

Die Osteodensitometrie mittels DVT

Eine Methode mit Potenzial

Knochendichtemessungen spielen im Kieferbereich eine untergeordnete Rolle, obwohl sie von großem medizinischen Nutzen wären. Das hängt nicht zuletzt damit zusammen, dass die Knochendichte nicht mit einfachen, verbreiteten und strahlungsarmen Geräten gemessen werden kann. Die dentale Volumentomografie bietet hier einen sinnvollen Ansatz.

Dr. Daniel Schulz/Henstedt-Ulzburg, Prof. Dr. Uwe J. Rother/Hamburg

- Um Aussagen über die Knochendichte im Gesichtsschädel zu treffen, war man bisher auf eine klassische Computertomografie oder eine modifizierte quantitative Computertomografie angewiesen. Wichtige Einsatzgebiete der Knochendichtebestimmung in der Zahnheilkunde sind dabei z.B.:
 - die Differenzierung pathologischer Prozesse mit Knochenbeteiligung
 - Tumore im Kieferknochen (benigne, maligne)
 - der Bereich der Implantologie, insbesondere die Beurteilung einer ausreichenden Knochenstruktur zum Erhalt von Primärstabilität
 - entzündlich destruktive Prozesse (Osteomyelitis, Differenzierung von Komplikationen nach therapeutischen Eingriffen).

Nachteile der vorhandenen Untersuchungsmethoden sind unter anderem die Untersuchungsdauer, die Strahlenexposition, Artefakte durch Metall oder eine fehlende 3-D-Rekonstruktion (bei der modifizierten quantitativen Computertomografie). Seit 1998 existiert die dentale Volumentomografie, die ein modernes Verfahren der Bildgebung darstellt und deutliche Verbesserungen der oben genannten Punkte mit sich bringt. Ziel dieser Untersuchung ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem man die dentale Volumentomografie für die Osteodensitometrie im Gesichtsschädel nutzen kann.

Die dentale Volumentomografie

Die dentale Volumentomografie arbeitet nach dem Cone-beam-Prinzip und wurde speziell für die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde entwickelt.¹

Das Prinzip der Volumentomografie

Bei der Volumentomografie wird im Gegensatz zur Computertomografie kein Fächerstrahl, sondern ein konisches Strahlenbündel erzeugt (Cone-beam) (Abb. 1 und 2). Das Gerät dreht sich bei einer Aufnahme zwischen 194 und 360 Grad um den Patienten. Bei diesem Umlauf wird der komplette Datensatz akquiriert. Aus diesen Daten setzt sich der Rohdatensatz zusammen, woraus dann die primäre und im Anschluss daran die Sekundärrekonstruktionen berechnet werden, z. B. sagittale und transversale Schichten oder auch 3-D-Re-

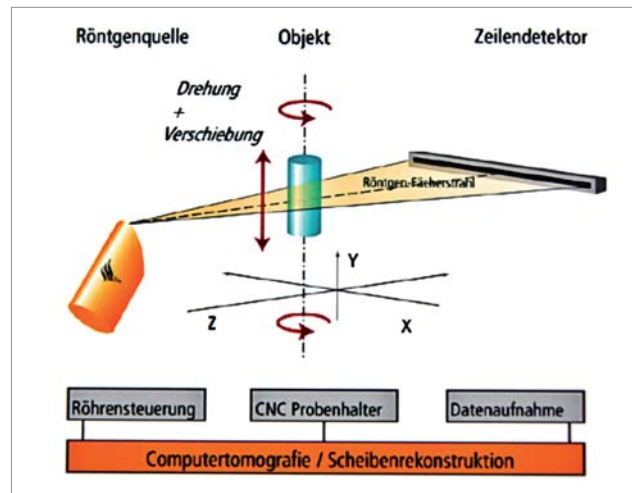


Abb. 1: Prinzip der Computertomografie.

konstruktionen. Auch eine PSA-ähnliche Darstellung ist möglich. Im Unterschied zur PSA wird aber keine Schichtaufnahme angefertigt, die dem Unterkieferverlauf folgt, sondern es wird die Schichtebene definiert, anhand derer die Rekonstruktion gefertigt wird. Es fehlt hier der Verwischungseffekt der PSA und auch der Vergrößerungsfaktor ist nicht vorhanden. Gleichzeitig existieren aber Kombinationsgeräte, die zusätzlich eine echte Panoramaschichtaufnahme anfertigen können, auch mit entsprechender Dosis. Die Anfertigung einer DVT nur zum Zweck der Panoramadarstel-

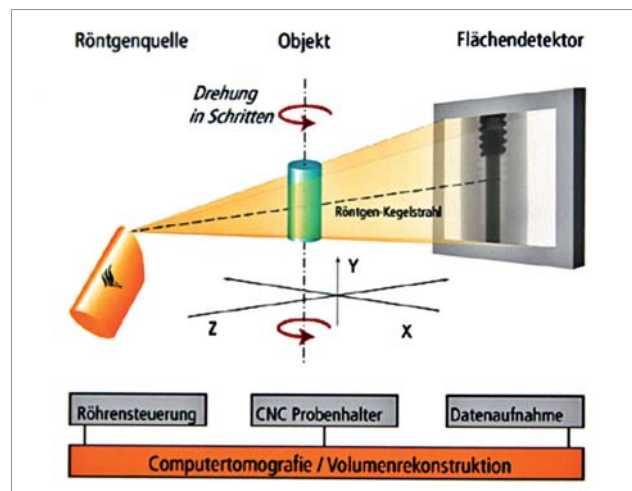


Abb. 2: Prinzip der Cone-beam-Technik.



Ihr Lächeln steht für uns an erster Stelle

Für Sie als Arzt hat die Zufriedenheit Ihrer Patienten höchste Priorität.

Für uns als Ihr Partner ist nichts wichtiger, als die Beziehung zu Ihnen, den Ärzten, die mit uns zusammen arbeiten.

Wir sind Ihr kompetenter Partner, der Sie dabei unterstützt, für Ihre Patienten langfristige optimale ästhetische Ergebnisse zu erzielen. Wir bieten Ihnen alles aus einer Hand: Fallplanung und Management, Intervention, Restauration und individuelle, auf die Kunden zugeschnittene Lösungen.

Ihr Lächeln liegt uns am Herzen.



Implantat-Systeme

Prima Implantatsystem

Prima TC

Restore® Implantatsystem



Regenerationsprodukte

DynaMatrix

CalMatrix

CalForma



Digitale Zahntechnologie

easyGuide

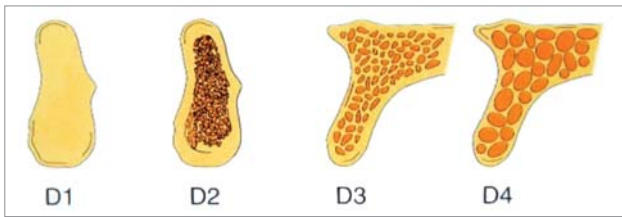


Abb. 3: Einteilung der Knochenqualität von Lekholm und Zarb.

lung ist nach dem Beschluss des Länderausschusses Röntgenverordnung (LaRÖV) von 2009 untersagt. Vorteile der digitalen Volumentomografie sind niedrigere Kosten, eine geringe Artefaktanfälligkeit und eine Dosisreduktion auf die Hälfte² im Vergleich zum CT, sowie eine dem CT vergleichbare Ortsauflösung.

Andere Studien vergleichen die Strahlenexposition mit der Panoramaschichtaufnahme und kommen zu einer zwei- bis vierfachen Effektivdosis der PSA.³ Aktuelle Studien, die sich an der 2007 aktualisierten Form der Bestimmung der Effektivdosis orientieren und u.a. die Speicheldrüsen mit einbeziehen, kommen generell zu höheren Effektivdosen. Bei den meisten dentalen Volumentomografen, auch bei dem aktuellen NewTom 3G, kommt es aber zu einer deutlich höheren Dosisreduktion im Vergleich zu einer Computertomografie. Wir sprechen hier von einer Reduktion um das Fünf- bis Zehnfache.⁴

Die aktuelle Leitlinie der DGZMK beschreibt die mittlere effektive Dosis der DVT mit 221 µSv und der CT mit 788 µSv.⁵ Nachteil der DVT ist die fehlende Differenzierbarkeit von Weichteilen.

Möglichkeiten und Stellenwert von Verfahren der Osteodensitometrie

Die Osteodensitometrie dient der Bestimmung der Knochendichte und somit der Knochenquantität. Konventionelle Röntgenbilder sind dafür ungeeignet, da sie Mineralsalzverluste erst ab ca. 30 Prozent der Norm darstellen. Das Knochengewebe bezieht seine Festigkeit aus der speziellen Anordnung von Hydroxylapatitkristallen und Kollagenfibrillen. Je nach Alter, physiologischer Entwicklung, Lokalisation und Funktion unterscheidet man drei Typen Knochengewebe:

1. Geflechtknochen
2. Lamellenknochen
3. Bündel- und Faserknochen.

1. Geflechtknochen ist Knochen, der vorwiegend in der Entwicklung wie auch bei Heilungsvorgängen durch Knochenstammzellen entsteht. Er hat einen relativ geringen Mineralgehalt und eine geringe mechanische Festigkeit. Dieses unreife Gewebe spielt eine wichtige Rolle bei der initialen Einheilung enossaler Implantate, wird aber wie bei der Knochenheilung rasch (innerhalb von zwölf Monaten) durch reifen Lamellenknochen ersetzt.

2. Lamellenknochengewebe ist das hauptsächliche Baumaterial der Kompakta und Spongiosa des Erwachsenenenskelettes. Im ausgereiften Zustand hat Lamellenknochen einen deutlich höheren Mineralisationsgrad als Geflechtknochen.
3. Bündel- und Faserknochengewebe stellt eine spezielle Form des Geflechtknochengewebes dar, das vorwiegend an Ansatzzonen von Sehnen, Bändern und Gelenkkapseln gefunden wird. Es spielt im Aufhängeapparat des natürlichen Zahnes an der Alveolarinnenkortikalis sowie am Zahnzement als beidseitige Ansatzzone des parodontalen Ligaments eine wichtige Rolle

Lekholm und Zarb gliederten die Knochenqualitäten 1985 in vier Klassen (D1–D4) (Abb. 3)^{6,7}

- D1: fast ausschließlich kompakte Knochensubstanz
- D2: dichte Spongiosa, umgeben von breiter Kortikalis
- D3: dichte Spongiosa, umgeben von dünner Kortikalis
- D4: lockere Spongiosa, umgeben von dünner Kortikalis

Mitentscheidend für die Festigkeit des Knochens ist außerdem noch der trabekuläre Aufbau des Kollagengerüsts, der nicht mit „dichter“ oder „lockerer“ Spongiosa ausreichend berücksichtigt ist.

Material und Methode

Im Folgenden soll die dentale Volumentomografie anhand des NewTom 9000 aufgezeigt werden (Abb. 4). Hier wird ein kegelförmiges Strahlenbündel zur Akquisition eingesetzt. Die Röhren-Detektoren-Einheit rotiert 360 Grad um den Kopf des Patienten. Dabei wird pro Grad ein Durchleuchtungsbild erstellt. Diese 360 Bilder bilden den Rohdatensatz (raw data). Das registrierte Volumen besteht aus einem Zylinder von 15 cm Höhe mit einem Durchmesser von 15 cm. Untersuchungen von Mozzo et al.⁸ mit einem Phantom ergaben eine gute geometrische Darstellung und eine im Vergleich zur CT (Siemens Somatom 64) deutliche Verringerung der Strahlenexposition um den Faktor 10.⁴

Das Gerät ist 1,92 m breit (Tischbreite von 60 cm) und 2,36 m lang. Da die Nutzung auf den Kopfbereich be-

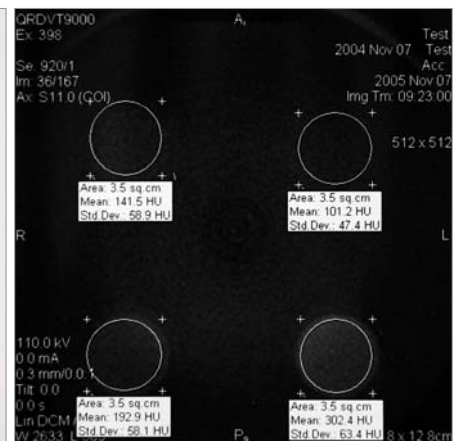


Abb. 4: Dentaler Volumentomograf NewTom 9000. – Abb. 5: Bestimmung der VOI am Phantom.

SurgiGuide®

Für *jeden* Implantatfall
die passende Lösung

ab
€199!*
+€35* pro
Implantat

Was ist gemeint?

Computergestützte Implantologie
zu einem wirklich günstigen Preis

Präzise Unterstützung bei
anatomisch schwierigen Fällen

Geführte Bohrung mit
Tiefenkontrolle

Flexibilität – die bevorzugten
Implantatmarken können wie
gewohnt verwendet werden

Natürliches Aussehen und
erstklassige ästhetische
Ergebnisse

Mein Patient verlässt
die Praxis mit einem
neuen Lächeln

Fordern Sie gleich kostenloses
Informationsmaterial an unter
simplant@materialisedental.de

Mit den SurgiGuide®
Bohrschablonen
wird Ihr SimPlant®
3D Behandlungsplan
Wirklichkeit

* exkl. MwSt. und Bearbeitungsgebühr

simple

compatible

unique

www.materialisedental.com



Materialise
Dental

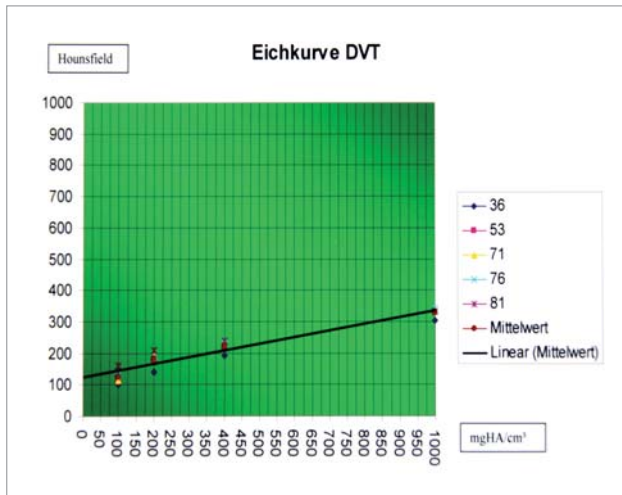


Abb. 6: Eichkurve zum DVT.

schränkt ist, muss der Tisch nicht beweglich gelagert sein, und es wird kein Platz hinter der Gantry benötigt. Der Patient wird in Rückenlage untersucht. Da die Untersuchungszeit relativ kurz ist und der Patient während der Messung nicht bewegt wird, ist die Fehlerquote durch Kopfbewegung während der Messung geringer als bei herkömmlichen CTs. Auswertungen der Universität Hamburg (n = 348) und der Universität Freiburg (n = 2.100) ergaben, dass 30% (Hamburg) und 53% (Freiburg) der Untersuchungen zur präoperativen bildgebenden Diagnostik vor Implantation angefertigt wurden.

Eingliederung der Osteodensitometrie in das Untersuchungsspektrum der dentalen Volumentomografie

Um ein Verfahren zur Osteodensitometrie am NewTom DVT zu validieren, müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

- hinreichende Genauigkeit der Messungen (Vergleich mit CT, MicroCT, Histologie)
- Reproduzierbarkeit der Messungen.

Des Weiteren muss geklärt werden, in welchem Messbereich die Werte aufgrund der Weichteilschwäche des Gerätes nutzbar sind, sowie die Notwendigkeit der Kalibrierung (während der Messung oder täglich). Das Siemens Phantom wurde dafür im NewTom und im Somatom 4 untersucht.

Durchgeführte Messungen:

1. Messung mit Siemens Phantom am NewTom DVT9000
2. Messung mit Siemens Phantom am Siemens Somatom 4

Das Siemens Phantom ist ein Zylinder von ca. 25 cm Durchmesser und einer Höhe von ca. 7,5 cm. Der Hohlkörper wird komplett mit Wasser gefüllt. Konzentrisch sind vier „Pellets“ bestimmter Knochendichte eingelegt. Diese „Pellets“ sind austauschbar. Bei dem von uns verwendeten Phantom waren Pellets mit den Dichten 100 mg HA/cm³, 200 mg HA/cm³ und 400 mg HA/cm³ sowie ein Teflonpellet mit 1.000 mg HA/cm³ eingesetzt.

1. Messung mit Siemens Phantom am NewTom DVT9000: Das Phantom wurde aufrecht in der Gantry positioniert. Mit einem Übersichtsscan wurde die Positionierung überprüft und die Parameter der Aufnahme (automatische Dosisregulierung) festgelegt. Dann konnte die Aufnahme erfolgen und der Primärdatensatz errechnet werden.

Aus diesem Primärdatensatz wurden fünf Schichten ausgewählt und daraus jeweils aus den Bereichen der Pellets die Dichte gemessen

2. Messung mit Siemens Phantom am Siemens Somatom 4: Am Somatom 4 (Abb. 5) wurde das Phantom ebenfalls aufrecht positioniert und die Lage bzw. der zu erfassende Bereich überprüft. Dann wurden Aufnahmen mit Schichtdicken von 1 mm und 3 mm erstellt. Es handelt sich bei dem Gerät um ein Vier-Zeilen-Spiral-CT.

Ergebnisse

Messwerte

Anhand der Messungen des Phantoms von der DVT und der CT erfolgte die Erstellung von Eichkurven. Dazu wurden beide Datensätze ins DICOM-Format übertragen und mit e-film untersucht. Aus dem Datensatz der DVT wurden fünf Schichten ausgewählt, die sich nicht im Randbereich befanden (Abb. 5). Aus 167 Schichten fiel die Wahl auf jene aus dem Bereich von Schicht 36 bis Schicht 81. In diesen Schichten wurde konzentrisch ein Bereich von 3,5 cm³ festgelegt, der so groß wie möglich gewählt wurde, aber auch immer sicherstellte, dass man sich innerhalb der Pellets befand (Abb. 5). Zusammen mit der Schichtdicke von 0,3 mm ergibt sich dann ein Volumen, das sogenannte Volume of interest (VOI).

Die hierbei gewonnenen Daten sind grafisch in einer Eichgeraden dargestellt worden (Abb. 6). Analog zu den DVT-Daten finden sich die Messwerte für die CT in Abbildung 7 wieder. Da bei der CT die Schwankungen der Werte deutlich geringer waren, wurden nur zwei Schichten verwendet.

Eichkurven

Die Dichtemessung des Programms e-film richtet sich nach der Hounsfield-Skala, der für die CT üblichen Dichtemessung, die sich an dem Schwächungswert von Wasser orientiert. Daher erwarten wir für die CT einen linearen Anstieg der Eichkurve von 1. Im nächsten Schritt wurden die Eichkurven untersucht. Es zeigt sich, dass beide Eichkurven über einen linearen Anstieg verfügen und somit Eichgeraden darstellen. Hätten wir bei der Volumentomografie keine Gerade, sondern eine Kurve erhalten, wäre eine direkte Umrechnung der Dichtewerte nicht möglich gewesen. Die Steigung der Eichgeraden beträgt bei der CT im Mittel 1,02, bei der DVT im Mittel 0,33. Sie wurden nach der Formel $y_2 - y_1 / x_2 - x_1$ berechnet. Die Korrekturfaktoren ergeben sich aus der Umrechnung $1 / \text{Steigung}$ der Eichgeraden und betragen für die CT 0,98 und für die

Sinuslift Implantate Made in Germany



NEU!

Mit Sicherheit besser bohren!

Die neuen Safety-Stopp-Bohrer
von Dentegris.



- Zertifikat: bakteriendichte Implantatverbindung
- Optimale Kraftverteilung bei FEM Test
- Sicherheit durch Safety-Stopp-Bohrer
- Zervikale Grooves verhindern Knochenabbau
- Beratung ausschließlich durch Implantat-Profis
- 10 Jahre Garantie auf Osseointegration
- Faire und stabile Preise



Zirkon
Aufbau



UCLA
Aufbau



Titan
Aufbau



LOCATOR™
Aufbau



Kobolt-Konus
Aufbau



IMProv™

 **Dentegris**
DEUTSCHLAND GMBH
DENTAL IMPLANT SYSTEM

DVT 3,03. Aus diesen Werten ergibt sich auch die Notwendigkeit einer gerätespezifischen Kalibrierung für Computertomografen, die zur Knochendichtemessung benutzt werden sollen. In welchen Abständen diese Kalibrierungen durchgeführt werden sollten, ist hier nicht untersucht worden. Eine parallele Messung mit einem Phantom wird von uns nicht als sinnvoll erachtet, da die Abweichungen zu gering sind und ein Fehler über eine Positionierung im Randbereich eher gravierender wäre.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen eindeutig, dass die klassische Knochendichtemessung im Kopfbereich mit der DVT funktioniert, sobald ein gerätespezifischer Korrekturfaktor ermittelt wird. Auch hier muss analog zur CT eine regelmäßige Kalibrierung erfolgen, deren zeitlicher Abstand noch eruiert werden muss. Daraus lässt sich eine Vielzahl von Anwendungen ableiten, da die Messung analog der CT in Hounsfield-Einheiten durchgeführt werden kann. Da der Korrekturfaktor gerätespezifisch ist, können auch bereits vorhandene Datensätze hinsichtlich der Knochenquantität nachuntersucht werden, sofern sich der Faktor nicht signifikant verändert. Für diese Anwendung ist auch keine spezielle Software vonnöten. Die Daten müssen nur in das DICOM-Format übertragen werden, und können dann von Bildbearbeitungsprogrammen wie e-film verarbeitet werden. Einfacher und wünschenswert wäre allerdings eine Einbindung dieser Möglichkeit in die Herstellersoftware, die schon werkseitig den für jedes Gerät ermittelten Korrekturfaktor verarbeiten könnte. Dieses Verfahren zur quantitativen Knochendichtebestimmung mittels dentaler Volumetomografie könnte analog der pQCT als pQDVT (periphere quantitative dentale Volumetomografie) bezeichnet werden.

Diskussion

Die für die Zahnmedizin und MKG-Chirurgie genutzte Diagnostik mittels DVT bietet aufgrund seiner dreidimensionalen Bilder, die eben keine Summationsbilder sind, enormes Potenzial für die Osteodensitometrie. Es gibt zurzeit kein validiertes Verfahren zur Knochendichtebestimmung am Gesichtsschädel.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die quantitative Osteodensitometrie mit der DVT analog der pQCT durchführbar ist. Ein individueller Korrekturfaktor muss gerätespezifisch errechnet werden. Außerdem muss geklärt werden, in welchen zeitlichen Abständen das Gerät kalibriert werden muss (einmal werkseitig, täglich oder bei jeder Messung, o.Ä.). Mit diesen Zusätzen ließe sich zügig eine Messung analog der automatisierten Auswertung dentaler Röntgenbilder, wie Horner sie nutzt, etablieren.⁹

Da mit dreidimensionalen Daten gearbeitet würde, wäre der Nutzen für die Osteoporosefrüherkennung ungleich höher. Ob dieses Verfahren den gleichen Nutzen wie die etablierten Verfahren bringt, bliebe zu prüfen.

Zurzeit fehlt noch die für die Auswertung nötige Software, wenn kein DICOM-Datensatz vorliegt. Die Software ließe sich für alle vorhandenen DVT-Aufnahmen auch nachträglich nutzen und könnte gut zur Differenzierung pathologischer Prozesse, wie Osteolysen, Zysten, oder auch entzündlich-destruktiver Prozesse genutzt werden. Außerdem ließe sich leicht ein Osteoporosescreening durchführen. Mittels weiterer Studien mit dieser Software müssten Wertebereiche analog dem T-Score definiert werden. Zu diesen Möglichkeiten ist in der Literatur bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nichts beschrieben.

Die Möglichkeiten mit einer rein quantitativen Messmethode sind aber begrenzt. So wurden in neuen Studien dreidimensionale μ CT-Datensätze verwendet, um Finite-Elemente-Modelle zu erstellen.¹⁰ An diesen Modellen können strukturelle und mechanische Eigenschaften getestet werden. Dabei wurde festgestellt, dass die Varianz des trabekulären Knochenaufbaus sehr groß ist.¹¹ Man kann also rein aus der Dichte keine Aussage über die Stabilität des Knochens treffen. So orientiert sich die trabekuläre Struktur an der überwiegenden mechanischen Belastungsrichtung, und die Anisotropie nimmt mit zunehmender Knochendichte ab. Das bedeutet, dass die Knochendichte nicht nur abhängig von der Größe der Belastung ist, sondern auch von deren Richtung. So ist der Nutzen der herkömmlichen Knochendichtemessung in der Implantologie eher gering, da zu wenige Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Knochens gezogen werden können. Das heißt auch, dass die immer noch zur Anwendung kommende Einteilung nach Lekholm und Zarb von 1985 in die Knochenqualitäten D1–D4 ohne Aussagekraft und außerdem nicht validierbar ist.

Erstmals wurde Knochen um dentale Implantate im Jahre 2000 mit dem Micro-CT untersucht.¹² Trotzdem existieren in diesem Bereich keine Studien, die sich speziell mit dem Knochenaufbau beschäftigen, sondern es geht überwiegend um Belastbarkeit und Stabilität einzelner Implantatsysteme und um verschiedene Implantatoberflächen.^{13,14} Gerade in diesem Bereich und auch in der Parodontologie und augmentativen Chirurgie wäre eine Weiterentwicklung von großem Nutzen. Für eine Knochenbestimmung, die auch Aussagen über Stabilität und Aktivität/Reaktivität des Knochens erlaubt, und die am intakten Gewebe eingesetzt werden kann, gibt es zurzeit kein Verfahren. ■

Danksagung

Mein herzlicher Dank geht an Priv.-Doz. Dr. Dirk Schulze, der einen wesentlichen Anteil an dieser Arbeit hat.

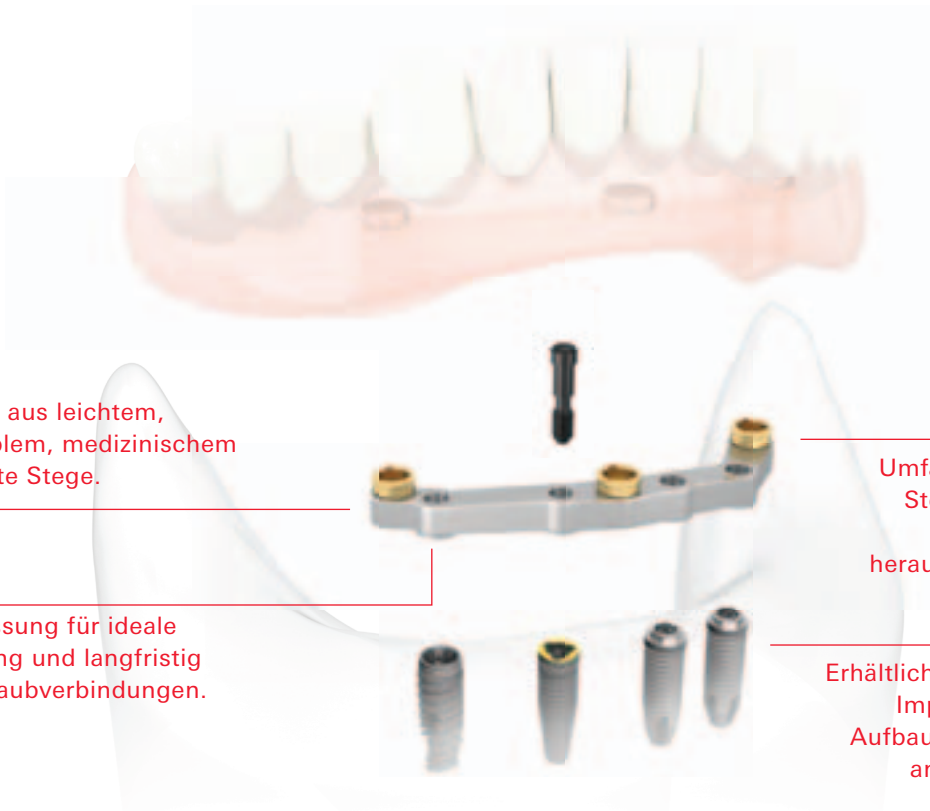
■ KONTAKT

Dr. Daniel Schulz
Rathausplatz 11
24558 Henstedt-Ulzburg
Tel.: 0 41 93/80 88 64

ZWP online
Eine Literaturliste steht ab sofort unter www.zwp-online.info/fachgebiete/implantologie zum Download bereit.

NobelProcera™

Biokompatible und passgenaue Implantatstege.



Individuelle, aus leichtem, biokompatiblen, medizinischem Titan gefräste Stege.

Perfekte Passung für ideale Lastverteilung und langfristige stabile Schraubverbindungen.

Umfassendes Sortiment an Stegen und Attachments für festsitzende und herausnehmbare Lösungen.

Erhältlich für alle Nobel Biocare Implantate und Multi-unit Aufbauten, Implantatsysteme anderer Hersteller sowie Kombinationen davon.

Erleben Sie die neue Welt der zeitsparenden und kostengünstigen CAD/CAM-gestützten Zahnmedizin mit höchster Präzision. Ihr Labor gestaltet mit Hilfe der NobelProcera Software individuelle Implantatstege für alle Indikationen: festsitzende und herausnehmbare Lösungen in verschiedenen Preissegmenten für verschiedenste Attachmentstypen und Implantatsysteme.

Alle Stege werden in einer NobelProcera Produktionsstätte aus einem massiven Block biokompatiblen, medizinischen Titans gefräst. Dies gewährleistet leichte und gleichzeitig stabile Stege ohne Schweißnähte oder Probleme mit Porositäten. Jeder Steg wird hochglanzpoliert und gebrauchsfertig geliefert. Im Lieferumfang enthalten sind Prothetikschauben*, Attachments**

und 5 Jahre Garantie. Nobel Biocare ist ein weltweit führendes Unternehmen für innovative, wissenschaftlich fundierte Lösungen im Dentalbereich. Weitere Informationen erhalten Sie von Ihrer Nobel Biocare Niederlassung vor Ort (Tel. 02 21/500 85-590) oder im Internet unter

www.nobelbiocare.com

* Es werden nur Prothetikschauben für Nobel Biocare Implantate mitgeliefert.

** Die in den verschiedenen Ländern verfügbaren Attachments richten sich nach den jeweiligen Zulassungen. Alle Stege werden mit vorgeschrittenem Gewinde für die gewünschten Attachments geliefert.

Haftungsausschluss: Einige Produkte sind unter Umständen nicht in allen Märkten für den Verkauf zugelassen. Bitte wenden Sie sich an Ihre Nobel Biocare Niederlassung, um aktuelle Informationen zur Produktpalette und Verfügbarkeit zu erhalten.