

Kieferkammerhaltende Maßnahmen im Rahmen von Extraktionen vor Implantatversorgung

Indizes

Alveolenerhaltung, Kieferkammerhaltung, Extraktion, Augmentation, Alveolenkonditionierung, Implantation

Zusammenfassung

Im Rahmen der natürlichen Wundheilungsvorgänge nach Zahnextraktion werden regelhaft Volumenverluste des Alveolarkammes beobachtet. Diese können das Hart- und Weichgewebslager für Implantationen kompromittieren, aber auch Einfluss auf das ästhetische Ergebnis bei Brückenversorgungen nehmen. Zur Verhinderung dieser resorptiven Vorgänge wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Verfahren entwickelt, die den Erhalt des Kieferknochens zum Ziel haben. Neben der Auffüllung der Alveole mit Knochenersatzmaterialien sowie der Abdeckung mit Membranen und Schleimhauttransplantaten wurde eine Vielzahl weiterer Techniken untersucht, um das Hart- und Weichgewebslager für nachfolgende Versorgungen zu optimieren. Jedoch stellt jedes Verfahren einen Eingriff in die natürlichen Wundheilungsvorgänge des Organismus dar, was bei der Planung und Durchführung alveolenerhaltender Maßnahmen stets berücksichtigt werden muss.

Hintergrund

In der modernen Implantologie stellt die richtige dreidimensionale Positionierung eines Implantates eine wichtige Voraussetzung für die langzeitstabile Aufrechterhaltung von Ästhetik und Funktion dar²⁹. Wird ein Implantat zu weit vestibulär inseriert, werden aufgrund der nur dünnen bukkalen Knochenlamelle ästhetisch ungünstige Rezessionen an der bukkalen Schleimhaut oder ein transmukosales Durchscheinen des Titankörpers begünstigt. Wenn die Insertion zu weit oral erfolgt, kann die prothetische Versorgung erschwert sein. Aber auch die mesiale und distale Knochenhöhe am Implantat hat unter Umständen über eine Beeinflussung der Papille erhebliche Auswirkungen auf die Rot-Weiß-Ästhetik⁵². Diese und andere Faktoren stellen die stete Notwendigkeit eines ausreichenden Hartgewebslagers bei Implantatbehandlungen in den Vordergrund.

Knochengewebe unterliegt einem ständigen Remodelationsprozess, bei dem sich die trajektorielle Ausrichtung der Knochenbälkchen an unterschiedliche Belastungssitu-



Daniel Rothamel

Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med.
dent.

Mauricio Herrera

Dr. med. dent.

Thea Lingohr

Dr. med. dent.

Viktor E. Karapetian

Dr. med. dent.

Tim Fienitz

ZA

Robert Mischkowski

Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med.
dent.

Dirk Duddeck

Dr. med. dent.

Joachim E. Zöller

Prof. Dr. med. Dr. med. dent.

Klinik und Poliklinik für Mund-,
Kiefer- und Plastische Gesichtschir-
urgie und Interdisziplinäre Poliklinik
für Orale Chirurgie und Implan-
tologie (Direktor: Prof. Dr. Dr. J. E.
Zöller)

Universitätsklinikum Köln
Kerpener Straße 62
50937 Köln

E-Mail: daniel.rothamel@uk-koeln.de

ationen anpasst. Zunehmende physiologische Belastung ist mit einer Verdichtung bzw. einem Aufbau der Knochenmasse vergesellschaftet. Bei abnehmender Belastung bis hin zur Inaktivität lässt sich ein Abbau der Hartsubstanz beobachten⁵². Zudem führen speziell im Kieferknochen länger bestehende Parodontitiden, ausgedehnte Zysten, Entzündungen oder auch Tumoren regelhaft zu ausgehenden Kieferkammverlusten.

In verschiedenen Studien konnte festgestellt werden, dass auch im Zuge der Wundheilung nach Zahnextraktionen immer ein signifikanter Verlust von Hartgewebe zu beobachten ist⁵³. Dies legt die Überlegung nahe, gerade bei implantologischen Rehabilitationsansätzen dieser regelhaft stattfindenden Resorption bereits zum Zeitpunkt der Zahnextraktion prophylaktisch entgegenzuwirken.

Extraktionswundheilung

Bevor man über Techniken zum Erhalt der Extraktionsalveole nachdenkt, gilt es zunächst, den Mechanismus der Hart- und Weichgewebsheilung nach Zahnextraktion zu untersuchen. In der Literatur sind verschiedene Tierstudien verfügbar, in denen extrahierte Kieferabschnitte nach unterschiedlichen Heilungsperioden histologisch aufbereitet wurden^{3,17,18}. Ergänzt werden sie durch klinische Beobachtungsstudien, die in der Regel als Längsschnittuntersuchungen angelegt sind^{1,2,12,48,53}. Insgesamt hat sich eine Sequenz kristallisiert, welche in fünf histologische Heilungsstufen zu unterteilen ist:

1. Ausbildung und Reifung eines Blutkoagulums,
2. Organisation des Blutkoagulums durch neu gebildete Blutgefäße und Fibroblasten (4 bis 5 Tage),
3. Ausbildung einer provisorischen Matrix (14 bis 16 Tage),
4. knöcherner Organisation der provisorischen Matrix und epithelialer Abschluss der Alveole (bis 6 Wochen) sowie
5. Knochenremodellierung/Remodellierung (5 bis 10 Wochen)^{1,2,12}.

Betrachtet man die dimensional Veränderungen des Knochens nach Zahnextraktion, so lässt sich ein Verlust des ursprünglichen Knochenvolumens sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung nachweisen. In diesem Zusammenhang ist vor allem von resorptiven Veränderungen der knöchernen bukkalen Alveolenwand des

Oberkiefers berichtet worden^{3,40}. Im Unterkiefer scheint er geringer ausgeprägt zu sein, was auf die im Vergleich zum Oberkiefer deutlich stärker ausgeprägte Kompakta zurückgeführt wird. Durch die vestibulär dominierte Resorption kommt es unweigerlich zu einer Verschiebung des zentralen Alveolarfortsatzes in oraler Richtung⁴⁰. Das Ausmaß der Atrophie scheint während der ersten 3 bis 6 Monate nach der Zahnextraktion am ausgeprägtesten zu sein⁴⁸, zeigte sich regional sehr unterschiedlich⁴⁸ und wurde von der Anzahl der entfernten Zähne, der Defektgröße sowie der Zusammensetzung des Knochens beeinflusst^{7,51}. Insgesamt konnte sowohl in klinischen als auch in präklinischen Studien festgestellt werden, dass regelhaft Resorptionen von bis zu 2 mm in vertikaler und von 4 mm in horizontaler Dimension innerhalb von 1 Jahr post operationem zu erwarten sind^{3,16,31,36,37,48,53}.

Extraktionsmethode

Es erscheint offensichtlich, dass bereits das chirurgische Vorgehen bei der Extraktion einen wesentlichen Einfluss auf den zu erwartenden Hartsubstanzverlust nach Zahntfernung hat. Zum einen gilt es, durch ein möglichst behutsames Vorgehen einer Fraktur der oftmals nur sehr dünn ausgeprägten bukkalen Alveolenwand vorzubeugen (Abb. 1 bis 4). Zudem stehen spezielle Extraktionssysteme zur Verfügung, deren konsequente Anwendung eine schonendere Luxation verspricht. Neben unterschiedlich geformten Periotomen, Hebeln und Spezialzangen werden aufwändige Systeme angeboten, welche in der Regel auf einer Fixierung der Wurzel und einer dosierten Anwendung rein vertikaler Kräfte basieren.

Im Fall von stark kariös zerstörten Zähnen oder intraoperativen Wurzelfrakturen ist eine großzügige Aufklappung oder Osteotomie von bukkal zu vermeiden, da gerade hier der Alveolarkamm die höchste Resorptionstendenz zeigt³. Allein die Ablösung des Mukoperiostes war in einer tierexperimentellen Studie mit einem erhöhten Hartgewebsverlust verbunden²⁶. Speziell geformte Wurzelheber oder auch mesial bzw. distal der Radix gelegene Ansätze können in solchen Situationen dazu beitragen, die Integrität der bukkalen Lamelle zu erhalten. Alternativ kann bei kleineren Wurzelanteilen ein Zugang ähnlich einer Wurzelspitzenresektion erfolgen. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch die Ablösung des Mukoperiostes einen Verlust an Hartgewebe bedeutet²⁶.



Abb. 1 Bei dieser 31-jährigen Patientin muss aufgrund eines Frontzahntraumas mit Wurzelquerfraktur im mittleren Wurzel Drittel der Zahn 21 entfernt werden

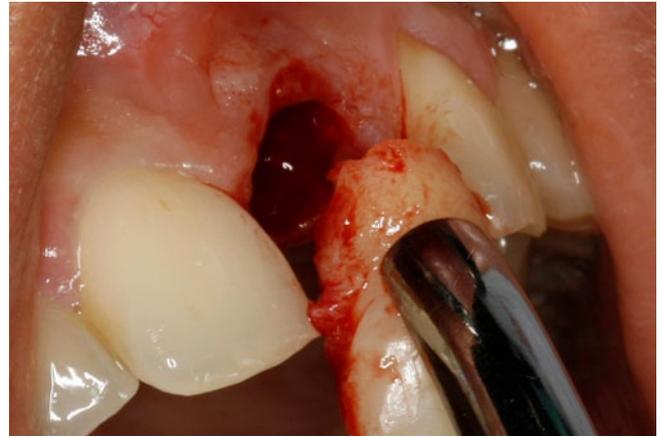


Abb. 2 Nach Lösung des Parodonts mit Periotomen erfolgt die schonende Entfernung des koronalen Fragmentes

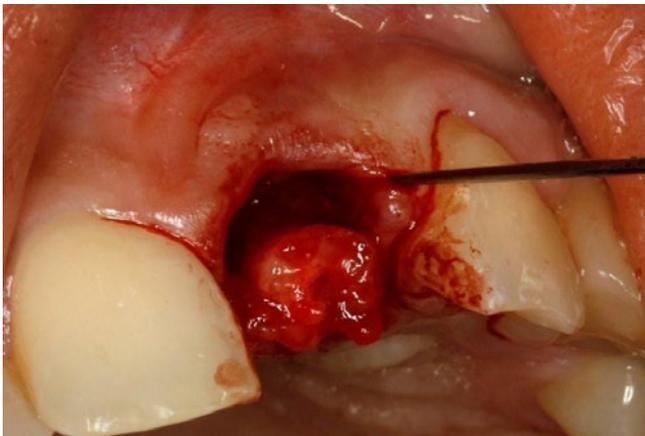


Abb. 3 Auch das apikale Fragment wird ohne Osteotomie durch vorsichtige Luxation entfernt



Abb. 4 Die entfernten Zahnfragmente werden auf Vollständigkeit überprüft

Kollagenschwämme

Eine einfache Methode zur Auffüllung der Alveole stellt die Applikation eines Kollagenschwamms in die Extraktionswunde dar (Abb. 5 bis 12). In eigenen Studien hat sich gezeigt, dass derzeit verfügbare Dentalkollagene auch nach Aufbereitung des tierischen Ursprungsmaterials noch in der Lage sind, Thrombozyten zu aktivieren und die Blutgerinnung auf diesem Wege zu unterstützen⁴⁶. Wie aus dem Bereich der Kollagenmembranen

bekannt, sollte hierbei auf eine hohe Biokompatibilität und Nativität des verwendeten Kollagens geachtet werden. Quervernetzte Kollagene werden zwar langsamer resorbiert, können jedoch durch den vermehrt entzündlichen Abbau Wundheilungskomplikationen und Knochenresorptionen unterstützen^{8,44,45}. Wie eine aktuelle Studie ergeben hat, scheint die Anwesenheit von parodontalen Ligamentfibroblasten keinen Einfluss auf die knöchernen Regeneration zu nehmen¹⁷. Allerdings war in dieser Studie ein signifikant höherer mineralisierter Anteil nach

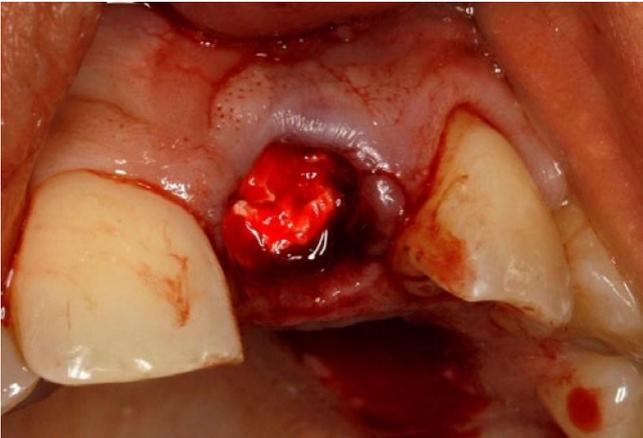


Abb. 5 Applikation eines nativen Kollagenschwamms (BEGO Collagen Fleece, Fa. BEGO Implant Systems, Bremen) zur Stabilisierung des Blutkoagulums und zur Unterstützung der Hartgewebsregeneration



Abb. 6 Entnahme eines freien Schleimhauttransplantates vom Gaumen

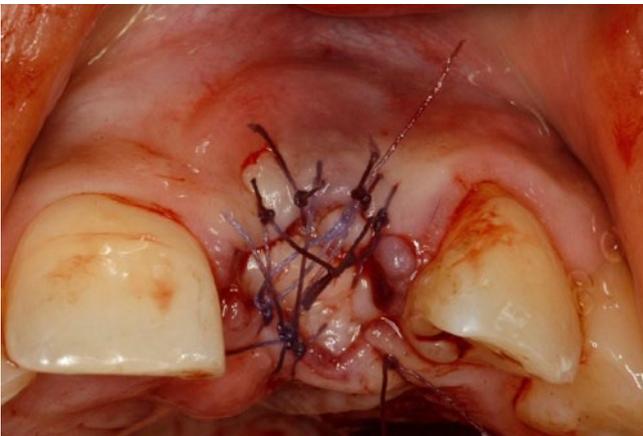


Abb. 7 Im Sinne der Socket-Seal-Technik wird das Schleimhauttransplantat auf der Extraktionswunde fixiert



Abb. 8 Die provisorische Versorgung erfolgt mittels einer kunststoffgefertigten Maryland-Brücke

Kollagenschwammapplikation als in unbehandelten Kontrollalveolen nachzuweisen, was einen gewissen Vorteil der Kollagenschwammapplikation unterstreicht¹⁷.

Membrantechnik und Alveolenversiegelung

Eine Abdeckung frischer Extraktionsalveolen mit ePTFE-Membranen führte nach 6 Monaten im Vergleich zu unbehandelten Kontrollalveolen zu einer signifikant geringeren

dimensionalen Alveolarkammveränderung³⁷. Vergleichbare Ergebnisse konnten auch durch den Einsatz von PLA/PGA-Membranen erzielt werden³⁶. Eine frühzeitige Exposition der ePTFE-Membran führte jedoch zu einer signifikanten Verschlechterung der Resultate³⁷. Um eine geschlossene Einheilung der Membran auch ohne koronale Verschiebeplastik zu ermöglichen, empfahlen *Chen* und *Dahlin*²⁰ die Abdeckung der Extraktionsalveole bzw. der Membran mittels eines freien Bindegewebstransplantates. Mit dieser Technik konnten 22 von insgesamt 24 Membranen über einen Beobachtungszeitraum von 6



Abb. 9 Bei Wiedervorstellung nach 8 Wochen zeigt sich eine stabile Weichgewebssituation



Abb. 10 Nach Entfernung der Brücke wird der Erfolg des Weichgewebstransplantates ersichtlich



Abb. 11 Weichgewebssituation nach Freilegung und erneuter provisorischer Versorgung mittels Maryland-Brücke



Abb. 12 6 Monate nach prothetischer Versorgung zeigt sich eine gute Rot-Weiß-Ästhetik unter Aufrechterhaltung beider Papillen

Monaten ohne Exposition einheilen²⁰. Auch *Jung et al.*³² konnten durch diese Technik gute Ergebnisse erzielen. Das Bindegewebsstransplantat stammt zumeist aus dem Gaumen, wo der entstandene Defekt über freie Granulation sekundär verheilt (Abb. 6 und 7). Durch den Verschluss der Extraktionsalveole wird das Weichgewebe gestützt, was über eine verminderte Wundkontraktion das spätere Weichgewebsmanagement erleichtert. Ein ähnlicher Effekt kann auch prothetisch durch die unmittelbar auf die Extraktion folgende Eingliederung eines bis unterhalb des Gingivasaums reichenden Brückengliedes erzielt werden.

Eine recht neue Methode stellt die Applikation einer Kollagenmembran bukkal inner- und oberhalb der Alveole mit anschließender freier Granulation der Schleimhaut über der Membran dar (Abb. 13 bis 21). Hierbei ist zu beachten, dass zur Mundhöhle exponierte Kollagene eine deutlich schnellere Resorption zeigen als gedeckt einheilende Matrices. Für dieses Phänomen werden verschiedene parodontopathogene Markerkeime verantwortlich gemacht, welche ebenso wie Makrophagen und Fibroblasten in der Lage sind, Kollagenasen zu bilden^{15,49}. Von einer vollständigen plastischen Deckung sollte im Hinblick



Abb. 13 Bei diesem 65-jährigen Patienten soll eine schonende Extraktion des Zahnes 46 erfolgen

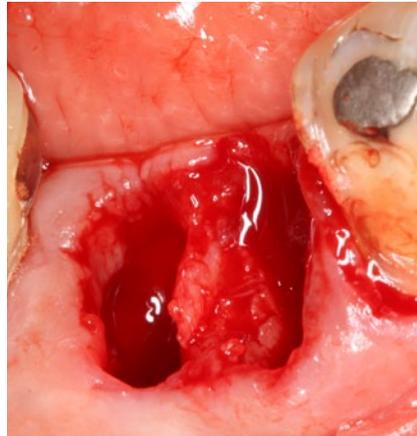


Abb. 14 Nach der Extraktion wird die Alveole sorgfältig kürettiert

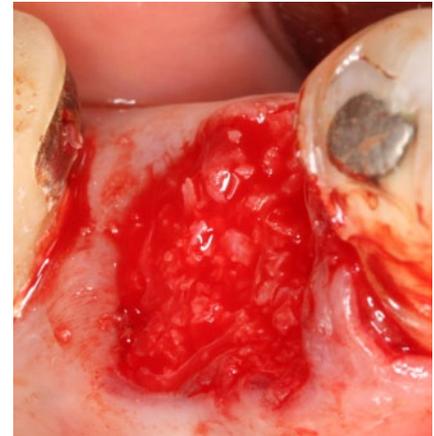


Abb. 15 Auffüllung der Alveole mit einem granulären Allograft (Maxgraft, Fa. Botiss dental, Berlin)

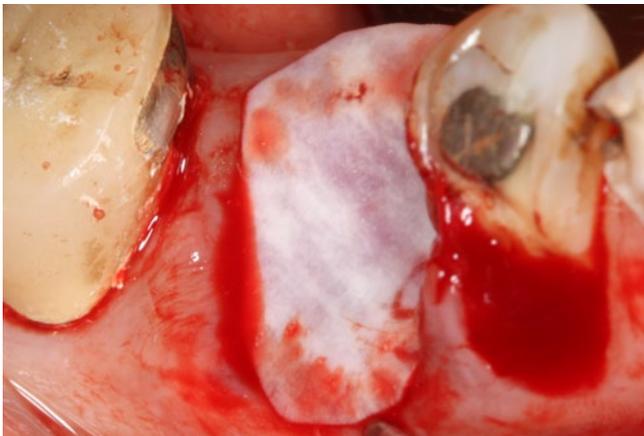


Abb. 16 Applikation einer nativen Perikardmembran (BEGO Collagen Membrane, Fa. BEGO Implant Systems) zur Abdeckung des Knochenersatzmaterials

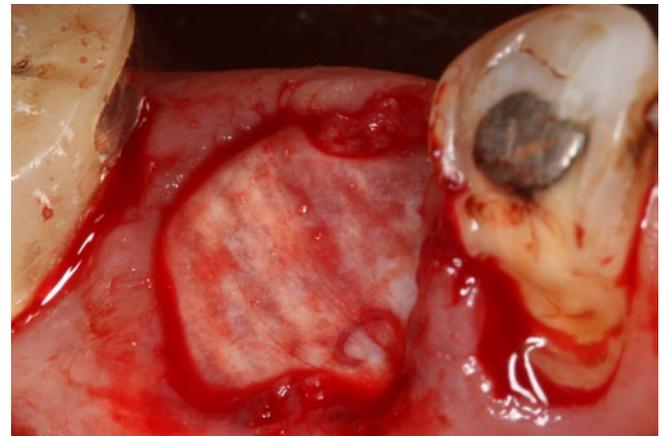


Abb. 17 Zustand nach Einbringen der Membran unter die Ränder des umliegenden Gingivasaums

auf das spätere Weichgewebsmanagement vor allem im ästhetischen Bereich Abstand genommen werden. Alle Membrantechniken können mit Knochenersatzmaterialien kombiniert werden, um die Alveole zusätzlich zu stabilisieren.

Wurzellanaloge Implantate

Durch eine infrakrestale Implantation präfabrizierter, nicht resorbierbarer wurzelförmiger Hydroxylapatit-Kegel konn-

te in einer tierexperimentellen Untersuchung die vertikale Atrophie des Alveolarkammes im Vergleich zu unbehandelten Extraktionsalveolen reduziert werden^{24,41,47}. Unter klinischen Bedingungen zeigten diese soliden Implantatstrukturen insbesondere im Vergleich zu partikulärem Hydroxylapatit²² jedoch eine hohe Verlustrate³⁴. Eine defektanaloge Auffüllung der Extraktionsalveole ist unter Verwendung von β -Trikalziumphosphat-Granula (β -TCP) möglich, welche über Polylaktide (PLA)/Polyglykolid (PLG) nach Abformung der Wurzel des extrahierten Zahnes in die entsprechende Form überführt werden^{38,39}.

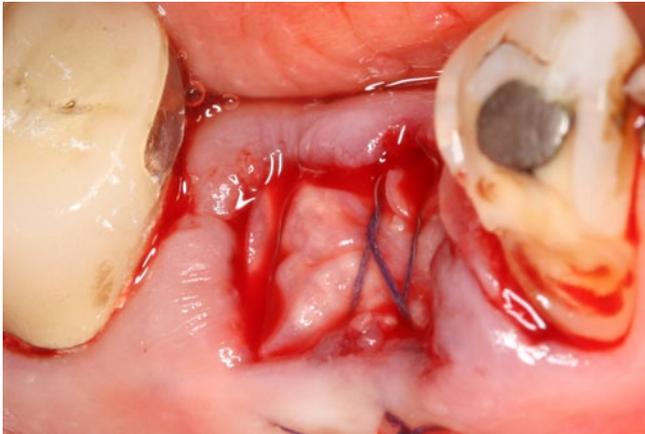


Abb. 18 Zur Fixierung der Membran erfolgt ein adaptierender Nahtverschluss

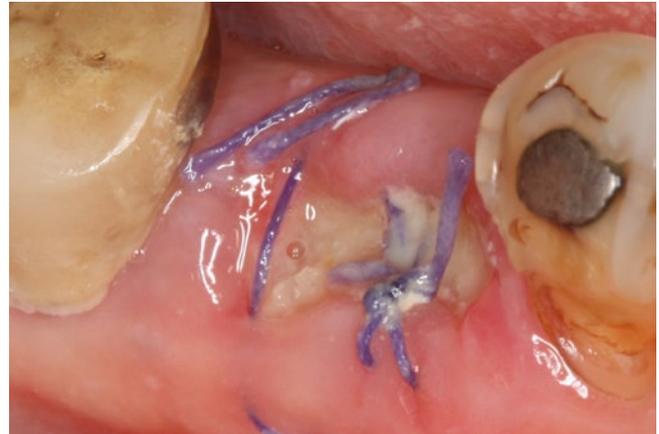


Abb. 19 Bei der Nahtentfernung nach 10 Tagen zeigen sich stabile Weichgewebsverhältnisse mit aufgrund der offenen Einheilung deutlich beschleunigtem Membranabbau



Abb. 20 1 Woche nach Nahtentfernung ist das Augmentat oberflächlich granuliert. Es sind keine Restanteile der Membran mehr erkennbar



Abb. 21 6 Wochen nach Extraktion ist die Alveole vollständig regeneriert. Aufgrund des Verzichts auf eine plastische Deckung zeigen sich ideale Hart- und Weichgewebsverhältnisse für eine folgende Implantation

Obwohl eine Resorbierbarkeit der β -TCP-Granula histologisch über einen Zeitraum von 60 Wochen nachgewiesen werden konnte, schien die Regeneration der Extraktionsalveolen im Vergleich zur unbehandelten Kontrollgruppe verzögert abzulaufen³⁸. Die alleinige Implantation eines Polylaktid-Wurzelreplikates führte in einer klinischen Fallbeschreibung zu einer dimensionalen Erhaltung des Alveolarfortsatzes über einen Beobachtungszeitraum von 21 Monaten⁵⁰. Dies konnte jedoch tierexperimentell in eigenen Studien nicht bestätigt werden⁴².

Knochenersatzmaterialien

Ein positiver Einfluss einer zusätzlichen Auffüllung der Extraktionsalveole mit Füllkörpern zur Membranunterstützung (Abb. 22 bis 27) wurde in vielen Studien untersucht. *Dies et al.*²⁵ konnten zeigen, dass eine ePTFE-Membran mit und ohne Einsatz eines alloge- oder xenogenen Knochenersatzmaterials nach 6 bis 9 Monaten zu einer Regeneration bukkaler Dehissenzdefekte im Bereich der Extraktionsalveole führte. Die histologische Qualität des regenerierten Knochens war jedoch in der Kontrollgruppe

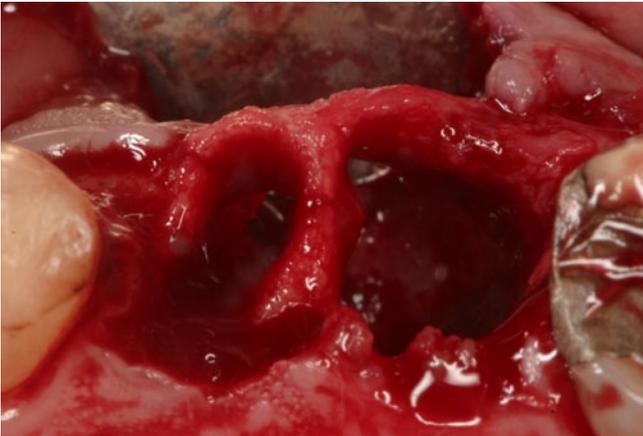


Abb. 22 52-jährige Patientin mit nicht erhaltungswürdigen Zähnen 25 und 26 – Zustand nach vorsichtiger Extraktion mit Erhalt der vestibulären Lamelle

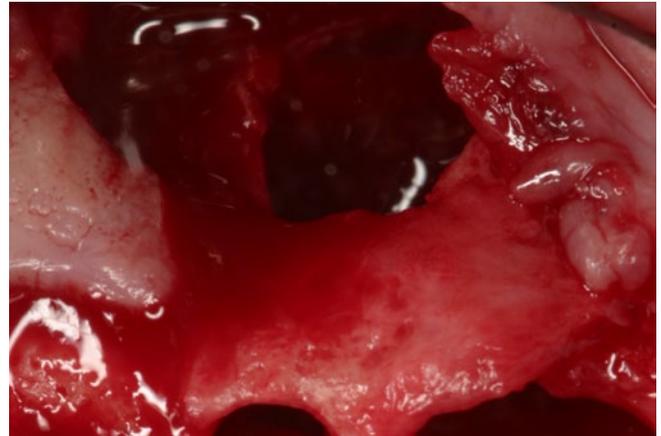


Abb. 23 Nach Mukoperiostpräparation wird ein großer Fenestrationsdefekt apikal an Zahn 26 ersichtlich, welcher durch eine chronische apikale Parodontitis verursacht wurde

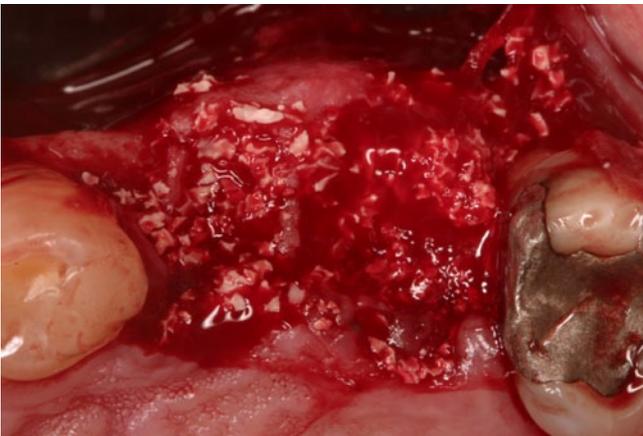


Abb. 24 Vollständiges Auffüllen der Alveolen mit einem volumestabilen bovinen Knochenersatzmaterial (BEGO OSS, Fa. BEGO Implant Systems)

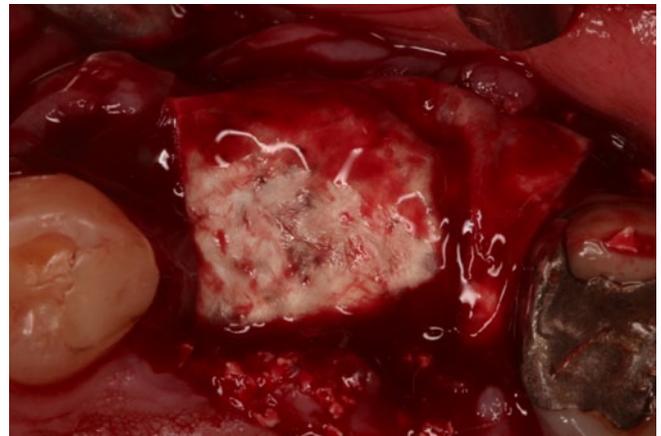


Abb. 25 Abdecken der bukkalen und krestalen Fläche mittels einer porkinen Kollagenmembran (BEGO Collagen Membrane)

ohne Knochenersatzmaterial besser²⁵. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch von *Carmagnola et al.*¹⁹ berichtet, da der Einsatz eines xenogenen Knochenersatzmaterials überwiegend eine bindegewebige Ausheilung im Bereich der Extraktionsalveole zur Folge hatte. Im Vergleich hierzu führte der alleinige Einsatz einer nativen Kollagenmembran zu einer ähnlichen Knochenqualität wie in der unbehandelten Kontrollgruppe¹⁹.

Obwohl allogene, xenogene und alloplastische Knochenersatzmaterialien in anderen Fallberichten die Knochenregeneration im Bereich der Extraktionsalveole po-

sitiv beeinflussen konnten, war deren Resorbierbarkeit im jeweiligen Beobachtungszeitraum in vielen Fällen nicht nachweisbar^{5,6,14,54,55}. *Becker et al.*¹⁰ beobachteten dagegen, dass allogene, xenogene und autogene Knochen- transplantate gleichermaßen zu einer Verzögerung der Wundheilung in der Alveole führten. Auch die Applikation eines nanokristallinen Hydroxylapatits in Pastenform war mit zum Teil erheblichen Restanteilen des Materials nach 6 Monaten in der Alveole vergesellschaftet, während sich in der Kontrollgruppe keinerlei Wundheilungsaffektionen zeigten⁴³. Ein Vorteil hinsichtlich der dimensional Ver-



Abb. 26 Trotz teilweise offener Einheilung zeigt sich bereits nach 2 Monaten eine gute weichgewebliche Heilung mit ausreichender Breite an keratinisierter Gingiva

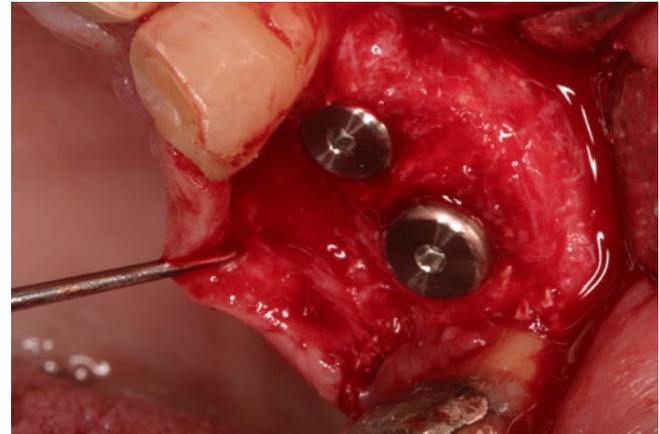


Abb. 27 Nach weiteren 4 Monaten zeigt die Wiedereröffnung einen deutlich in seiner Dimension erhaltenen Kiefer, so dass die Implantatinsertion problemlos erfolgen kann

änderungen war nicht ersichtlich. Grundsätzlich konnte jedoch beobachtet werden, dass die Resorption im Bereich des Alveolarkammes nach einer Zahnextraktion durch die Anwendung von Knochenersatzmaterialien und Membranen im Vergleich zu unbehandelten Kontrollgruppen positiv beeinflusst werden kann²³.

Sofortimplantation

Im Rahmen einer Sofortimplantation^{9,13,21,27,35,28} wird ein Implantat unmittelbar nach der Extraktion in die Alveole inseriert. Dabei ist zu beachten, dass das Implantat eher palatinal positioniert wird. Periimplantäre Spalträume heilen in der Regel komplikationslos ab und müssen nur bei einer größeren Spaltdimension durch ein Füllmaterial ausgeglichen werden¹¹. In einer tierexperimentellen Untersuchung konnte beobachtet werden, dass die Resorptionsvorgänge im Bereich der bukkalen Kompakta durch die Sofortimplantation eines schraubenförmigen Titanimplantates nicht kompensiert werden konnten⁴. Allerdings ist anzumerken, dass in der besagten Studie eine Deperiostierung der Extraktionsstelle erfolgt war, was bereits mit einem Knochenverlust einhergehen kann²⁶. Happe³⁰ geht davon aus, dass bei dickem parodontalem Gingivatyp und intakter Alveole eine Sofortimplantation zu einer ästhetisch befriedigenden, langfristig stabilen Situation führt. Soll zweizeitig belastet und gleichzeitig augmentiert werden, bieten sich palatinal gestielte Bin-

degewebestransplantate an, um aufgefüllte Defekträume mit vitalem Gewebe abzudecken³³. Im Fall einer Sofortbelastung begünstigt die Insertion der provisorischen Krone eine Abstützung des Weichgewebes unmittelbar post operationem.

Kritische Wertung verschiedener Techniken

In einer aktuellen Übersichtsarbeit wurden anhand einer Medline-Recherche insgesamt 135 zwischen 1999 bis 2008 publizierte Studien zum Thema Alveolenkonditionierung ausgewertet und hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Evidenz geprüft⁵³. Nach Auswahl von 37 humanen Studien kamen die Autoren zu folgendem Ergebnis: Verschiedene chirurgische Techniken sind in der Lage, die dimensional Verluste nach Zahnextraktion in vertikaler und horizontaler Richtung zu verringern. Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse vor allem hinsichtlich des Ausmaßes der Knochenregeneration und des Vorhandenseins residualer Knochenersatzmaterialanteile innerhalb der Alveole. Obwohl keine Technik besonders überlegen zu sein schien, konnte dennoch gezeigt werden, dass eine vollständige weichgewebliche Deckung der Alveole offenbar nicht zwingend erforderlich ist. Evidenzbasierte Aussagen zum ästhetischen Behandlungsergebnis, zur Langzeitstabilität oder auch zur Implantatüberlebensrate ließen sich anhand der vorliegenden Daten bislang nicht

treffen⁵³. Auch schienen alle Verfahren die generelle Möglichkeit einer späteren Implantatinsertion nicht wesentlich zu beeinflussen.

Resümee

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass neben einer schonenden Extraktionstechnik das Verfahren der Alveolenhaltung („socket preservation“) mit Knochenersatzmaterialien und Membranen/Schleimhauttransplantaten gerade im ästhetischen Bereich als etablierte Therapie

angesehen werden kann. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass jede Manipulation die natürlichen Wundheilungsabläufe in der Extraktionsalveole verändert. Dies kann gerade bei unerfahrenen Anwendern zu einer erhöhten Komplikations- und Misserfolgsrate führen. Wenn gleich das eingebrachte Knochenersatzmaterial teilweise nur Bindegewebe eingeschieden wird, ist vor allem bei resorptionsstabilen Materialien damit zu rechnen, dass durch die Abstützung des Weichgewebes zumindest die Weichgewebkontur erhalten bleibt. Eventuell entstandene Knochendefekte können so bei der Implantatinsertion leichter rekonstruiert werden.

Literatur

- Amler MH. The time sequence of tissue regeneration in human extraction wounds. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1969;27:309-318.
- Amler MH, Johnson PL, Salman I. Histological and histochemical investigation of human alveolar socket healing in undisturbed extraction wounds. *J Am Dent Assoc* 1960;61:32-44.
- Araujo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212-218.
- Araujo 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.
- Artzi Z, Nemcovsky CE, Tal H. Efficacy of porous bovine bone mineral in various types of osseous deficiencies: clinical observations and literature review. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001;21:395-405.
- Artzi Z, Tal H, Dayan D. Porous bovine bone mineral in healing of human extraction sockets: 2. Histochemical observations at 9 months. *J Periodontol* 2001;72:152-159.
- Atwood DA. Some clinical factors related to rate of resorption of residual ridges. 1962. *J Prosthet Dent* 2001;86:119-125.
- Becker J, Al-Nawas B, Klein MO, Schliephake H, Terheyden H, Schwarz F. Use of a new cross-linked collagen membrane for the treatment of dehiscence-type defects at titanium implants: a prospective, randomized-controlled double-blinded clinical multicenter study. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:742-749.
- Becker W, Becker BE. Guided tissue regeneration for implants placed into extraction sockets and for implant dehiscences: surgical techniques and case report. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1990;10:376-391.
- Becker W, Clokie C, Sennerby L, Urist MR, Becker BE. Histologic findings after implantation and evaluation of different grafting materials and titanium micro screws into extraction sockets: case reports. *J Periodontol* 1998;69:414-421.
- Botticelli D, Berglundh T, Buser D, Lindhe J. The jumping distance revisited: An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:35-42.
- Boyne PJ. Osseous repair of the postextraction alveolus in man. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1966;21:805-813.
- Brägger U, Hämmerle CH, Lang NP. Immediate transmucosal implants using the principle of guided tissue regeneration (II). A cross-sectional study comparing the clinical outcome 1 year after immediate to standard implant placement. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:268-276.
- Brugnamì F, Then PR, Moroi H, Leone CW. Histologic evaluation of human extraction sockets treated with demineralized freeze-dried bone allograft (DFDBA) and cell occlusive membrane. *J Periodontol* 1996;67:821-825.
- Bunyaratavej P, Wang HL. Collagen membranes: a review. *J Periodontol* 2001;72:215-229.
- Camargo PM, Lekovic V, Weinlaender M et al. Influence of bioactive glass on changes in alveolar process dimensions after exodontia. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;90:581-586.
- Cardaropoli G, Araujo 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.
- Cardaropoli G, Araujo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol* 2003;30:809-818.
- Carmagnola D, Adriaens P, Berglundh T. Healing of human extraction sockets filled with Bio-Oss. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:137-143.
- Chen ST, Dahlin C. Connective tissue grafting for primary closure of extraction sockets treated with an osteopromotive membrane technique: surgical technique and clinical results. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1996;16:348-355.
- Cochran DL, Douglas HB. Augmentation of osseous tissue around nonsubmerged endosseous dental implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1993;13:506-519.
- Cranin AN, Ronen E, Shpuntoff R, Tobin G, Dibling JB. Hydroxylapatite (H/A) particulate versus cones as post-extraction implants in humans. Parts I & II. *J Biomed Mater Res* 1988;22:1165-1180.
- Darby I, Chen ST, Buser D. Ridge preservation techniques for implant therapy. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(Suppl):260-271.
- Denissen HW, de Groot K. Immediate dental root implants from synthetic dense calcium hydroxylapatite. *J Prosthet Dent* 1979;42:551-556.
- Dies F, Etienne D, Abboud NB, Ouhayoun JP. Bone regeneration in extraction sites after immediate placement of an e-PTFE membrane with or without a biomaterial. A report on 12 consecutive cases. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:277-285.
- Fickl S, Zühr O, Wachtel H, Bolz W, Huerzeler M. Tissue alterations after tooth extraction with and without surgical trauma: a volumetric study in the beagle dog. *J Clin Periodontol* 2008;35:356-363.
- Gotfredsen K, Nimb L, Buser D, Hjorting-Hansen E. Evaluation of guided bone generation around implants placed into fresh extraction sockets: an experimental study in dogs. *J Oral Maxillofac Surg* 1993;51:879-884; discussion 885-876.

28. Hämmerle CH, Brägger U, Schmid B, Lang NP. Successful bone formation at immediate transmucosal implants: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998;13:522-530.
29. Handelsman M. Surgical guidelines for dental implant placement. *Br Dent J* 2006;201:139-152.
30. Happe A. Strukturerehalt durch Socket Preservation oder Ridge Preservation. *Dent Implantol* 2007;11:336-340.
31. Iasella JM, Greenwell H, Miller RL et al. Ridge preservation with freeze-dried bone allograft and a collagen membrane compared to extraction alone for implant site development: a clinical and histologic study in humans. *J Periodontol* 2003;74:990-999.
32. Jung RE, Siegenthaler DW, Hämmerle CH. Postextraction tissue management: a soft tissue punch technique. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:545-553.
33. Khoury F, Happe A. The palatal subepithelial connective tissue flap method for soft tissue management to cover maxillary defects: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:415-418.
34. Kwon HJ, el Deeb M, Morstad T, Waite D. Alveolar ridge maintenance with hydroxylapatite ceramic cones in humans. *J Oral Maxillofac Surg* 1986;44:503-508.
35. Lang NP, Brägger U, Hämmerle CH, Sutter F. Immediate transmucosal implants using the principle of guided tissue regeneration. I. Rationale, clinical procedures and 30-month results. *Clin Oral Implants Res* 1994;5:154-163.
36. Lekovic V, Camargo PM, Klokkevold PR et al. Preservation of alveolar bone in extraction sockets using bioabsorbable membranes. *J Periodontol* 1998;69:1044-1049.
37. Lekovic V, Kenney EB, Weinlaender M et al. A bone regenerative approach to alveolar ridge maintenance following tooth extraction. Report of 10 cases. *J Periodontol* 1997;68:563-570.
38. Nair PN, Luder HU, Maspero FA, Fischer JH, Schug J. Biocompatibility of Beta-tricalcium phosphate root replicas in porcine tooth extraction sockets – a correlative histological, ultrastructural, and x-ray microanalytical pilot study. *J Biomater Appl* 2006;20:307-324.
39. Nair PN, Schug J. Observations on healing of human tooth extraction sockets implanted with bioabsorbable poly(lactic-co-glycolic acid) (PLGA) copolymer root replicas: a clinical, radiographic, and histologic follow-up report of 8 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;97:559-569.
40. Pietrovski J, Massler M. Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *J Prosthet Dent* 1967;17:21-27.
41. Quinn JH, Kent JN. Alveolar ridge maintenance with solid nonporous hydroxylapatite root implants. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:511-521.
42. Rothamel D, Schwarz F, Herten M et al. Kieferkammerveränderungen nach Versorgung frischer Extraktionsalveolen mit poly(lactid-venetzten β -TCP Wurzelreplikaten – eine histomorphometrische Tierstudie. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2007;11:89-97.
43. Rothamel D, Schwarz F, Herten M et al. Dimensional ridge alterations following socket preservation using a nanocrystalline hydroxyapatite paste: a histomorphometrical study in dogs. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008;37:741-747.
44. Rothamel D, Schwarz F, Sager M, Herten M, Sculean A, Becker J. Biodegradation of differently cross-linked collagen membranes: an experimental study in the rat. *Clin Oral Implants Res* 2005;16:369-378.
45. Rothamel D, Schwarz F, Sculean A, Herten M, Scherbaum W, Becker J. Biocompatibility of various collagen membranes in cultures of human PDL fibroblasts and human osteoblast-like cells. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:443-449.
46. Rothamel D, Schwarz F, Stoldt V, Herten M, Kotthaus C, Becker J. In-vitro-Testung der Thrombozytenaggregation an zahnärztlich verwendeten kollagenen Hämostyptika. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2006;10:148-154.
47. Sattayasanskul W, Brook IM, Lamb DJ. Dense hydroxyapatite root replica implantation: measurement of mandibular ridge preservation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1988;3:203-207.
48. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:313-323.
49. Sela MN, Steinberg D, Klinger A, Krausz AA, Kohavi D. Adherence of periodontopathic bacteria to bioabsorbable and non-absorbable barrier membranes in vitro. *Clin Oral Implants Res* 1999;10:445-452.
50. Suhonen JT, Meyer BJ. Polylactic acid (PLA) root replica in ridge maintenance after loss of a vertically fractured incisor. *Endod Dent Traumatol* 1996;12:155-160.
51. Tallgren A. The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: a mixed-longitudinal study covering 25 years. 1972. *J Prosthet Dent* 2003;89:427-435.
52. Tarnow DP, Magner AW, Fletcher P. The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla. *J Periodontol* 1992;63:995-996.
53. Van der Weijden F, Dell'Acqua F, Slot DE. Alveolar bone dimensional changes of post-extraction sockets in humans: a systematic review. *J Clin Periodontol* 2009;36:1048-1058.
54. Wiesen M, Kitzis R. Preservation of the alveolar ridge at implant sites. *Periodontol Clin Investig* 1998;20:17-20.
55. Yang J, Lee HM, Vernino A. Ridge preservation of dentition with severe periodontitis. *Compend Contin Educ Dent* 2000;21:579-583.

