

# ESTHETIC TRIBUNE

## Genauigkeit der computerassistierten Implantationsarten

Das digitale Zeitalter hat auch die dentale Implantation revolutioniert. Doch wie genau ist die computergestützte Implantation? Wissenschaftliche Studien haben sich dem Thema angenommen und konventionelle wie digitale Verfahren untersucht. Von Dr. Daniel Marschall MSc, MSc, Schweiz.\*

Der Wunsch der Patienten/-innen, verloren gegangene Zähne mit neuen festen Zähnen zu ersetzen, ist jeder Zahnärztin und jedem Zahnarzt bekannt. Eine prothetische Versorgung

### Aktuelle Praxis

Die Zahnimplantate werden in der Regel nach Studium eines Röntgenbildes inseriert. Hierbei betrachtet man das Röntgenbild in Bezug auf

Übertragungsschablone eingesetzt, oder es wird eine mehr oder weniger genaue Schablone vorbereitet, mit deren Hilfe die Implantate gesetzt werden. Wenn die Implantate ohne Schablone gesetzt werden, orientiert man sich – wenn möglich – an den noch vorhandenen Zähnen oder korrigiert die Implantatatche intraoperativ, indem man eine Referenzlehre in das Implantatbett einsetzt und so die Achse mithilfe eines intraoperativ angefertigten Röntgenbildes einschätzt. Dies erlaubt, einen etwas falsch eingeschlagenen Weg noch zu korrigieren. Als Schablone wird von den Behandlern/-innen eine einfache Tiefziehschiene, die man auf dem Wax-up oder einer alten Prothese gemacht hat, verwendet. Andere verwenden eine Schiene aus Hartplastik mit lateralen Öffnungen zum Einführen des Bohrers und wieder andere Zahnärzte/-innen möchten es ganz genau machen und verwenden eine Hartplastikschiene mit Metallhülsen zur genauen Führung und Positionierung. Dabei macht man aber oft eine Planung, die zwar die geplante prothetische Versorgung, aber meist ungenügend die knöcherne Situation berücksichtigt, was dann dazu führt, dass die genauen Metallhülsen an einem ganz falschen Ort sitzen, weil man auf dem Gipsmodell den Knochen nicht sieht und auf dem Röntgen nicht die zukünftige Versorgung. Man versucht deshalb mit verschiedenen Hilfsmitteln wie Kugeln oder Metallstäbchen die knöcherne Situation auf die Prothetik abzustimmen, was viel Zeit braucht und nicht immer die gestellten Anforderungen an Lage des Implantat-Eintrittspunktes, Lage des Implantat-Apexes und die axiale Neigung erfüllt.

Mit dem technischen Fortschritt hielt der Computer auch in der Zahnheilkunde Einzug, so auch in der Radiologie. Dank der Computertechnik

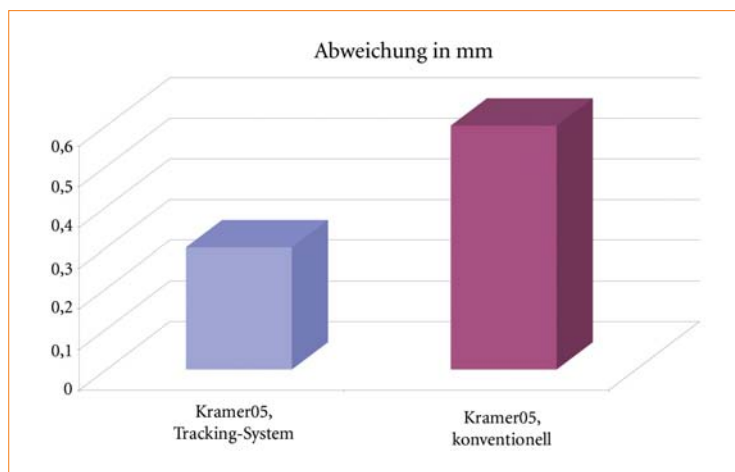
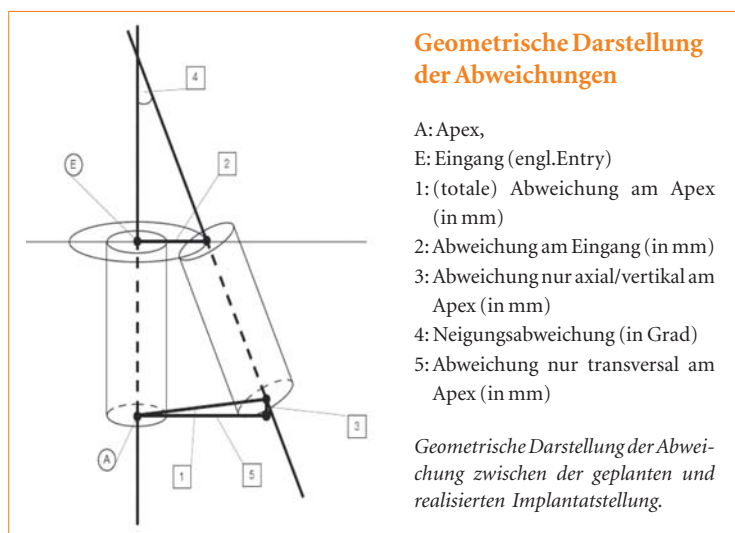


### Alles wächst zusammen

von Prof. Dr. Walter Lückerrath

In der Unterhaltungsindustrie sind Geräte, die Internet, Telefon, Fernsehen und Radio kombinieren, die Megaseller. Es ist leicht vorauszu sehen, dass diese kinderleicht zu bedienenden Geräte (z.B. das iPad) als Wissens- (Wikipedia, E-Learning), Spaß- (Entertainment), Kommunikations- (Internet, Telefon, Netzwerke), Archivierungs- (Foto-, Audio-, Videoalbum) und Überwachungssysteme (intelligente Haussysteme) wichtig für das tägliche Leben aller Familienmitglieder mit ihren unterschiedlichen Interessen sein werden. Eine vergleichbare Konzentrationsdynamik multipler Teilbereiche der Zahnheilkunde entwickelt die ästhetisch-rekonstruktive Zahnmedizin. Das Ergebnis ist dabei eben nicht nur die Summe der Teilbereiche, sondern etwas Neues, qualitativ Besseres. Das Bessere ist eben der genuine Feind des Guten. Denkt man beispielsweise, dass zum Thema Erlernen einer zahnmedizinischen Präparation alles gesagt sei, irrt man. Simulationskonzepte, die der Computerspiel-Industrie entlehnt sind, zeigen, dass ideale zahnmedizinische Präparationen eben auch virtuell lehrbar gemacht werden können, um so auch den individuellen Fortschritt der Studierenden verfolgen zu können. Ist zukünftig die, nach dem Hüllkurvenkonzept rückwärtsgeplante, reale Präparation gelungen, wird die auf optoelektronischen oder tomografischen Verfahren basierende intraorale Abformung der digitale Anfang zur Weiterentwick-

lung klinischer Rekonstruktionstechniken sein. Die rechnergestützte Vermählung der Datensätze des Ober- und Unterkiefers ist heute schon ein Standardverfahren. Mit ihm können Bisserrhöhungen durch die elastischen Verwindungen der Unterkieferspanne vor der Herstellung okklusaler Rekonstruktionen herausgerechnet werden, um eine einschleiflose okklusale Passgenauigkeit erreichen zu können. Eine moderne Problemstellung, an welcher der klassische als auch der sogenannte virtuelle Artikulator seit Jahrzehnten dezent versagt. Wie nebenbei werden durch materialtypische Cutbackverfahren ideale Materialstärken keramischer Gerüste und ihrer Verblendung erzeugt und damit die Gefahr von Frakturen (Chipping) minimiert. Nicht nur die Präzision, auch der ästhetische Erfolg wird planbar. Konzepte zur Rückwärtsplanung ästhetischer Hüllkurven des späteren Zahnersatzes sind schon jetzt der Goldstandard in der ästhetisch-rekonstruktiven Therapie. Aus dem „schau' n mer mal“ werden erfolgsorientierte, risikominimierte Behandlungskonzepte, die zielgerichtet ästhetische und funktionelle Gedanken der oralen Rehabilitationsmedizin vereinigen. Damit ist die ästhetisch-rekonstruktive Zahnmedizin die zentrale Verbindungsstelle und umfassende Antwort auf steigende Wünsche und Forderungen (Ästhetik) sowie medizinischer Bedürfnisse (Funktion) der uns anvertrauten Patienten/-innen bei gleichzeitiger Minimierung des Risikos umfangreicher rekonstruktiver Maßnahmen.



Grafik 1: Vergleiche zwischen navigierter und konventioneller Implantation.

mit Teil- oder Totalprothesen ist für die meisten Patienten/-innen wegen mangelnder Fixierung nicht befriedigend. Mithilfe von Zahnimplantaten kann der Prothesenträger wieder feste Zähne erhalten und seinen Körper dadurch vervollständigen, die für immer verloren geglaubte Bisskraft wiedererlangen. Die Einheilung der Implantate benötigt aber Zeit. Sie ist vielfach mit der Heilung eines gebrochenen Knochens vergleichbar, die bekanntlich Monate dauert. Die Einheilungsdauer der Zahnimplantate stellt viele Patienten vor zusätzliche Belastungen. Während dieser Zeit sind Halt und Ästhetik der Prothese zum Teil sogar schlechter als vorher, da zumeist nicht viel Zeit und Geld in ein Provisorium investiert wird, das nur für ein paar Monate gedacht ist. Damit stellt sich die Frage, ob es eine Chance gibt, Implantate möglichst ästhetisch, möglichst sofort und möglichst genau an die gewünschte Stelle zu setzen.

Höhe des vorhandenen Knochens. Die Breite des vorhandenen Knochens wird mit den Fingern abgetastet und abgeschätzt. Wer es genauer haben will, versucht die Dicke der Gingiva zu messen und überträgt diese auf ein Gipsmodell. Entweder werden dann die Implantate ohne

gibt es nun das digitale Einzelzahn- röntgen und das digitale Panoramaröntgen. Diese konnten die Strahlendosis vermindern, manchmal die Qualität erhöhen, aber man hatte immer noch nur zweidimensionale Bilder. Für dreidimensionale Röntgenbilder musste man die Computertomografie zur Hilfe nehmen, die aber

die Nachteile einer sehr großen Strahlenbelastung und sehr hoher Kosten hat. Auf der Suche nach dem kostengünstigen dreidimensionalen Röntgen mit niedriger Röntgenbelastung wurde man bei der Cone-Beam-Computertomografie fündig,

Autor und Studie	Abweichung in mm	Standard deviation	Range
Kramer et al. 2005, <b>Maximal</b> CT, in vitro, Tracking-System IGI, n = 40 (Abweichung geschätzt aus Diagramm)	0,30		
Kramer et al. 2005, <b>Maximal</b> CT, in vitro, konventionell, n = 40 (Abweichung geschätzt aus Diagramm)	0,60		
Hoffmann et al. 2005 N, <b>Durchschnitt</b> Apex axial, in vitro, Tracking-System (NG) VVC Vector Vision Comp., n = 112	0,70	(+/- 0,5 SD)	(0,1–1,8 mm)
Hoffmann et al. 2005 N, <b>Durchschnitt</b> Apex axial, in vitro, konventionell-freihändig (CF), n = 112	1,10	(+/- 0,6 SD)	(0,1–2,3 mm)
Hoffmann et al. 2005 N, <b>Maximal</b> Apex axial, in vitro, Tracking-System, (NG) VVC Vector Vision Comp., n = 112	1,80		
Hoffmann et al. 2005 N, <b>Maximal</b> Apex axial, in vitro, konventionell-freihändig (CF), n = 112	2,30		
Sarment et al. 2003, <b>Durchschnitt</b> Entry, CBCT, in vitro, st-lit. Splint Materialise SimPlant, n = 25	0,90	(+/- 0,5 SD)	
Sarment et al. 2003, <b>Durchschnitt</b> Apex CBCT, in vitro, st-lit. Splint Materialise SimPlant, n = 25	1,00	(+/- 0,6 SD)	
Sarment et al. 2003, <b>Maximal</b> Apex CBCT, in vitro, st-lit. Splint Materialise SimPlant, n = 25	1,20		
Sarment et al. 2003, <b>Durchschnitt</b> Entry, CBCT, in vitro, konventionelle Standard-Schablone, n = 25	1,50	(+/- 0,7 SD)	
Sarment et al. 2003, <b>Durchschnitt</b> Apex, CBCT, in vitro, konventionelle Standard-Schablone, n = 25	2,10	(+/- 0,5 SD)	

Aufstellung der Vergleiche zwischen navigierter und konventioneller Implantation.

die im deutschsprachigen Raum eher als digitale Volumetomografie bezeichnet wird. Nebst der Computerasistenz, die zum dreidimensionalen Bild geführt hat, macht man sich den Computer zunutze, um eine auf den Knochen abgestimmte Implantation zu ermöglichen. Diese wird entweder möglich, indem virtuell Implantate gesetzt werden und dann aufgrund dieser Daten eine Schablone hergestellt wird, mit welcher dann die Bohrlöcher gesetzt werden. In diesem Fall redet man von der statischen Methode (oder Splint-System). Andererseits erlaubt uns der Computer aber auch die Implantation mit der intraoperativen Navigation, auch dynamisches Verfahren genannt (oder Tracking-System). Bei der Navigation wird der Bohrvorgang permanent mittels Infrarotstrahlen überwacht und nachkorrigiert. Diese Überwachung erfolgt aber via Infrarotstrahlen zwischen Bohrmaschinen und Empfänger und nicht via Röntgenstrahlen, wodurch sich dann eine Abweichung zur gewünschten Planungslage ergeben kann. Daraus resultiert auch schon die Frage: Wie genau ist die computerassistierte statische und dynamische Implantation in Bezug auf die Eintrittsstelle, die Apexlage sowie die axiale Neigung? Und als ergänzende Frage: Wie ungenau sind diese Implantationsverfahren im schlechtesten Fall? Diese Frage stellt sich deshalb, weil man in vielen Studien be-

schönigende Aussagen findet, dass im Durchschnitt sehr gute Werte gefunden worden sind, dabei werden aber die schlechten maximalen Werte als einzelne Ausreißer abgetan. Dies ist aber nicht zulässig, weil der Operateur sich nicht in 10 % der Fälle eine Nervenverletzung erlauben und sich auf gute Durchschnittswerte berufen kann. Somit sind die maximalen Wertabweichungen in vieler Hinsicht wichtiger als Genauigkeitsdurchschnittswerte. In der Masterthese habe ich 15 Studien untersucht und meine Resultate stelle ich im Folgenden zusammengefasst vor.

**Resultate**

Bei den Studienergebnissen, die kleine Abweichungen zwischen geplanter und realisierter Implantatstellung präsentierten, handelt es sich meist um Durchschnitts- und nicht um Maximalwerte. Außerdem waren diese meist bei In-vitro-Studien und nicht bei In-vivo-Studien anzutreffen, ferner wurden die Werte in den meisten Fällen mit sehr aufwendigen und teuren dynamischen Verfahren (Tracking-System) erzielt. Die Werte am Bohrungseingang waren oft besser als die am Apex.

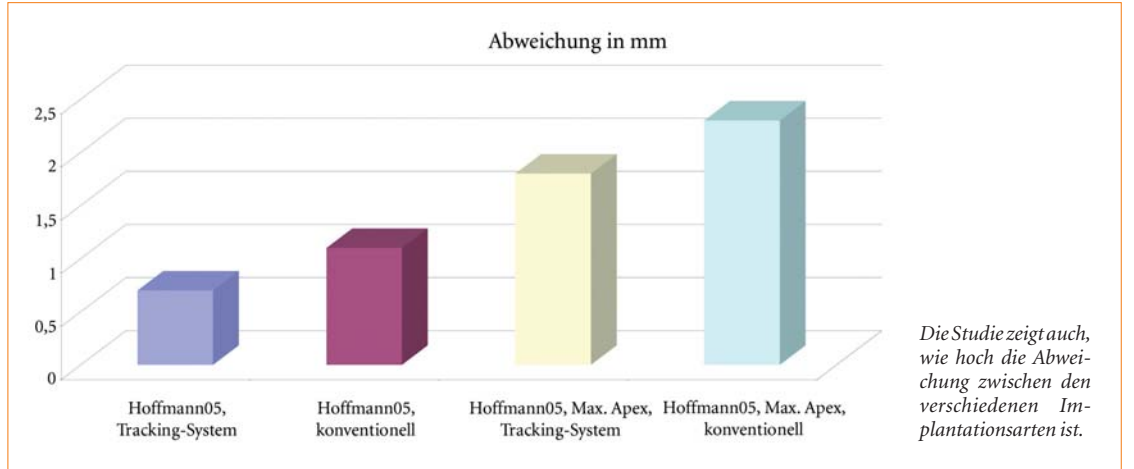
Für die Umsetzung in der Ordination ist aber in Bezug auf die empfindlichen Strukturen (z. B. N. mandibularis, Kieferhöhle) der „worst case“ relevant. Dieser entspricht den maximalen Abweichungen zwischen geplanter und realisierter Implantatstellung am Apex, in vivo und schablonengeführtem Verfahren. Dieser so ermittelte Abweichungswert beträgt 6,4 mm (am Apex) bei 18° Neigungsabweichung. Die beste durchschnittliche Abweichung in vivo betrug am Apex 2,99 mm und die beste durchschnittliche Neigungsabweichung betrug 6,4°. Im Vergleich dazu war der beste Durchschnittswert in vitro 1,2 mm am Apex und die Neigungsabweichung betrug 1,80° (NobelGuide).

**Diskussion**

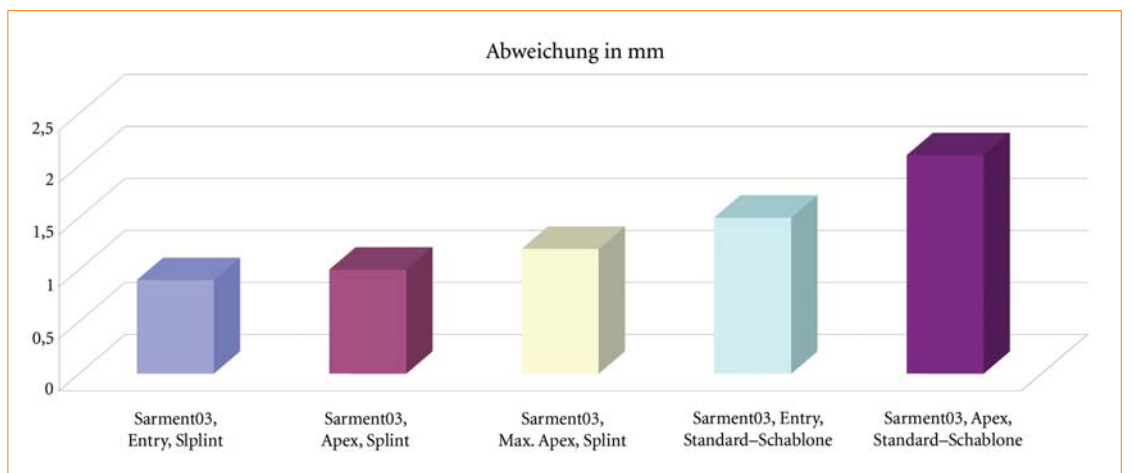
Bei der Zusammenfassung der Resultate wurde bereits vorweggenommen, welche Prioritäten bei dieser Studie bestehen und was relevant für die Ordination sei. Die ermittelten Maximalwerte zeigen die Grenzen der Genauigkeit einer computerassistierten Implantation auf. Dies wird insbesondere verdeutlicht, wenn man die computerassistierte Implantation mit den Risikofaktoren transgingivale Implantation, Sofortversorgung und Sofortbelastung kombiniert, wie die Studie von Klinge betreffend des Nobel-Biocares „Teeth-In-An-Hour™“-Konzeptes aufzeigt. Diese Studie beinhaltete 31

Autor und Studie	Misserfolge in %
Ewers et al. 2004, CT, Tracking-System (dynamisches Verfahren) in vivo, n = 327gramm)	Keine Komplikationen
Mischkowski et al. 2006, splint-System (statisches Verfahren) in vivo <sup>*1,3</sup> , n = 611/746	1,31 %
Mischkowski et al. 2006, Tracking-System (dynamisches Verfahren) in vivo <sup>*2,3</sup> , n = 135/746	2,96 %

Aufstellung der Misserfolgsrate. \*1: Splint-Systeme: Med3D, coDiagnostix/gonyX, SimPlant/SurgiGuide, \*2: Tracking-Systeme: Robo-Dent, VectorVision ? \*3: verlorene Implantate in % nach sechs Monaten von total 746 Implantaten.



Grafik 2: Vergleiche zwischen navigierter und konventioneller Implantation.



Grafik 3: Vergleiche zwischen navigierter und konventioneller Implantation.

Fälle mit insgesamt 175 Implantaten mit einer Beobachtungsdauer von drei Monaten bis drei Jahre (im Schnitt ca. 1-jährige Beobachtungszeit) mit einer Erfolgsrate von 71 % (bzw. eine Misserfolgsrate von 29 %). Die Durchschnittswerte der computerassistierten Implantation und die Vergleichstudien zeigen, dass die computerassistierte Implantationstechnik der konventionellen Implantationstechnik unter gewissen Untersuchungsbedingungen überlegen ist. Dies wird beim Vergleich von Sarment et al. anhand der durchschnittlichen Neigungsabweichung von 4,5° bei der schablonengeführten Implantation gegenüber von 8° bei der konventionellen Implantation verdeutlicht.

**Schlussfolgerung**

Solange man auf die computerassistierte Implantationstechnik nicht blind vertraut und immer wieder zu Kontrollmöglichkeiten greift –

wie die Aufklappung in schwierigen Fällen, intraoperatives Röntgen in der Nähe von empfindlichen Strukturen, Unterlassung der Kombination transgingivale Implantation, Sofortversorgung und Sofortbelastung – führt die computerassistierte Implantationstechnik zu besseren Resultaten als die konventionelle.

**Kritik an den aktuellen Lösungen**

Es wurde keine Studie, welche die konventionelle Implantationstechnik mit intraoperativer Röntgenkontrolle kombiniert, herangezogen, um einen Vergleich zur computerassistierten Implantation zu ziehen. Gerade in Bezug auf die rein axiale Dimension könnte diese Methode sich als relevant erweisen. In diesem Zusammenhang wären aber auch bessere Werte bei der computerassistierten Implantation erreichbar, wenn intraoperativ mit einem Zusatzröntgen kontrolliert würde und die

Navigation neu kalibriert und die Position nachkontrolliert werden könnte. [B]

Die Literaturliste ist unter [www.dental-tribune.com](http://www.dental-tribune.com) unter der Rubrik Specialities nachzulesen.

\*Der Artikel ist die Kurzfassung der Masterthese „Genauigkeit der computerassistierten Implantation unter besonderer Berücksichtigung der Maximalabweichungen (Literaturübersicht)“, die Dr. Marschall zur Erlangung des „Master of Science Ästhetisch-Rekonstruktive Zahnmedizin“ (MSc) an der Donau-Universität Krems eingereicht hat.

**Kontakt**  
**Dr. Daniel Marschall MSc, MSc**  
 AAZ – Am Aeschenplatz  
 Zahnklinik  
 Dufourstraße 49  
 4052 Basel, Schweiz  
 Tel.: +41 61 2769000  
[www.aaz-zahnklinik.ch](http://www.aaz-zahnklinik.ch)

**Ästhetisch-rekonstruktive Zahnmedizin**

„Vollkeramische Restaurationen erfüllen in unübertroffener Weise den Wunsch nach einer perfekten Ästhetik und Funktion und stellen mittlerweile einen festen Bestandteil eines zeitgemäßen Praxiskonzeptes dar. Die stetigen Neu- und Weiterentwicklungen auf diesem Gebiet erfordern ein differenziertes Vorgehen bei der Behandlungsplanung, Materialauswahl, Präparation und Befestigung. Der Erhalt von Zahnschmelz ist ein wesentlicher, die Präparation bestimmender Faktor geworden. Konventionelle, zum Teil weitaus invasive Restaurationsformen werden damit zunehmend infrage gestellt. Durch das Unterrichtsfach „Ästhetisch-rekonstruktive Zahnmedizin“ werden wichtige Entscheidungshilfen bei der Materialauswahl für verschiedene Anwendungsbereiche, vom Veneer bis zur mehrgliedrigen Brücke, vermittelt. Anhand zahlreicher klinischer Beispiele wird schrittweise ein praxisgerechtes Behandlungskonzept für den erfolgreichen Einsatz der Vollkeramik von A wie Adhäsivtechnik bis Z wie Zirkoniumdioxid-Keramik vermittelt.“

Prof. Dr. Daniel Edehoff, Uni München

Master of Science Ästhetisch-rekonstruktive Zahnmedizin (MSc)

**Wissenschaftlicher Leiter** – Prof. Dr. Walter Lücknerath, Universität Bonn (DE)

**Studienort** – Studienzentrum Donau-Universität, Bonn (DE)

**Studienbeginn** – aktuelle Termine finden Sie online auf [www.duk-push.de](http://www.duk-push.de)

**Studiendauer** – 5 Semester

**Sprache** – Deutsch

**Studiengebühr** – EUR 23.750,-

Weitere Informationen erhalten Sie via:  
 E-Mail: [Info@DP-Uni.ac.at](mailto:Info@DP-Uni.ac.at)  
 Tel.: +49 228 96942518

Autor und Studie	Abweichung in Grad	Standard deviation	Range
Kramer et al. 2005, Maximal CT, in vitro, Tracking-System IGT <sup>3</sup> , n = 40 (Abweichung geschätzt aus Diagramm)	4,00		
Kramer et al. 2005, Maximal CT, in vitro, konventionell, n = 40 (Abweichung geschätzt aus Diagramm)	7,00		
Hoffmann et al. 2005 N, Durchschnitt CT, in vitro, Tracking-System VVC Vector Vision Comp., n = 112	4,20	(+/- 1,80° SD)	(2,30°–11,50°)
Hoffmann et al. 2005 N, Durchschnitt CT in vitro, konventionell-freihändig (CF), n = 112	11,20	(+/- 5,6°)	(4,1–25,3°)
Hoffmann et al. 2005 N, Maximal CT, in vitro, Tracking-System VVC Vector Vision Comp., n = 112	11,50		
Hoffmann et al. 2005 N, Maximal CT, in vitro, konventionell-freihändig (CF), n = 112	25,3		
Sarment et al. 2003, Durchschnitt CBCT, in vitro, st-lit. Schablone Materialise SimPlant, n = 25	4,50	(+/- 2° SD)	
Sarment et al. 2003, Maximal CBCT, in vitro, st-lit. Schablone Materialise SimPlant, n = 25	5,40		SD1,4–2,3
Sarment et al. 2003, Durchschnitt CBCT, in vitro, konventionelle Standard-Schablone, n = 25	8,00	(+/- 4,5 SD)	
Sarment et al. 2003, Maximal CBCT, in vitro, konventionelle Standard-Schablone, n = 25	8,70	SD: 3,3–5,6	SD: 3,3–5,6

Aufstellung der Abweichung in Grad.