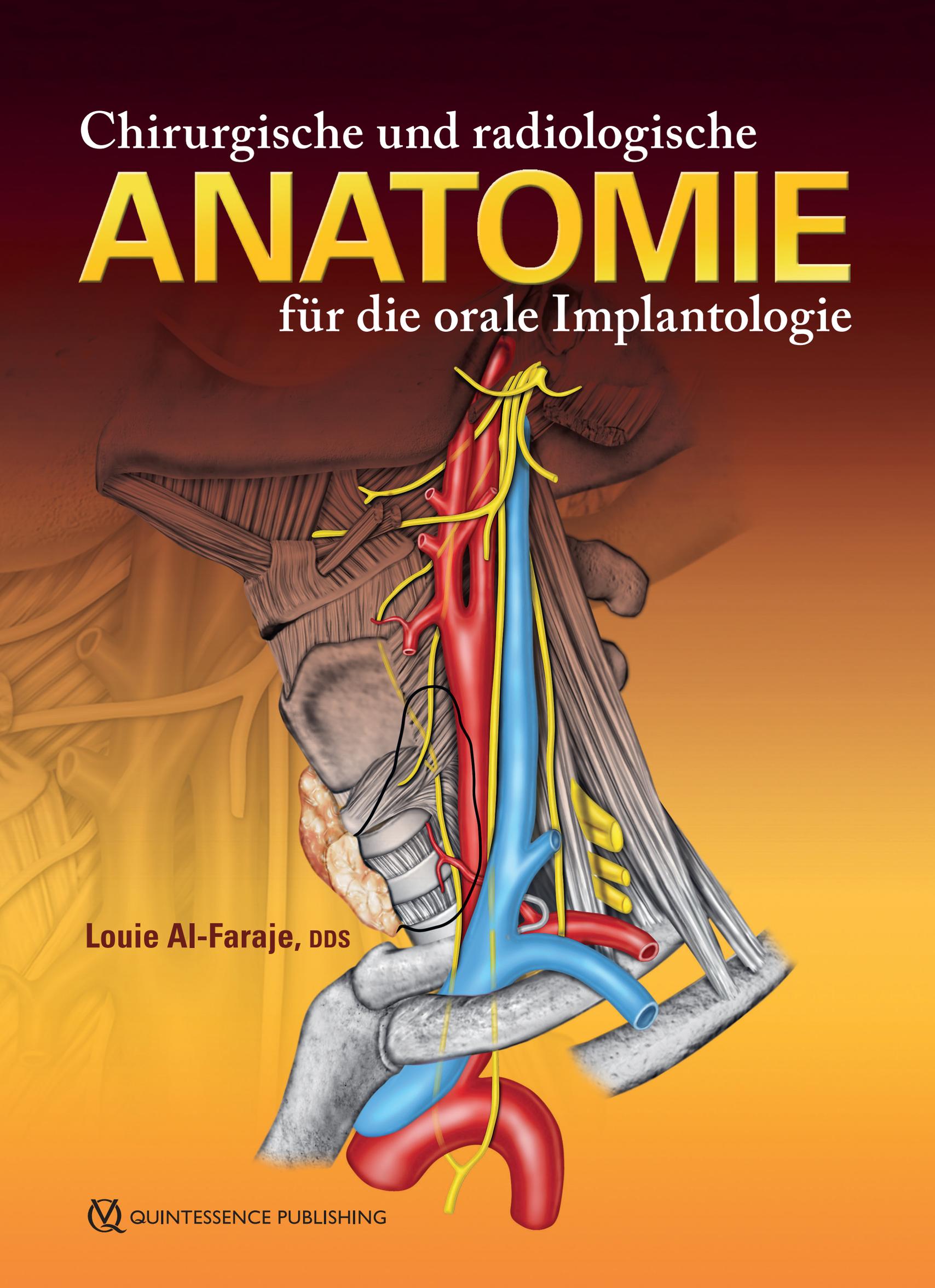
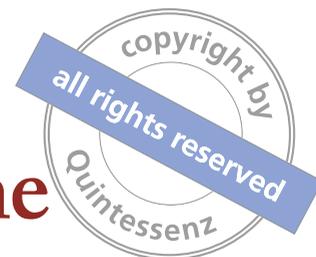


Chirurgische und radiologische  
**ANATOMIE**  
für die orale Implantologie

**Louie Al-Faraje, DDS**





# Chirurgische und radiologische **ANATOMIE** für die orale Implantologie

**Louie Al-Faraje, DDS**

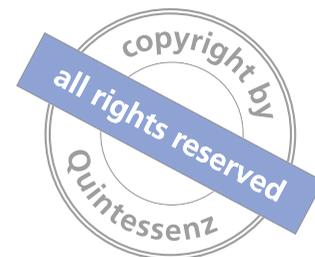
Founder and Director  
California Implant Institute  
San Diego, Kalifornien

**Mit Beiträgen von**

Christopher Church, MD  
Arthur Rathburn, LFD

 **QUINTESSENCE PUBLISHING**

Berlin | Barcelona | Chicago | Istanbul | London | Mailand |  
Mexiko-Stadt | Moskau | Paris | Prag | Seoul | Tokio | Warschau



**Titel der Originalausgabe:**

Surgical and radiologic anatomy for oral implantology / Louie Al-Faraje.  
© 2013 Quintessence Publishing Co, Inc

**Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.



Postfach 42 04 52; D-12064 Berlin  
Ifenpfad 2-4, D-12107 Berlin

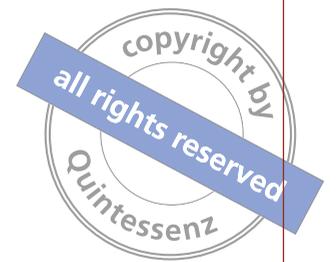
Copyright © 2018 Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Übersetzung: Dr. Sibylle Tönjes, Kiel  
Lektorat: Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin  
Herstellung: Janina Kuhn, Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin

ISBN: 978-3-86867-403-3

Printed and bound in Croatia by Grafički zavod Hrvatske d.o.o., Zagreb



# An die anonymen Spender

Wir sind den sechs anonymen verstorbenen Spendern, aus deren Körpern die in diesem Buch abgebildeten Präparate stammen, zu großem Dank verpflichtet und gedenken ihrer mit Hochachtung. Sie haben das Grundlagenwissen über die menschliche Anatomie durch ihre Spende an die Wissenschaft bereichert, wovon die Studenten und die auf dem Gebiet der oralen Implantologie tätigen Ärzte profitieren. Auch weitere Generationen können auf diesem Basiswissen aufbauen.

Ich habe alles in meiner Macht stehende getan, um die Würde dieser Menschen zu erhalten, zu schützen und zu wahren. Wir kannten sie zu Lebzeiten nicht, sondern untersuchten sie nach ihrem Tod. Wer auch immer sie waren – wir würdigen ihre Überreste und halten ihr Geschenk in Ehren.

Diesen sechs Menschen möchten wir von ganzem Herzen danken.

# Inhalt



Widmung *viii*  
Mitautoren *x*  
Vorwort *xi*  
Danksagungen *xii*

- [1] Arterien, Venen und Innervation von Maxilla und Mandibula 1**  
A. carotis externa 2  
A. maxillaris 4  
Fossa pterygopalatina 6  
Kopfvenen 12  
N. trigeminus 14
- [2] Mimische Muskulatur und Kaumuskulatur 21**  
Mimische Muskulatur 22  
Kaumuskulatur 28
- [3] Oberer Seitenzahnbereich 35**  
Foramen palatinum minor und majus 36  
A. palatina major und N. palatinus major 38  
Sinus maxillaris 42  
Corpus adiposum buccae 80
- [4] Oberer Frontzahnbereich 97**  
Die Nasenhöhle 98  
Foramen infraorbitale 112  
Foramen incisivum und Canalis incisivus 114  
Unzureichendes Knochenangebot im oberen Frontzahnbereich 118

- [5] Unterer Seitenzahnbereich 125**  
Ramus mandibulae 126  
N. lingualis 138  
Canalis mandibulae und N. alveolaris inferior 144  
Fossa submandibularis 147  
Unzureichendes Knochenangebot im unteren Seitenzahnbereich 152  
Klinisches Management von Alveolarkammdefekten des Unterkiefers 153
- [6] Unterer Frontzahnbereich 169**  
Foramen mentale/N. mentalis und seine mesiale Schlinge 170  
Canalis incisivus mandibulae 178  
Akzessorische linguale Foramina der Mandibula 184  
Entnahme eines Knochenblocks aus dem unteren Frontzahnbereich 192  
Unzureichendes Knochenvolumen im unteren Frontzahnbereich 193
- [7] Knochendichte und angrenzende Zähne 203**  
Knochendichte 204  
Angrenzende Zähne/Wurzeln 210  
Schlussfolgerung 212
- [8] Anatomie bei chirurgischen Notfällen 215**  
Intraoperative Blutung 216  
Mundbodenblutung 222  
Koniotomie 228
- [9] Topografische Anatomie von Maxilla und Mandibula 233**
- [10] Venenpunktion 239**  
Anatomie des systemischen Blutkreislaufs 240  
Arterien und Venen der oberen Extremität 243  
Physiologie der Venen 248

# Widmung



Dieses Buch ist Ala-al-din abu Al-Hassan Ali ibn Abi-Hazm al-Qarshi al-Dimashqi gewidmet, der als Ibn an-Nafis bekannt ist.

Ibn an-Nafis war ein arabischer Arzt, auf den die Erstbeschreibung des Lungenkreislaufs zurückgeht. Er wurde 1213 in Damaskus geboren und besuchte das Medizinische Lehrkrankenhaus (Bimaristan Al-Noori) in Damaskus. Abgesehen von der Medizin studierte Ibn an-Nafis Rechtswissenschaften, Literatur und Theologie. Er wurde ein Experte an der Shafi'i-Rechtsschule und ein ausgezeichnete Arzt.

Im Jahr 1236 zog An-Nafis nach Ägypten. Dort war er erst am Al-Nassri-Hospital und dann als Chefarzt am Al-Mansouri-Hospital tätig. Nach seinem Tod im Jahr 1288 vermachte er sein Haus, seine Bibliothek und seine Klinik dem Mansuriya-Hospital.

## Entdeckung des Lungenkreislaufs

Vor der neuen Erkenntnis von An-Nafis war allgemein die Theorie von Galen aus dem 2. Jahrhundert gültig. Gemäß dieser Theorie fließt das in der rechten Herzseite ankommende Blut durch unsichtbare Poren in der Herzscheidewand zur linken Herzseite. Dort wird es mit Luft vermischt, um die Lebenskraft zu erzeugen und dann im Körper verteilt. Nach Galens Theorie waren das venöse und das arterielle System voneinander getrennt und hatten nur über jene Poren Kontakt miteinander.

An-Nafis stellte aufgrund seiner anatomischen Kenntnisse fest:

Das Blut aus der rechten Herzkammer gelangt irgendwie zur linken Herzkammer, obwohl es zwischen diesen beiden Kammern keine direkte Verbindung gibt. Die dicke Herzscheidewand ist nicht perforiert und weist weder wie von manchen behauptet sichtbare Poren auf, noch wie von Galen behauptet unsichtbare Poren. Das Blut aus der rechten Herzkammer fließt durch die arterielle Vene (A. pulmonalis) in die Lunge, wird dort verteilt und mit Luft vermischt, fließt durch die venöse Arterie (V. pulmonalis) zur linken Herzkammer, wo sich der Lebensgeist bildet.

An anderer Stelle seines Buches schreibt er:

Das Herz besitzt nur zwei Ventrikel ... und zwischen diesen gibt es überhaupt keinen Durchlass. Außerdem widerlegt die Dissektion diese Lüge, da das Septum zwischen den beiden Ventrikeln weitaus dicker ist als sonst. Das Blut (aus dem rechten Ventrikel) fließt in die Lunge, vermischt sich mit der dort vorhandenen Luft, gelangt durch die venöse Arterie zum linken der beiden Ventrikel, wo aus dieser Mischung der Lebensgeist erzeugt wird.

Bei der Beschreibung der Lungenanatomie stellte An-Nafis fest:

Die Lunge besteht aus mehreren Teilen. Dazu gehören die Bronchien, die Äste der arteriellen Vene und die Äste der venösen Arterie, die jeweils durch lockeres poröses Fleisch miteinander verbunden sind.

Er fügte hinzu:

Die arterielle Vene muss das verdünnte und im Herzen angewärmte Blut in die Lunge transportieren, damit sich das Blut, das durch die Poren in den Ästen dieses Gefäßes in die Lungenalveolen sickert, mit der dort vorhandenen Luft vermischen und kombinieren kann. Die so entstandene Mischung wird bei der Vermengung im linken Ventrikel zum Lebensgeist. Die Mischung gelangt durch die venöse Arterie zur linken Kammer.

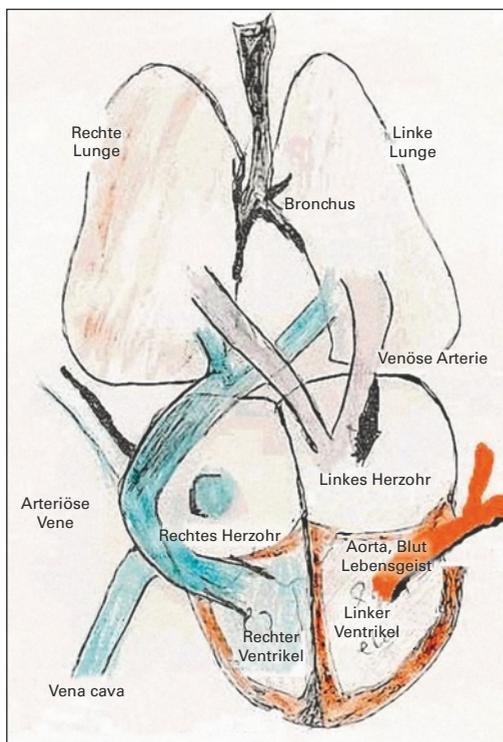
An-Nafis stellte zudem fest, dass aus den Koronararterien Nährstoffe für das Herz extrahiert werden:

Auch seine (Avicennas) Behauptung, wonach das Blut in der rechten Herzhälfte dazu da ist, das Herz mit Nährstoffen zu versorgen, stimmt in keiner Weise. Die Nährstoffversorgung des Herzens erfolgt aus dem Blut, das durch die Gefäße fließt, die den Herzkörper durchdringen.

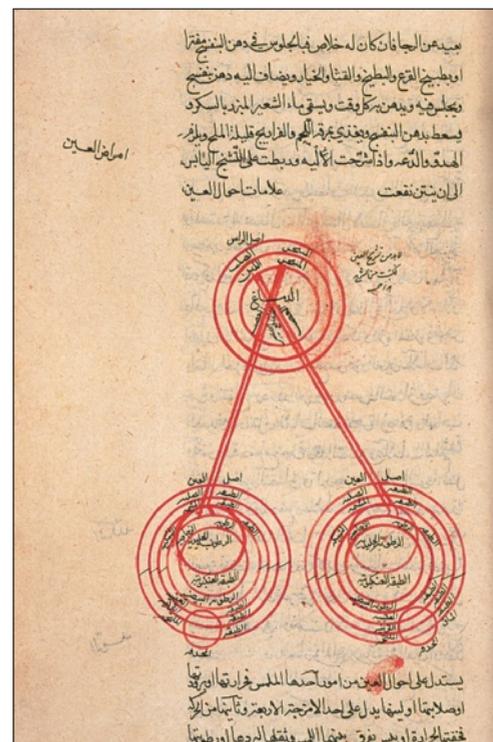
## Schriften

Das umfangreichste seiner Werke ist Al-Shamil fi al-Tibb, das als Enzyklopädie mit 300 Bänden geplant war, von ihm aber vor seinem Tod nicht fertiggestellt werden konnte. Das Manuskript kann in Damaskus eingesehen werden.

Sein Buch über die Ophthalmologie ist überwiegend ein Originalbeitrag. Sein berühmtestes Buch ist Mujaz al-Qanun (Zusammenfassung des Gesetzes). Ein weiteres berühmtes Buch mit Originalbeiträgen von ihm, Kitab al-Mukhtar fi al-Aghdhiya, befasst sich mit dem Einfluss der Ernährung auf die Gesundheit.



Der Lungenkreislauf gemäß Ibn an-Nafis.



Eine Seite aus dem Ophthalmologiebuch von Ibn an-Nafis.

# Mitautoren

---



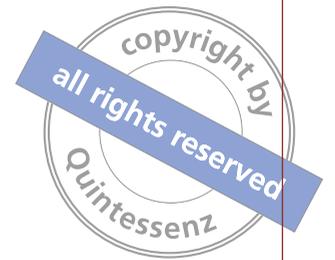
**Christopher Church, MD**  
Director  
Loma Linda Sinus and Allergy Center

Associate Professor  
Department of Otolaryngology – Head and Neck Surgery  
Loma Linda University School of Medicine  
Loma Linda, Kalifornien

**Arthur Rathburn, LFD**  
Clinical Director  
Department of BioMedical Sciences  
International Biological Inc  
Grosse Pointe Park, Michigan

# Vorwort

---



Dem Zahnmediziner stehen zahlreiche ausgezeichnete anatomische Atlanten und Lehrbücher zur Verfügung, die aber die intraoperativ für Implantologen relevanten anatomischen Strukturen wegen der unzähligen winzigen Details oft nicht ausreichend darstellen.

Das vorliegende Buch soll in gut lesbarer und informativer Form ausreichendes anatomisches Material bereitstellen. Bei der Festlegung dessen, was relevant ist, habe ich mich auf meine Erfahrungen als Arzt und Lehrer gestützt. Der primäre Fokus liegt auf der klinischen Relevanz für die Implantologie, sodass vielleicht das eine oder andere fehlt, aber auf keinen Fall absichtlich unterschlagen wurde. Ich habe mich bemüht, die Informationen in einer möglichst logischen Abfolge zu liefern.

Die Abbildungen in diesem Buch wurden durch sehr engagierte Zeichner in Zusammenarbeit mit mir angefertigt. Manche der anatomischen Landmarken lassen sich jedoch zeichnerisch nur schwer darstellen, was für Ärzte und Studenten oft verwirrend ist, wenn sie bei der Dissektion im Anatomiesaal oder im Operationssaal mit einem echten Situs konfrontiert werden. Daher enthält das Buch auch Fotografien von ausgewählten klinischen Fällen und präparierten Strukturen von Ober- und Unterkiefer sowie Nasenhöhle, welche die Anatomie so zeigen, wie sie beim Lebenden oder Toten vorhanden ist. Ich hoffe, dass sie die gelegentlich zwischen Lehrbüchern und Realität klaffende Lücke überbrücken können.

Darüber hinaus steht den oralen Implantologen heute die digitale Volumentomografie (DVT) zur Verfügung. In diesem Buch finden sich mehrere DVT-Aufnahmen der anatomischen Landmarken, die der zweidimensionalen Bildgebung (z. B. Panoramaaufnahmen, intraorale und zephalometrische Röntgenaufnahmen) normalerweise entgehen. Ich empfehle die Durchführung der DVT vor jeder implantologischen Operation. Sie ermöglicht auf eine nie zuvor dagewesene Weise die Darstellung der Anatomie und Pathologie des Patienten. Anhand der Bilder lässt sich das für die Implantation unter oder über bestimmten anatomischen Landmarken verfügbare Volumen ebenso exakt ermitteln wie Knochendichte und Alveolarkambbreite, um daraus die besten Implantatpositionen abzuleiten. Dadurch wird nicht nur die Planung verbessert, sondern es werden neben der Morbidität auch die Haftungsansprüche reduziert.

Ich hoffe sehr, dass die Zeichnungen, DVT-Bilder, Fotografien und Erörterungen das Erlernen und Durchführen von implantologischen Operationen erleichtern werden, da in diesem Körperbereich mit besonderen topografischen und anatomischen Schwierigkeiten zu rechnen ist.

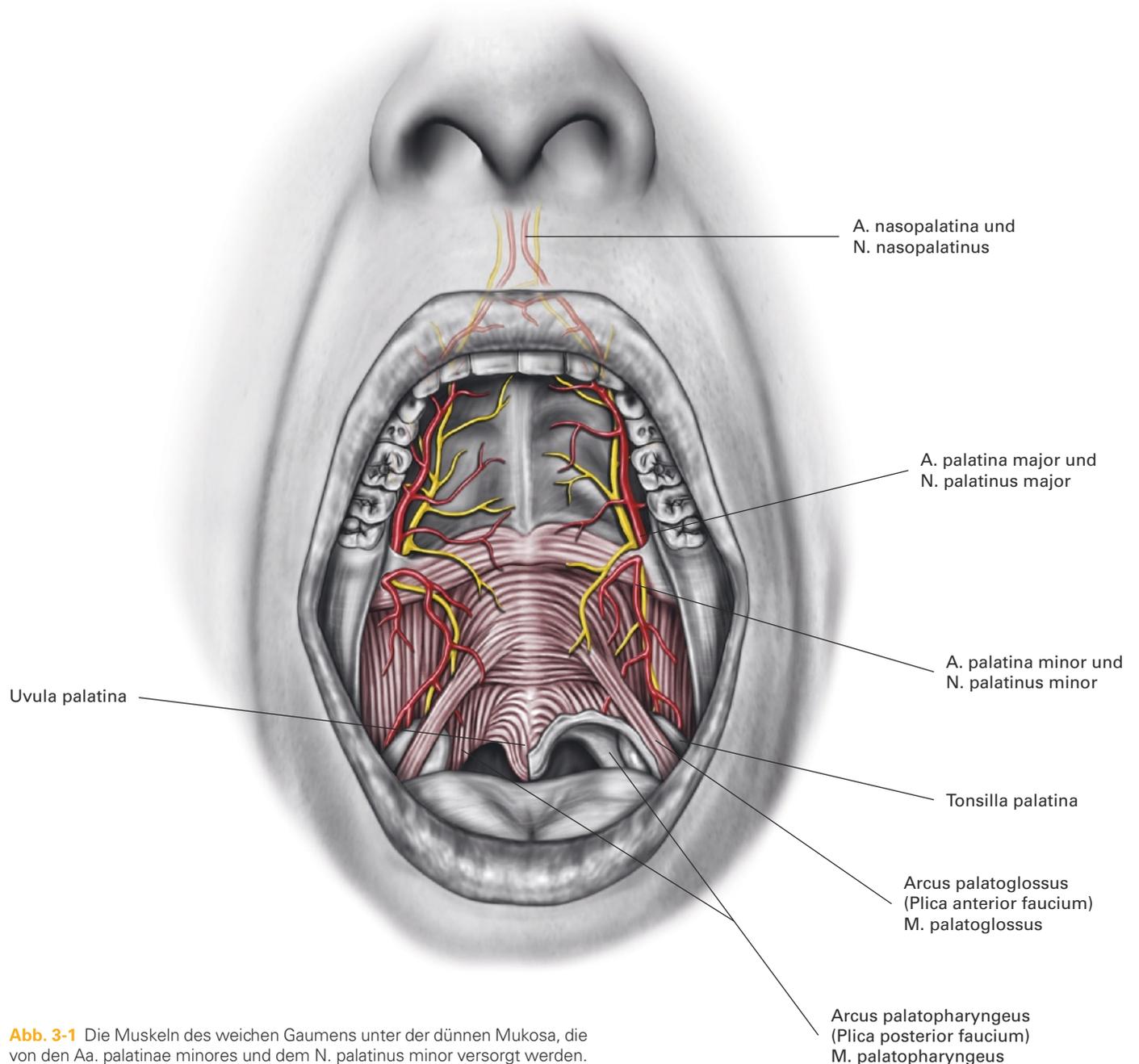
# Oberer Seitenzahnbereich

Die bei Implantationen im oberen Seitenzahnbereich wichtigen anatomischen Landmarken sind das Foramen palatinum minor und majus, die A. palatina major und der N. palatinus major, der Sinus maxillaris und das Corpus adiposum buccae. Außerdem wird in diesem Kapitel auf die anatomischen Äquivalente verschiedener Knochenresorptionsmuster im oberen Seitenzahnbereich und die jeweils angemessene Behandlungsplanung eingegangen.

## Foramen palatinum minor und majus

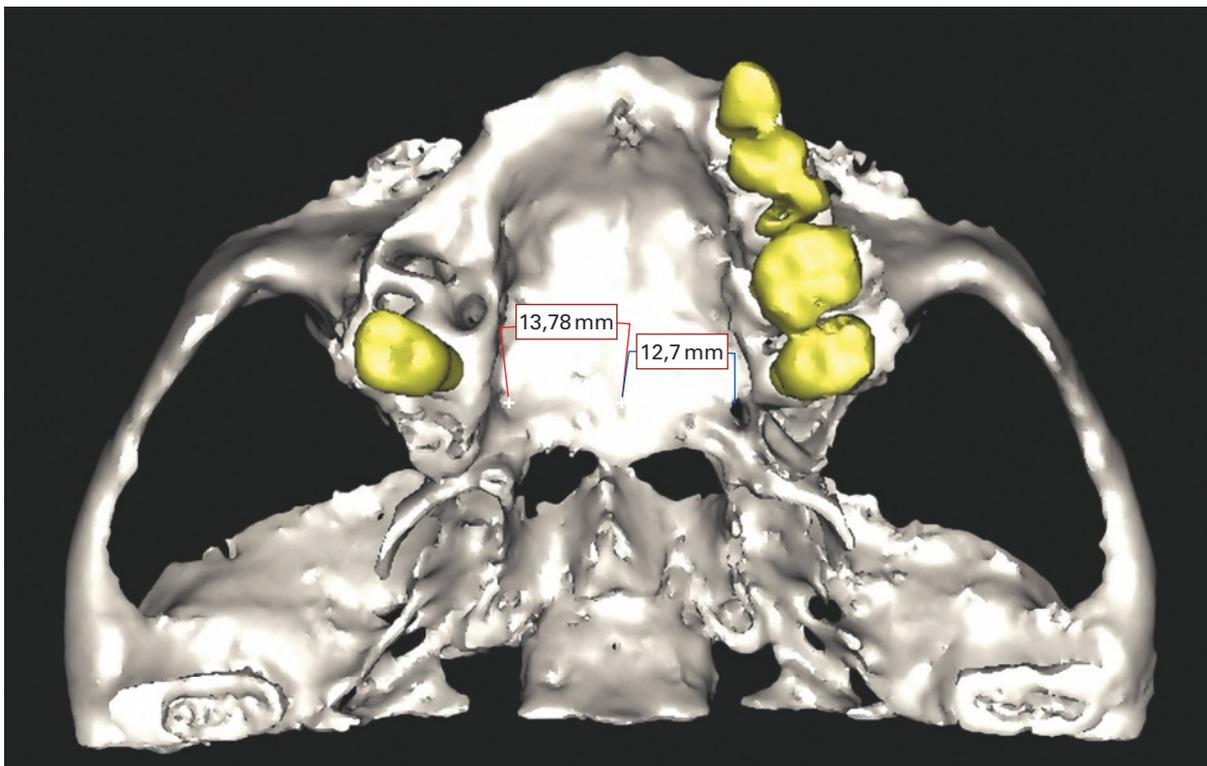


A. und N. maxillaris treten etwa 16,6 mm superior des Nasenbodens in die Fissura pterygomaxillaris ein und verlaufen weiter zur Fossa pterygopalatina. Dort verzweigt sich die Arterie in die A. alveolaris superior posterior, die A. infraorbitalis und die A. palatina descendens. Die A. infraorbitalis verzweigt sich nach dem Austritt aus dem Foramen infraorbitale oft in mehrere Aa. alveolares superiores anteriores. Die A. palatina descendens verläuft für kurze Zeit in der Fossa pterygopalatina und tritt dann in den Canalis palatinus major ein. Sie verläuft etwa 10 mm in diesem Kanal nach inferior, anterior und leicht medial und tritt dann direkt gegenüber oder sogar distal des oberen 3. Molaren oder zwischen dem 2. und 3. Molaren am Foramen palatinum major nach anterior aus. Im Canalis palatinus major gibt sie Aa. palatinae minores zum weichen Gaumen und zu den Tonsillen ab (Abb. 3-1).



**Abb. 3-1** Die Muskeln des weichen Gaumens unter der dünnen Mukosa, die von den Aa. palatinae minores und dem N. palatinus minor versorgt werden. A. = Arteria, M. = Musculus, N. = Nervus.

Normalerweise sind die beiden Schädelhälften identisch. Es gibt zahlreiche Studien<sup>1-4</sup> zum mittleren Abstand zwischen dem Foramen palatinum majus und der Sutura palatina mediana oder dem posterioren Gaumenrand. Diese Angaben können jedoch im Einzelfall wegen der Lagevariationen des Foramen palatinum major unzutreffend sein. Erst die Betrachtung dreidimensionaler Computertomografien des Patienten zeigt präoperativ die präzise Lage des Foramen zur Planung von Anästhesie und Lappenmobilisation in diesem Bereich (Abb. 3-2).

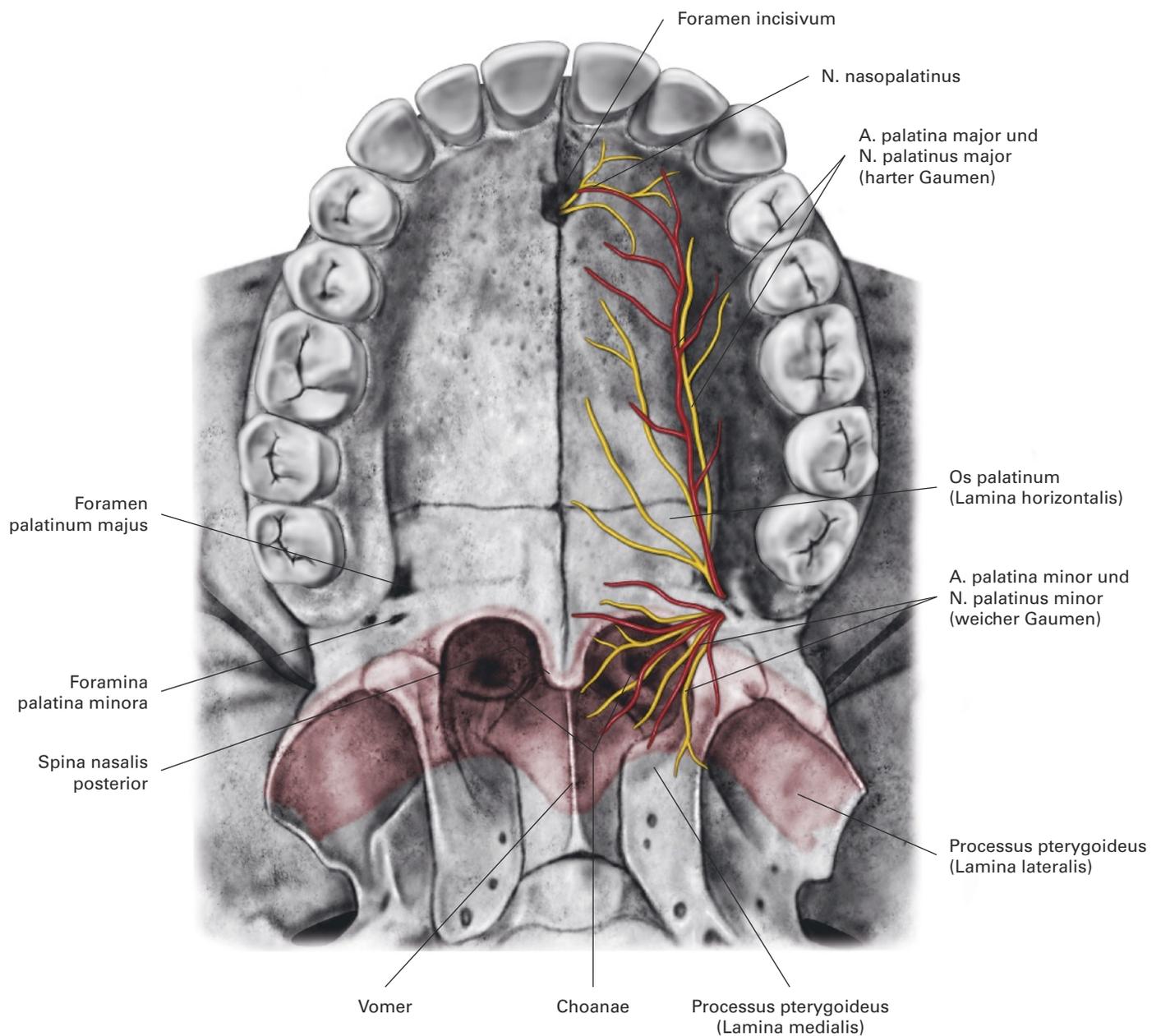


**Abb. 3-2** Das dreidimensionale CT zeigt die Lage des Foramen palatinum majus/der Nerven und den Abstand zwischen beiden und der Mittellinie des Gaumens sowie ihre Beziehung zu den Molaren.

## A. palatina major und N. palatinus major



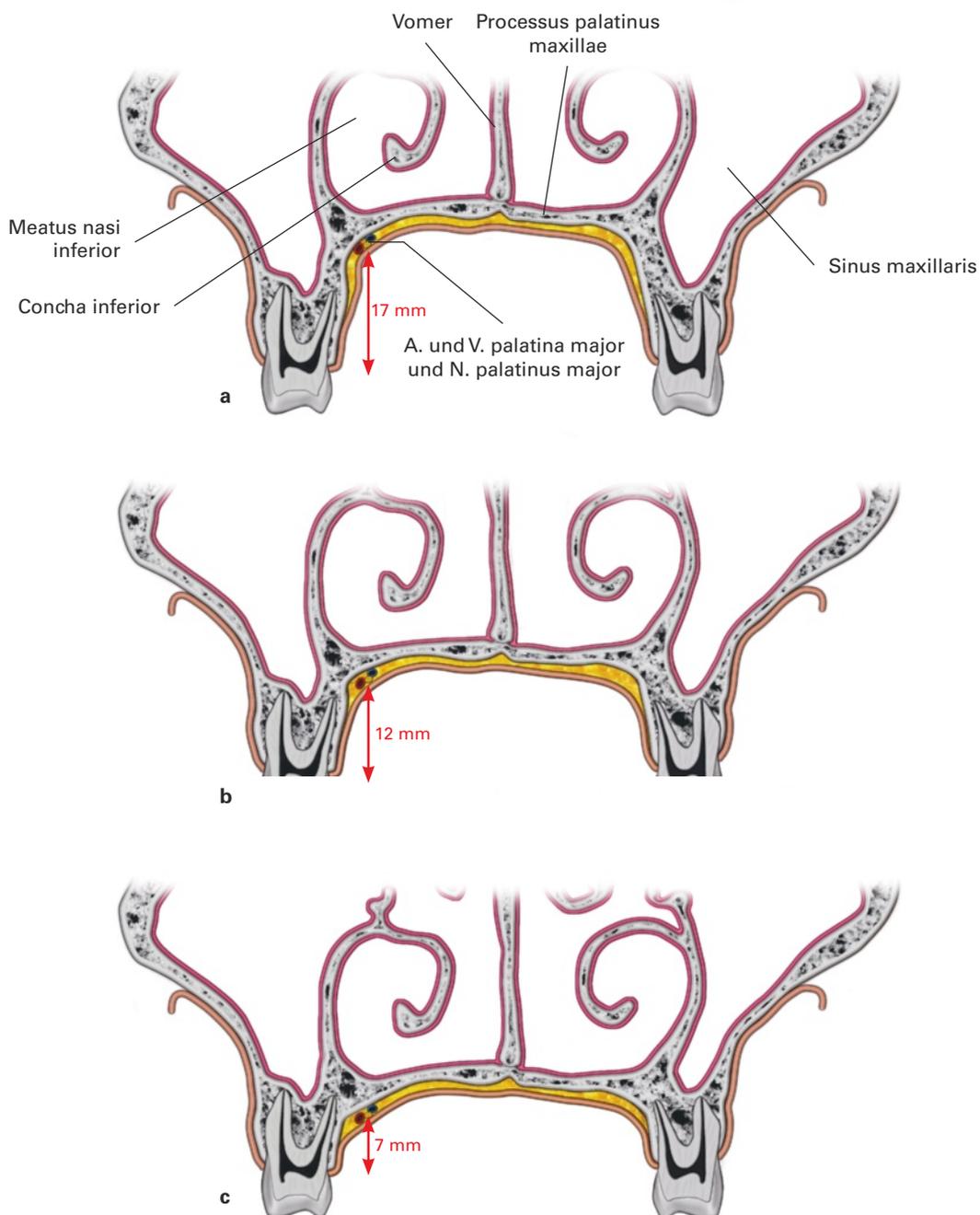
Nach dem Durchtritt durch das Foramen palatinum majus verlaufen die A. palatina major und der N. palatinus major über den harten Gaumen zum Foramen incisivum und treten in die Nasenhöhle ein. Dort anastomosiert die Arterie auf dem Septum mit der A. sphenopalatina (Abb. 3-3). Die A. sphenopalatina ist der Endast der A. maxillaris und zieht durch das Foramen sphenopalatinum zur lateralen Nasenwand und zum Nasenseptum (s. Kap. 4). Sie erreicht diese Bereiche über die Aa. nasales posteriores laterales und die Rr. septales posteriores (nach dem Überkreuzen des Nasenhöhlendachs).



**Abb. 3-3** Verlauf der A. palatina major und des N. palatinus major auf der Oberfläche des harten Gaumens. A. = Arteria, N. = Nervus.

## Bedeutung für die Oralchirurgie

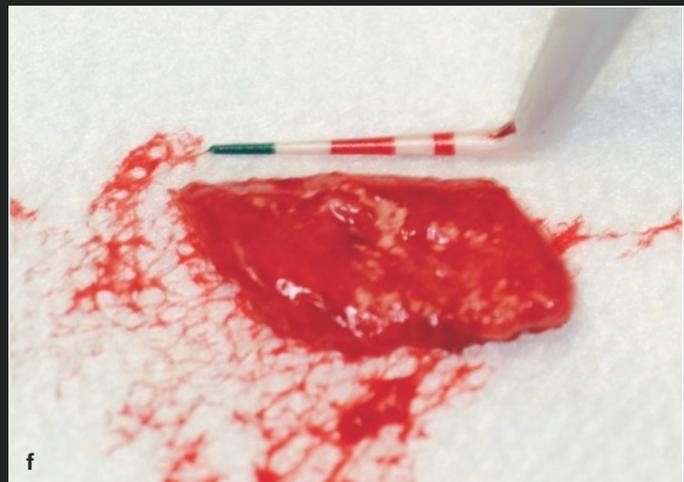
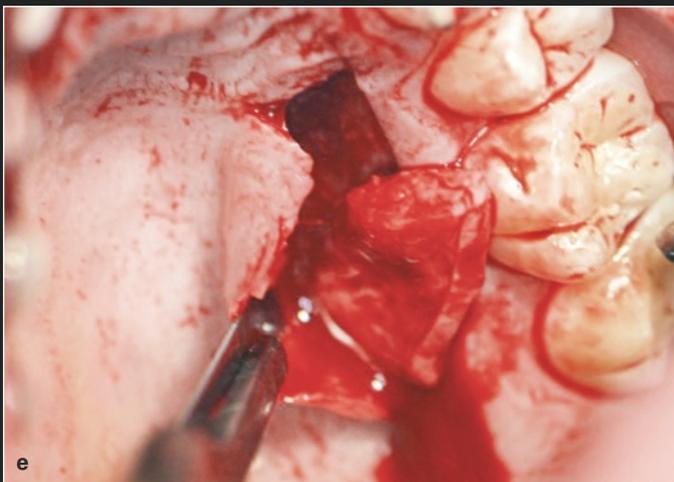
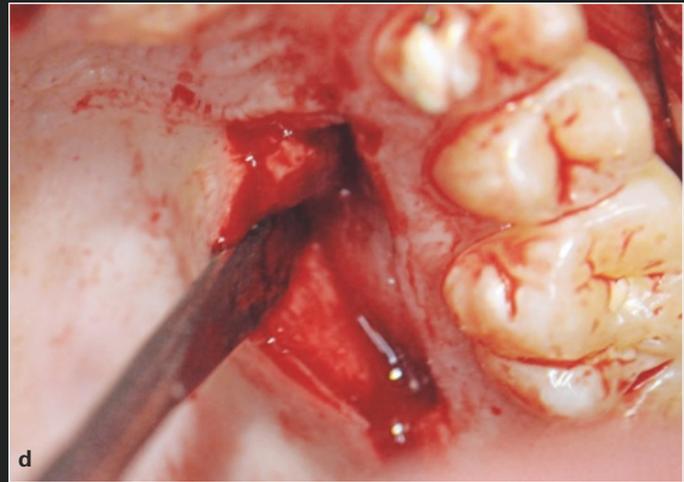
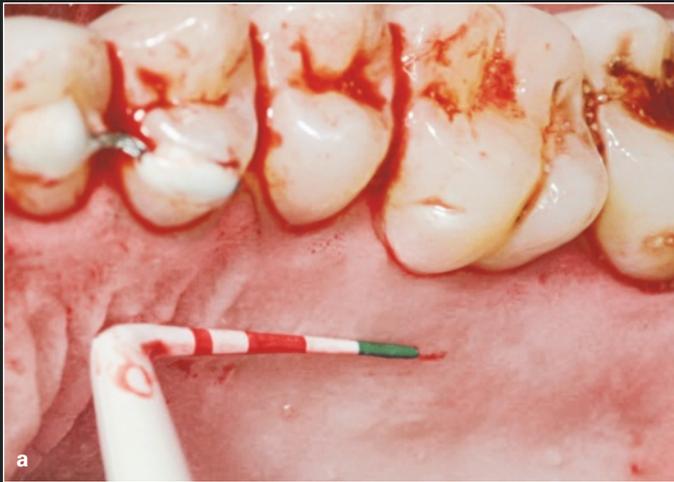
Bei der Anlage und Mobilisierung eines Lappens in der Nähe der A. palatina major (z. B. zur Entnahme eines Bindegewebstransplantats<sup>5-7</sup> und zum Verschluss einer oroantralen Fistel) sollte ein Sicherheitsabstand zur Arterie eingehalten werden. Die Spitze des Periost-Elevatoriums sollte während der gesamten Zeit Knochenkontakt haben, um Verletzungen der Arterie und damit eine Weichgewebnekrose zu verhindern. Die Dimensionen des Transplantats, das sicher am Gaumen entnommen werden kann, hängen von Größe und Form des Gaumengewölbes ab. In einer Studie zeigten Reiser et al.<sup>8</sup>, dass A. und V. palatina major und N. palatinus major bei Patienten mit hohem Gaumengewölbe in einer Entfernung von 17 mm vom Gingivasaum, bei Patienten mit mittelhohem Gaumengewölbe im Abstand von 12 mm und bei Patienten mit flachem Gaumengewölbe im Abstand von 7 mm verlaufen (Abb. 3-4). Außerdem befinden sich A. und V. palatina major und N. palatinus major am Übergang zwischen der Lamina perpendicularis und der Lamina horizontalis des Os palatinum. Bei den meisten Patienten ohne Parodontalerkrankung kann ein Bindegewebstransplantat mit einer Dicke von bis zu 8 mm entnommen werden.<sup>9</sup>



**Abb. 3-4** (a-c) Abstand zwischen A. palatina major und N. palatinus major an der Oberfläche des harten Gaumens und dem freien Gingivasaum (siehe Text). A. = Arteria, N. = Nervus, V. = Vena.

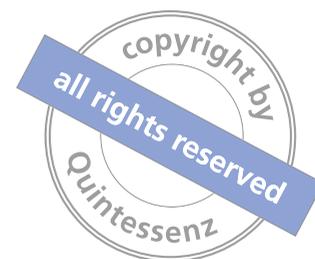
Abbildung 3-5 zeigt das Verfahren zur Entnahme eines Bindegewebs-Transplantats aus dem Gaumen. Die empfohlene Entnahmestelle befindet sich in dem Bereich zwischen der distalen Seite des Eckzahns und der distalen Seite des 1. Molaren. Zuvor muss eine ausreichende Dicke sichergestellt sein (3–4 mm), damit es nach der Entnahme nicht zu einer Nekrose kommt (Abb. 3-5a).

Zunächst wird 5 mm vom Gingivasaum entfernt mit einem 15C-Skalpell eine gerade verlaufende Teilschichtinzision durchgeführt. (Um die spätere Heilung sicherzustellen, muss der Primärlappen mindestens 1,5 mm dick sein.) Dann erfolgt 1–2 mm koronal der primären Inzision eine zweite Inzision bis hinab zum Knochen (Abb. 3-5b). Mesiodistal werden vertikale Inzisionen mit einer Länge von 5–10 mm gemacht. Die Länge der horizontalen und vertikalen Inzisionen richtet sich nach der erforderlichen Länge und Breite des Transplantats und der Größe des Transplantatbetts (s. Abb. 3-4). Der Rand des Primärlappens wird mit einer Klemme gefasst und das palatinale Bindegewebe exponiert. Das Skalpell wird parallel zum palatinalen Weichgewebe bis zur Gaumenmitte vorgeschoben, ohne den Lappen zu perforieren (Abb. 3-5c). Dann wird mit einem kleinen Periost-Elevatorium vorsichtig ein Vollschichttransplantat mit Periost und Bindegewebe vom Knochen mobilisiert (Abb. 3-5d). Anschließend wird das Bindegewebs-Transplantat an seiner Basis mit dem 15C-Skalpell eingeschnitten und von der Knochenfläche getrennt (Abb. 3-5e). Am Transplantatrand verbleibt ein 1–2 mm breites Epithel. Die Form des Transplantats wird an das Empfängerbett angepasst (Abb. 3-5f). Anschließend werden Entnahmestelle und Transplantatbett mit Naht verschlossen.



**Abb. 3-5** Vorgehen bei der Entnahme eines Bindegewebstransplantats aus dem Gaumen. (a) Die Entnahmestelle für das Bindegewebstransplantat wird abhängig davon gewählt, wie groß das geplante Transplantatbett ist. (b) Zunächst wird 5 mm vom Gingivaum entfernt eine gerade Teilschichtinzision durchgeführt, dann 1–2 mm koronal der primären Inzision eine zweite Inzision. (c) Der Rand des Primärlappens wird mit einer Klemme gefasst und ein Skalpell parallel zum palatinalen Weichgewebe bis zur Gaumenmitte vorgeschoben. (d) Ein Vollschichttransplantat mit Periost und Bindegewebe wird vom Knochen mobilisiert. (e) Das Bindegewebstransplantat wird an seiner Basis eingeschnitten und von der Knochenfläche getrennt. (f) Nachdem es zugeschnitten wurde, ist das Transplantat zum Einsetzen bereit.

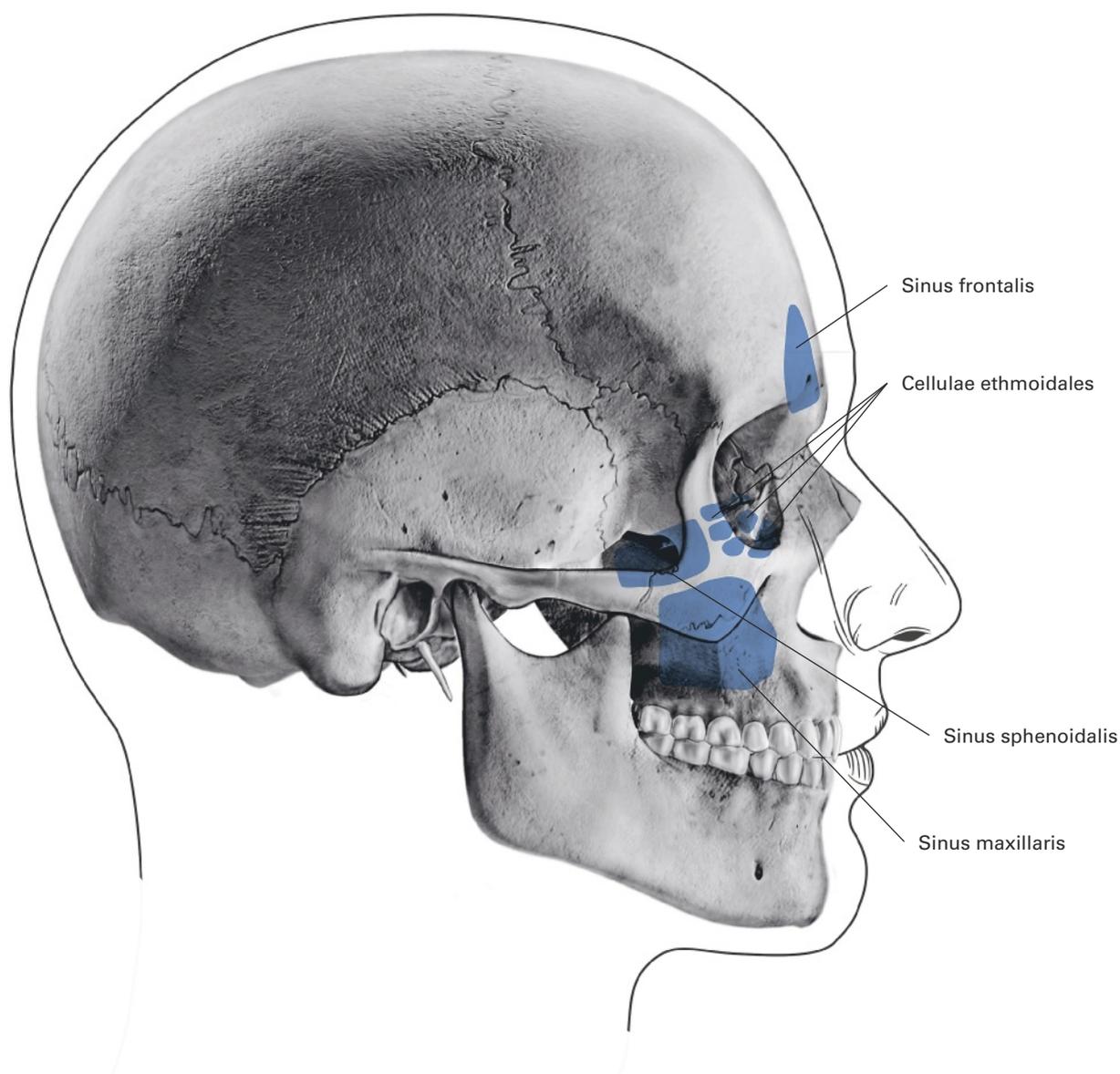
# Sinus maxillaris



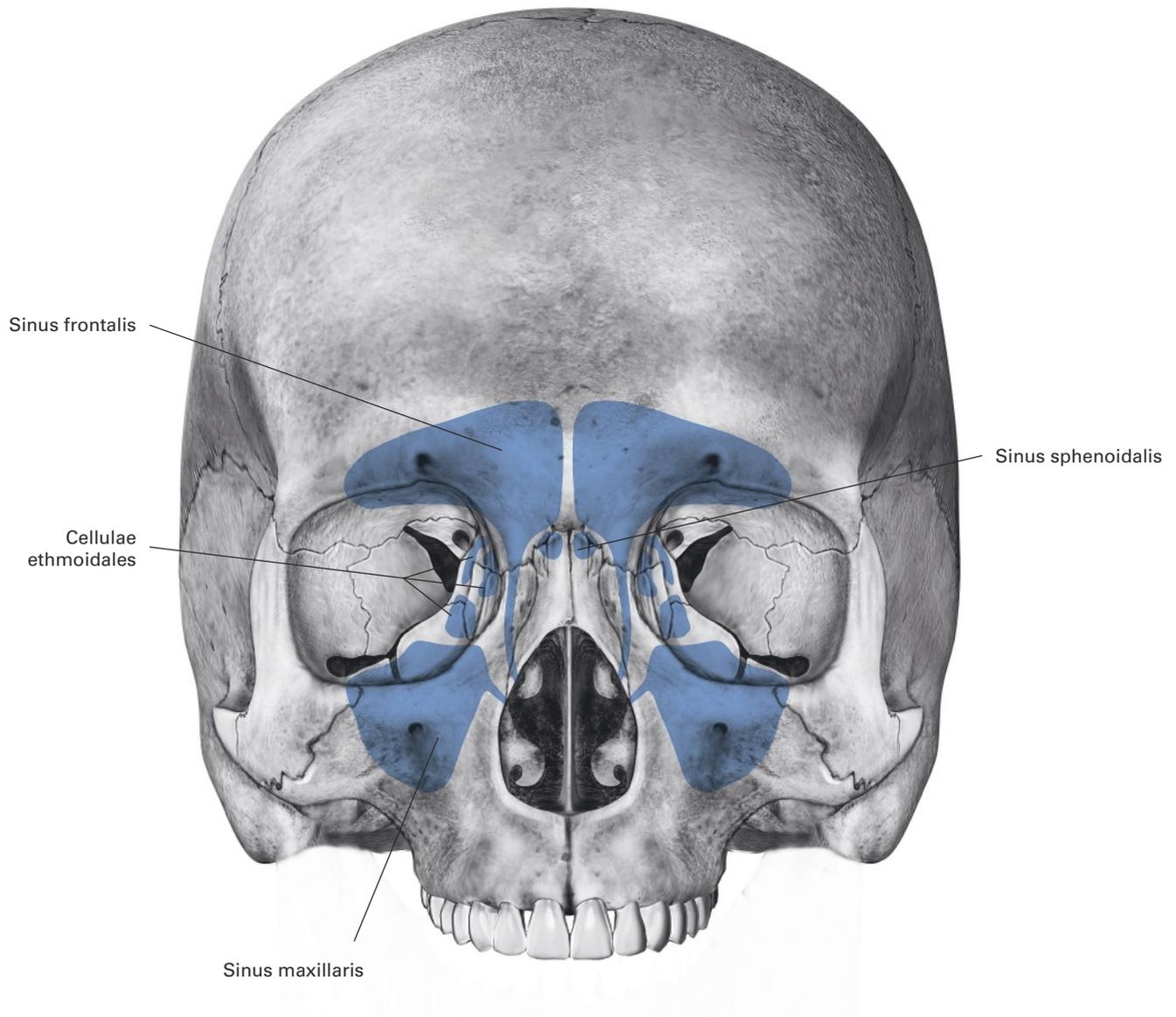
## Entwicklung

Es gibt vier paarige Nebenhöhlen: Sinus frontalis, Sinus ethmoidalis, Sinus sphenoidalis und Sinus maxillaris (Abb. 3-6). Davon ist nur der Sinus maxillaris von signifikantem Interesse für den implantologisch tätigen Chirurgen.

Der Sinus maxillaris ist die erste Nebenhöhle, die während der embryologischen Entwicklung etwa ab der 10. Gestationswoche entsteht.<sup>10</sup> Die Höhle dehnt sich bis zum 5. Entwicklungsmonat bis in die Maxilla aus und pneumatisiert bei der Geburt. Die Sinus maxillares des Neugeborenen sind etwa  $8 \times 4 \times 4$  mm groß und dehnen sich während des ersten Lebensjahres rasch aus, sodass sie im Alter von 12 Monaten in der Regel lateral bis zum N. infraorbitalis reichen. Die Sinus wachsen während der gesamten Kindheit und erreichen etwa im Alter von 12–14 Jahren die adulte Größe.<sup>11</sup> Bei der Eruption der Milchzähne und des permanenten Gebisses und dem entsprechenden Wachstum der Alveolarfortsätze kommt es jeweils zu einer rascheren Expansion.<sup>12</sup>



**Abb. 3-6a** Die vier paarigen Nasennebenhöhlen, Ansicht von lateral.



**Abb. 3-6b** Die vier paarigen Nasennebenhöhlen, Ansicht von frontal.

Bei Kindern besteht ein erheblicher Abstand zwischen dem Sinusboden und den Apices der Oberkieferzähne. Im Alter von 12 Jahren befindet sich der Sinusboden für gewöhnlich auf Höhe des Nasenbodens. Oft dehnt sich der Sinus weiter nach inferior aus<sup>13</sup> (Abb. 3-7), häufig begleitend zu anderen dentalen Ereignissen, wie der Eruption der Weisheitszähne oder der Extraktion oder dem Verlust von oberen Molaren.

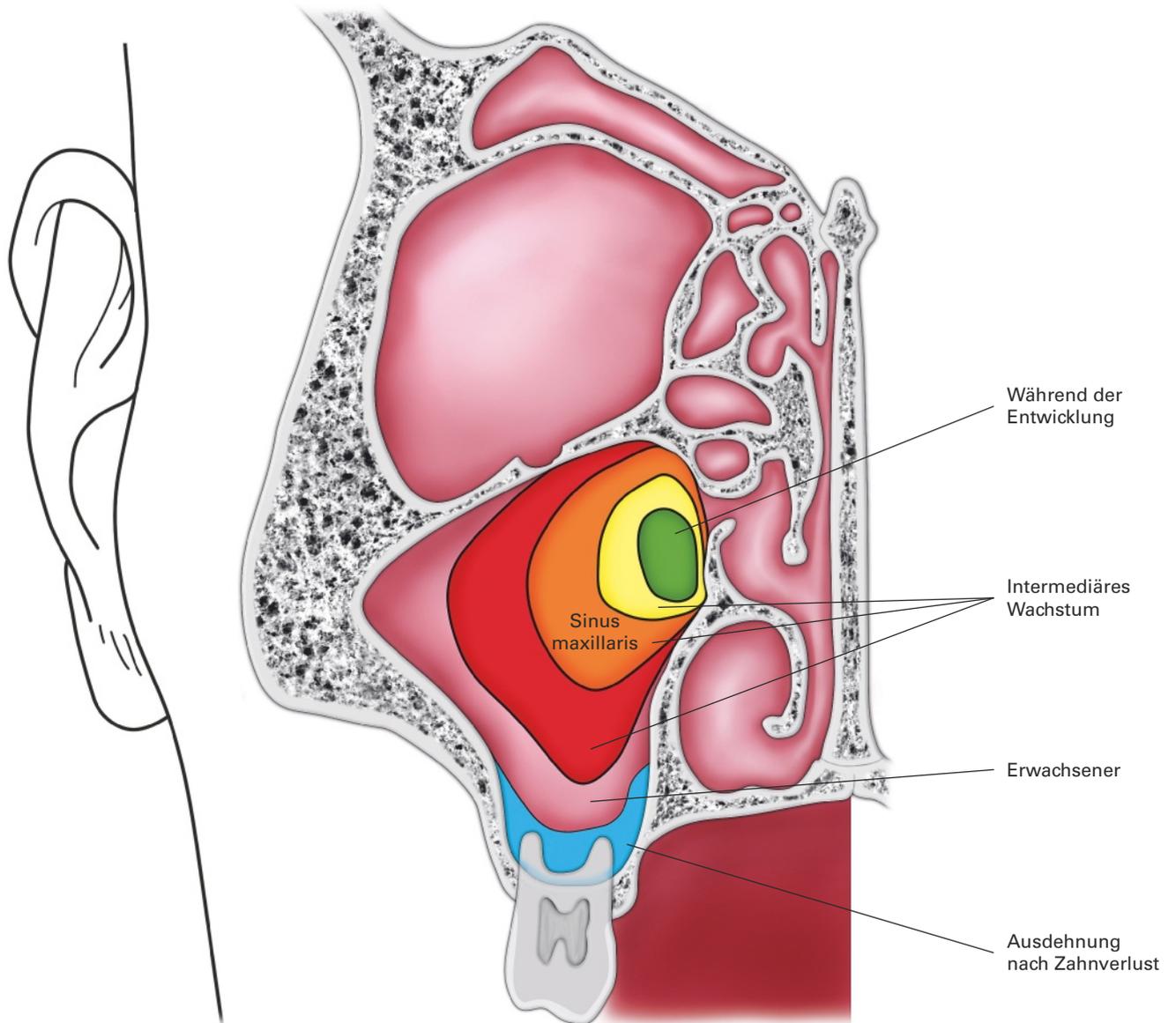
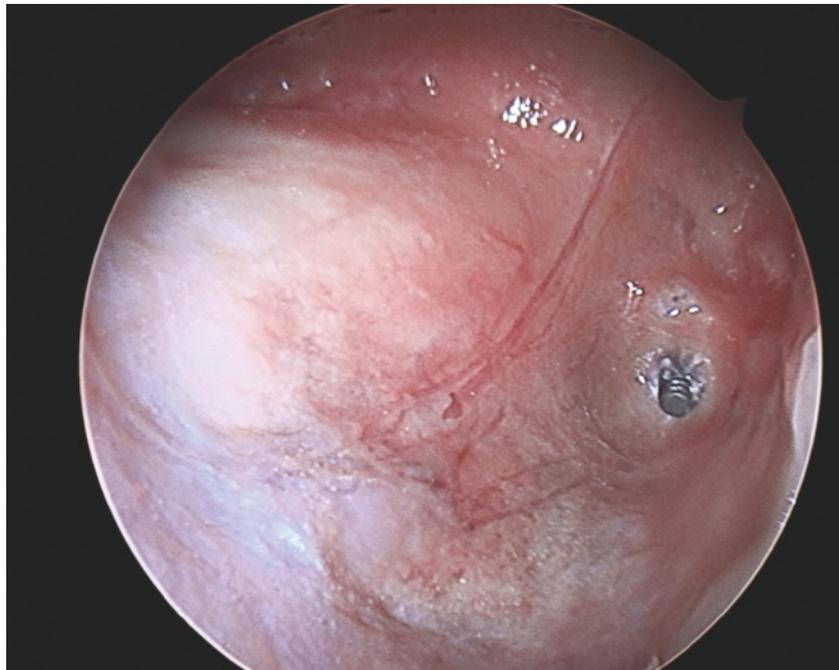


Abb. 3-7 Entwicklung des Sinus maxillaris.

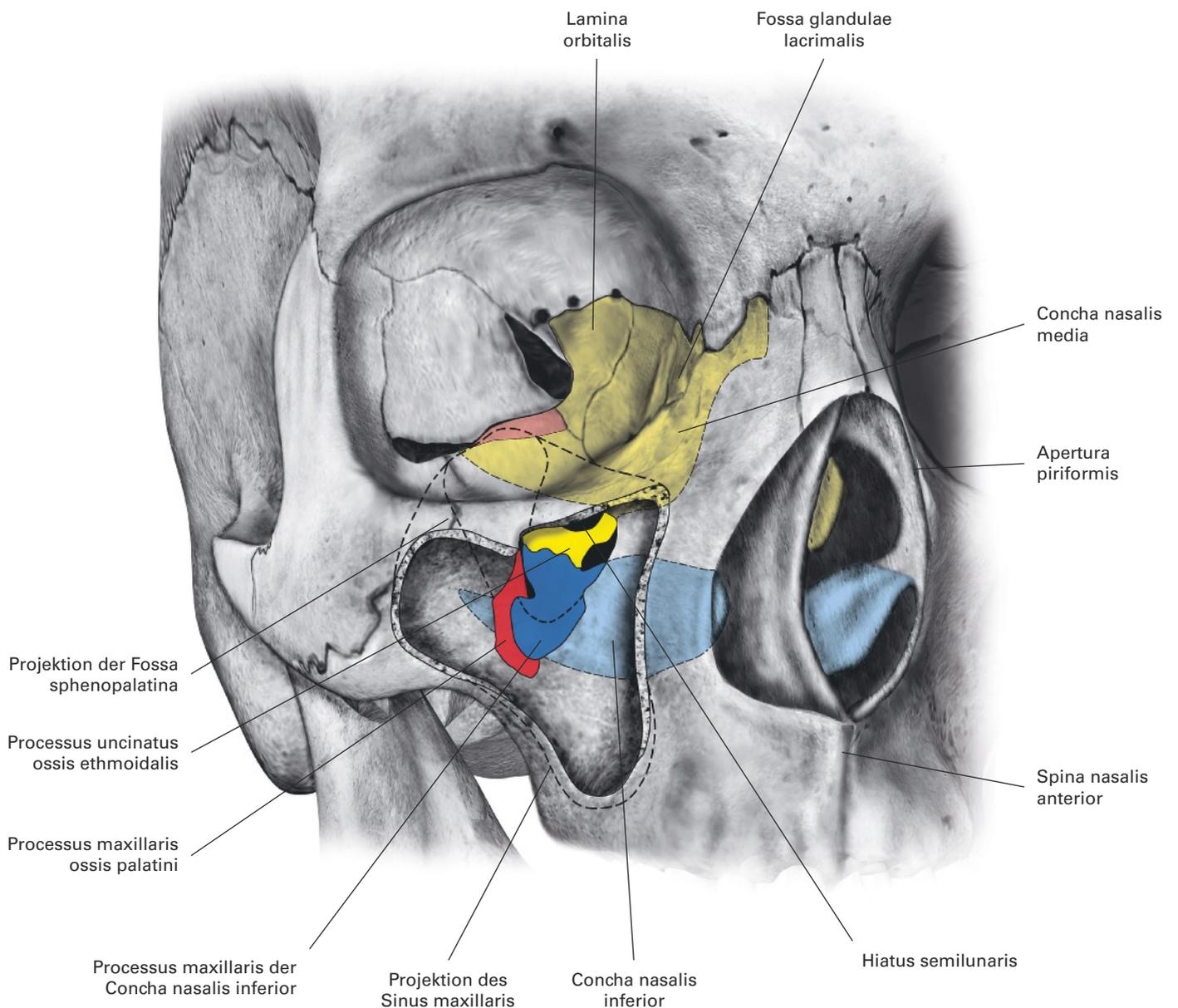
Die fortgesetzte Pneumatisierung des Sinus maxillaris nach inferior kann zu einer extremen Verdünnung des Alveolarknochens führen, dessen Volumen dann für die Abstützung dentaler Implantate nicht mehr ausreicht<sup>11</sup> (Abb. 3-8). In der Regel befinden sich die Wurzeln der Schneidezähne nicht in der Nähe des Sinus maxillaris. Die Wurzeln der oberen Prämolaren und Molaren liegen jedoch grundsätzlich unter dem Sinusboden. Am dichtesten am Sinus maxillaris liegen die Wurzeln des 2. Molars gefolgt von den 1. und 3. Molaren.<sup>14</sup>



**Abb. 3-8** Endoskopische Aufnahme eines dentalen Implantats, das in den Sinus maxillaris eingedrungen ist.

## Knöcherner Aufbau

Der Sinus maxillaris des Erwachsenen entspricht in etwa einer nach lateral weisenden Pyramide mit einer durchschnittlichen Höhe von 3,75 cm, einer Tiefe von 2,5 cm und einer Breite von 3 cm.<sup>15</sup> Das mittlere Volumen beträgt 15–20 ml.<sup>16</sup> Normalerweise kommuniziert der Sinus maxillaris an einer Stelle in seiner medialen Wand (die der lateralen Nasenwand entspricht) mit der Nasenhöhle. Diese Wand (Abb. 3-9) enthält oft mehrere Bereiche mit inkompletter Knochenbildung, durch die es zu zusätzlichen Verbindungen zwischen Nasenhöhle und Sinus maxillaris kommt, die akzessorischen Ostien, deren physiologische Bedeutung fraglich ist. Das natürliche Ostium des Sinus maxillaris (Abb. 3-10) hat einen durchschnittlichen Durchmesser von 2,4 mm (Bereich: 1–17 mm).<sup>15</sup> Von intranasal betrachtet befindet sich diese Öffnung im Meatus nasi medius, dem Raum oberhalb der Concha nasalis inferior (unteren Nasenmuschel) und unter der Concha nasalis media (mittleren Nasenmuschel). Vom Sinus maxillaris aus betrachtet liegt die Öffnung weit oben in seiner medialen Wand.



**Abb. 3-9** Knöcherne Strukturen der medialen Sinuswand. Am getrockneten Schädel finden sich zwei große, ungleichmäßige Öffnungen zwischen der Nasenhöhle und dem Sinus maxillaris, die durch eine Knochenschuppe, den Processus uncinatus, getrennt werden. Beim Lebenden sind diese Öffnungen von Weichgewebe bedeckt (außer dem natürlichen Sinusostium, durch das er drainiert).

Die posteriore Wand trennt den Sinus maxillaris von den Strukturen der Fossa infratemporalis und der Fossa pterygomaxillaris. Die laterale Wand wird vom Os zygomaticum gebildet. Zur anterioren Wand gehören die Fossa canina und das Foramen infraorbitale (durch das der zweite Ast des N. trigeminus, der N. maxillaris, zu den fazialen Weichgeweben zieht). Das Dach des Sinus maxillaris ist zugleich der Boden der Orbita und enthält den Canalis infraorbitalis, durch den der N. maxillaris (V2) von posterior nach anterior verläuft, bevor er durch das Foramen infraorbitale austritt. Bei bis zu 14 % der Sinus maxillares befindet sich dieser Nerv an einem knöchernen Mesenterium oder verläuft sogar dehiszent.<sup>17</sup> Wegen seiner superioren Lage ist dies für den implantologisch tätigen Chirurgen aber nur selten von Belang. Der Boden des Sinus maxillaris besteht aus dem harten Gaumen, dem Recessus alveolaris und dem bezahnten Anteil der Maxilla und befindet sich 1–10 mm unterhalb der Höhe des Nasenbodens.

Eine seltene aber wichtige anatomische Variante des Sinus maxillaris ist seine Hypoplasie. Die hypoplastische Nebenhöhle ist deutlich kleiner als normal und weist eine erhebliche Dickenzunahme der inferioren und lateralen Wand auf. Die Ätiologie dieser Hypoplasie ist unbekannt, vermutlich besteht ein Zusammenhang mit einer gestörten Knochenabsorption oder mit der Unfähigkeit einer korrekten Pneumatisierung des Sinus.<sup>18</sup> Häufig lässt sich ein kindliches Gesichtstrauma erfragen.

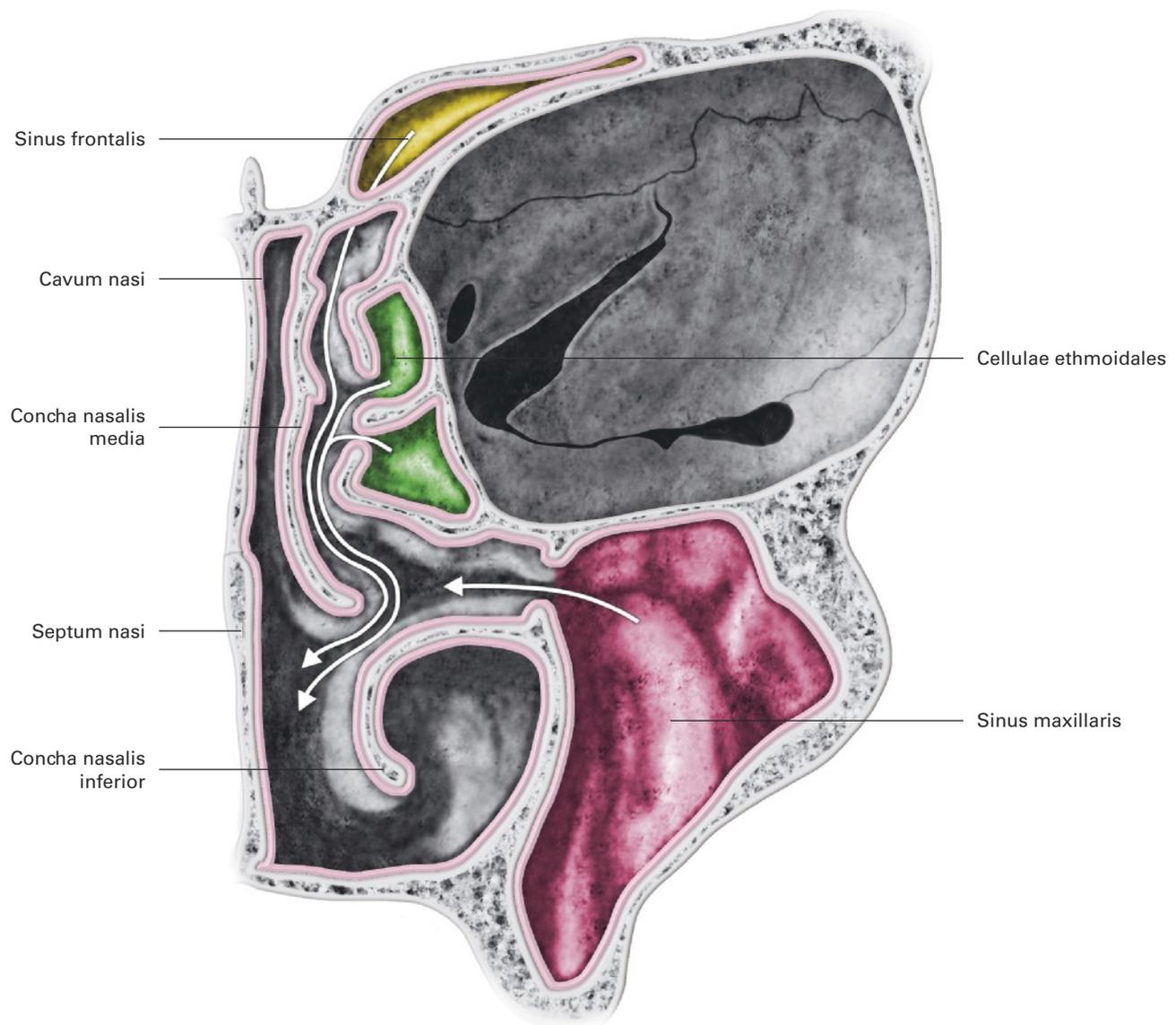
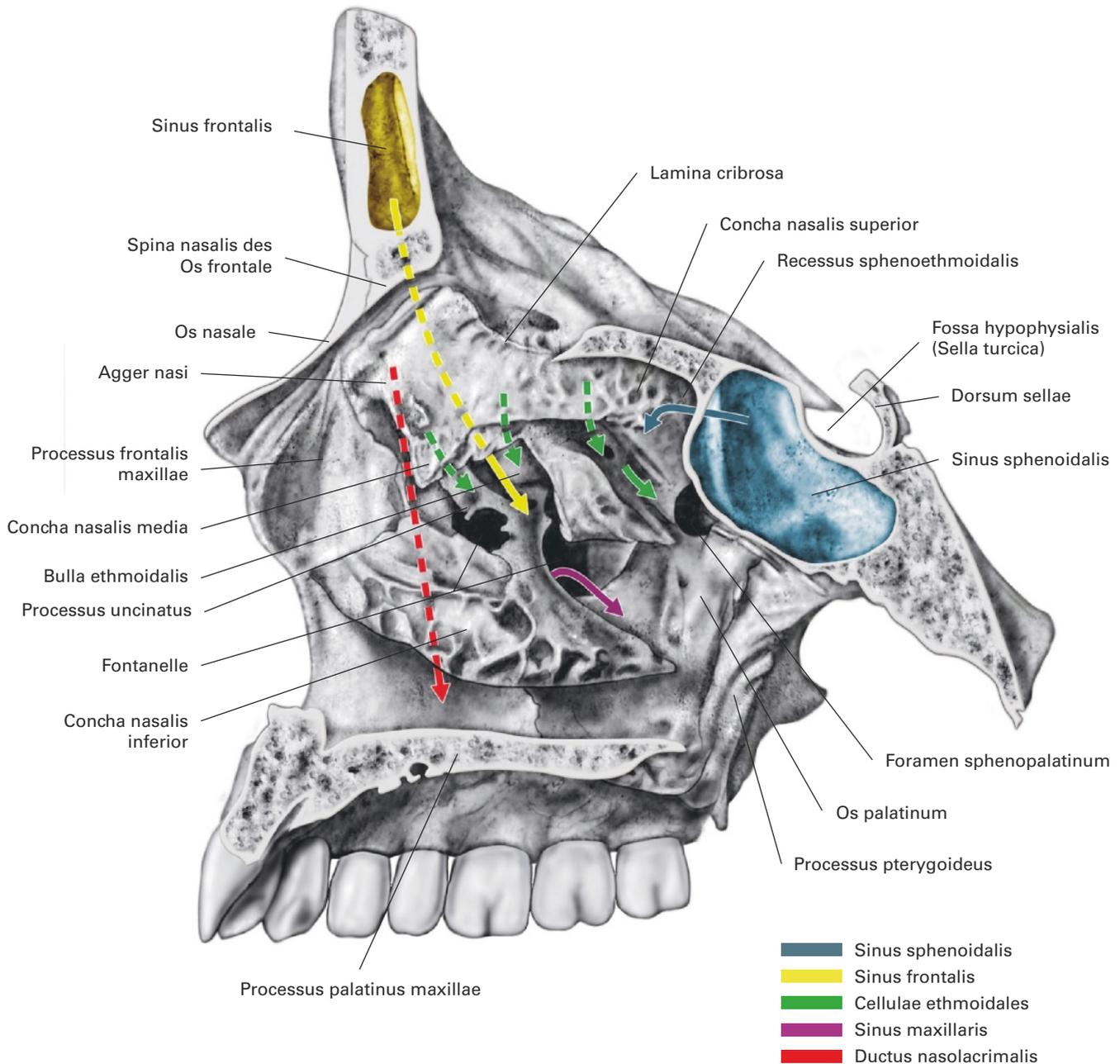
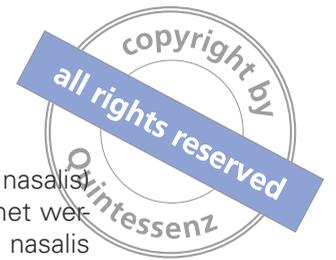


Abb. 3-10 Das Ostium sinus maxillaris in der Nasenhöhle.

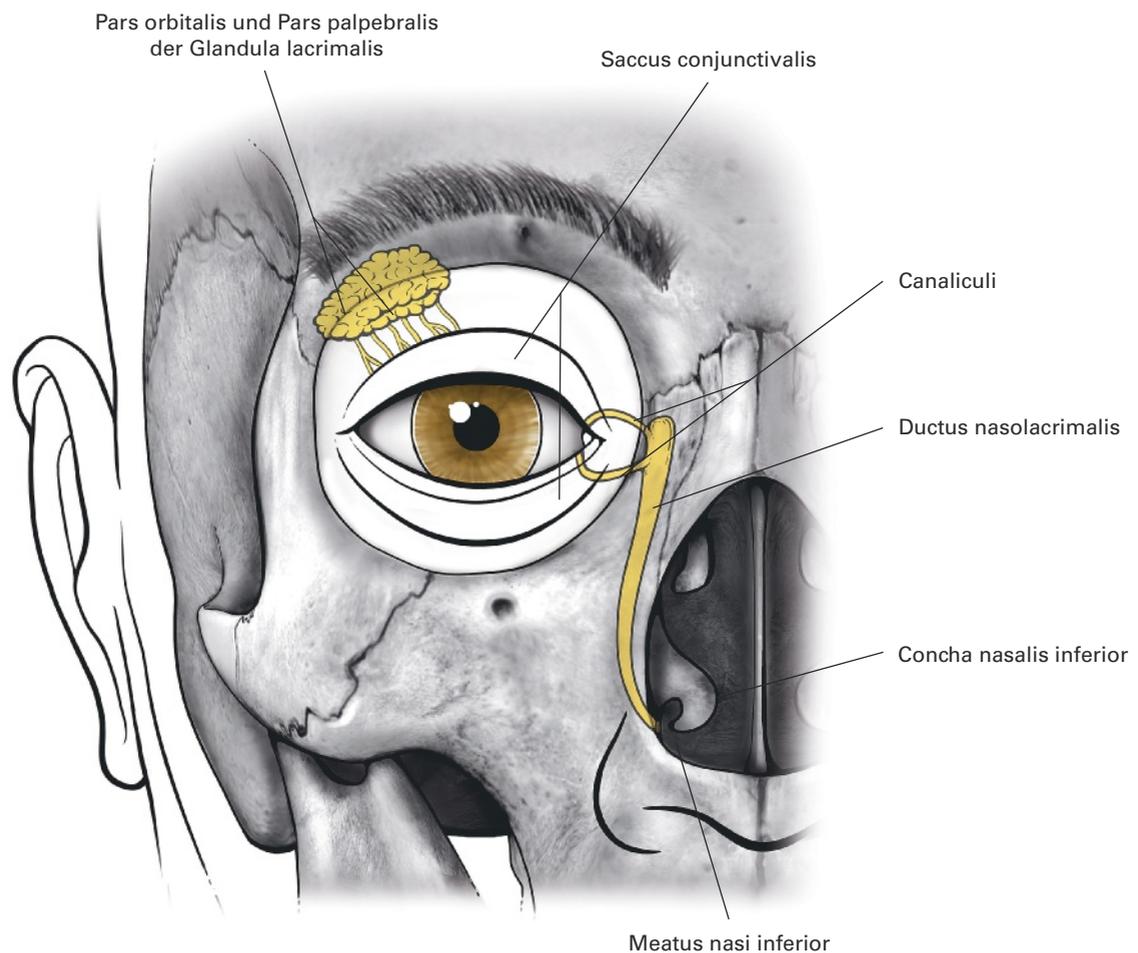
## Drainage

Die Nasenhöhle wird durch die untere, mittlere und obere Nasenmuschel (Concha nasalis) in drei Nasengänge untergliedert (Abb. 3-11), die jeweils als Meatus nasi bezeichnet werden. Der Ductus nasolacrimalis ist die einzige Struktur, die unterhalb der Concha nasalis inferior in den Meatus nasi inferior mündet (Abb. 3-12).



**Abb. 3-11** Knöcherne Strukturen der medialen Sinuswand. Die Concha nasalis superior und Teile der Concha nasalis media wurden entfernt, um die Drainagemuster der posterioren Cellulae ethmoidales in den Meatus nasi superior und die Öffnung des Sinus maxillaris in den Meatus nasi medius darzustellen.

Die Ostien der Sinus frontalis und maxillaris drainieren in eine Vertiefung im Meatus nasi medialis, das Infundibulum ethmoidale. Die vorderen und mittleren Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales) münden ebenfalls in den Meatus nasi medialis. Die hinteren Siebbeinzellen drainieren in den Meatus nasi superior zwischen der Concha nasalis media und superior. Der Sinus sphenoidalis drainiert direkt posterior der Concha nasalis superior in den Recessus sphenothmoidalis.



**Abb. 3-12** Beziehung zwischen Tränenapparat und lateraler Nasenwand.

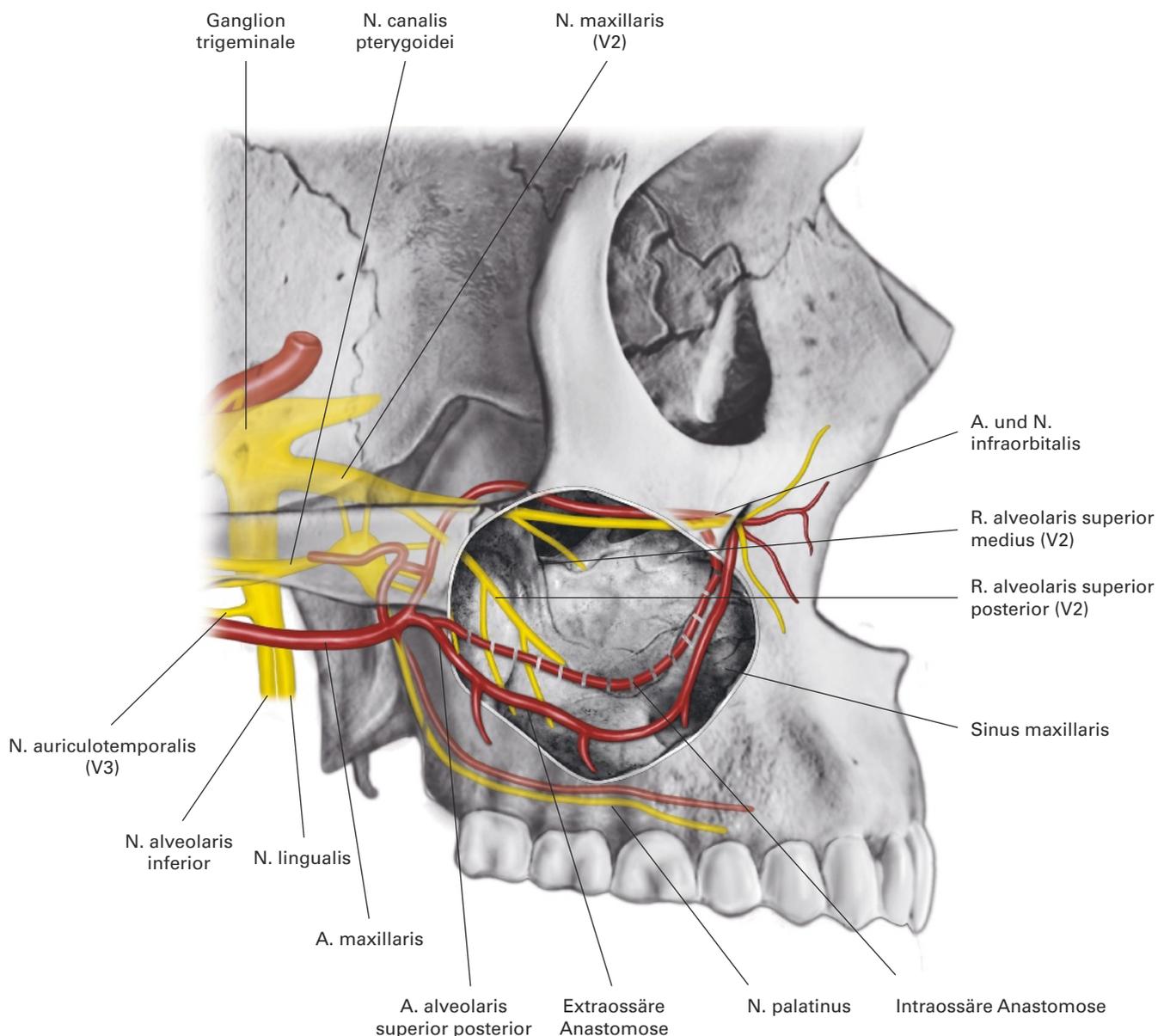
## Innervation und Blutversorgung

Die sensible Innervation des Sinus maxillaris erfolgt über Äste des N. maxillaris (V2) (die Rr. alveolares superiores posteriores, anteriores und medius sowie den N. infraorbitalis) und die autonome Innervation über Äste des N. nasopalatinus.

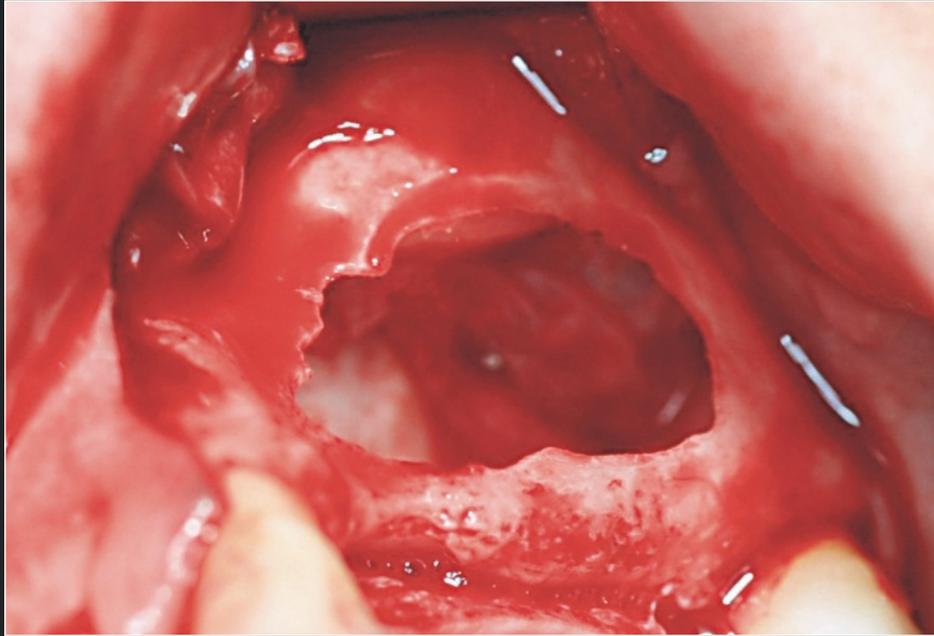
Die Blutversorgung des Sinus maxillaris stammt vor allem aus der A. carotis externa und erfolgt über Äste der A. maxillaris (vor allem über die A. infraorbitalis und die A. alveolaris superior posterior, aber auch über Äste der Aa. nasales posteriores laterales und A. sphenopalatina, die den mittleren Anteil der Sinusmembran versorgen).

Wichtig ist eine gelegentlich vorhandene extraossäre Anastomose zwischen der A. alveolaris superior posterior und dem Endast der A. infraorbitalis. Sie verläuft 23–26 mm oberhalb des Alveolarkamm und kann bei der Lappenmobilisation im Rahmen einer Sinustransplantation zu Blutungen führen (Abb. 3-13 und 3-14). Die intraossäre Anastomose ist hingegen immer vorhanden und verläuft in einem Abstand von 19–20 mm vom Alveolarkamm (Abb. 3-15). Diese Anastomose lässt sich bei einer lateralen Fensterung nicht umgehen. Da sie aber nicht signifikant ist, muss sie nicht mit einer elektrochirurgischen Einheit behandelt werden, sondern kann ignoriert oder mit leichtem Druck mit einem Hämostatikum behandelt werden.

Die venöse Drainage des Sinus maxillaris erfolgt über die V. facialis, die V. sphenopalatina und den Plexus pterygoideus.



**Abb. 3-13** Extraossäre und intraossäre Anastomose zwischen der A. alveolaris superior posterior und der A. infraorbitalis. A. = Arteria, N. = Nervus, R. = Ramus.

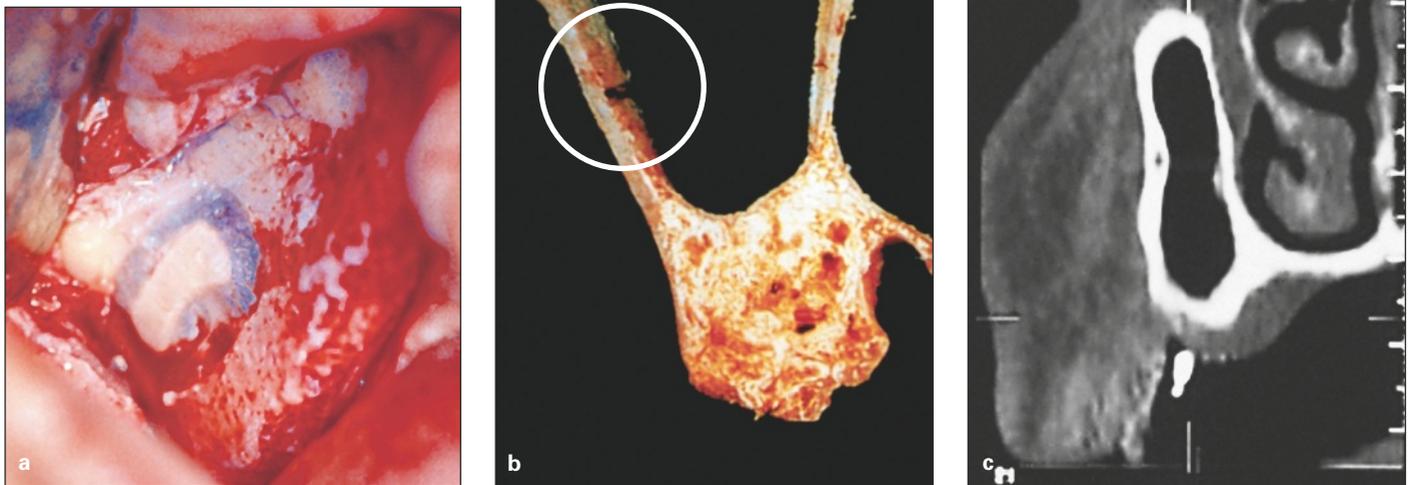


**Abb. 3-14** Blutung nach Läsion der extraossären Anastomose zwischen der A. alveolaris superior posterior und der A. infraorbitalis.

## Sinusmembran

Die Physiologie des Sinus maxillaris hängt eng mit seiner Histologie zusammen. Die Schleimhaut des Sinus maxillaris (die auch als *Schneider-Membran* bezeichnet wird) besteht aus einem respiratorischem Epithel, einem mehrreihigen hochprismatischen Epithel aus einer oberflächlichen Schicht zylindrischer Zellen mit und ohne Zilien, Basalzellen, Becherzellen und einer darunterliegenden Basalmembran sowie aus einer dicken Lamina propria mit vaskulären und glandulären Schichten und dem Periost (Abb. 3-16). Die Becherzellen produzieren Schleim, der Staub und Partikel bindet, die Membran feucht hält und zur Anfeuchtung der eingeatmeten Luft beiträgt. Das Flimmerepithel transportiert die im Sinus maxillaris produzierten Sekrete zur Öffnung des Sinus. Von dort wird es vom Flimmerepithel der Nase weiter zum Pharynx befördert.

Beim Gesunden ist die Schleimhaut des Sinus maxillaris 0,2–0,8 mm dick (und somit auf CT-Bildern nicht zu erkennen, sofern sie nicht chronisch entzündet ist) und besitzt eine relativ dünne Basalmembran. Die Sinusschleimhaut wird von einer zweilagigen Sekretdecke bedeckt. Die innere Lage (die *Solschicht*) ist dünn, serös und reich an Proteinen, Immunglobulinen und Komplement. Die oberflächliche Lage (die *Gelschicht*) ist ein visköser Schleim, der auf der dünneren Solschicht schwimmt. Die Zilien des Sinusepithels reichen durch die Solschicht und schieben die Gelschicht weiter, sodass alle oberflächlich vorhandenen Materialien mit einer Geschwindigkeit von 3–25 mm/Min. zum Ostium transportiert werden.<sup>20</sup> Die Transportkapazität umfasst nur Sekrete und extrem kleine Fremdkörperpartikel, wie Staub. Größere Partikel, wie Wurzelreste, können die Zilien nicht weiterschieben. Der Schleim fließt in einem vorhersagbaren sternförmigen Muster, das am inferioren und lateralen Anteil des Sinusbodens beginnt und an der superioren und medialen Sinusöffnung endet (Abb. 3-17). Aufgrund dieses Systems ist ein normal funktionierender Sinus nahezu steril.



**Abb. 3-15** (a) Blutung durch Verletzung der intraossären Anastomose zwischen der A. alveolaris superior posterior und der A. infraorbitalis. (b) Intraossäre Anastomose zwischen der A. alveolaris superior posterior und der A. infraorbitalis bei einem menschlichen Präparat. (c) CT der intraossären Anastomose zwischen der A. alveolaris superior posterior und der A. infraorbitalis. (Abb. 3-15b und 3-15c mit frdl. Genehmigung aus Testori et al.<sup>19</sup>)

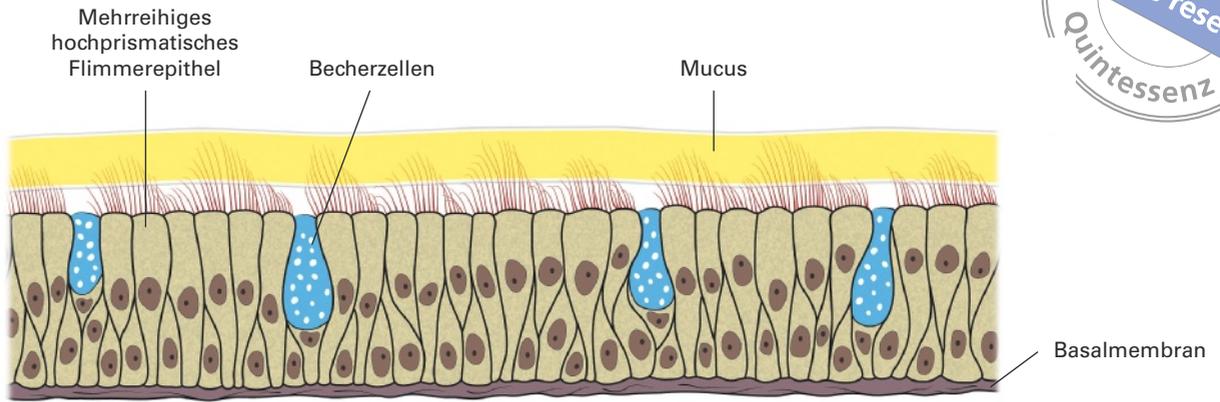


Abb. 3-16 Aufbau der Sinusmembran.

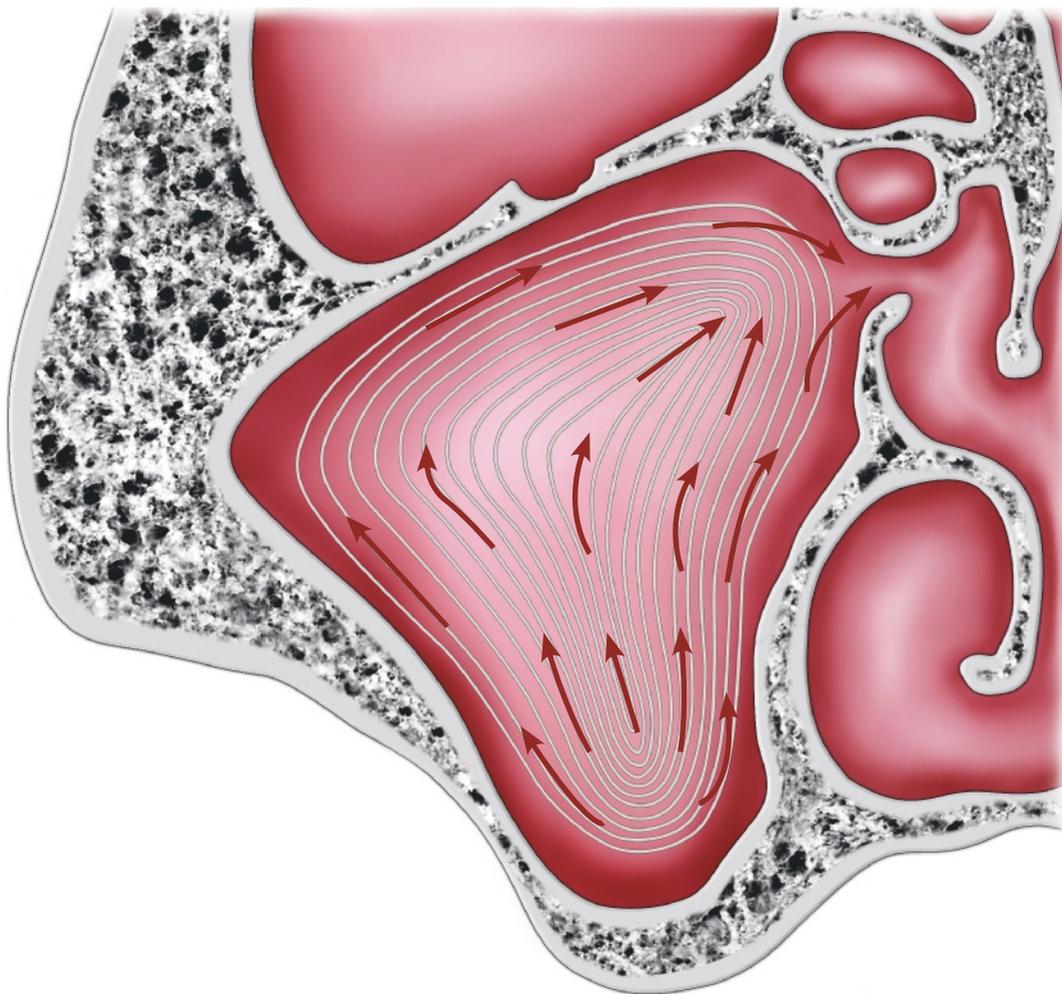


Abb. 3-17 Flussrichtung des Schleims im Sinus maxillaris.

## Sinussepten

Häufig finden sich knöcherne Septen, die den Sinus partiell in zwei oder mehr Kompartimente unterteilen. Die Bildung dieser Septen wird durch die verschiedenen Phasen der Pneumatisierung begünstigt. Die vermehrte antrale Pneumatisierung nach Zahnverlust scheint mit dem Verlust des basalen Knochens durch die osteoklastische Aktivität der Sinusmembran zusammenzuhängen.

Erstmals wurden Septen im Jahr 1910 von dem Anatomen Arthur S. Underwood beschrieben.<sup>21</sup> In ihrer Form erinnern die Septen an einen invertierten gotische Bogen, der an der inferioren und lateralen Sinuswand beginnt und am weitesten apikal einen scharfen Bogen bildet,<sup>22</sup> wobei Form, Größe und Lage variieren. In der Literatur sind viele Variationen der Septen des Sinus maxillaris beschrieben, wie partielle vertikale Septen, partielle horizontale Septen und die komplette Unterteilung des Sinus maxillaris durch ein durchgehendes vertikales Septum.

### *Inzidenz von Septen im Sinus maxillaris*

Velasquez-Plata et al.<sup>23</sup> fanden bei der Untersuchung von 312 Sinus bei 156 Patienten in 24 % der Sinus und bei 33 % der Patienten Septen. Kim et al.<sup>24</sup> betrachteten 200 Sinus von 100 Patienten und ermittelten 53 Sinus (26,5 %) mit mindestens einem Septum. Ulm et al.<sup>25</sup> bezifferten die Inzidenz von Septen bei unbezahnten Patienten mit bis zu 32 %. Die Septen können vom anterioren, medialen oder posterioren Anteil des Sinusbodens ausgehen, liegen aber meistens im mittleren Drittel.<sup>23,24</sup>

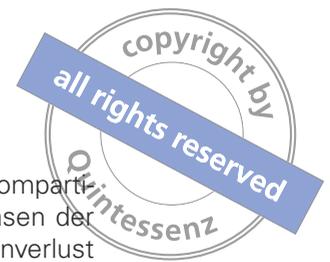
### *Bedeutung bei oral-implantologischen Eingriffen*

Das Vorhandensein von Septen erschwert die Schaffung eines knöchernen Fensters in der lateralen Wand und erhöht das Risiko für ein Zerreißen der Sinusmembran bei deren Elevation. Daher muss präoperativ eine CT angefertigt werden, um Septen zu erkennen. Normale Röntgenaufnahmen (Panoramaaufnahme oder okzipitontaler Strahlengang) zeigen Septen oft nicht oder erwecken den falschen Eindruck, dass es sich dabei um pathologische Veränderungen handelt. Bei der Sinustransplantation können die Septen geschont werden, indem zwei Fenster angelegt werden, die vom Septum getrennt werden. Andernfalls werden die Septen mit einer dünnen, gebogenen Hemostat-Klemme oder einem Kerrison-Rongeur entfernt.

### *Underwood-Septen*

*Underwood-Septen* sind Knochenkämme, welche die Wurzelfächer der Prämolaren und Molaren begrenzen (Abb. 3-18). Sie finden sich in 31–48 % der Fälle<sup>23–25</sup> und scheinen auf zwei möglichen Wegen zu entstehen: primär (bei der Entwicklung der Maxilla) oder sekundär (nach Verlust eines Zahns und des verbliebenen interseptalen Knochens).<sup>26</sup> Durch einen Zahnverlust und eine Pneumatisierung neben einem primären oder sekundären Septum kann dieses an Höhe und Größe zunehmen. Während der Sinustransplantation müssen derartige Septen oft entfernt werden, weil sie die Sicht auf den Sinusboden versperren und das Platzieren von autogenen Knochentransplantaten oder Knochenersatzmaterialien einschränken, sodass der Sinusboden nicht ausreichend aufgefüllt werden kann.

In einer Studie von Ulm et al.<sup>25</sup> wurde kein Zusammenhang zwischen den sechs von Cawood und Howell<sup>27</sup> beschriebenen Klassen der Alveolarkammatrophy und der Inzidenz von Underwood-Septen ermittelt.



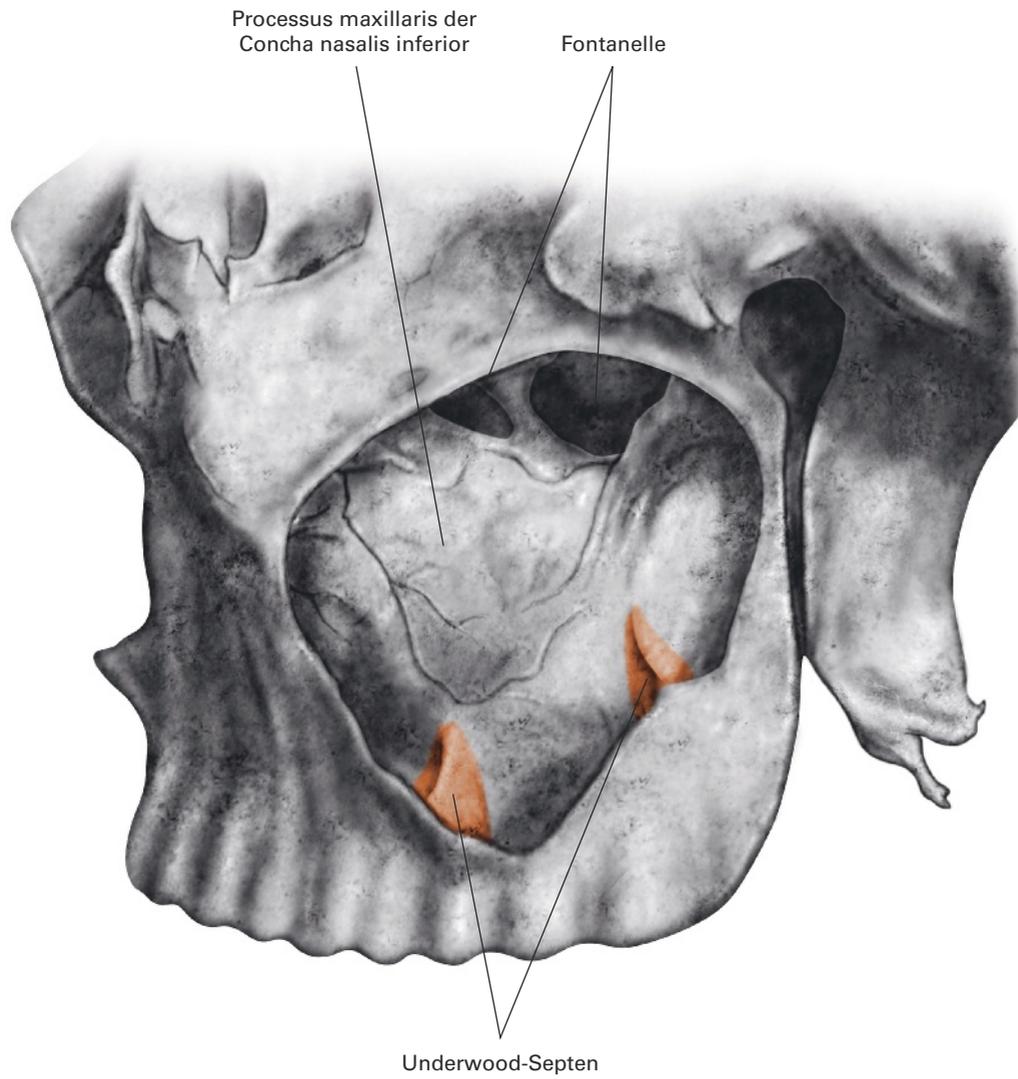


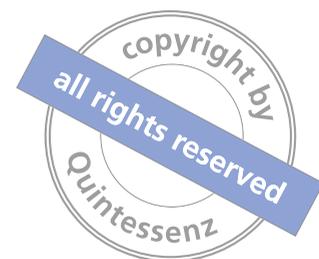
Abb. 3-18 Underwood-Septen.

# Unterer Frontzahnbereich

Die für eine chirurgische Implantation im unteren Frontzahnbereich relevanten anatomischen Landmarken sind das Foramen mentale und der N. mentalis sowie dessen anteriore Schlinge, der Canalis incisivus mandibulae sowie akzessorische linguale Foramina. Außerdem wird in diesem Kapitel auf die anatomischen Manifestationen der verschiedenen Knochenresorptionsmuster im unteren Frontzahnbereich und die jeweils geeignete Behandlungsplanung sowie auf die anatomischen Erwägungen bei der Entnahme eines Knochenblocktransplantats aus dem Kinn eingegangen.

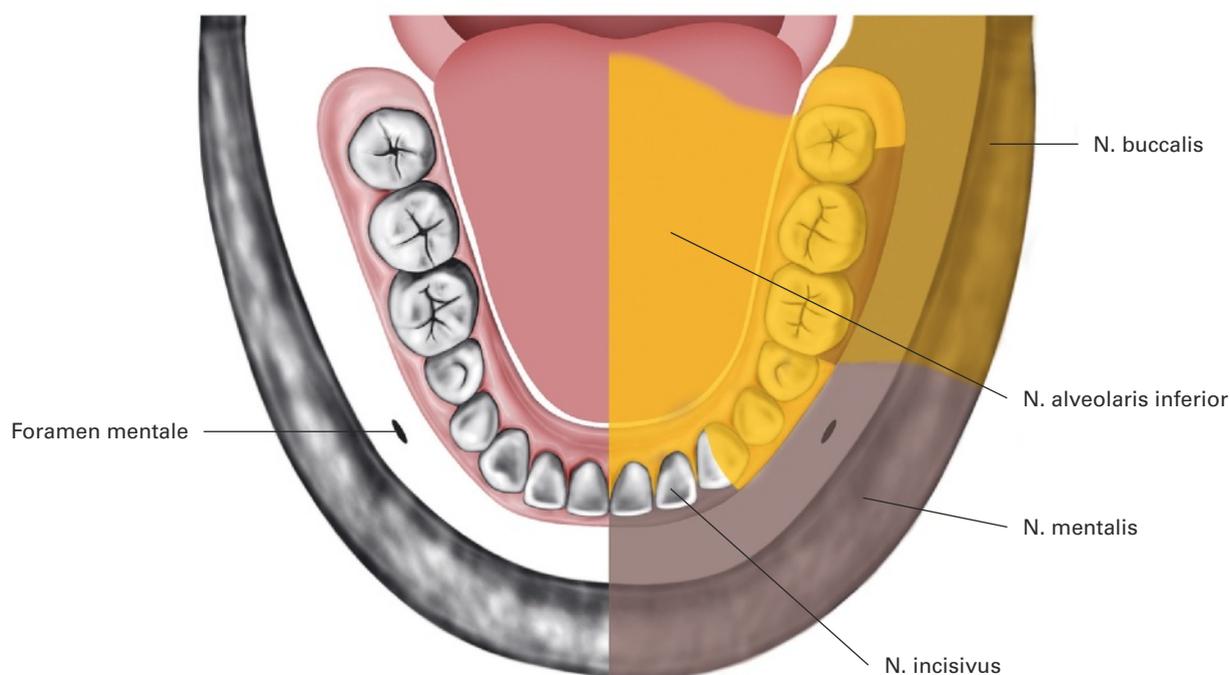


# Foramen mentale/N. mentalis und seine mesiale Schlinge

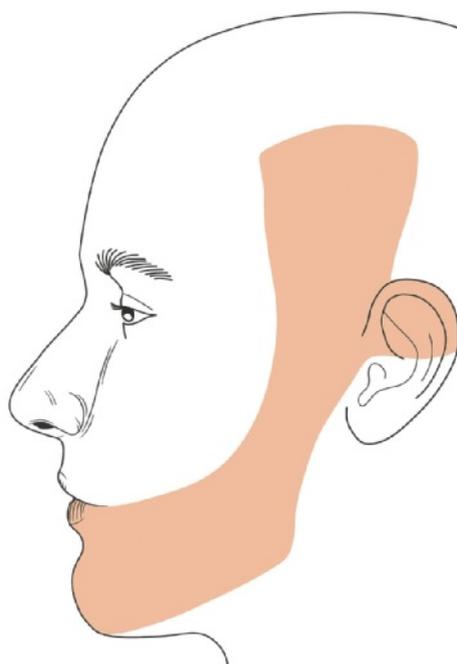


## N. mentalis

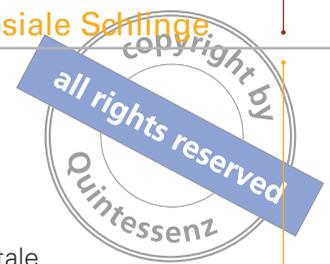
Der N. mentalis verlässt das Corpus mandibulae durch das Foramen mentale, das in der Regel zwischen den Apices des ersten und zweiten unteren Prämolaren liegt. Er innerviert sensibel Kinn, Unterlippe, die labiale Mukosa an den unteren Frontzähnen sowie die Haut über dem Corpus mandibulae (Abb. 6-1 und 6-2).



**Abb. 6-1** Innervation der Mandibula als Grundlage für die Leitungsanästhesie.



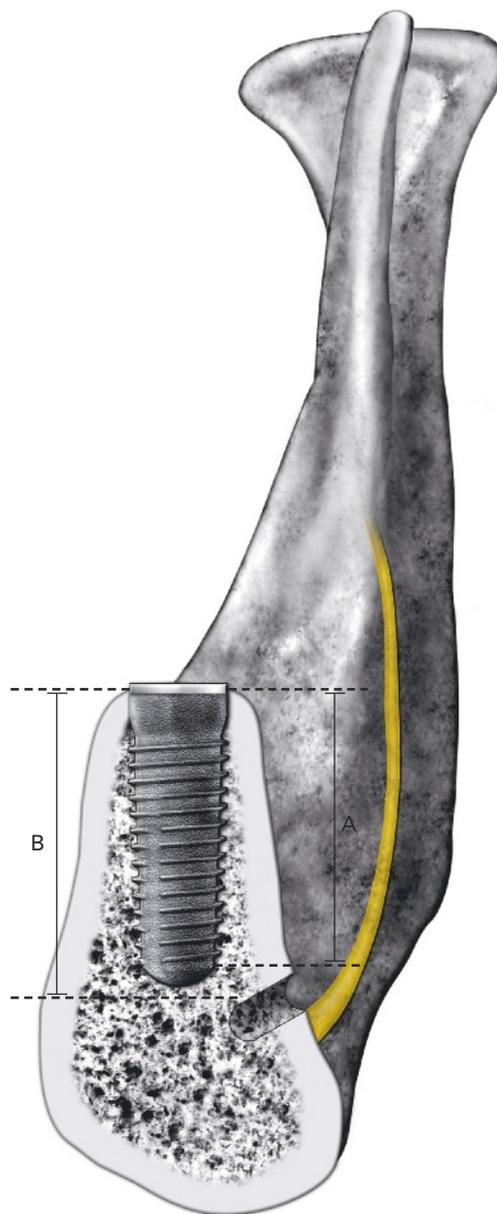
**Abb. 6-2** Vom N. mandibularis innervierter Bereich.



Folgende Faktoren müssen berücksichtigt werden, um Schäden des Foramen mentale zu verhindern.

*Lage*

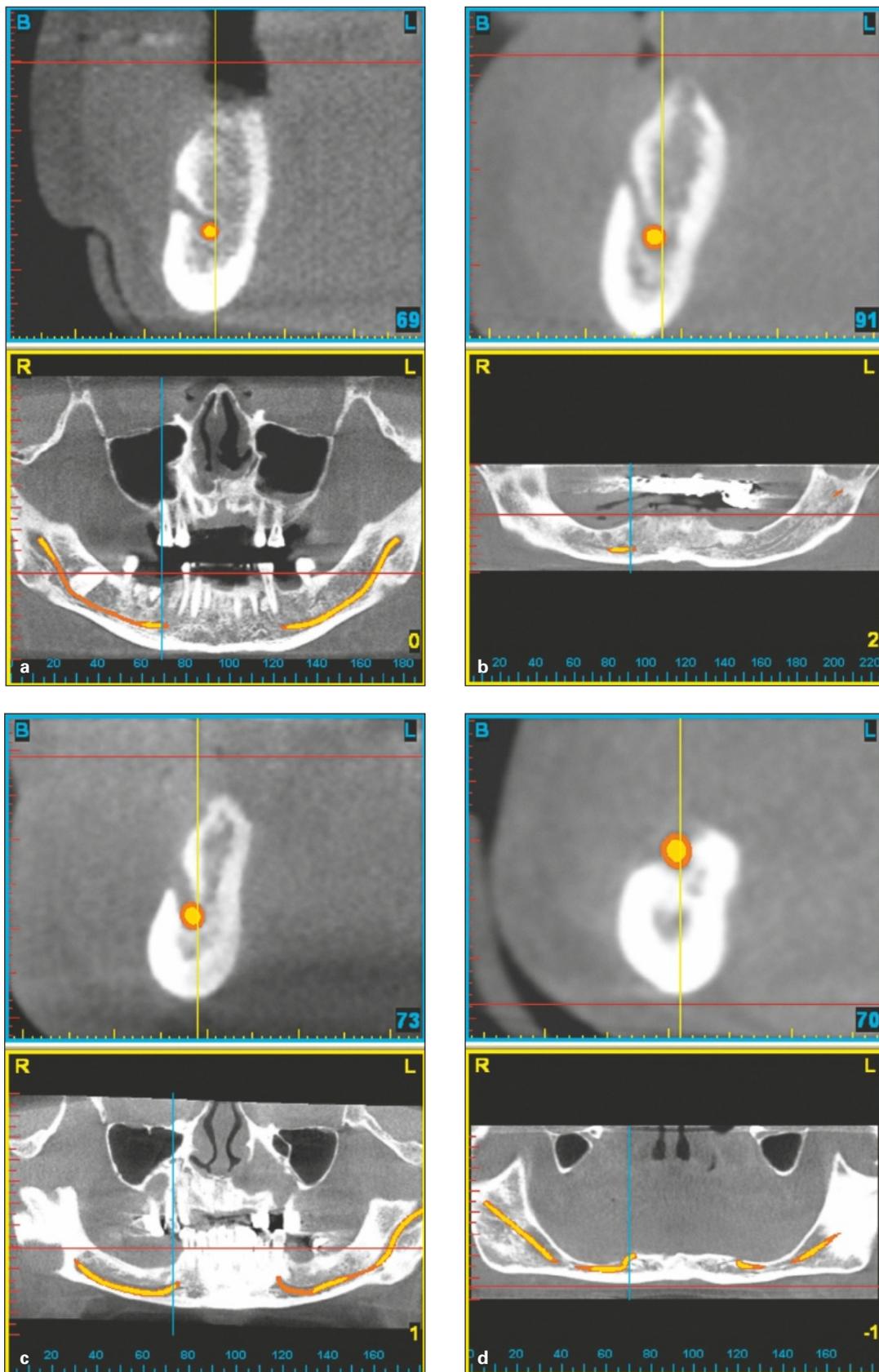
Die Höhe des Foramen mentale entspricht dem ohne operatives Risiko verfügbaren vertikalen Knochen, da der N. alveolaris inferior auf seinem Weg zum Foramen mentale immer ansteigt (Abb. 6-3). Selbst wenn ein Implantat nahe dem Oberrand des Foramen mentale liegt, wird es sich somit trotzdem lingual von ihm befinden (Abb. 6-4 und 6-5).



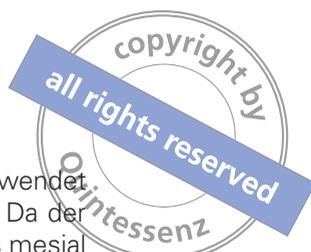
**Abb. 6-3** Abstand A entspricht dem bei einer Implantation über dem Foramen mentale gemäß der Panoramaaufnahme verfügbaren vertikalen Knochenvolumen des Alveolarkamms. Über den Abstand A hinaus muss kein Sicherheitsabstand von weiteren 2 mm eingehalten werden, da das Implantat in der Mitte des Alveolarkamms und nicht in die Bukkalplatte gesetzt wird. Durch das Einhalten von Abstand A bei der Implantation ist das Implantat mindestens 2 mm vom N. alveolaris inferior entfernt. Abstand B entspricht dem tatsächlich über dem Nerv vorhandenen Knochen und ist erheblich größer als der Abstand A (meistens um 2–5 mm).



**Abb. 6-4** Querschnitte durch vier menschliche Unterkiefer (dieselben wie in Kapitel 5) mit unterschiedlichen Knochenresorptionsmustern, welche die Lage des Foramen mentale in Beziehung zum N. alveolaris inferior zeigen. In der Mitte des Alveolarknochens verläuft der Nerv deutlich unterhalb des Oberrandes des Foramens. (a) Mandibula mit geringer Knochenresorption. (b) Mandibula mit leichter Knochenresorption. (c) Mandibula mit mittelschwerer bis fortgeschrittener Knochenresorption. (d) Stark resorbierte Mandibula. Auf Panoramaaufnahmen eines derartigen Unterkiefers fehlt das Foramen mentale.

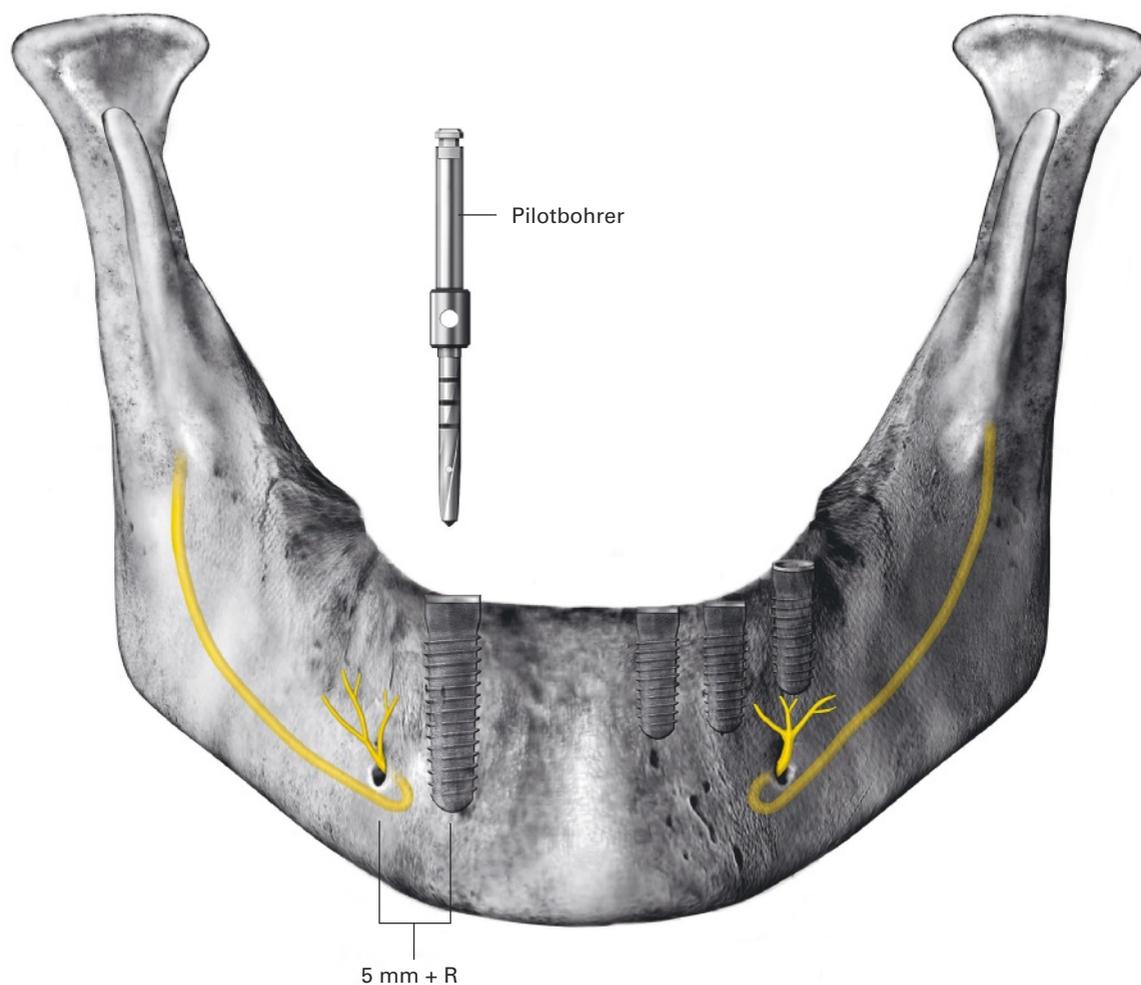


**Abb. 6-5** Computertomografien (CT) der präzisen Lage des Foramen mentale in Unterkiefern mit verschiedenen Resorptionsmustern. (a) Mandibula mit geringer Knochenresorption. (b) Mandibula mit leichter Knochenresorption. (c) Mandibula mit mittelschwerer bis fortgeschrittener Knochenresorption. (d) Mandibula mit starker Knochenresorption, bei der das Setzen eines Implantats in der Nähe des Foramen mentale nicht möglich ist.



**Mesiale Schlinge**

Der N. alveolaris inferior verläuft für gewöhnlich anterior zum Foramen mentale und wendet sich bei seinem Austritt aus dem Foramen mentale nach posterior und superior.<sup>1</sup> Da der Nerv bis zu 3 mm anterior des Foramen mentale verläuft,<sup>2</sup> sollte ein Implantat, das mesial und unterhalb des Foramens gesetzt werden soll, nach posterior mindestens 5 mm Abstand zur mesialen Seite des Foramens haben. Damit die mesiale Schlinge nicht mit dem Bohrer beschädigt wird, sollte die Pilotbohrung im krestalen Knochen 7–8 mm anterior des am weitesten mesial gelegenen Aspekts des Foramen mentale liegen (3 mm für die Schlinge plus ein 2-mm-Sicherheitsabstand plus Implantatdurchmesser) (Abb. 6-6).



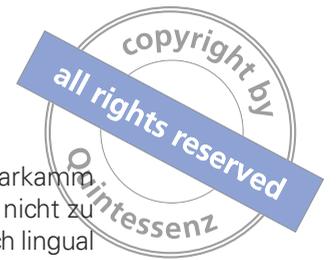
**Abb. 6-6** Die drei Implantate auf der linken Seite der Mandibula liegen weit über dem Foramen mentale und der mesialen Schlinge des N. mentalis und können daher bezogen auf diese Landmarken überall gesetzt werden. Auf der rechten Seite der Mandibula hingegen dringt das geplante Implantat in das Foramen mentale ein. Um einen sicheren Abstand zur mesialen Nervenschlinge einzuhalten, muss die Pilotbohrung (die initiale Osteotomie) daher 7 mm anterior vom mesialen Rand des Foramen mentale liegen. Wichtig ist, dass CT-Aufnahmen die mesiale Schlinge nicht zuverlässig zeigen. Die initiale Osteotomie sollte immer 7 mm anterior des mesialen Randes des Foramen mentale liegen, sofern das Implantat apikokoronar in das Foramen mentale eindringen würde.

### *Entlastungsschnitt nahe des N. mentalis*

Entlastungsschnitte mesial des N. mentalis sollten direkt superior des mukogingivalen Übergangs enden, um Schäden der großen Äste des N. mentalis zu verhindern (Abb. 6-7).

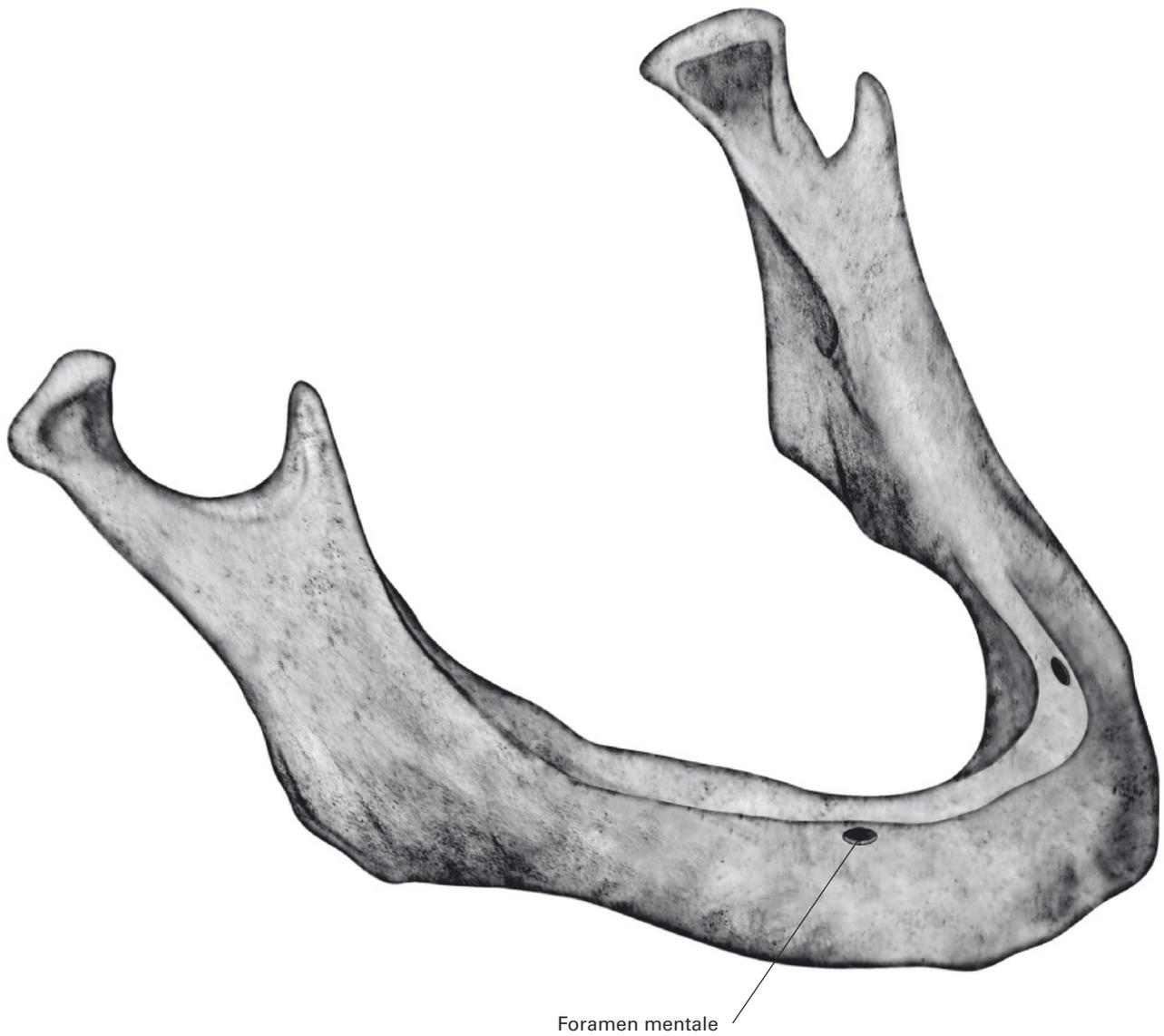


**Abb. 6-7** Lage und Ausdehnung des Entlastungsschnitts mesial des Foramen mentale.

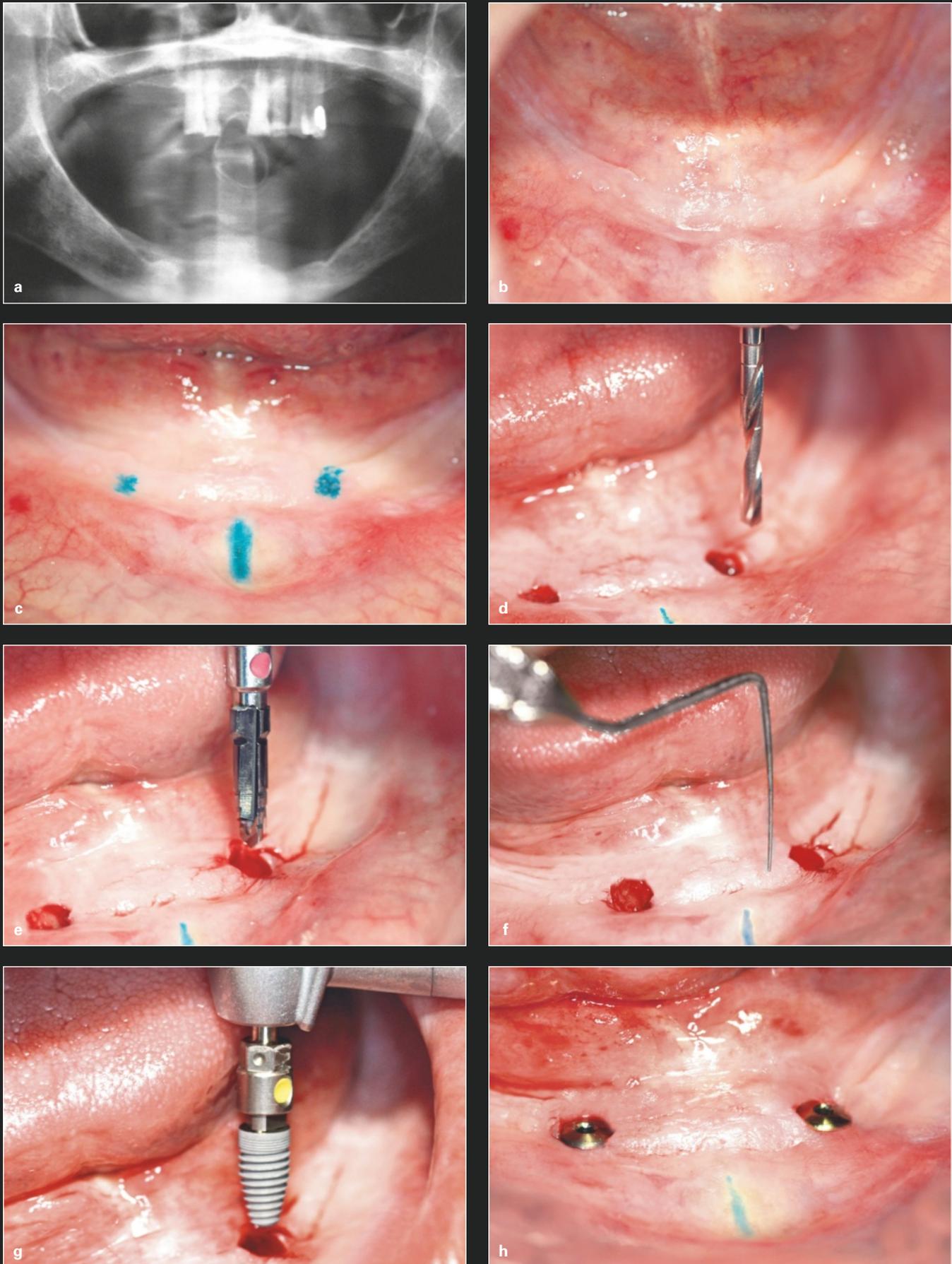


*Resorption*

Bei einer stark resorbierten Mandibula kann das Foramen mentale auf dem Alveolarkamm liegen (Abb. 6-8). In diesen Fällen muss darauf geachtet werden, den N. mentalis nicht zu verletzen. Dies wird erreicht, indem die Inzision auf der Alveolarkammmitte leicht nach lingual abgewinkelt wird und der Vollschichtlappen vorsichtig bis zur Identifikation des Foramens mobilisiert wird. In manchen Situationen wird empfohlen, überhaupt keinen Lappen zu mobilisieren, sondern lappenlos vorzugehen, um den Nerv und seine Äste nicht durch die Lappenabhebung zu verletzen (Abb. 6-9).

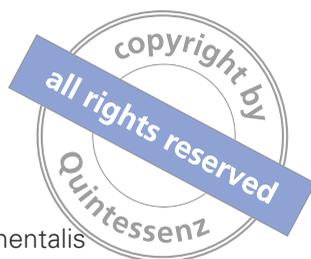


**Abb. 6-8** Lage des Foramen mentale bei einer Mandibula mit starker Knochenresorption.

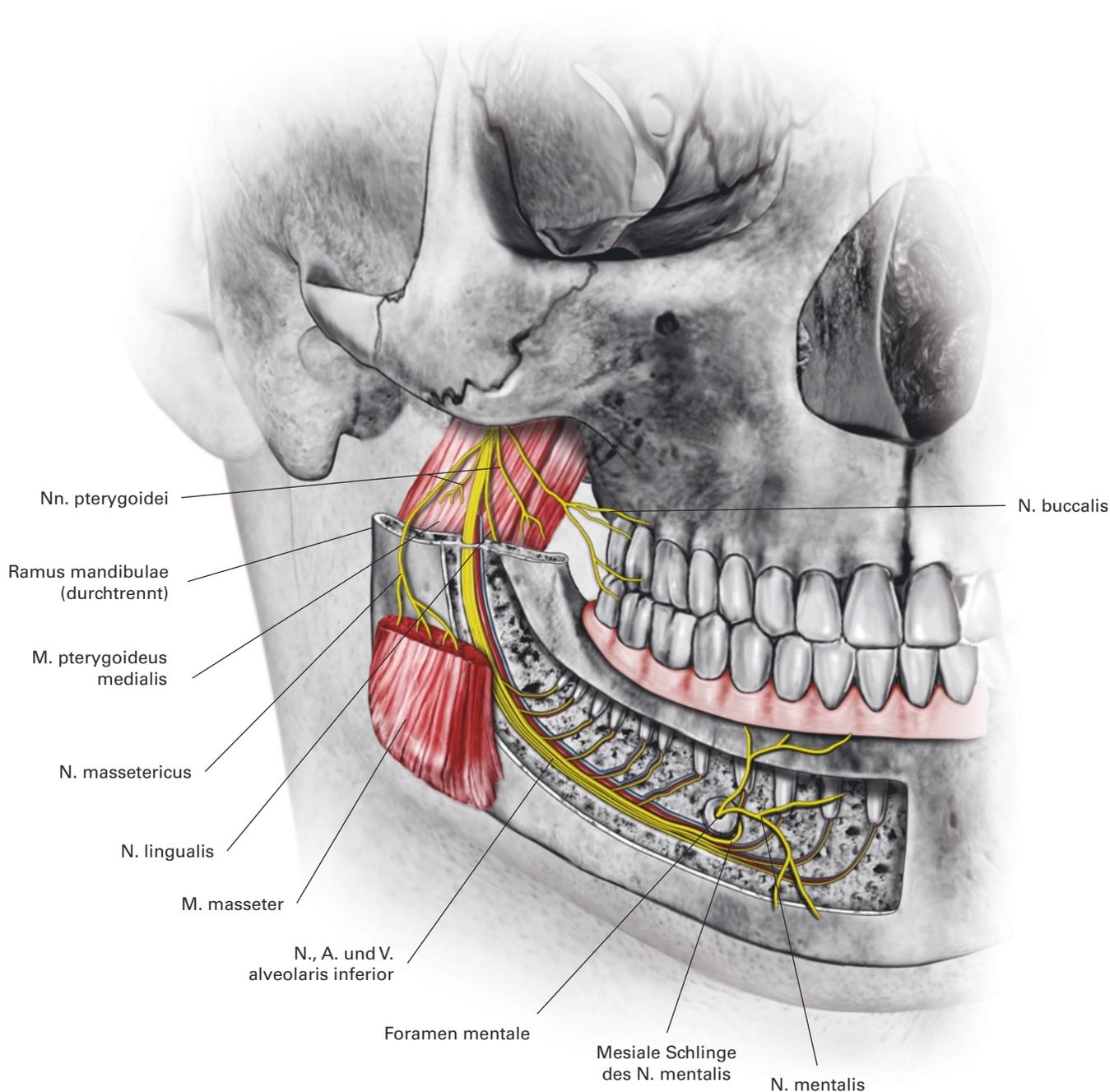


**Abb. 6-9** (a-h) Klinischer Fall mit einer sehr stark resorbierten Mandibula. Weder die Panoramaaufnahme noch die CT zeigten die exakte Lage des Foramen mentale. Es wurde entschieden, die Implantate lappenlos zu setzen. Ein Abstand von 12 mm von der Mittellinie wurde als sicher für eine Bohrung eingestuft, um das Risiko einer Verletzung des N. mentalis mit dem Skalpell zu reduzieren. Nach jeder Bohrung wurde mit einer Parodontalsonde überprüft, ob die Osteotomie vollständig im Knochen liegt (f). Wegen des voraussichtlich sehr langen vertikalen Kantevers der künftigen Prothese, wurde die Behandlung mit einer Locator® Overdenture (Zest Anchors) geplant. Die Locator-Kappen ermöglichen ein Ablösen der Prothesen-Attachments, bevor die Belastung der Implantate zu groß wird und ein Schwachpunkt im Prothese-Implantat-Interface entsteht.

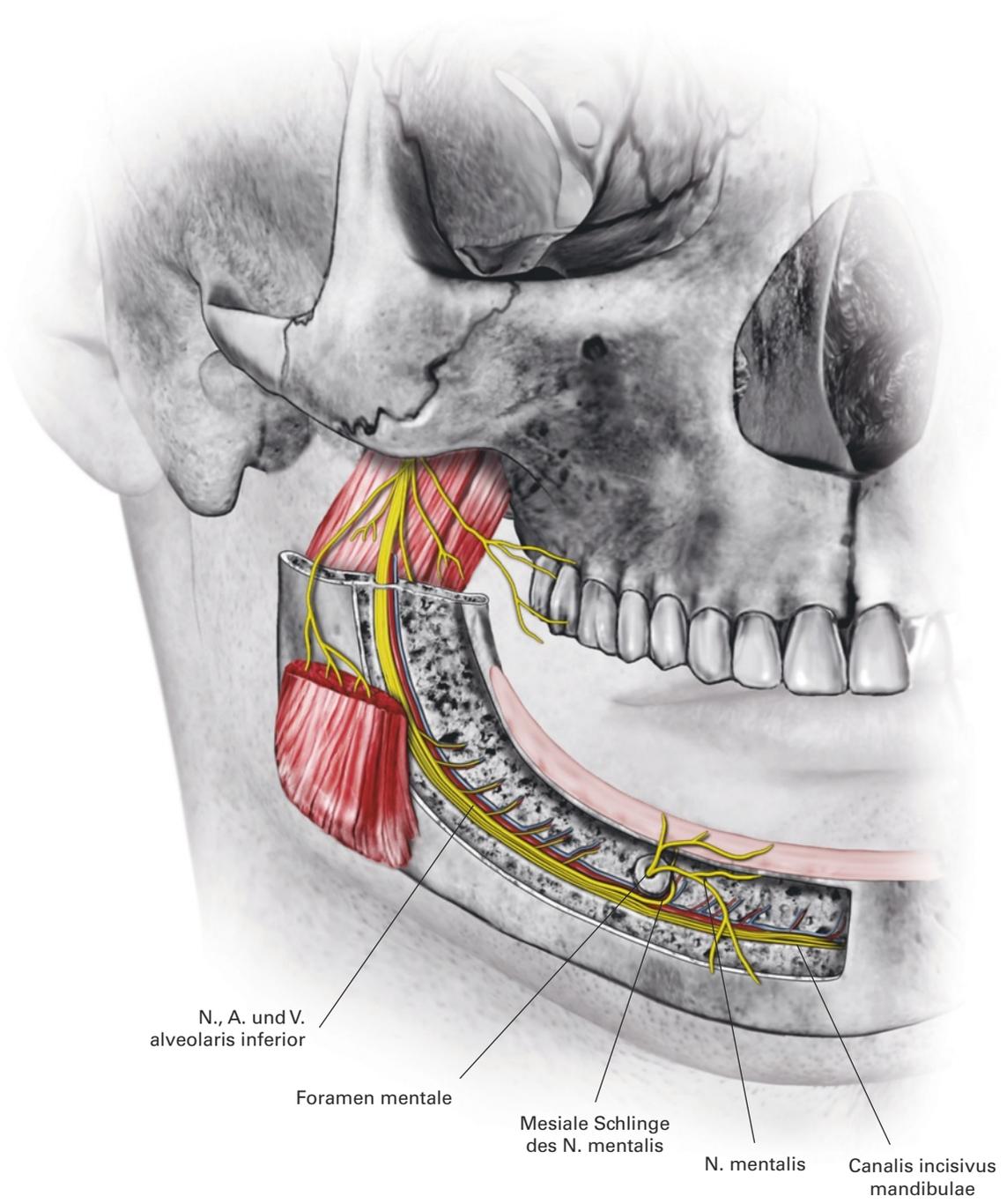
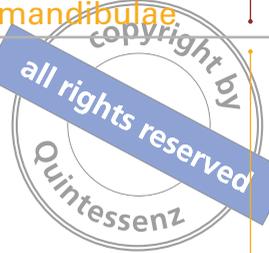
# Canalis incisivus mandibulae



In der Regel teilt sich der N. alveolaris inferior<sup>3</sup> in der Nähe der Molaren in den N. mentalis (Innervation der Haut im Bereich des Foramen mentale und der Unterlippe, der Schleimhaut und der Gingiva) und den N. incisivus mandibulae (zu den unteren Frontzähnen) (Abb. 6-10). Manchmal verläuft der Nervenast zu den Frontzähnen in einem echten Kanal mit großem Lumen (0,48–2,90 mm),<sup>4</sup> der vom Foramen mentale aus nach anterior und inferior verläuft und 8–10 mm vom Unterrand der Mandibula entfernt ist (Abb. 6-11). Ein derartiger Kanal kann zu Problemen führen. Da er eine Verlängerung des N. alveolaris inferior enthält, muss davon ausgegangen werden, dass in ihm das gleiche neurovaskuläre Bündel verläuft.<sup>5</sup> Daher sollten keine Osteotomien durch diesen Kanal durchgeführt werden.

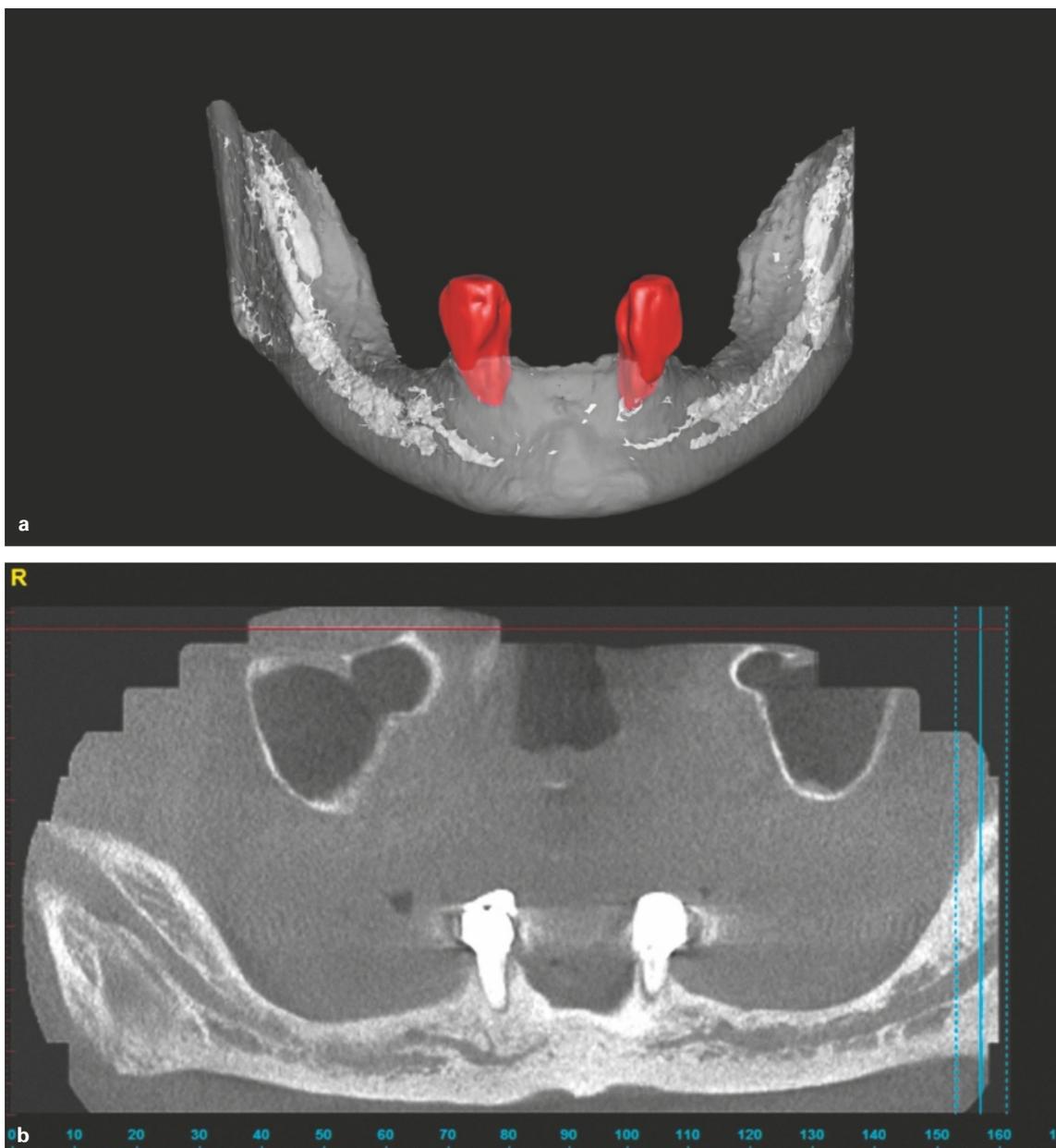


**Abb. 6-10** Normale Innervation der unteren Frontzähne. A. = Arteria, M. = Musculus, N. = Nervus, Nn. = Nervi, R. = Ramus, V. = Vena.



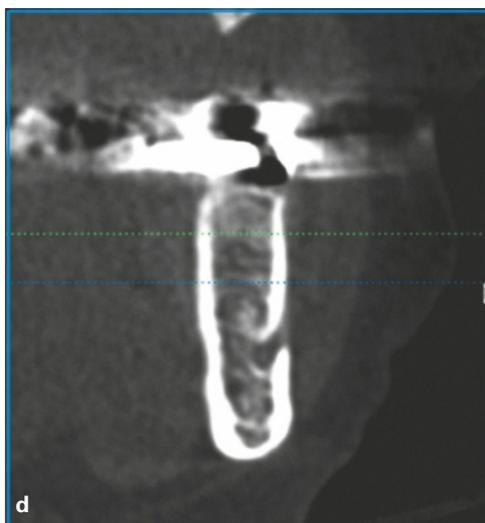
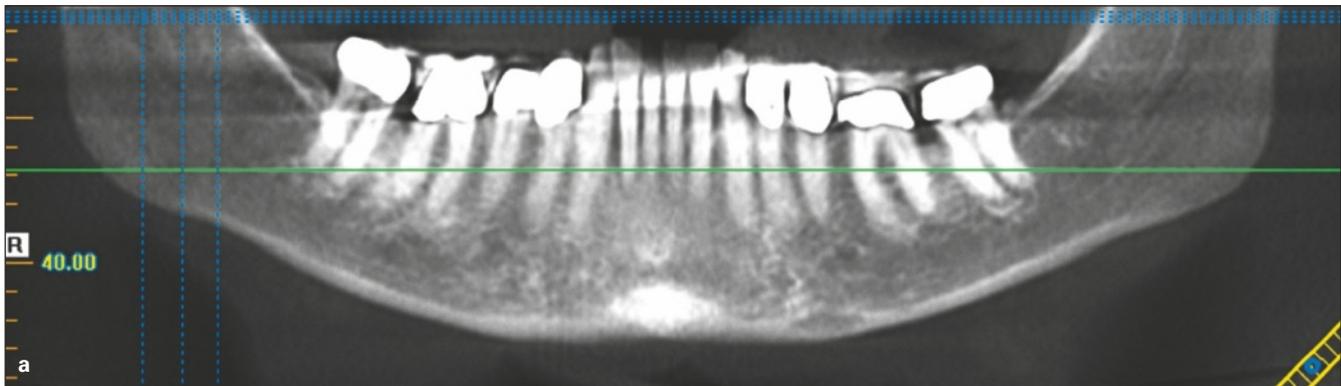
**Abb. 6-11** Bei der Planung von Implantaten im unteren Frontzahnbereich muss das mögliche Vorhandensein eines Canalis incisivus mandibulae bedacht werden. Der Kanal verläuft zwar nur 8–10 mm über dem Unter-rand der Mandibula, kann aber bei einer stark resorbierten Mandibula durch eine Osteotomie eröffnet werden. A. = Arteria, N. = Nervus, V. = Vena.

Allerdings lässt sich der Canalis incisivus mandibulae auf konventionellen Röntgenaufnahmen nicht zuverlässig darstellen. Für eine präzise Beurteilung wird eine Computertomografie (CT) empfohlen. Abbildung 6-12 zeigt eine dreidimensionale CT-Aufnahme und ein Panorama-CT-Bild eines Canalis incisivus mandibulae.

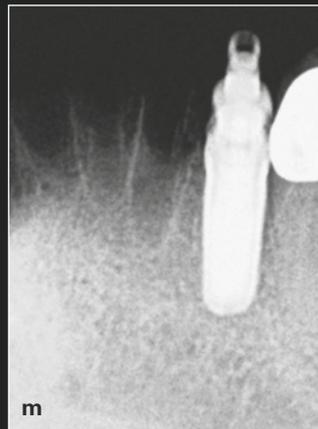
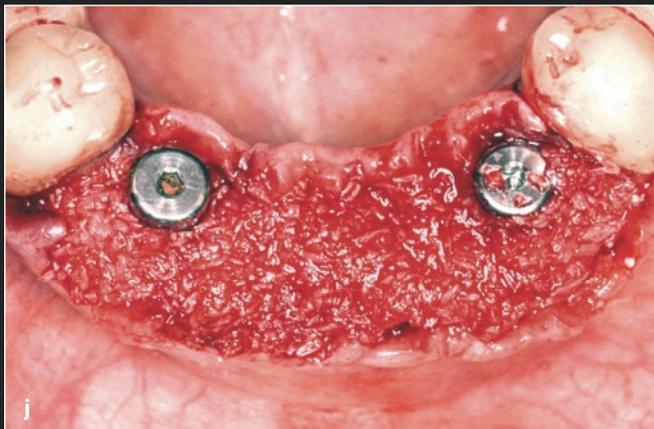
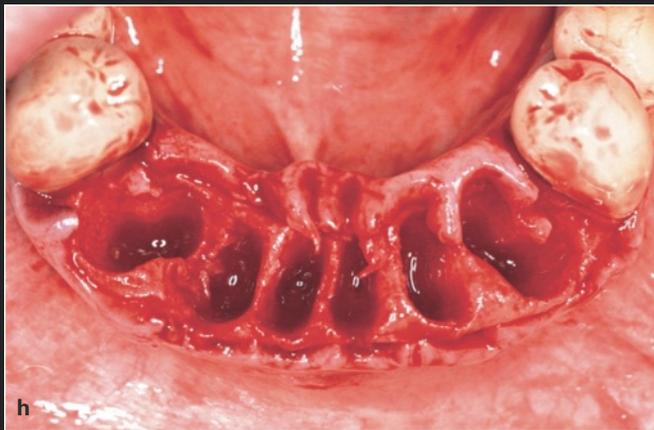


**Abb. 6-12** Der Canalis incisivus mandibulae auf einem dreidimensionalen Bild (a) und auf einem CT-Panoramabild (b). Da eine normale Panoramaaufnahme diesen Kanal nicht zuverlässig zeigt, muss vor jeder Implantation eine CT angefertigt werden.

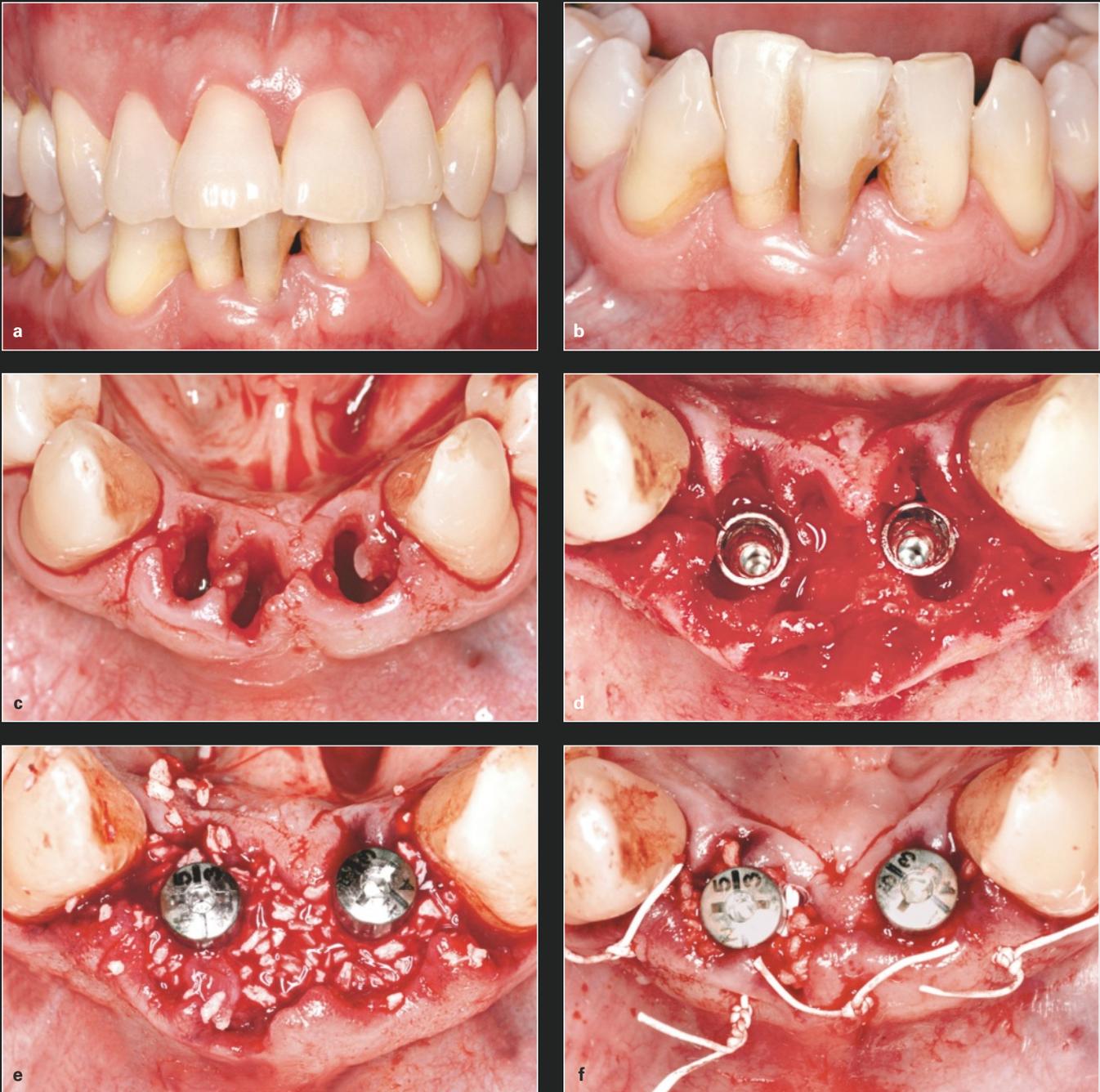
Wichtig ist, dass der Canalis incisivus mandibulae bei einer resorbierten Mandibula näher am Alveolarkamm verläuft. Unabhängig vom Resorptionsmuster muss er bei der Planung von Implantationen im intraforaminalen Bereich immer berücksichtigt werden<sup>6</sup> (Abb. 6-13 und 6-14).



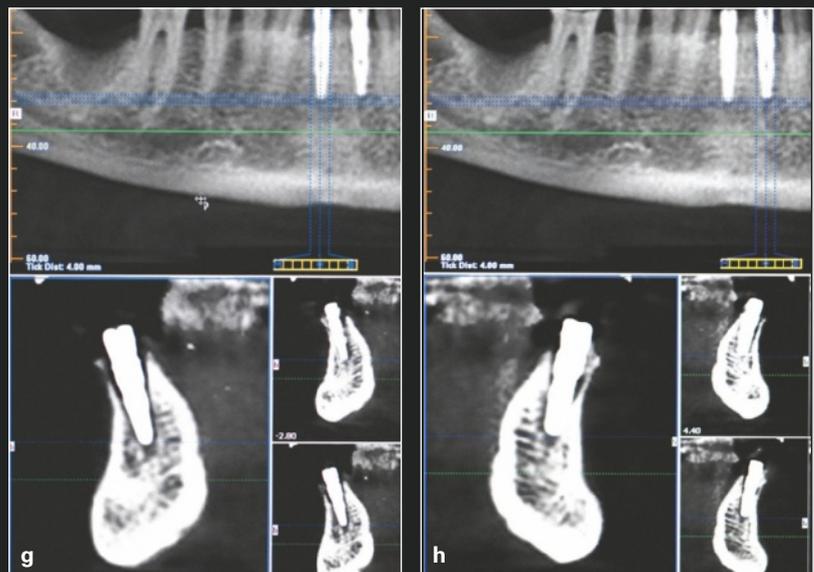
**Abb. 6-13** (a–n) Klinischer Fall eines Patienten, bei dem ein nicht erhaltungswürdiger unterer Frontzahn ersetzt werden sollte. Die CT zeigt in der rechten Mandibula einen Canalis incisivus mandibulae. Gezeigt sind Querschnittaufnahmen des rechten Foramen mentale (b), des rechten unteren Eckzahns (c), des linken Foramen mentale (d) und des linken unteren Eckzahns (e). Auf der CT-Panoramaaufnahme war der Kanal nicht zu erkennen (a), wohl aber bei der Querschnittaufnahme des unteren rechten Eckzahns (c). Da sich der Eckzahn etwa 12 mm mesial des Foramen mentale befindet, kann dieser Kanal unter dem Eckzahn nicht mit der mesialen Schleife des N. alveolaris inferior identisch sein. Auf der linken Seite liegt das Foramen mentale zwischen dem ersten Molaren und zweiten Prämolaren; die Querschnittaufnahme des Eckzahns zeigt keinen Canalis incisivus mandibulae. Daher wurde für den Ersatz des rechten unteren Eckzahns ein kürzeres Implantat gewählt als für den Ersatz des linken unteren Eckzahns (11 mm versus 13 mm), um den Sicherheitsabstand zum Canalis incisivus mandibulae einzuhalten.



**Abb. 6-13** (Forts.) Nach Exztraktion und Implantation (f–i) wurde Knochenersatzmaterial eingebracht (j) und die Wunde verschlossen (k). (l und m) Die postoperativen Röntgenaufnahmen zeigen das kürzere Implantat auf der rechten Seite. (n) Vier Monate später wurden die Implantate erfolgreich restauriert.



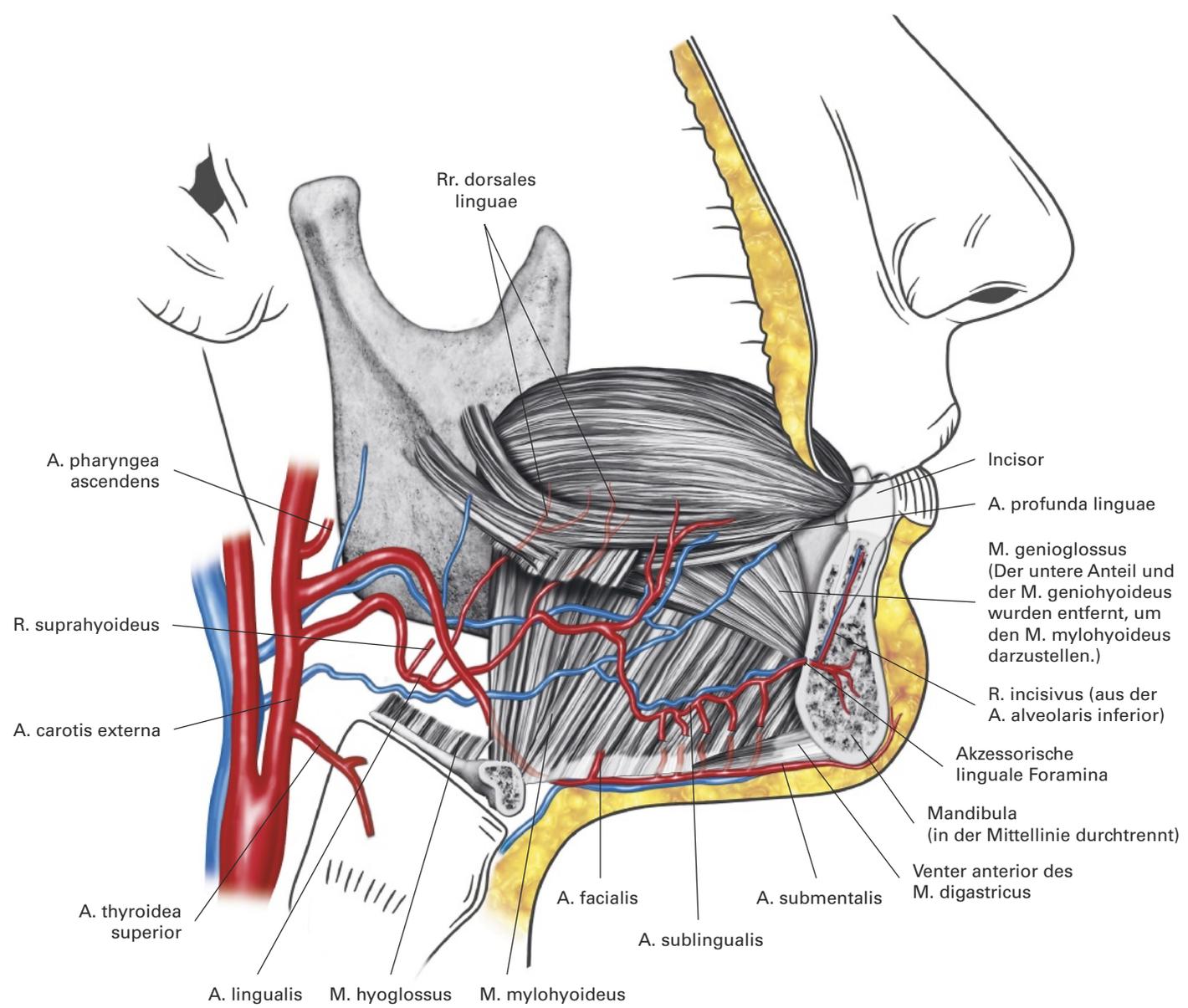
**Abb. 6-14** (a-h) Klinischer Fall, bei dem die unteren Schneidezähne durch zwei Implantate ersetzt werden sollten (DIO Implantatsystem) und kein Canalis incisivus mandibulae vorhanden war. Daher sind beide Implantate 12 mm lang.





# Akzessorische linguale Foramina der Mandibula

Die anatomischen Strukturen des anterioren Mundbodens werden von der A. sublingualis (einem Ast der A. lingualis) und der A. submentalialis (einem Ast der A. facialis) mit Blut versorgt (Abb. 6-15 und 6-16).



**Abb. 6-15** Laterale Ansicht der Anatomie der A. lingualis. A. = Arteria, M. = Musculus, R. = Ramus, Rr. = Rami, V. = Vena.

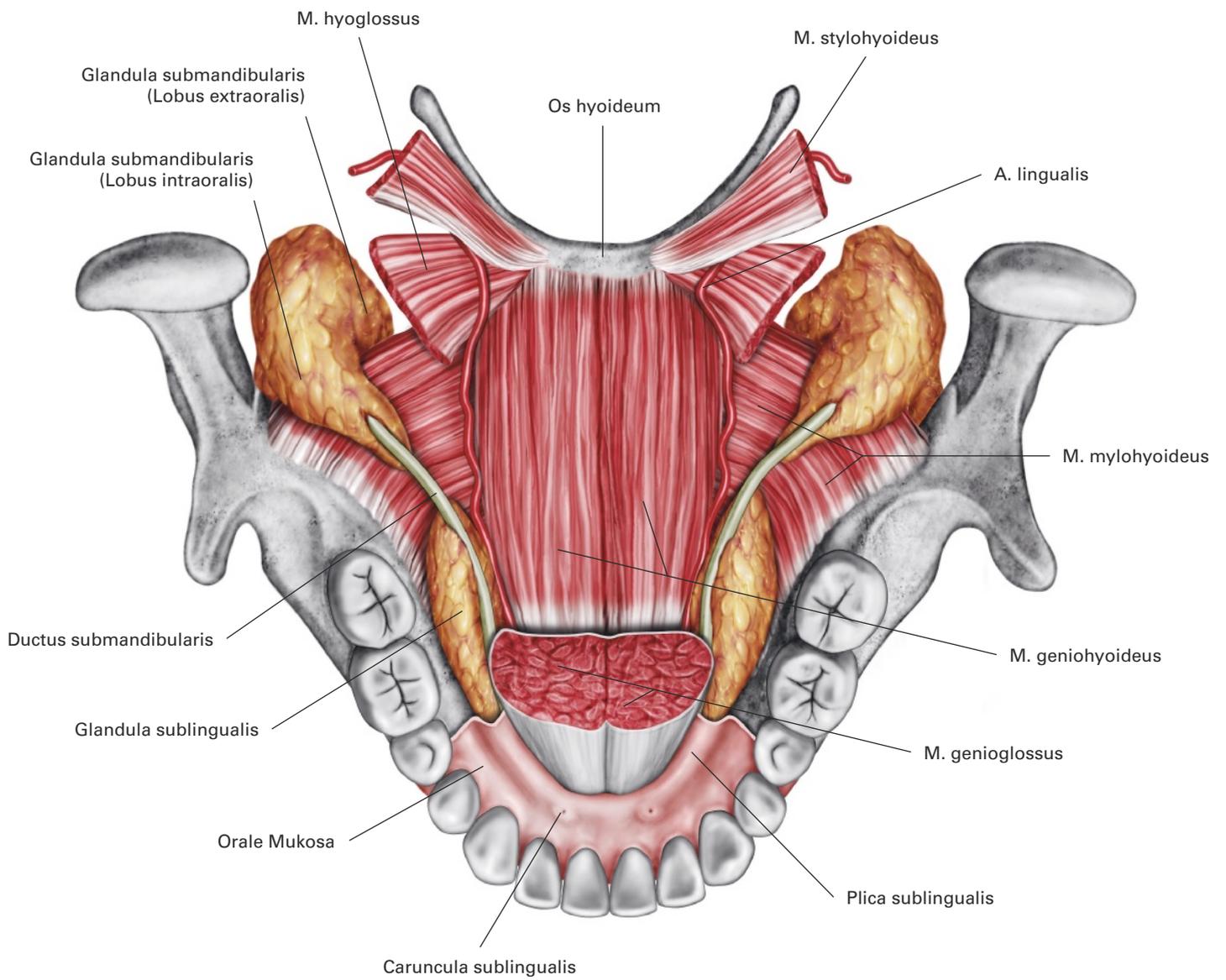
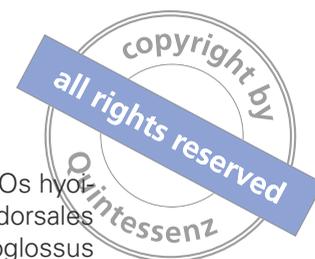


Abb. 6-16 Superiore Ansicht der Anatomie der A. lingualis. A. = Arteria, M. = Musculus.



## A. lingualis

Die A. lingualis ist einer der acht Äste der A. carotis externa, die sie auf Höhe des Os hyoideum verlässt. Sie versorgt mit ihrem Endast, der A. profunda linguae, und den Rr. dorsales linguae Apex und Corpus linguae. Die A. lingualis gibt am Vorderrand des M. hyoglossus die A. sublingualis ab.

## A. sublingualis

Die A. sublingualis hat einen mittleren Durchmesser von 2 mm und versorgt die Glandulae sublinguales, M. mylohyoideus, M. geniohyoideus und M. genioglossus, die Schleimhäute des Mundbodens und die linguale Gingiva. Außerdem gibt sie mehrere Rr. alveolares zur Versorgung der linguale anterioren Kortikalisplatte der Mandibula ab. Diese Äste treten durch verschiedene Foramina in die Kortikalisplatte ein, die als akzessorische linguale Foramina bezeichnet werden und Kanäle bis zur Mitte des Alveolarknochens bilden.

Rosano et al.<sup>7</sup> untersuchten 60 getrocknete Mandibulae von Erwachsenen zur Evaluation von Prävalenz, Größe, Lage und Inhalt der Foramina und Knochenkanäle auf der Lingualseite der Mandibula. In weitere 20 getrocknete Mandibulae wurde roter Latex injiziert. Anschließend wurden sie disseziert, um den Inhalt dieser linguale Foramina und Kanäle darzustellen. Insgesamt wurden 118 Foramina gefunden. Jede Mandibula wies in der Mittellinie über den Spinae mentales mindestens ein linguales Foramen auf (mittlerer Abstand  $12,5 \pm 2,1$  mm [SD] vom Unterrand der Mandibula). Bei 19 der 20 mit Latex injizierten Mandibulae zeigte die makroanatomische Dissektion einen gut ausgeprägten Gefäßast, der von der sublingual-sublingualen Anastomose ausgehend alleine in die Mittellinie der Mandibula eindringt. Somit können die Blutgefäße im Mundboden sehr nahe an der linguale Kortikalisplatte der mandibulären Mittellinie verlaufen, sodass es bei einer selbst minimalen Perforation dieser Knochenplatte zu einer Blutung kommen kann.

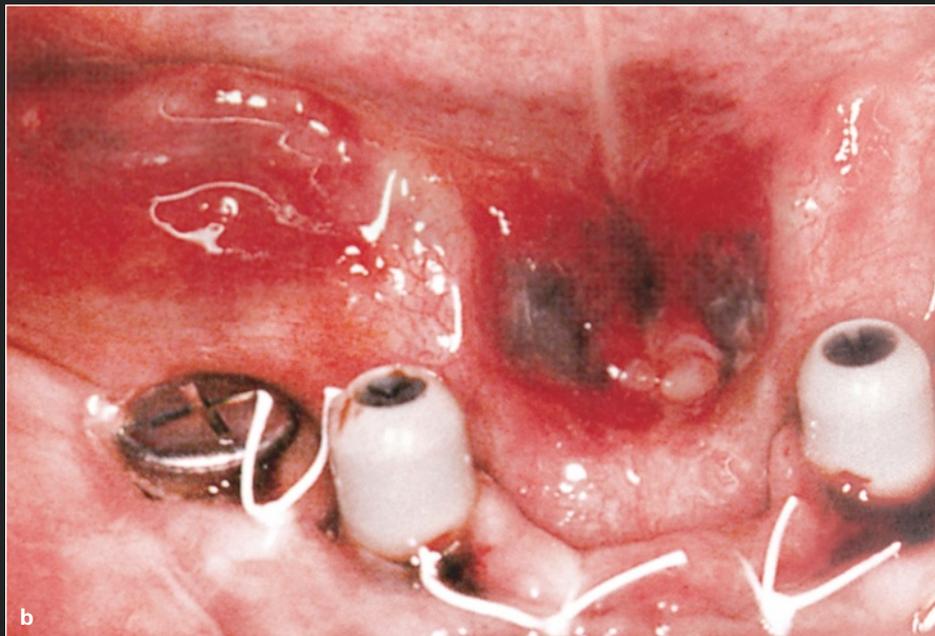
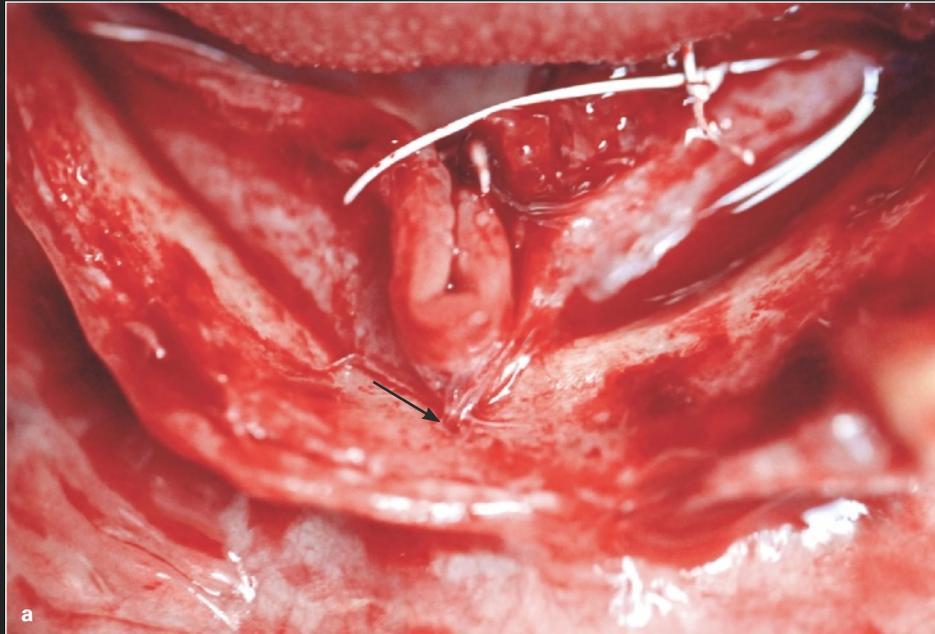
Krenkel et al.<sup>8</sup> beschrieben die in der Mittellinie liegenden interspinalen, superspinalen und subspinalen linguale Foramina, die kleine Äste der A. sublingualis enthalten, entsprechend ihrer vertikalen Orientierung in Bezug auf die Spinae mentales.

Bei zwei weiteren Studien von Liang et al.<sup>9,10</sup> wiesen 49 (98 %) der 50 untersuchten Mandibulae mindestens ein linguales Foramen in der Mittellinie auf. Die mikroanatomische Dissektion dieser Präparate ergab in den superioren und inferioren Foramina und Kanälen an den Spinae mentales ein deutlich abgegrenztes neurovaskuläres Bündel. Der Inhalt des superior gelegenen Kanals stammte aus der A. lingualis und dem N. lingualis, während der Inhalt des inferioren Kanals aus der A. submentalis (einem Ast der A. facialis) und/oder A. sublingualis stammte und von einem Ast des N. mylohyoideus innerviert wurde. Somit wurden abhängig von ihrer Lage verschiedene linguale Foramina ermittelt. Der neurovaskuläre Inhalt der Foramina an der Spina mentalis superior und inferior unterscheidet sich abhängig von ihrer Lage über oder unter den Spinae mentales.

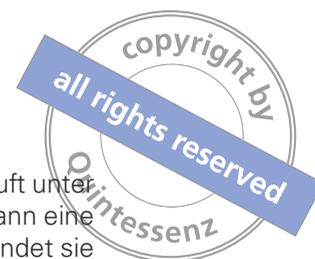
Weitere Studien haben auf der Lingualseite der Mandibula im Prämolarenbereich nahe dem Unterrand der Mandibula<sup>11</sup> und dem Alveolarkamm zwischen den lateralen Schneidezähnen und den Eckzähnen<sup>12</sup> akzessorische Foramina nachgewiesen.

## Bedeutung der Aa. sublinguales

Die A. alveolaris inferior versorgt über die Rr. incisivi die Symphysis mandibulae. Der Bereich zwischen den Eckzähnen wird jedoch wie bereits erwähnt zusätzlich von Rr. alveolares aus der A. sublingualis versorgt, die durch die akzessorischen linguale Foramina ziehen. Diese komplementäre Blutversorgung ist vor allem beim unbezahnten Unterkiefer von Bedeutung, da der Blutkreislauf in der Mandibula durch atherosklerotische Veränderungen der A. alveolaris inferior nach Zahnverlust immer stärker von der externen Blutzufuhr aus dem Periost und den akzessorischen Canales linguales abhängt. Dieser Umstand muss bei der Mobilisierung großer linguale Mukoperiostlappen berücksichtigt werden<sup>13,14</sup> (Abb. 6-17a). Bei Unterbrechung der Blutversorgung im unteren Frontzahnbereich kann ein sublinguales Hämatom entstehen. Mehrere der Arterien aus den akzessorischen linguale Foramina der Mandibula sind ausreichend groß, um bei Implantationen in diesem Bereich zu starken Blutungen zu führen<sup>15</sup> (Abb. 6-17b).



**Abb. 6-17** (a) Ein Fall, bei dem in der CT ein akzessorisches linguales Foramen entdeckt wurde. Das akzessorische linguale Foramen (Pfeil) wurde bei der Mobilisierung des Vollschichtlappens auf der linguale Seite berücksichtigt, um exzessive Blutungen im Operationsgebiet zu verhindern. (b) Sublinguale Blutung durch eine Schädigung der A. sublingualis während einer Implantation im unteren Frontzahnbereich (mit frdl. Genehmigung aus Ten Bruggenkate et al.<sup>16</sup>).



## A. facialis

Die A. facialis geht oberhalb der A. lingualis aus der A. carotis externa ab. Sie verläuft unter dem Venter posterior des M. digastricus und dem M. stylohyoideus und erzeugt dann eine Furche auf der Oberfläche der Glandula submandibularis, die sie versorgt. Dann windet sie sich am Vorderrand des M. masseter um die Mandibula und zieht zum Gesicht. Zu ihren Ästen gehören die A. palatina ascendens, die A. submandibularis, die A. submentalis, die Aa. labialis inferior und superior sowie die A. angularis.

## A. submentalis

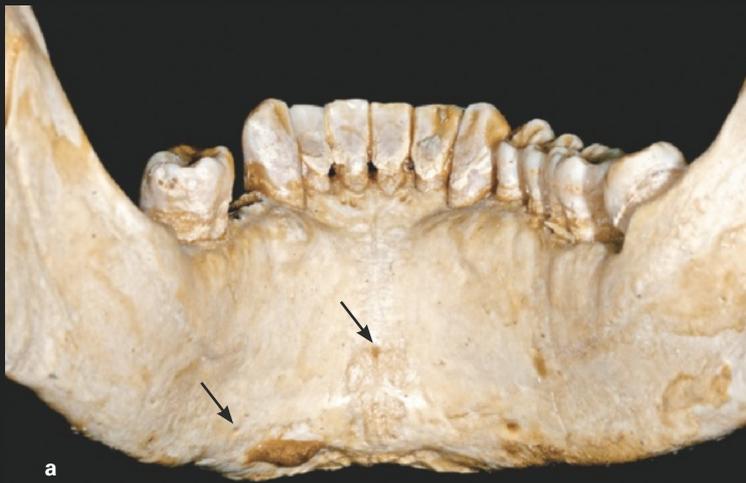
Die A. submentalis geht aus der A. facialis ab, bevor diese den Rand der Mandibula überquert, und verläuft gemeinsam mit dem N. mylohyoideus entlang des Unterrandes des M. mylohyoideus. Sie versorgt die Nodi lymphoidei submandibulares, die Glandula submandibularis sowie den M. mylohyoideus und den M. digastricus.

Wichtig ist die Anastomose<sup>17</sup> zwischen der A. sublingualis und der A. submentalis über ihre Rr. mylohyoidei. (Die A. sublingualis verläuft auf der Oberseite und die A. submentalis auf der Unterseite.) Sie erschwert die Zuordnung einer Mundbodenblutung zur A. lingualis oder A. facialis. Die Angiografie trägt zur Darstellung und Isolierung der Blutungsquelle bei.<sup>18</sup>

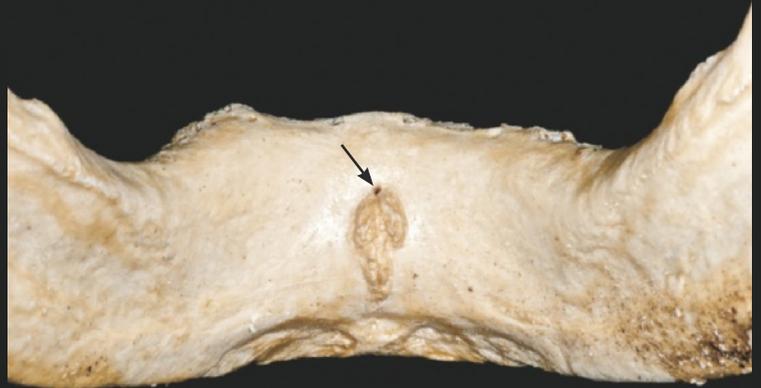
Bei Operationen im unteren Frontzahnbereich müssen Blutungen möglichst vermieden werden. Dazu sollten folgende Leitlinien befolgt werden:

- Der Operateur sollte eine CT anfertigen lassen und das Vorhandensein akzessorischer linguale Foramina und ihre Lage klären.
- Implantate sollten insbesondere bei fortgeschrittener Resorption nicht in der Mittellinie gesetzt werden, da die akzessorischen linguale Foramina in diesem Fall nahe am Alveolarkamm liegen.
- Im unteren Frontzahnbereich sollten lingual nur kleine Lappen mobilisiert werden, um die Blutversorgung der linguale Knochenplatte nicht zu unterbrechen und Blutungen zu minimieren.

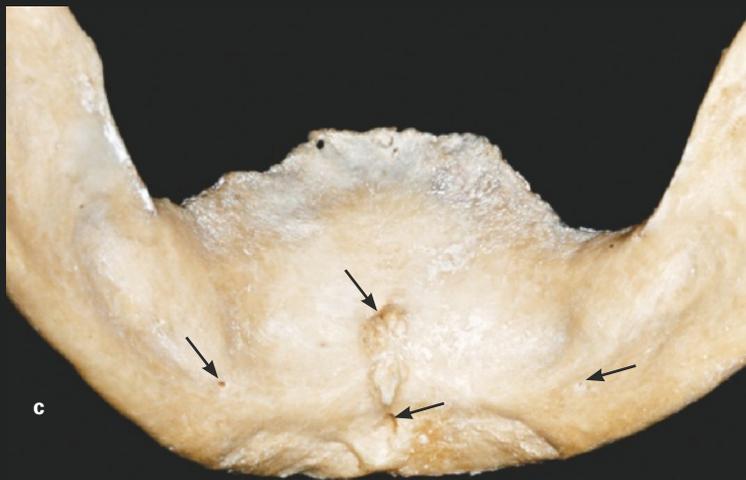
Die Abbildungen 6-18 bis 6-20 zeigen akzessorische linguale Foramina/Kanäle bei menschlichen Präparaten und auf CT-Bildern.



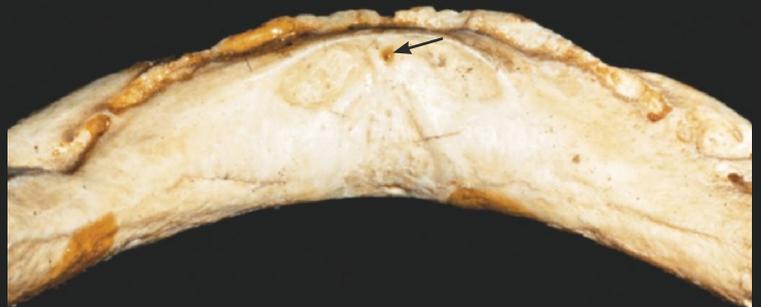
a



b



c

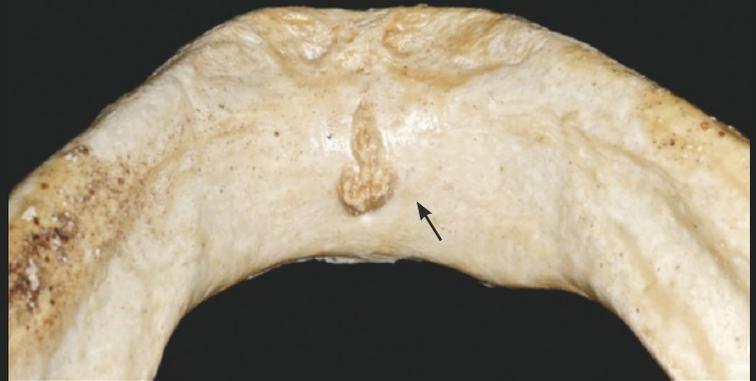


d

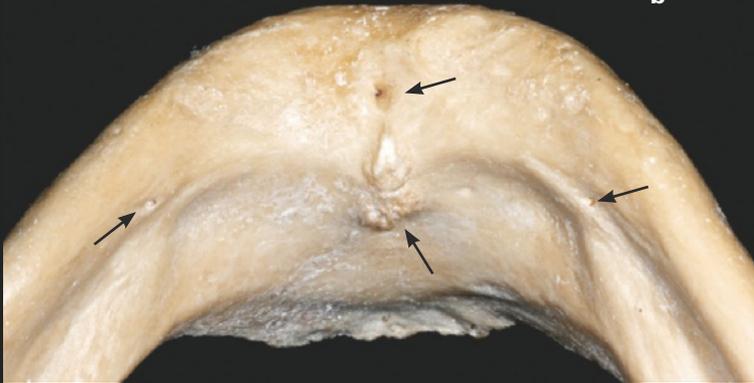
**Abb. 6-18** Linguale Ansicht des unteren Frontzahnbereichs von vier menschlichen Unterkieferpräparaten (denselben wie in Kap. 5) mit unterschiedlichen Knochenresorptionsmustern. Die Pfeile markieren die akzessorischen linguale Foramina. (a) Mandibula mit minimaler Knochenresorption. (b) Mandibula mit leichter Knochenresorption. (c) Mandibula mit mittelschwerer bis starker Knochenresorption. (d) Mandibula mit starker Knochenresorption.



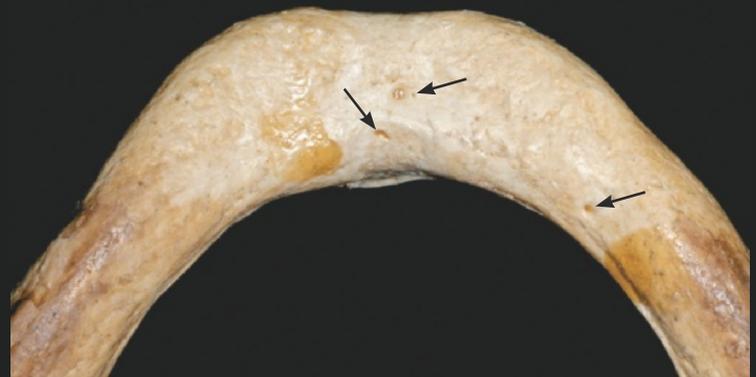
a



b

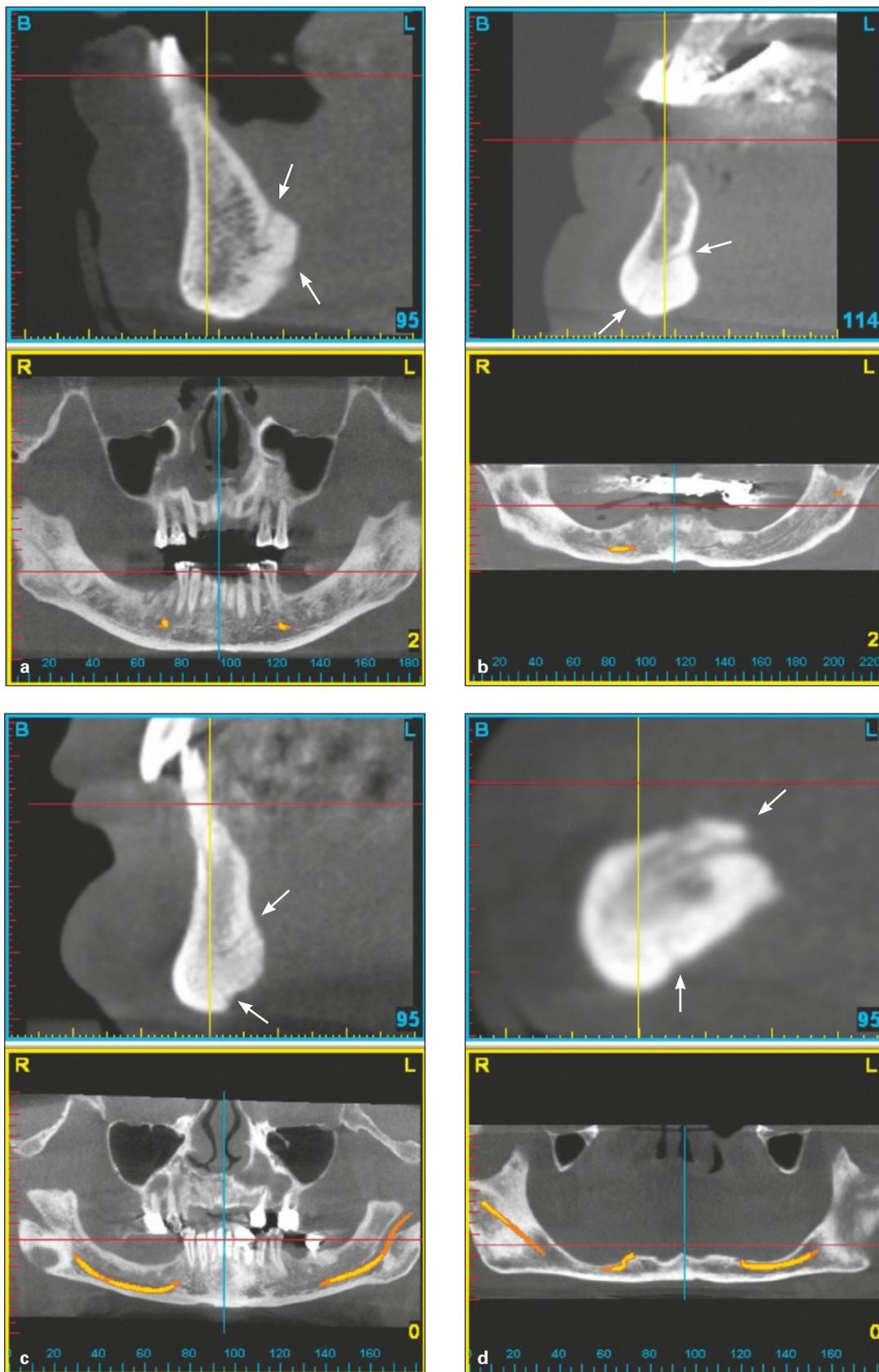


c



d

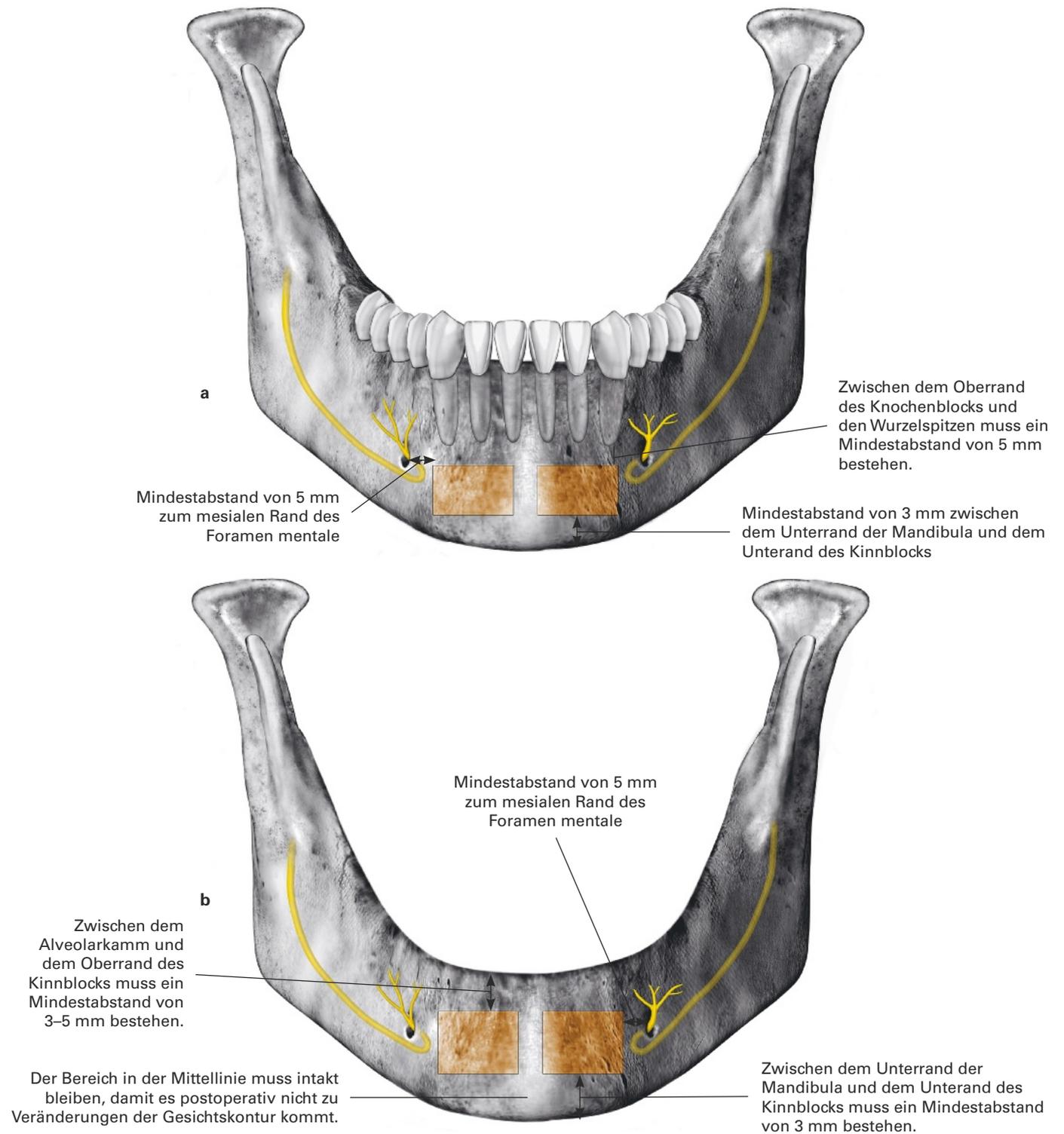
**Abb. 6-19** Inferiore Ansicht des unteren Frontzahnbereichs von vier menschlichen Unterkieferpräparaten (dieselben wie in Kap. 5) mit unterschiedlichen Knochenresorptionsmustern. Die Pfeile markieren die akzessorischen linguale Foramina. (a) Mandibula mit minimaler Knochenresorption. (b) Mandibula mit leichter Knochenresorption. (c) Mandibula mit mittelschwerer bis starker Knochenresorption. (d) Mandibula mit starker Knochenresorption. Die Pfeile in den Bildern a, b und c zeigen auf dieselben Foramina, die in den Abbildungen 6-18a bis 6-18c gezeigt werden, während die Pfeile in Bild d drei akzessorische Foramina markieren, die auf der linguale Seite derselben Mandibula nicht zu sehen sind (s. Abb. 6-18d).



**Abb. 6-20** Akzessorische linguale Foramina/Kanäle bei vier Unterkiefern mit unterschiedlichen Knochenresorptionsmustern. Alle weisen zwei Foramina und Kanäle auf (Pfeile). Bei den Unterkiefern mit minimaler (a) und mittelstarker Knochenresorption (c) verläuft der superiore akzessorische linguale Kanal in einem sicheren Abstand vom Alveolarkamm, sodass eine Implantation in der Mittellinie möglich ist. Bei der Mandibula mit leichter Knochenresorption (b) besteht bei einer Alveolarkammaugmentation mit Alveolarplastik ein hohes Risiko für eine Schädigung des akzessorischen linguale Kanals. Bei der Mandibula mit starker Knochenresorption (d) können die Implantate wegen des geringen Abstands zwischen dem superiores Kanal und dem Alveolarkamm nicht in Mittellinie gesetzt werden.

# Entnahme eines Knochenblocks aus dem unteren Frontzahnbereich

Bei der Entnahme von Knochenblöcken aus dem unteren Frontzahnbereich (Abb. 6-21) müssen folgende anatomische Orientierungspunkte bedacht werden: das Foramen mentale, die mediale Schlinge des N. alveolaris inferior, der Canalis incisivus mandibulae, die akzessorischen lingualen Foramina, die Knochendichte (bei D1-Knochen sollte keine Entnahme erfolgen) sowie die Wurzeln der Zähne neben dem Block. Mithilfe der CT-Daten und der in diesem Kapitel gelieferten Informationen sollten sich diese Strukturen leicht schonen lassen.



**Abb. 6-21** Empfohlene Bereiche für die Entnahme von Knochenblöcken im Kinnbereich bei einem bezahnten Unterkiefer (a) und bei einem unbezahnten Unterkiefer (b).

# Unzureichendes Knochenvolumen im unteren Frontzahnbereich

## Resorptionsmuster und Behandlungsplanung

Der Autor hat eine Klassifikation der natürlichen Resorptionsmuster des Alveolarknochens entwickelt (Abb. 6-22). Die aktuellen Klassifikationen gehen davon aus, dass die Breite des Alveolarknochens nach einem Zahnverlust allmählich abnimmt, bis sie stark reduziert ist. Anschließend geht die Höhe zurück. Der Autor stellt jedoch fest, dass das Resorptionsmuster nach initialem horizontalem Knochenverlust zwei verschiedene Formen annehmen kann: einen starken horizontalen Verlust auf der gesamten Länge des Alveolarknochens oder einen starken horizontalen Verlust der krestalen Hälfte des Alveolarknochens, während in der apikalen Hälfte eine ausreichende Knochenbreite bestehen bleibt. Diese beiden Muster müssen bekannt sein, um sie in der Evaluationsphase auf einer CT-Aufnahme unterscheiden zu können und die Behandlung entsprechend zu planen, da die Wahl des Knochentransplantatverfahrens zur Alveolarkammaugmentation abhängig vom Resorptionsmuster erfolgen muss.

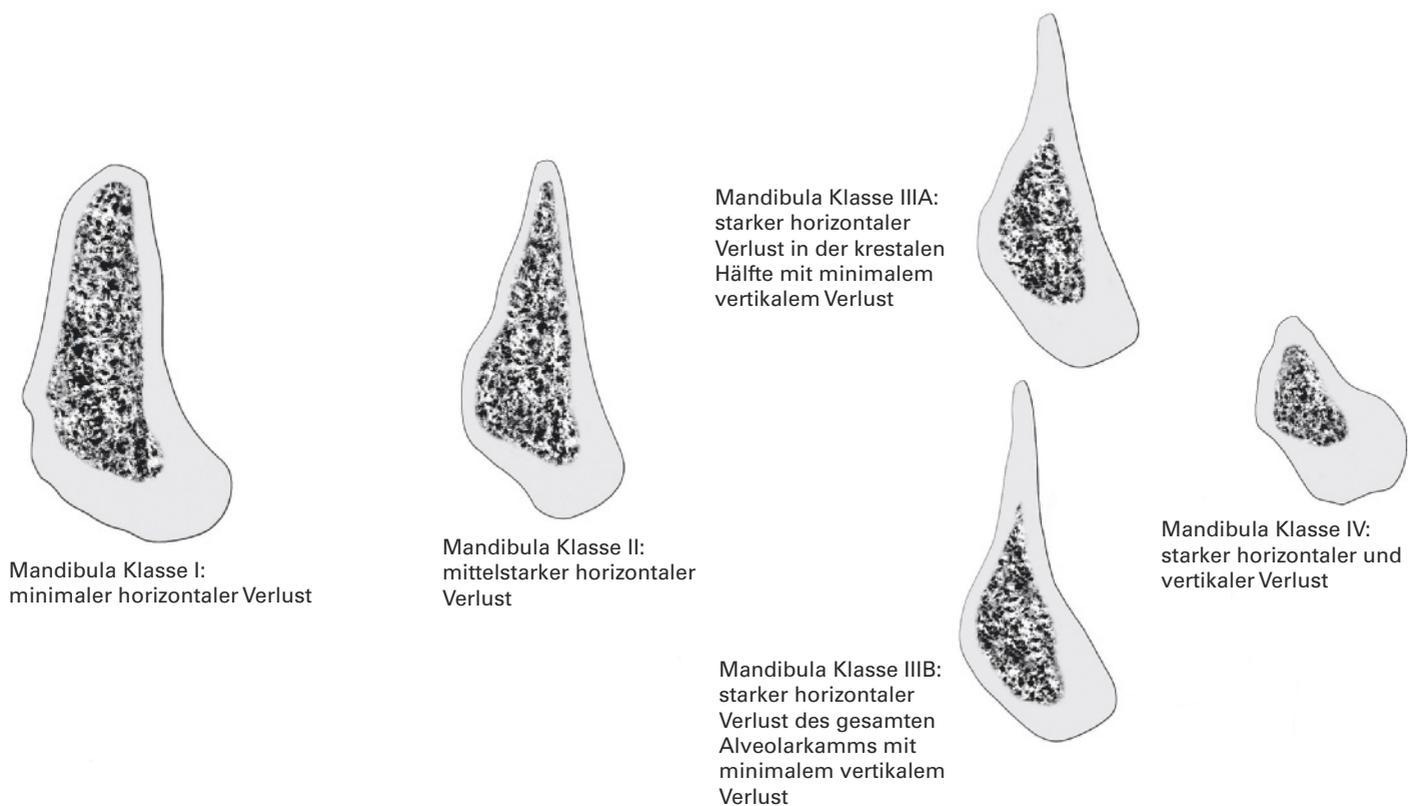


Abb. 6-22 Al-Faraje-Klassifikation des Knochenresorptionsmusters im unteren Frontzahnbereich.

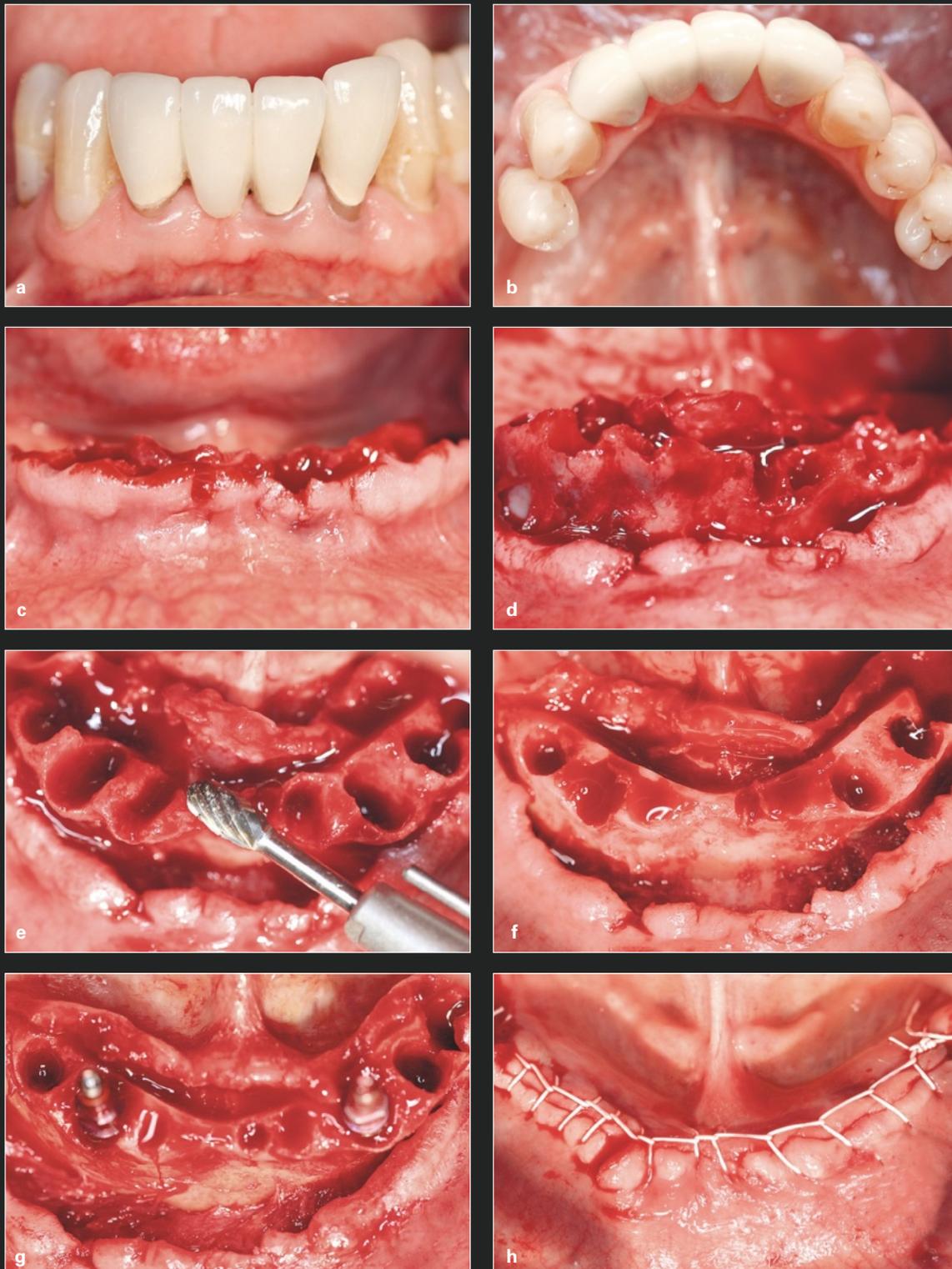
Abbildung 6-23 zeigt vier Unterkieferpräparate mit vier der fünf Resorptionsmuster der Al-Faraje-Klassifikation der Knochenresorption.



**Abb. 6-23** Superiore Ansicht des unteren Frontzahnbereichs bei vier menschlichen Unterkiefen (denselben wie in Kap. 5) mit unterschiedlichen Knochenresorptionsmustern. (a) Mandibula mit Klasse-I-Knochenresorptionsmuster (bezahlte Mandibula mit keiner oder minimaler Resorption). (b) Mandibula mit Klasse-II-Knochenresorption. (c) Mandibula mit Klasse-III-B-Knochenresorption. (d) Mandibula mit Klasse-IV-Knochenresorption.

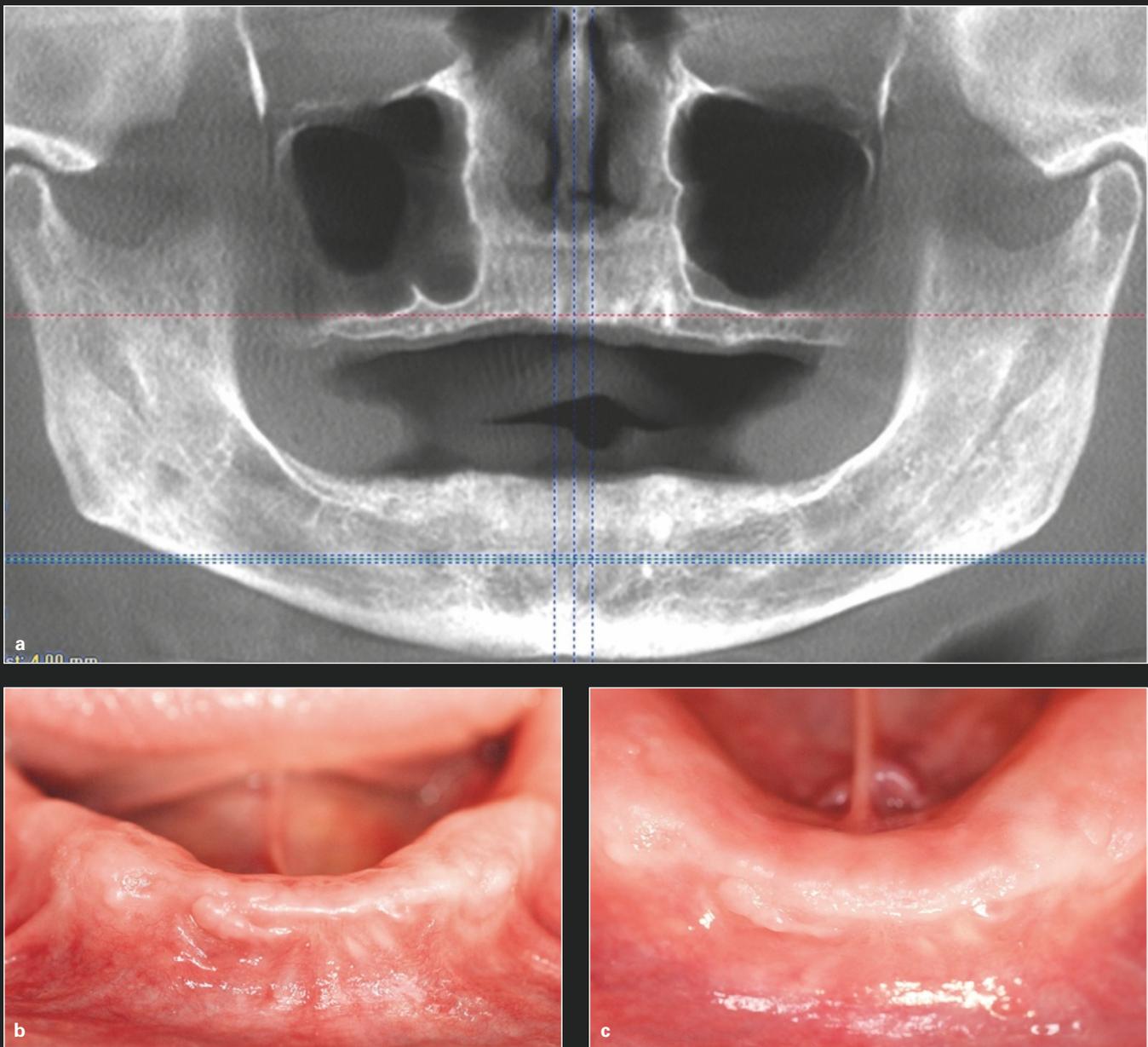
### Klinisches Management von Alveolarkammdefekten im unteren Frontzahnbereich

- Identifikation des exakten Knochenverlustmusters auf einer CT-Aufnahme.
- Bei einer Klasse-I-Knochenresorption (Al-Faraje-Klassifikation) werden Implantate mit normaler oder sogar breiterer Plattform gesetzt, da der vertikale und horizontale Knochenverlust nur minimal ist (kürzlicher Zahnverlust oder Sofortimplantation nach Extraktion). Bezahnter Alveolar-knochen wird als Klasse I eingestuft. Nach mehrfachen Extraktionen ist fast immer eine Alveolarplastik erforderlich, um die Höhe des Alveolarkamms auszugleichen und scharfe Knochenkanten zwischen den Implantaten zu vermeiden (Abb. 6-24).

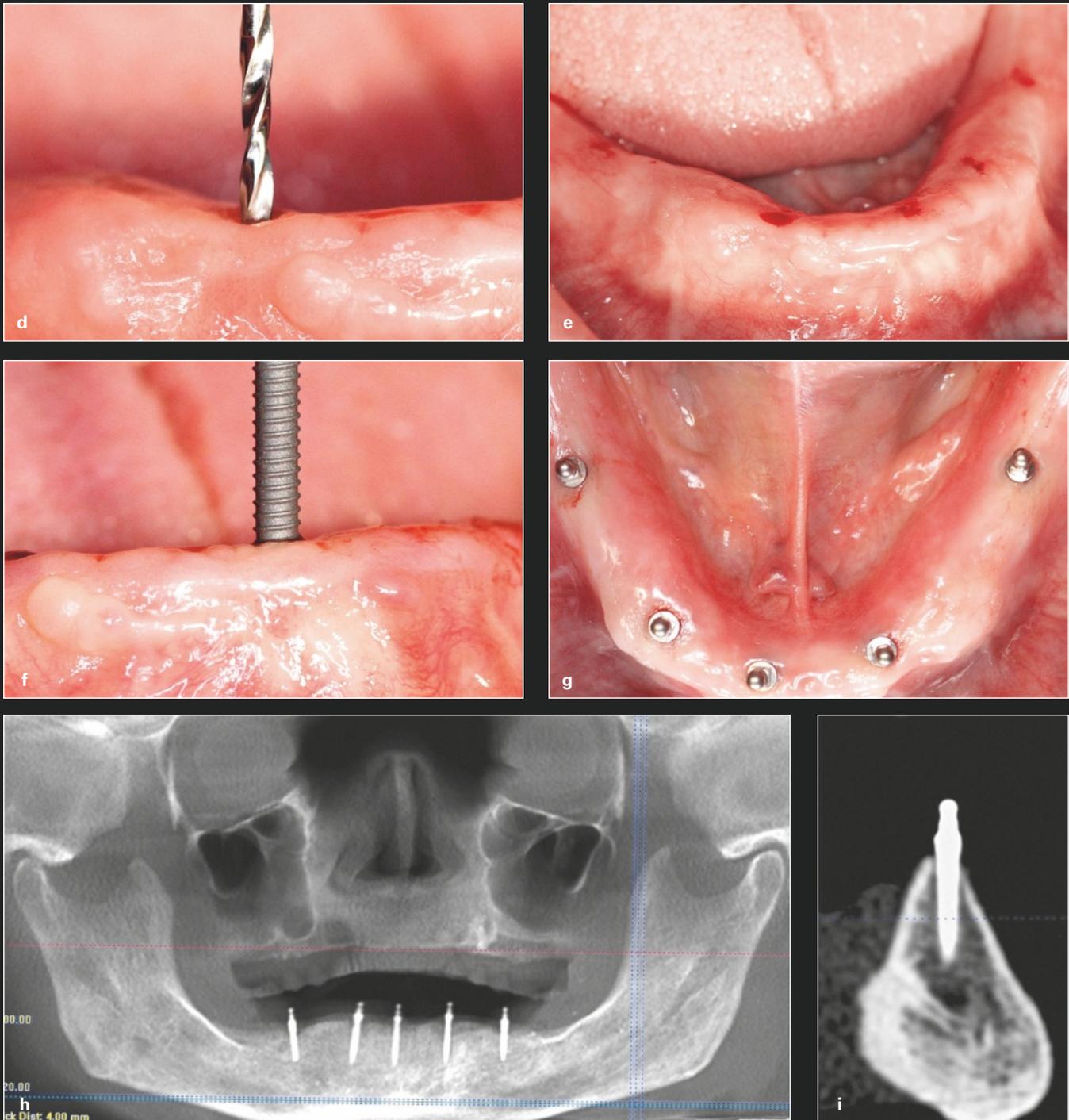


**Abb. 6-24** Klinischer Fall, bei dem nach mehreren Zahnextraktionen eine Alveolarplastik erforderlich war. Ein derartiges Vorgehen ist bei Implantationen nach zahlreichen Extraktionen in einem Kiefer bzw. bei Extraktion aller Zähne des Unterkiefers fast immer indiziert. Nach Zahnextraktion und Mobilisierung eines Vollschichtlappens (a–d) wird der Alveolarkamm mit einem Alveolarplastikboher (e) begradigt (f). Dann wurden zwei Implantate gesetzt (g), um eine Locator® Overdenture aufzunehmen, und der Lappen wurde wieder fixiert (h).

- Bei einer Klasse-II-Knochenresorption können die Implantate weiterhin ohne simultane Knochen transplantation gesetzt werden. Allerdings sollten Implantate mit schmaler Plattform gewählt werden, um eine ausreichende Dicke der bukkalen und lingualen Knochenplatte an den Implantaten sicherzustellen. Bei entsprechender Indikation sollte eine Alveolarplastik zur Vergrößerung des horizontalen Knochen volumens durchgeführt werden.
- Bei einer Klasse-III A-Knochenresorption erfolgt vor der Implantation eine Alveolarkamm-augmentation mit gestielter Sandwich-Plastik (s. Kap. 5), eine Implantation mit simultaner geführter Knochenregeneration (GBR) oder eine Blocktransplantation mit verzögerter Implantation.<sup>19,20</sup> Alternativ zu diesen drei Verfahren werden Implantate mit geringem Durchmesser oder Mini-Implantate gesetzt (Abb. 6-25).

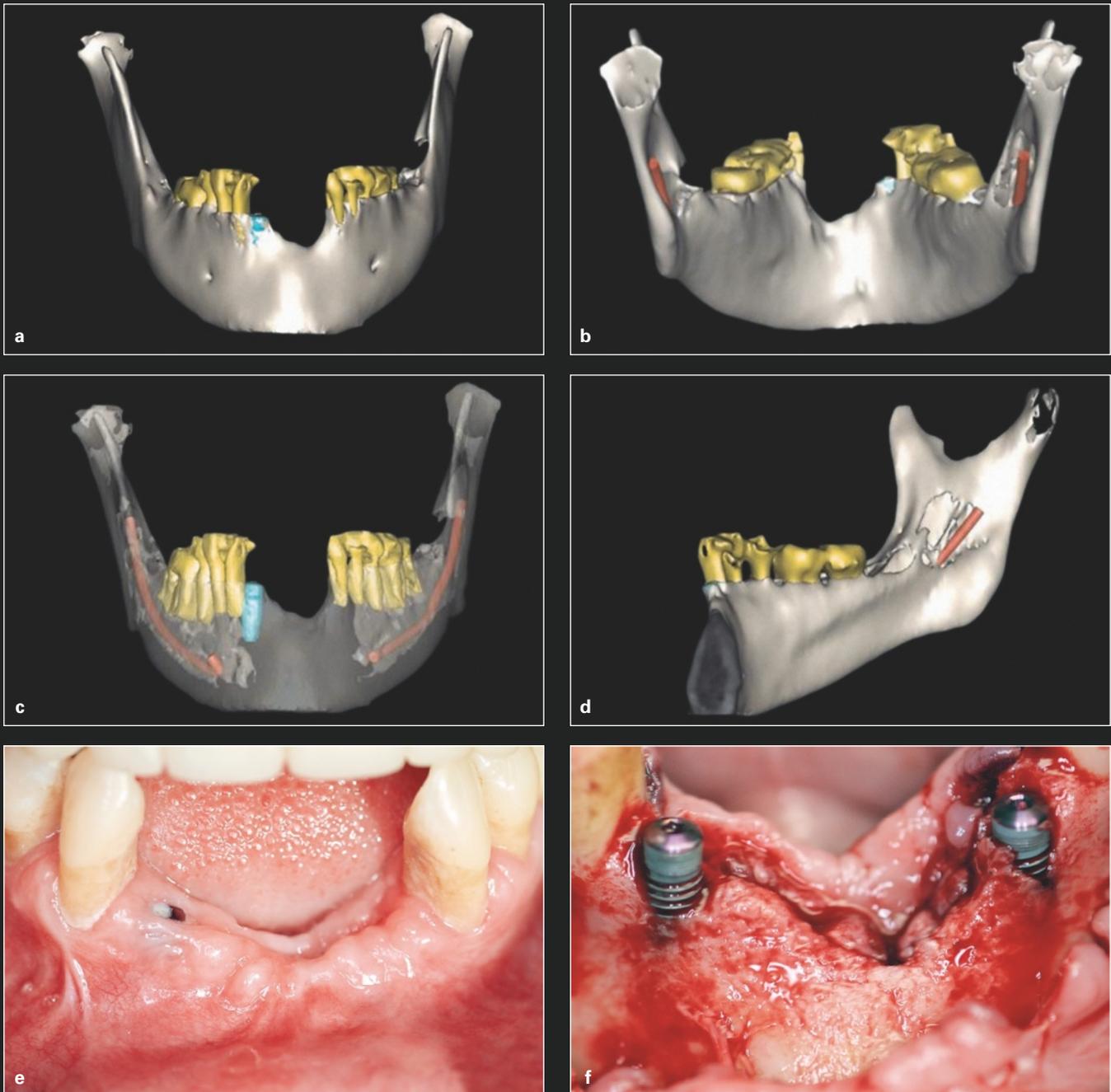


**Abb. 6-25** Setzen von Implantaten mit schmaler Plattform (DIO Implantatsystem) in einen Alveolarkamm mit reduzierter Breite. Nach der klinischen Untersuchung und CT-Evaluation (a–c) wurden mit einem Bohrer und mittels lappenlosem Vorgehen Osteotomien gesetzt (d und e).

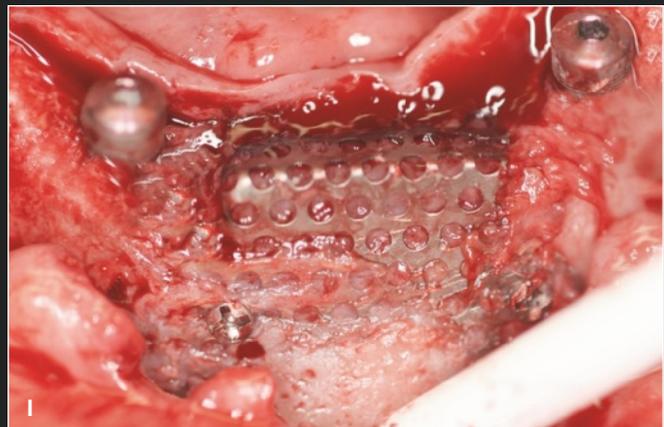
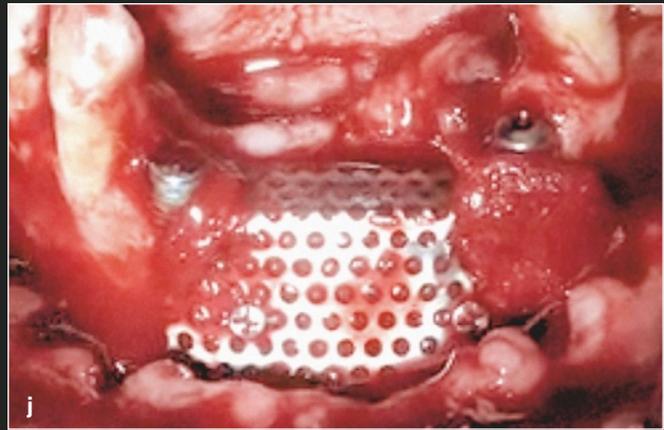
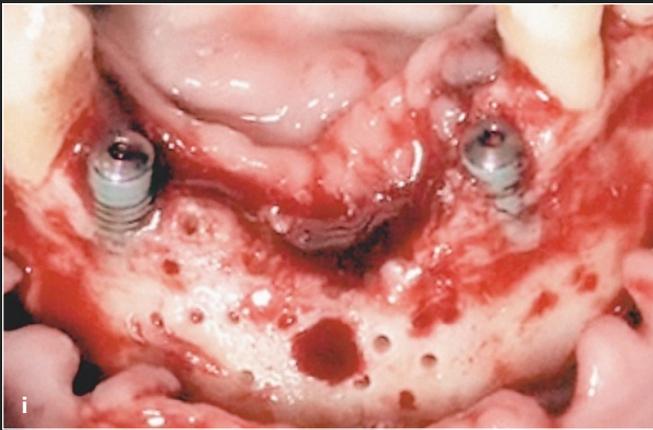


**Abb. 6-25** (Forts.) (f und g) Symmetrisch und mit möglichst gleichmäßigem Abstand werden fünf Implantate mit schmaler Plattform (Durchmesser: 2,5 mm) gesetzt. Bei der Verwendung von Implantaten mit schmaler Plattform und von Mini-Implantaten sollten im Frontzahnbereich zwischen den beiden Foramina mentales drei Implantate und auf jeder Seite ein Implantat distal des Foramen mentale gesetzt werden, sofern dies das vertikale Knochenvolumen über dem N. alveolaris inferior erlaubt, um die Okklusalkräfte auf alle Implantate zu verteilen. (h) Postoperative CT-Panoramaaufnahme. (i) Querschnitt des zentralen Implantats. Beachte den Sicherheitsabstand, der in der Mittellinie über dem akzessorischen lingualen Kanal belassen wurde.

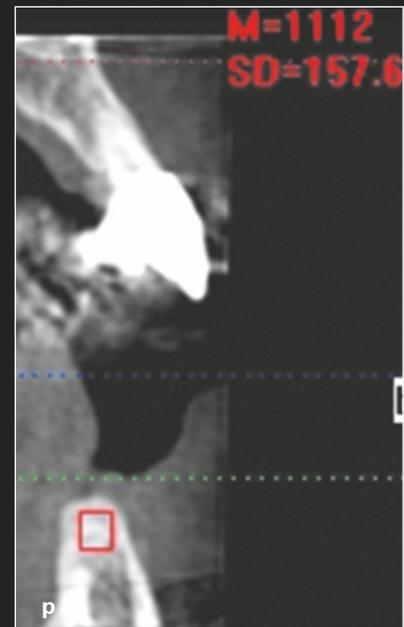
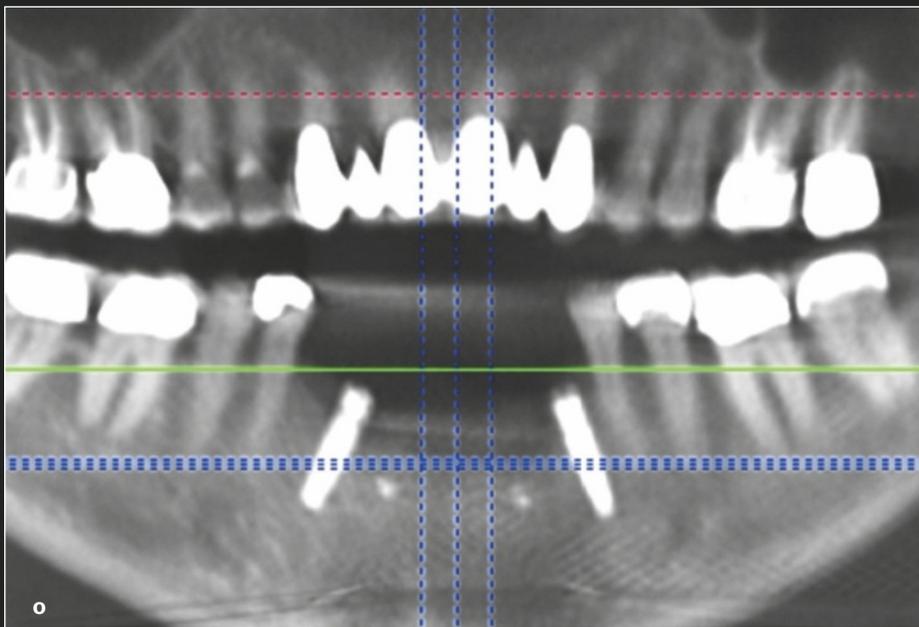
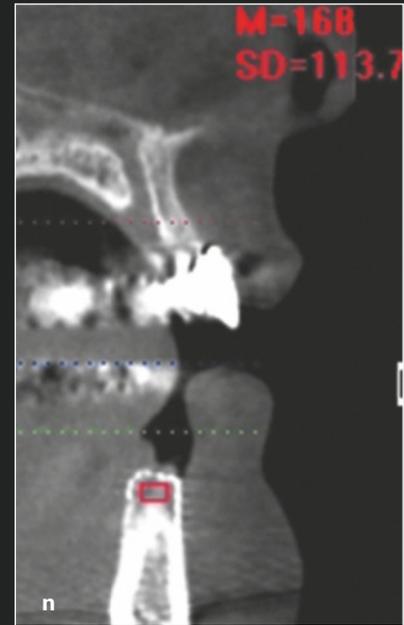
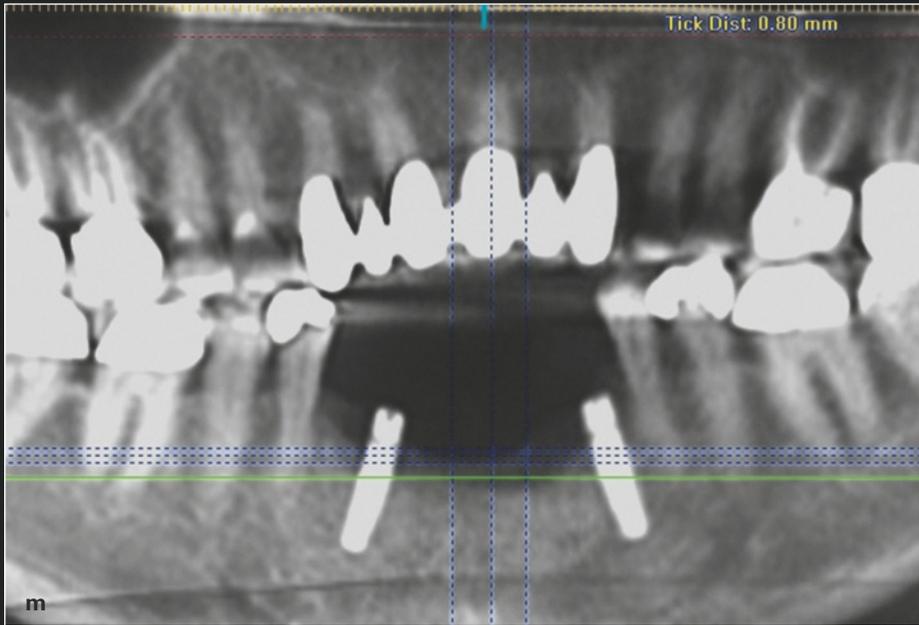
- Bei einer Klasse-III-B-Knochenresorption ist die Split-Bone-Technik wegen der minimalen Knochendicke nicht möglich und ein Knochenblocktransplantat schwierig. Daher wird eine geführte Knochenregeneration mit Titan-Mesh und rekombinatem humanem Bone Morphogenetic Protein 2/resorbierbarem Kollagenschwamm (rhBMP-2/ACS) empfohlen (Abb. 6-26).
- Bei einer Klasse-IV-Knochenresorption gibt es drei Techniken zur vertikalen Alveolarkamm-augmentation: Knochenblocktransplantation, Distractionsosteogenese und Osteotomie mit interponierter Transplantation.



**Abb. 6-26** Klinischer Fall mit einem Klasse-III-B-Knochendefekt mit vertikalem Knochenverlust (durch ein Implantat, das zuvor versagt hatte) im unteren Frontzahnbereich. Wie auf den dreidimensionalen CT-Bildern (a–d) und klinisch (e) zu sehen ist, war die Augmentation des Defekts mit einem Blocktransplantat, einer Distractionsosteogenese oder einer Osteotomie mit interponierter Transplantation aufgrund des schmalen Alveolarkamms und des ausgeprägten horizontalen und vertikalen Knochenverlusts schwierig. Daher wurde eine geführte Knochenregeneration mit Titan-Mesh und rekombinatem humanem Bone Morphogenetic Protein 2/resorbierbarem Kollagenschwamm (rhBMP-2/ACS) gewählt. Nach der Mobilisierung eines Vollschichtlappens wurde der nicht erhaltungswürdige untere linke Eckzahn extrahiert und durch ein Implantat ersetzt (f und g).



**Abb. 6-26** (Forts.) Das Knochenersatzmaterial wurde gemäß der Herstellervorgabe zubereitet (h). Dann erfolgte eine Dekortikation der zu transplantierenden bukkalen Knochenplatte, um Punktblutungen zu schaffen und Blut aus dem Knochen in den Bereich zu bringen (i). Anschließend wurde das Knochenersatzmaterial eingebracht und das Titan-Mesh fixiert (j). Nachdem ein primärer spannungsfreier Wundverschluss sichergestellt wurde, wurde der Bereich durch Naht verschlossen (k). (l) Nach einer Einheilphase von neun Monaten wurde das Titan-Mesh bei einem zweiten Eingriff entfernt. Der neu gebildete Knochen ist gut zu erkennen.



**Abb. 6-26** (Forts.) (m und n) Die CT-Aufnahmen unmittelbar nach dem Ersteingriff zeigen eine Knochendichte von 168 Hounsfield Units (HU). (o und p) Die CT-Aufnahmen direkt vor dem Entfernen des Titan-Mesh zeigen eine Knochendichte von 1.112 HU.



**Louie Al-Faraje, DDS**, ist in eigener Praxis tätig und Gründer sowie Direktor des California Implant Institute, das ein einjähriges Fellowship-Programm anbietet. Seit 2001 wurden dort mehr als 1000 Zahnmediziner aus 20 Ländern ausgebildet. Dr. Al-Faraje studierte am Kiev Medical Institute und an der Loma Linda University in Kalifornien Zahnmedizin. Er ist Fellow der American Academy of Implant Dentistry und Diplomat des International Congress of Oral Implantologists und des American Board of Oral Implantology. Dr. Al-Faraje hält auf nationaler und internationaler Ebene Vorträge.

ISBN: 978-3-86867-403-3



9 783868 674033  
www.quintessenz.de