Produkt	Hersteller	Webseite
SimPlant [®]	Materialise NV	www.surgicase.com
coDiagnostiX [®]	IVS Solutions AG	www.ivs-solutions.de
ImPlacer [®]	Pacific Coast Software Inc.	www.pacificcoastsoftware.com



Abb. 9. SLA-Oberkiefermodell 4 Monate nach Sinuslift. Sicht auf den Sinus maxillaris mit Beckenkammpongiosa

ger, FTP oder E-Mail übertragen und danach die Bohrschablone hergestellt. Es werden mehrere Bohrschablonen hergestellt mit verschiedenen Bohrhülsen, je nach den notwendigen Durchmessern der Vorbohrer und des Implantatbohrers, entsprechend der Positions- und Ausrichtungsinformationen der Implantate. Die verschiedenen Durchmesser der Bohrhülsen gewährleisten eine präzise Führung der einzelnen Bohrer. Die Längen der Bohrzylinder werden den geplanten Implantatlängen angepasst. Sie bieten so einen mechanischen Stop für den Bohrer und verhindern, dass über die geplante Länge hinausgebohrt wird. Um eine ausreichende Kühlung und Abtransport der Knochenspäne zu gewährleisten werden Fenster nahe der Eintrittsstelle des Bohrers in den Knochen in der Schablone angebracht (Pfeil Abb. 8). Aufgrund der geringen Größe und der leichten Bearbeitbarkeit lässt sich die Schablone leicht platzieren oder mit einer Fräse bearbeiten und es ist ein minimales Freilegen des Operationsgebietes notwendig. Die Schablonen bestehen aus biokompatiblen Acrylmaterial (Sterol Y-C 930 OR Avencia, Manchester, England; FDA geprüft), die Bohrhülsen bestehen aus rostfreiem Stahl. Die Möglichkeit der Sterilisierbarkeit der Bohrschablonen erlaubt die uneingeschränkte intraoperative Verwendung (Bill et al. 1995).

Bei den von uns geplanten und durchgeführten Patientenfällen, 3 Planungen am Computer und 3 SLA-Modelle konnte eine exakte präoperative Planung durchgeführt

werden und ein für den Patienten zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden (Abb. 9: 4 Monate nach durchgeführtem Sinuslift beidseits vor der Implantation).

DANKSAGUNG

Für die Abb. 1, 2 und 8 möchte ich mich bei Dr. J. Suchanek, Wien, bedanken.

LITERATUR

- Bill J, Reuther J, Dittmann W, Kübler N, Meier J, Pistner H, Wittenberg G (1995) Stereolithography in oral and maxillofacial operation planning. *Int J Oral Maxillofac Surg* 24: 98–103
- Franke (2001) Computerassistierte Radiologie als Grundlage der Stereolithographie. Erstes Wiener Phidiasis Symposium. Rapid Prototyping in der Medizin, AKH-Wien, S 8–11
- Kermer C, Rasse M, Lagogiannis G, Undt G, Wagner A, Millesi W (1998) Colour stereolithography for planning complex maxillofacial tumor surgery. *J Cranio-Max Fac Surg* 26: 360–362
- Lendlinger FX, Muhr T, Krennmayr G (1999) Dental-CT: Untersuchungstechnik, Strahlenbelastung und Anatomie. *Der Radiologe* 12
- Lewis SB (2002) The evolution of multiplanar diagnostic imaging: predictable transfer of preoperative analysis to the surgical site. *J Oral Implantol* 28: 135–144
- Santler G, Kärcher H, Kern R (1998) Stereolithography models vs. milled 3D models. Production, indications, accuracy. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2: 91–95
- Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N (2003a) Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants* 18: 571–577
- Sarment DP, Al-Shammari K, Kazor CE (2003b) Stereolithographic surgical templates for placement of dental implants in complex cases. *Int J Periodont Restor Dent* 23: 287–295
- Thiel H-J, Haufeld S (2001) Schnittbilddiagnostik in MKG-Chirurgie und Zahnmedizin. Thieme, Stuttgart
- Vrielinck L, Politis C, Schepers S, Pauwels M, Naert I (2003) Image-based planning and clinical validation of zygoma and pterygoid implant placement in patients with severe bone atrophy using customized drill guides. Preliminary results from a prospective clinical follow-up study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 32: 7–14
- Wolf HP, Lindner A, Schindler E, Grohmann R, Millesi W, Ewers R (1992) Konstruktion 3-dimensionaler Schädelmodelle mittels Stereolithographie. *Z Stomatol* 90: 303–311
- Wolf HP, Lindner A, Knabl J, Krepler P, Watzke I, Millesi W (1994) Stereolithographie in der Medizin – Herstellungsverfahren und klinische Anwendungen. *Osteologie* 3: 53–61
- Z'Graggen M, Schiel H, Kunz C, Lambrecht JT (2003) Symmetriemessung von dreidimensionalen Laser-Technologie-Modellen. *Z Stomatol* 99: 119–127

Anschrift der Verfasser: DDr. P. Schuller-Götzburg, Abteilung für Prothetik-, Biomechanik- und Biomaterialforschung, Paracelsus Medizinische Privatuniversität Salzburg, Strubergasse 21, A-5020 Salzburg, Österreich, e-mail: peter.schuller-goetzburg@pmu.ac.at