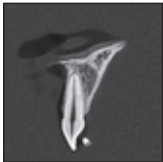


## Dicke der fazialen Knochenwand im Frontzahnbereich des Oberkiefers: Eine retrospektive radiologische Studie unter Verwendung der digitalen Volumentomografie



Vedrana Braut, DDS, Dr. med. dent. \* / Michael M. Bornstein, PD Dr. med. dent. \*\* / Urs Belser, Prof. Dr. med. dent. \*\*\* / Daniel Buser, Prof. Dr. med. dent. \*\*\*\*

In dieser Studie wurde mithilfe der Volumentomografie (DVT) die Dicke der fazialen Knochenwand an den Frontzähnen im Oberkiefer analysiert. Ihre anatomische Struktur ist ein wichtiges Entscheidungskriterium zur Auswahl einer geeigneten Therapie für Patienten, die nach Extraktion ein Implantat erhalten sollen. Insgesamt erfüllten 125 DVT-Aufnahmen die Einschlusskriterien, sodass der Stichprobenumfang 498 Zähne betrug. Die Dicke der fazialen Knochenwand wurde auf den DVT-Schnittbildern senkrecht zur Längsachse des Zahns an zwei Punkten gemessen: auf Kammhöhe (4 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze; MP1) und in der Mitte der Wurzel (MP2). Die Knochenwand fehlte bei 25,7 % aller Zähne am MP1 und bei 10,0 % der Zähne am MP2. Bei den meisten der untersuchten Zähne war die faziale Knochenwand dünn (< 1 mm; MP1: 62,9 %; MP2: 80,1 %). Eine dicke Knochenwand ( $\geq 1$  mm) wurde am MP1 nur bei 11,4 % und am MP2 nur bei 9,8 % der Zähne festgestellt. Vom ersten Prämolare zu den zentralen Schneidezähnen hin nahm die Dicke der fazialen Knochenwand statistisch signifikant ab. Bei rund 90 % der Patienten fehlte die faziale Knochenwand im krestalen Bereich der Oberkieferfrontzähne oder sie war dünn. In diesen Fällen muss wegen der nachweislich einsetzenden Resorption während der Implantation eine Konturaugmentation erfolgen. Um also eine entsprechende Therapie planen zu können, wird eine radiologische Analyse der fazialen Knochenwand mit der digitalen Volumentomografie empfohlen. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2011;31:125-131.)

- \* ITI Scholar, Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Zahnmedizinische Kliniken, Universität Bern, Schweiz; Assistant Lecturer, Department of Prosthodontics, School of Dental Medicine, Medical Faculty, Universität Rijeka, Kroatien.
- \*\* Lehrbeauftragter, Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Zahnmedizinische Kliniken, Universität Bern, Schweiz.
- \*\*\* Professor und Leiter, Abteilung für Kronen-, Brückenprothetik und Okklusion, Zahnmedizinisches Institut der Universität Genf, Schweiz.
- \*\*\*\* Professor und Direktor, Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern, Schweiz.

Korrespondenz an: Prof. Dr. Daniel Buser, Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Freiburgstrasse 7, 3010 Bern, Schweiz; Fax: +41 31 632 98 84; E-Mail: daniel.buser@zmk.unibe.ch

In der täglichen Praxis erfolgt nach einer Extraktion häufig eine Implantation. Im Frontzahnbereich des Oberkiefers steht der behandelnde Zahnarzt hierbei erheblichen Schwierigkeiten gegenüber: Zum einen haben die Patienten hohe ästhetische Erwartungen, zum anderen kann die Prognostizierbarkeit des Ergebnisses durch unterschiedliche lokale Risikofaktoren beeinträchtigt sein<sup>1-3</sup>.

Die Dicke der fazialen Knochenwand im Frontzahnbereich des Oberkiefers spielt bei der Auswahl der geeigneten Therapie eine entscheidende Rolle. Mittlerweile werden die Sofort-<sup>4,5</sup> oder die Frühimplantation<sup>6,7</sup> hauptsächlich deshalb vorgenommen, weil sie eine Implantattherapie attraktiver machen. In der Oberkieferfront ist die faziale Knochenwand wegen der fazialen Position der Frontzähne<sup>8</sup> häufig dünn oder gar nicht vorhanden. Außerdem findet nach einer Extraktion eine erhebliche Resorption statt<sup>9,10</sup>.

Nach der Präparation des Implantatbetts sollte die faziale Knochenwand im Idealfall 2 mm dick sein, um die Abstützung des Weichgewebes sicherzustellen und einer Resorption nach der Restauration vorzubeugen<sup>11-13</sup>. Wenn diese Mindestanforderung nicht erfüllt ist, wird eine Knochenaugmentation emp-

**Tabelle 1** Verteilung der analysierten Zähne

Zahn Nr.*	14	13	12	11	21	22	23	24	Gesamt
Anz. analysiert	45	73	80	72	59	68	66	35	498

\*Internationales Zahnschema.

fohlen, um die adäquate knöchern Kontur zu erhalten bzw. herzustellen<sup>13</sup>.

Bei einer dünnen faziellen Knochenwand im Frontbereich des Oberkiefers und wegen der oben genannten Bedingungen für die Implantation muss bei der Präparation des Implantatlagers in der ästhetischen Zone meist eine zusätzliche lokale Knochenaugmentation vorgenommen werden<sup>14</sup>. Es gibt jedoch kaum Informationen zur faziellen Knochendicke bei natürlichen Zähnen in verschiedenen Bereichen des Ober- und Unterkiefers. Um das Risiko vor einem Implantateingriff im Frontbereich des Oberkiefers einschätzen zu können, ist häufig eine dreidimensionale Röntgenanalyse der lokalen Anatomie erforderlich. Hierzu wird bevorzugt die digitale Volumentomografie (DVT) eingesetzt, weil ihre Bildqualität besser und die Strahlenbelastung geringer ist als beim CT. Wegen ihrer Genauigkeit im Submillimeterbereich eignet sich die DVT-Technik auch für lineare Messungen<sup>15</sup>.

Ziel dieser retrospektiven radiologischen Studie war es, anhand von DVT-Aufnahmen die Dicke der faziellen Knochenwand im Frontbereich des Oberkiefers von Patienten zu untersuchen, die für eine Implantattherapie überwiesen worden waren. Die Hypothese lautete, dass die fazielle Knochenwand in verschiedenen Zahnpositionen unterschiedlich dick sein würde. Weiterhin wurde angenommen, dass Alter und Geschlecht der Patienten die Ergebnisse nicht beeinflussen würden.

## Material und Methode

In die vorliegende Studie wurden alle DVT-Schnittbilder (3D Accuitomo XYZ Slice View Tomograph, Morita) von Patienten aufgenommen, die in der Zeit von Januar bis Dezember 2009 in der Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie der Universität Bern im Frontzahnbereich des Oberkiefers Dentalimplantate erhalten hatten. Die Größe des abgebildeten Volumens (field of view [FOV]: 4 x 4, 6 x 6 oder 8 x 8 cm) wurde dabei nicht berücksichtigt. Von der Analyse ausgenommen blieben alle Zähne, an denen eine Wurzelspitzenresektion/apikale Chirurgie vorgenommen worden war, weil die Dicke der faziellen Knochenwand dadurch möglicherweise beeinflusst worden war. Auch Zähne mit einer starken Wurzelresorption wurden ausgeschlossen. Insgesamt erfüllten 125 DVT-Aufnahmen die Einschlusskriterien, sodass der Stichprobenumfang 498 Zähne betrug (Tabelle 1).

### Analyse der DVT-Aufnahmen

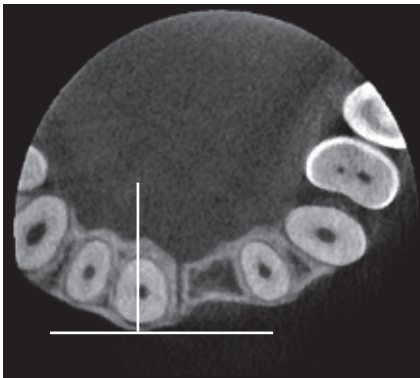
Die DVT-Aufnahmen wurden an einem Eizo-Flexscan-Monitor mit einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixel (Eizo Nanao) analysiert. Die Daten wurden in Schnittbildern von 1 mm (FOV: 4 x 4 und 6 x 6 cm) und 1,28 mm (FOV: 8 x 8 cm) Dicke rekonstruiert. Die Aufnahmen waren so ausgerichtet, dass sie senkrecht zum Alveolarkamm durch die Mitte der Zahnwurzel verliefen (Abb. 1). Die vertikale

Ausrichtung des Schnittbilds wurde also durch die Längsachse der Wurzel bestimmt. Für die Messungen wurden sagittale Scans der rekonstruierten Daten, welche die gesamte Wurzel und die Schmelz-Zement-Grenze (SZG) des untersuchten Zahns zeigten, mit dem größtmöglichen Zoomfaktor dargestellt. Für die Bildanalyse wurde eine Bildbearbeitungssoftware (i-Dixel, Morita) verwendet.

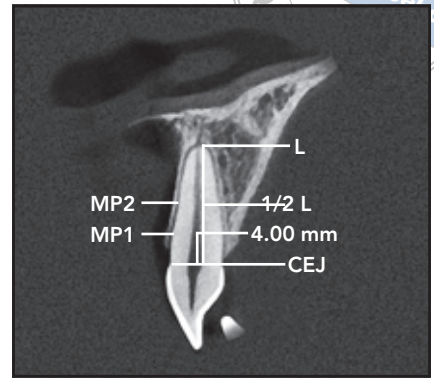
Die Dicke der faziellen Knochenwand wurde in dem jeweiligen sagittalen Scan senkrecht zur Längsachse des Zahns an zwei Punkten vermessen (Abb. 2): auf der Höhe des Knochenkamms (4 mm apikal zur SZG; Messpunkt 1 [MP1]) und in der Mitte der Wurzel (Messpunkt 2 [MP2]). Alle Messungen wurden von einem einzelnen Untersucher, der über die klinischen Ergebnisse und das Follow-up der Patienten nicht Bescheid wusste, analysiert.

### Statistische Analyse

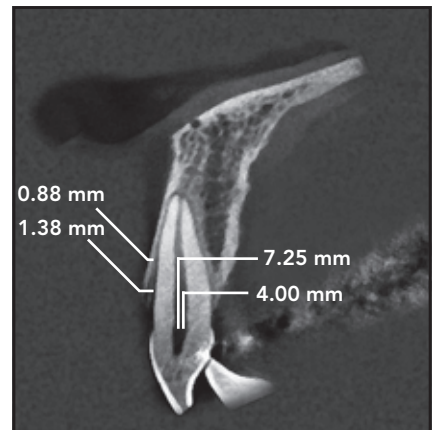
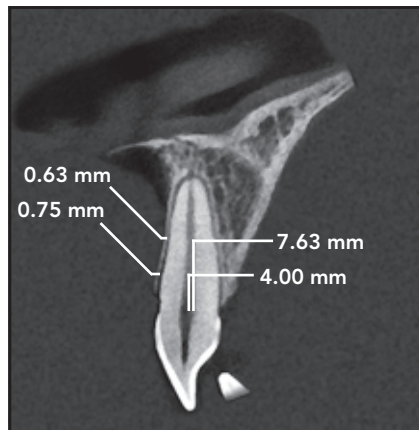
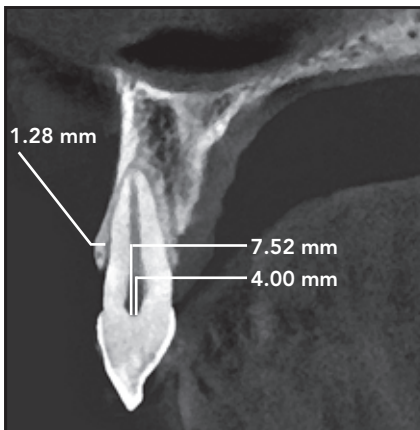
Die deskriptive Analyse erfolgte mit einer interferenziellen Statistik. Um signifikante Unterschiede in den Daten zur linken und rechten Seite des Oberkiefers zu ermitteln, wurden acht Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtests für paarige Daten (paarweise für die linken und rechten Zähne desselben Patienten und dieselbe Position) mit exakten P-Werten durchgeführt. Da es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Datensätzen gab, wurden die Messungen für die beiden Messstellen an allen Zähnen für



**Abb. 1** (links) Schnittbildposition in der Mitte der Wurzel, senkrecht zum Alveolarkamm.



**Abb. 2** (rechts) Messung der Dicke der facialen Knochenwand. CEJ = geschätzte Position der Schmelz-Zement-Grenze (SZG); L = Länge der Wurzel; MP1 = 4 mm apikal zur SZG; MP2 = Mitte der Wurzel.



**Abb. 3** Zentraler Schneidezahn mit (links) keiner erkennbaren facialen Knochenwand am MP1, (Mitte) facialer Knochenwand < 1 mm am MP1 und (rechts) facialer Knochenwand  $\geq 1$  mm am MP1.

die deskriptive Analyse in folgende Kategorien unterteilt: fehlende Knochenwand (Dicke = 0 mm), dünne Knochenwand (< 1 mm) und dicke Knochenwand ( $\geq 1$  mm) (Abb. 3). Für die weitere statistische Analyse wurden die Zähne in Gruppen (erste Prämolare, Eckzähne, laterale Schneidezähne und zentrale Schneidezähne) unterteilt. Um den Einfluss von Alter, Geschlecht und Zahnposition für MP1 und MP2 zu untersuchen, wurde die nicht parametrische Varianzanalyse (ANOVA) nach der von Brunner und Langer beschriebenen Methode<sup>16</sup> angewandt. Für die Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtests wurde das im Internet erhältliche Softwarepaket R (R 2.7.1,

<http://www.r-project.org>) verwendet. Die ANOVA-Tests erfolgten mit einer lizenzierten Software (SAS 9.1, SAS Institute).

### Ergebnisse

An der Studie nahmen 125 Probanden (60 Männer, 65 Frauen) mit einem Durchschnittsalter von  $47,3 \pm 19,5$  Jahren (Bereich: 17 bis 84 Jahre) teil. Die Verteilung der analysierten Zähne ist in Tabelle 1 aufgeführt. Die durchschnittliche Dicke der facialen Knochenwand betrug für alle analysierten Zähne am MP1 0,5 mm (Bereich: 0,0 bis 2,1 mm) und am MP2 0,6 mm (Bereich: 0,0

bis 2,8 mm). Bei 25,7 % (128 Zähne) aller untersuchten Zähne fehlte am MP1 (Tabelle 2) die Knochenwand. Bei 10,0 % (50 Zähne) fehlte sie am MP2. An den meisten untersuchten Zähne war die faciale Knochenwand dünn (< 1 mm; MP1: 62,9 %; MP2: 80,1 %; Tabelle 4). Die weitergehende Analyse zur Unterscheidung der vier Zahngruppen ergab den höchsten prozentualen Anteil dünner Knochenwände an den zentralen (MP1: 67,9 %; MP2: 89,3 %) und an den lateralen Schneidezähnen (MP1: 65,5 %; MP2: 83,1 %). Eine dicke faciale Knochenwand ( $\geq 1$  mm) wurde am MP1 bei 11,4 %, am MP2 bei 9,8 % der untersuchten Zähne festgestellt, mit dem niedrigsten Prozentsatz an den

zentralen Schneidezähnen (MP1: 4,6 %; MP2: 6,1 %), gefolgt von den Eckzähnen (MP1: 8,6 %; MP2: 8,6 %) und den lateralen Schneidezähnen (MP1: 11,5 %; MP2: 7,4 %). Im Gegensatz dazu war eine dicke Knochenwand an den ersten Prämolaren deutlich häufiger (MP1: 27,5 %; MP2: 22,5 %). Abbildung 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung der fazialen Knochenwanddicke für die paarigen Zahngruppen am MP1 und MP2.

Für die Messungen am MP1 war das Geschlecht kein statistisch signifikanter Parameter. Allerdings waren Alter ( $P = 0,0001$ ) und Zahnposition (Prämolar, Eckzahn, lateraler oder zentraler Schneidezahn) ( $P = 0,2711$ ) statistisch signifikante Variablen. Mit zunehmendem Alter wurde am MP1 eine statistisch signifikante Reduzierung der Knochenwanddicke festgestellt. An den vier untersuchten Zahnpositionen nahm die Dicke der fazialen Knochenwand von den Prämolaren zu den Schneidezähnen statistisch signifikant ab. Am MP2 hatte keine der Variablen (Alter, Geschlecht oder Zahnposition) einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Werte, die anhand der DVT-Schnittbilder ermittelt wurden.

## Diskussion

Im Laufe der Jahre wurde in mehreren experimentellen und klinischen Studien gezeigt, dass das periimplantäre Weichgewebe relativ konstante Dimensionen hat und dass die darunterliegende knöcherne Struktur für den Aufbau und Erhalt der Weichgewebekonturen eine entscheidende Rolle spielt<sup>2, 17-19</sup>. Eine faziale Knochenwand von ausreichender Höhe und Dicke ist für die langfristige Stabilität eines harmonischen Gingivarands um Implantatversorgungen unabdingbar<sup>1, 20</sup>. Die Höhe der Knochenwand beeinflusst die Position

**Tabelle 2** Häufigkeitsverteilung (%) der untersuchten Zähne entsprechend der Dicke der fazialen Knochenwand am MP1

	Fehlende Knochenwand	Wanddicke < 1 mm	Wanddicke ≥ 1 mm
Zentraler Schneidezahn	27,5	67,9	4,6
Lateraler Schneidezahn	23,0	65,5	11,5
Eckzahn	31,7	59,7	8,6
Erster Prämolare	17,5	55,0	27,5
Gesamt	25,7	62,9	11,4

**Tabelle 3** Häufigkeitsverteilung (%) der untersuchten Zähne entsprechend der Dicke der fazialen Knochenwand am MP2

	Fehlende Knochenwand	Wanddicke < 1 mm	Wanddicke ≥ 1 mm
Zentraler Schneidezahn	4,6	89,3	6,1
Lateraler Schneidezahn	9,5	83,1	7,4
Eckzahn	9,4	82,0	8,6
Erster Prämolare	21,3	56,3	22,5
Gesamt	10,0	80,1	9,8

des Margo gingivae an der fazialen Seite. Ihre Dicke wirkt sich auf die faziale Konvexität des Alveolarfortsatzes an der Austrittsstelle des Implantats aus. Daher müssen die Dimensionen der fazialen Knochenwand von Zähnen, die extrahiert und durch Implantate ersetzt werden sollen, untersucht werden. Es stehen derzeit nur eingeschränkte Daten zur Dicke dieser wichtigen anatomischen Struktur im Frontzahnbereich des Oberkiefers zur Verfügung.

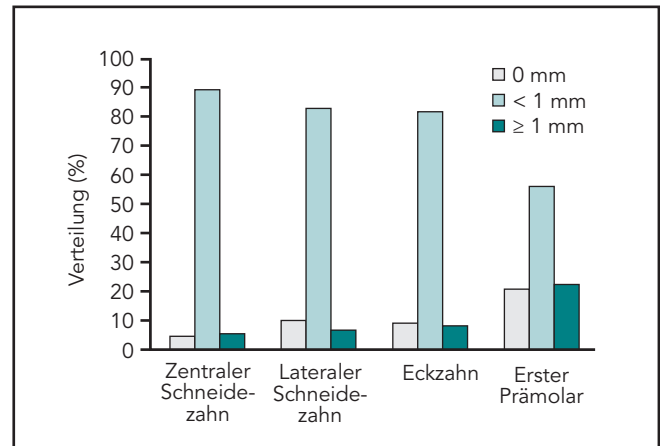
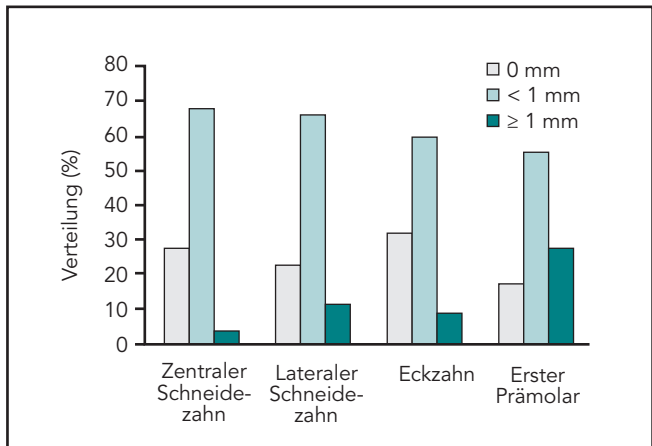
In der vorliegenden Studie wurden DVT-Schnittbilder dazu benutzt, die fazialen Knochenwände an Zähnen in der Oberkieferfront zu untersuchen.

Diese neue Technologie ermöglicht eine Bildauflösung von 0,125 mm und damit eine große Genauigkeit der linearen Messungen. Zusätzlich ist die Bildqualität verbessert und die Strahlenbelastung geringer als bei einem CT-Scan<sup>15, 21</sup>. Die Dicke der fazialen Knochenwand wurde an zwei Punkten gemessen: im krestalen Bereich (MP1) und in der Mitte der Wurzel (MP2). Für das ästhetische Ergebnis von Implantatversorgungen an der fazialen Seite ist der MP1 eindeutig wichtiger als der MP2, da der Knochen im krestalen Bereich den Gingivarand abstützt und die Form des Alveolarfortsatzes bestimmt. Wenn

**Tabelle 4 Dicke (mm) der fazialen Knochenwände in vier Positionen in der Oberkieferfront**

	Zentrale Schneidezähne (n = 131)		Laterale Schneidezähne (n = 148)		Eckzähne (n = 139)		Erste Prämolare (n = 80)	
	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2
Durchschnitt	0,47	0,59	0,54	0,55	0,45	0,57	0,73	0,65
Mittelwert	0,50	0,57	0,56	0,51	0,52	0,52	0,73	0,63
Maximum	1,77	1,40	1,38	1,32	1,40	2,63	2,13	2,27
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SA	0,25	0,34	0,35	0,29	0,36	0,39	0,47	0,49

SA = Standardabweichung



**Abb. 4** Häufigkeitsverteilung der Dicke der fazialen Knochenwand am (links) MP1 und (rechts) MP2.

diese knöcherne Struktur nicht vorhanden ist, ist die Entwicklung einer gingivalen Rezession wahrscheinlich, was zu ästhetischen Komplikationen führt<sup>22</sup>.

Aus den Ergebnissen dieser Studie geht hervor, dass die faziale Knochenwand im Frontzahnbereich des Oberkiefers meist dünn ist (durchschnittliche Dicke: 0,5 bis 0,7 mm). Laut der Analyse nahm die Dicke vom Seitenzahnbereich (erster Prämolare) zu den Frontzähnen (zentrale Schneidezähne) hin ab. Außerdem wird die Dicke der Knochenwand durch das Alter beeinflusst. Die Abnahme der Knochendicke

mit zunehmendem Alter war nur im krestalen Bereich signifikant (MP1). Das ist nicht überraschend, da der Knochen im krestalen Bereich bei chronischen lokalen Infektionen, z. B. einer Parodontitis, als Erstes betroffen ist. Dies ist klinisch relevant, weil die meisten Implantatpatienten der Generation der Baby-Boomer angehören, d. h. in einem Alter sind, in dem parodontale Probleme eine erhöhte Inzidenz zeigen<sup>14</sup>.

Noch wichtiger als die Durchschnittswerte ist die Häufigkeitsanalyse der fazialen Knochendicke. In dieser Studie wurden die Ergebnisse in drei Gruppen unterteilt: fehlende

Knochenwand, dünne Knochenwand (< 1 mm) und dicke Knochenwand (≥ 1 mm). Am MP1 fehlte die Knochenwand bei 17,0 % bis 31,0 % der untersuchten Zähne. An 55,0 % bis 67,0 % der Zähne war die Knochenwand dünn. Die ungünstigsten Bedingungen wurden an den zentralen Schneidezähnen und den Eckzähnen beobachtet. In diesen Bereichen war die faziale Wand nur an 4,6 % bzw. 8,6 % der Zähne dick. Die günstigsten Bedingungen wurden an den ersten Prämolaren festgestellt. Dort lag an 27,5 % der Zähne eine dicke Wand (≥ 1 mm) vor. Diese Ergebnisse stimmen mit denen einer

früheren klinischen Studie überein, in der bei den meisten Extraktionsalveolen die Dicke der fazialen Knochenwand  $\leq 1$  mm (87,2 %) und nur bei 6,5 %  $\geq 2$  mm betrug. In einer weiteren Studie zur Untersuchung der knöchernen Dimensionen in Extraktionsalveolen wurde in 70,9 % der Bereiche eine Dicke der fazialen Knochenwand von  $\leq 1$  mm gezeigt<sup>24</sup>.

Aus klinischer Sicht sind eine fehlende und eine dünne faziale Wand mehr oder weniger vergleichbar. Eine dünne Knochenwand wird aufgrund der Veränderungen des Alveolarkamms, die nach einer Extraktion einsetzen, nachweislich resorbiert. In neueren Tierstudien wurde gezeigt, dass eine dünne faziale Knochenwand, die hauptsächlich aus Bündelknochen besteht, innerhalb der ersten vier bis acht Wochen nach einer Extraktion erheblich resorbiert wird. Dies führt zu einer um etwa 2 bis 3 mm reduzierten Knochenhöhe an der fazialen Seite<sup>9, 25, 26</sup>. Es wird darüber diskutiert, dass diese Knochenresorption ein biologisches Phänomen ist, das hauptsächlich durch die Unterbrechung der Blutzufuhr im parodontalen Ligament verursacht wird. Diese Beobachtungen wurden durch eine weitere Studie bestätigt, in der CT-Scans verwendet wurden. Am Alveolarkamm betrug der Verlust der Höhe an nicht transplantierten Extraktionsalveolen mehr als 20 %<sup>8</sup>.

Um ein ästhetisches Ergebnis zu erreichen, sollte daher ein Implantatflager mit einer fehlenden oder dünnen fazialen Knochenwand augmentiert werden. Ziel eines solchen Verfahrens ist es, die knöchernen Kontur aufzubauen, die für eine adäquate Abstützung von Weichgewebe für ein ästhetisches Resultat erforderlich ist<sup>6, 27</sup>. Für die Augmentation der Kontur muss ein Mukoperiostflappen gebildet werden. Die Sofort- oder Frühimplantation mit einer transmukosalen Methode („flapless“

Technik) ist daher wohl nur dann indiziert, wenn nach der Extraktion eine dicke faziale Wand vorhanden ist. Dies ist aber bei weniger als 10 % der Schneide- und Eckzähne der Fall. An den ersten Prämolaren ist ein solches Verfahren allerdings eher möglich, da die faziale Knochenwand an mehr als 25 % der ersten Prämolaren dick war, d. h. mehr als 1 mm gemessen wurde.

Der Kliniker hat heute mehrere Optionen, um nach einer Zahnextraktion eine Implantation vorzunehmen<sup>28</sup>. Für ein erfolgreiches ästhetisches Ergebnis mit einer hohen Prognostizierbarkeit muss vor dem Eingriff eine sorgfältige Analyse erfolgen, um die lokalen Risikofaktoren zu ermitteln. Um die geeignete Behandlungsmethode zu ermitteln, wird die Verwendung von DVT-Schnittbildern empfohlen, da sie den Status der fazialen Knochenwand an dem Zahn, der extrahiert werden soll, verlässlich darstellen.

#### Literatur

1. Belser UC, Buser D, Hess D, Schmid B, Bernard JP, Lang NP. Aesthetic implant restorations in partially edentulous patient—A critical appraisal. *Periodontol* 2000;17:132–150.
2. Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: Anatomic and surgical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19(suppl):43–61.
3. Martin WC, Morton D, Buser D. Diagnostic factors for esthetic risk assessment. In: Buser D, Belser U, Wismeijer D (eds). *ITI Treatment Guide, Vol 1: Implant Therapy in the Esthetic Zone—Single-Tooth Replacements*. Berlin: Quintessence, 2006:11–20.
4. Evans CD, Chen ST. Esthetic outcomes of immediate implant placements. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:73–80.
5. Chen ST, Darby IB, Reynolds EC, Clement JG. Immediate implant placement post-extraction without flap elevation. *J Periodontol* 2009;80:163–172.
6. Buser D, Bornstein MM, Weber HP, Grütter L, Schmid B, Belser UC. Early implant placement with simultaneous guided bone regeneration following single-tooth extraction in the esthetic zone: A cross-sectional, retrospective study in 45 subjects with a 2- to 4-year follow-up. *J Periodontol* 2008;79:1773–1781.
7. Buser D, Chen ST, Weber HP, Belser UC. Early implant placement following single-tooth extraction in the esthetic zone: Biologic rationale and surgical procedures. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2008;28:441–451.
8. Nevins M, Camelo M, De Paoli S, et al. A study of the fate of the buccal wall of extraction sockets of teeth with prominent roots. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:19–29.
9. Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212–218.
10. Cardaropoli G, Araújo M, Hayacibara R, Sukekava F, Lindhe J. Healing of extraction sockets and surgically produced—augmented and non-augmented—defects in the alveolar ridge. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:435–440.
11. Grunder U, Gracis S, Capelli M. Influence of the 3-D bone-to-implant relationship on esthetics. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005;25:113–119.
12. Buser D, Martin WD, Belser UC. Surgical considerations with regard to single-tooth replacements in the esthetic zone: Standard procedure in sites without bone deficiencies. In: Buser D, Belser U, Wismeijer D (eds). *ITI Treatment Guide, Vol 1: Implant Therapy in the Esthetic Zone—Single-Tooth Replacements*. Berlin: Quintessence, 2006:26–37.



13. Belser UC. Replacement of an upper left persisting deciduous canine with a regular neck implant, restored with a ceramometal crown, horizontally screw-retained. In: Buser D, Belser U, Wismeijer D (eds). ITI Treatment Guide, Vol 1: Implant Therapy in the Esthetic Zone—Single-Tooth Replacements. Berlin: Quintessence, 2006:159–177.
14. Bornstein MM, Halbritter S, Harnisch H, Weber HP, Buser D. A retrospective analysis of patients referred for implant placement to a specialty clinic: Indications, surgical procedures, and early failures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:1109–1116.
15. Loubele M, Van Assche N, Carpentier K, et al. Comparative localized linear accuracy of small-field cone-beam CT and multislice CT for alveolar bone measurements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105:512–518.
16. Brunner E, Langer F. Nonparametric analysis of ordered categorical data in designs with longitudinal observations and small sample sizes. *Biometrical Journal* 2000;42:663–675.
17. Berglundh T, Lindhe J. Dimension of the peri-implant mucosa. Biological width revisited. *J Clin Periodontol* 1996;23:971–973.
18. Cochran DL, Hermann JS, Schenk RK, Higginbottom FL, Buser D. Biologic width around titanium implants. A histometric analysis of the implant-to-gingival junction around unloaded and loaded nonsubmerged implants in the canine mandible. *J Periodontol* 1997;68:186–198.
19. Kan JY, Rungcharassaeng K, Umezaki K, Kois JC. Dimensions of peri-implant mucosa: An evaluation of maxillary anterior single implants in humans. *J Periodontol* 2003;74:557–562.
20. Buser D, von Arx T. Surgical procedures in partially edentulous patients with ITI implants. *Clin Oral Implants Res* 2000;11(suppl 1):83–100.
21. Agbaje JO, Jacobs R, Maes F, Michiels K, van Steenberghe D. Volumetric analysis of extraction sockets using cone beam computed tomography: A pilot study on ex vivo jaw bone. *J Clin Periodontol* 2007;34:985–990.
22. Chen S, Buser D. Esthetic complications due to implant malpositions: Etiology, prevention, and treatment. In: Froum S (ed). *Dental Implant Complications—Etiology, Prevention, and Treatment*. West Sussex, UK: Blackwell, 2010:134–155.
23. Huynh-Ba G, Pjetursson BE, Sanz M, et al. Analysis of the socket bone wall dimensions in the upper maxilla in relation to immediate implant placement. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:37–42.
24. Ferrus J, Cecchinato D, Pjetursson EB, Lang NP, Sanz M, Lindhe J. Factors influencing ridge alterations following immediate implant placement into extraction sockets. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:22–29.
25. Araújo MG, Sukekava F, Wennström JL, Lindhe J. Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:645–652.
26. Tomasi C, Sanz M, Cecchinato D, et al. Bone dimensional variations at implants placed in fresh extraction sockets: A multilevel multivariate analysis. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:30–36.
27. Buser D, Halbritter S, Hart C, et al. Early implant placement with simultaneous guided bone regeneration following single-tooth extraction in the esthetic zone: 12-month results of a prospective study with 20 consecutive patients. *J Periodontol* 2009;80:152–162.
28. Chen ST, Buser D. Clinical and esthetic outcomes of implants placed in postextraction sites. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(suppl):186–217.