

S2k-Leitlinie (Langversion)

# Implantologische Indikationen für die Anwendung von Knochenersatzmaterialien

AWMF-Registernummer: 083-009

Stand: Juli 2020

Gültig bis: Juni 2025

## **Federführende Fachgesellschaften:**

Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund- und Kieferbereich (DGI)  
Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK)

## **Beteiligung weiterer AWMF-Fachgesellschaften:**

Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (DGMKG)  
Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO)  
Deutsche Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien (DGPro)

## **Beteiligung weiterer Fachgesellschaften/ Organisationen:**

Arbeitsgemeinschaft für Oral- und Kieferchirurgie (AGOKi)  
Bundesverband der implantologisch tätigen Zahnärzte in Europa  
e.V./European Association of Dental Implantologists (BDIZ EDI)  
Berufsverband Deutscher Oralchirurgen (BDO)  
Deutsche Gesellschaft für Ästhetische Zahnmedizin e.V. (DGÄZ)  
Deutsche Gesellschaft für Alterszahnmedizin (DGAZ)  
Deutsche Gesellschaft für computergestützte Zahnheilkunde (DGCZ)  
Deutsche Gesellschaft für Zahnärztliche Implantologie e.V. (DGZI)  
Freier Verband Deutscher Zahnärzte (FVDZ)  
Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KZBV)  
Selbsthilfegruppe (SHG) Mundkrebs  
Verband Deutscher Zahntechniker-Innungen (VDZI)  
Verband Medizinischer Fachberufe e.V.

publiziert bei:

**Koordinator:**

Bilal Al-Nawas

**Autoren:**

Markus Tröltzsch  
Peer W. Kämmerer  
Andreas Pabst  
Matthias Tröltzsch  
Philipp Kauffmann  
Eik Schiegnitz  
Phillipp Brockmeyer  
Bilal Al-Nawas

**Methodische Begleitung:**

Prof. Ina Kopp (AWMF)  
Dr. Silke Auras (DGZMK, Leitlinienbeauftragte)  
Dr. Anke Weber (DGZMK, Leitlinienbeauftragte)

**Jahr der Erstellung:** Januar 2011

**Vorliegende Aktualisierung/ Stand:** Juli 2020

**gültig bis:** Juni 2025

*Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte/ Zahnärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollen aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte/ Zahnärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.*

*Leitlinien unterliegen einer ständigen Qualitätskontrolle, spätestens alle 5 Jahre ist ein Abgleich der neuen Erkenntnisse mit den formulierten Handlungsempfehlungen erforderlich. Die aktuelle Version einer Leitlinie finden Sie immer auf den Seiten der DGZMK ([www.dgzmk.de](http://www.dgzmk.de)) oder der AWMF ([www.awmf.org](http://www.awmf.org)). Sofern Sie die vorliegende Leitlinie nicht auf einer der beiden genannten Webseiten heruntergeladen haben, sollten Sie dort nochmals prüfen, ob es ggf. eine aktuellere Version gibt.*

## Inhalt

1.	Herausgeber .....	1
1.1.	Federführende Fachgesellschaften .....	1
1.2.	Kontakt .....	1
1.3.	Zitierweise .....	1
1.4.	Redaktioneller Hinweis.....	1
2.	Informationen zu dieser Leitlinie .....	2
2.1.	Finanzierung der Leitlinie .....	2
2.2.	Besonderer Hinweis .....	2
2.3.	Ziele des Leitlinienprogramms der DGZMK und DGI.....	2
2.4.	Verwendete Abkürzungen:.....	2
3.	Geltungsbereich und Zweck .....	3
3.1.	Zielsetzung und Fragestellung .....	3
3.2.	Adressaten der Leitlinie.....	4
3.3.	Ausnahmen von der Leitlinie.....	4
3.4.	Patientenzielgruppe .....	4
3.5.	Verbindungen zu anderen Leitlinien .....	4
4.	Grundlagen der Methodik.....	6
4.1.	Empfehlungsfindung und -graduierung .....	6
4.1.1.	Statements .....	6
4.1.2.	Expertenkonsens (EK).....	7
4.2.	Feststellung der Konsensstärke.....	7
5.	Zusammensetzung der Leitliniengruppe.....	8
5.1.	Koordination.....	8
5.2.	Beteiligte Fachgesellschaften und Organisationen .....	8
5.3.	Patientenbeteiligung .....	9
5.4.	Beteiligte Experten ohne Mandat .....	10
5.5.	Methodik .....	10
5.6.	Management der Interessenkonflikte.....	10
6.	Einleitung.....	12
6.1.	Anamnese.....	12
6.2.	Regeneration bei Defekten des Kieferkamms.....	13
6.3.	Defektbiologie im Kieferknochen.....	14
6.3.1.	Defektklassifikation des International Team for Implantology (ITI).....	14

6.3.2.	Knochenkontur, Weichgewebsmantel und biologische Kapazität eines Defektes .....	15
6.4.	Einteilung verschiedener Biomaterialien .....	16
6.4.1.	Autologer Knochen/Eigenknochen.....	17
6.4.2.	Allogener Knochen .....	17
6.4.3.	Xenogener Knochen .....	18
6.4.4.	Alloplastische/synthetische Materialien .....	18
6.4.5.	Membranen.....	19
6.4.6.	Übersicht über verschiedene Präparate.....	19
7.	Stellenwert der Augmentation.....	22
7.1.	Allgemeines .....	22
7.2.	Implantatüberleben im augmentierten und nichtaugmentierten Knochen .....	22
8.	Augmentation einfacher Defizite und Defekte .....	23
8.1.	Erhalt des Alveolarkammes nach Extraktion: Ridge Preservation .....	23
8.1.1.	Materialauswahl.....	23
8.1.2.	Membranen und Barrieren.....	24
8.1.3.	Zusammenfassung.....	24
8.2.	Dehiszenzdefekte an Implantaten.....	25
8.2.1.	Grundlagen .....	25
8.2.2.	Materialauswahl und Membranen.....	25
8.2.3.	Handlungsempfehlungen .....	26
8.3.	Sinusbodenelevation .....	26
8.3.1.	Grundlagen .....	26
8.3.2.	Materialauswahl und Membranen.....	26
8.3.3.	Handlungsempfehlungen .....	27
9.	Horizontale und vertikale Defekte des Alveolarkamms – komplexe Defizite und Defekte .....	28
9.1.	Grundlagen .....	28
9.2.	Materialien .....	29
9.2.1.	Knochenersatz mit partikulärem Material .....	29
9.2.2.	Knochenersatz mit autologen Blöcken.....	29
9.2.3.	Alveolarkammaugmentation mit allogenen, xenogenen und alloplastischen Blöcken	30
9.3.	Membranen und Barrieren .....	32
9.3.1.	Partikulärer Knochen und Knochenersatzmaterial .....	32
9.4.	Besondere operative Techniken.....	32
10.	Zusammenfassung.....	34
10.1.	Zukünftige Entwicklungen .....	34

---

10.2. Alveolarkammaugmentationen bei einfachen Defekten .....	35
10.3. Alveolarkammaugmentationen komplexer Defekte .....	35
11. Externe Begutachtung und Verabschiedung .....	36
12. Verbreitung und Implementierung .....	36
13. Gültigkeitsdauer und Aktualisierungsverfahren .....	36
Anhang: Tabelle zur Erklärung von Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten.....	37
Literaturverzeichnis .....	49

## 1. Herausgeber

### 1.1. Federführende Fachgesellschaften



Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund- und Kieferbereich (DGI)



Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK)

### 1.2. Kontakt

Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund- und Kieferbereich e. V. (DGI)  
Rischkamp 37 F  
30659 Hannover

### 1.3. Zitierweise

DGI, DGZMK: „Knochenersatzmaterialien zur Verwendung bei Kieferkammdefiziten und -defekten“,  
Langversion 2020, AWMF-Registriernummer: 083-009,  
<https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-009.html>, (Zugriff am: TT.MM.JJJJ)

### 1.4. Redaktioneller Hinweis

Ausschließlich zum Zweck der besseren Lesbarkeit wird auf die geschlechtsspezifische Schreibweise verzichtet. Alle personenbezogenen Bezeichnungen in diesem Dokument sind somit geschlechtsneutral zu verstehen.

## 2. Informationen zu dieser Leitlinie

### 2.1. Finanzierung der Leitlinie

Diese Leitlinie wurde von der Deutschen Gesellschaft für Implantologie (DGI) gefördert.

### 2.2. Besonderer Hinweis

Das Wissen um Augmentationen der atrophen Kieferknochen unterliegt einem ständigen Entwicklungsprozess. Jeder Nutzer dieser Leitlinie ist daher selbst für Ihre Anwendung und Überprüfung im Rahmen des aktuellen Wissenstandes verantwortlich. Geschützte Warennamen werden in dieser Leitlinie nicht besonders kenntlich gemacht, daher kann aus dem Fehlen der Kennzeichnung nicht auf ein Fehlen eines Markenschutzes geschlossen werden. Die Leitlinie ist urheberrechtlich im Ganzen und in Teilen geschützt.

### 2.3. Ziele des Leitlinienprogramms der DGZMK und DGI

Zielsetzung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und der Deutschen Gesellschaft für Implantologie ist unter anderem die wissenschaftliche Entwicklung und Behandlungsweise in Zahnmedizin und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie zu fördern. Auf Basis der AWMF-Regeln werden daher in verschiedenen Themengebieten Leitlinien erstellt, um Ärzten und Zahnärzten eine Aufbereitung des aktuellen Wissensstandes zu einem gewissen Fragenkomplex zu bieten. Somit werden nicht verbindliche Richtlinien geschaffen, die bei der praktischen Ausübung des Berufs helfen sollen.

### 2.4. Verwendete Abkürzungen:

- LL: Leitlinie
- EK: Expertenkonsens
- DGI: Deutsche Gesellschaft für Implantologie
- DGZMK: Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
- RCT: Randomized Clinical Trial

### 3. Geltungsbereich und Zweck

#### 3.1. Zielsetzung und Fragestellung

Die Atrophie der Kiefer kann Folge mehrere Ursachen sein. Zu diesen zählen unter anderem Zahnverlust, Parodontitis und natürliche Resorption durch die Alterung des Patienten. Die Folge der Atrophie ist ein reduziertes Angebot von Hart- und Weichgewebe welches eine Implantation unmöglich machen kann. Dabei müssen Anzahl, Dimension und Position der Implantate so gewählt werden, dass aus statischer Sicht die Lastübertragung von der geplanten implantatretinierten Restauration in den betreffenden Kieferabschnitt gesichert ist und eine Überlastung der Implantate vermieden wird. Hierfür muss ein ausreichendes Knochen- und Weichteilangebot als Basis für eine hohe Langzeiterfolgsrate von Implantaten vorhanden sein. In den Fällen, in denen das vorhandene Gewebe nicht ausreicht, muss durch augmentative Maßnahmen das Volumen vermehrt werden. Das Aufkommen verkürzter und durchmesserreduzierter Implantate und deren wissenschaftliche Etablierung kann in vielen Fällen den Augmentationsbedarf reduzieren. Allerdings muss auch für diese Implantate ein ausreichendes Knochenangebot vorhanden sein und die speziellen Indikationen der entsprechenden Implantate beachtet werden. Das im Einzelfall notwendige Knochenvolumen zu bestimmen, obliegt dem Behandler.

Aufgrund des Bestrebens, den Zweiteingriff zur Gewinnung autologer Knochentransplantate für implantologische Zwecke zu vermeiden, ist das Interesse an Knochenersatzmaterialien in den vergangenen Jahren stetig gestiegen, was gleichzeitig die Durchführung einer hohen Zahl wissenschaftlicher Untersuchungen im Bereich der Grundlagenforschung, präklinischer und klinischer Forschung zur Wirkung unterschiedlicher Knochenersatzmaterialien bedingt hat. Generell ist jedoch – wie im weiteren Verlauf der Leitlinie detaillierter ausgeführt – die Datenlage aus vergleichenden klinischen Studien schmal. Es gibt eine Vielzahl von Produkten auf dem Markt, wobei zu vielen dieser Produkte klinische Studien und präklinische Studien im klinischen repräsentativen Großtiermodell mit adäquater histologischer Charakterisierung der Gewebsreaktion fehlen. Dies ist dadurch bedingt, dass diese Produkte vor dem Jahr 2000 auf der Basis von Analogzulassungsverfahren unter Einstufung als gleichwertig zu schon sich auf dem Markt befindlichen keramischen Präparaten zugelassen wurden, die damals als inert galten. Seit dem Jahr 2000 werden zumindest Studien im klinisch relevanten Großtiermodell unter repräsentativer Operationstechnik für die Zulassung neuer Knochenersatzmaterialien und damit dem Einsatz am Patienten gefordert. Zusätzlich ist seit jüngsten EU-Bestimmungen das Vorlegen von klinischen Studiendaten für die Re-Zertifizierung alle 5 Jahre erforderlich. Da der behandelnde Arzt und Zahnarzt wie bei Arzneimitteln der Rezeptierende ist, der dem Patienten gegenüber für seine Auswahlentscheidung und die Risiko-Nutzen-Abwägung in der Verantwortung steht, ist es für den Anwender von Knochenersatzmaterialien zwingend notwendig, sich ähnlich wie bei dem Einsatz von Arzneimitteln mit den Wirkprinzipien, der Abbau- und Knochenneubildungskinetik sowie mit möglichen Interaktionen zwischen Empfängerorganismus und dem eingesetzten Material auseinanderzusetzen und darüber ausreichend informiert zu sein. Diesem Aspekt kommt bei Anwendung von Implantaten und Implantatmaterialien einschließlich Knochenersatzmaterialien eine noch größere Bedeutung als bei Pharmaka zu, da diese Materialien wesentlich länger als Pharmaka und zum Teil sogar permanent im Organismus verbleiben und eine zeitgemäße Medizin und damit ein verantwortungsbewusster Einsatz von Knochenersatzmaterialien am Patienten evidenzbasiert und nicht rein empirisch sein muss. Für die Translation eines Knochenersatzmaterials von der Materialentwicklung bis hin zur evidenzbasierten klinischen



Anwendung am Patienten sind grundlagenwissenschaftliche *in vitro* Untersuchungen einschließlich Zellkulturuntersuchungen, präklinische tierexperimentelle Untersuchungen mit histologischer Charakterisierung der Zell- und Gewebsantwort im klinisch relevanten Großtiermodell unter funktionellen Bedingungen, die denen am Patienten so ähnlich wie möglich kommen, notwendig. Diese Ergebnisse müssen anschließend in klinischen Studien bestätigt werden, da eine direkte Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf klinische Situationen nicht gegeben ist. Gerade bei Biomaterialien sind häufig Effekte aus präklinischen Untersuchungen später in klinischen Studien mit patienten-orientierten Ergebnissen nicht mehr nachweisbar. Für die Anwendung von Biomaterialien sind daher *in vitro* Ergebnisse und tierexperimentelle Daten eine wichtige Basis, für die Erstellung einer Leitlinienempfehlung finden jedoch nur klinische Studien Berücksichtigung.

Im Rahmen der vorliegenden Leitlinie sollen daher verschiedene augmentative Maßnahmen der verschiedenen Gruppen heute verfügbarer Knochenersatzmaterialien identifiziert und nach ihrer Wirkung, Indikation und klinischen Evidenz vorgestellt werden.

### **3.2. Adressaten der Leitlinie**

Diese Leitlinie richtet sich an behandelnde Zahnärzte, insbesondere Zahnärzte für Oralchirurgie, Implantologen und Ärzte, insbesondere Ärzte für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie.

### **3.3. Ausnahmen von der Leitlinie**

Es konnten keine Ausnahmen identifiziert werden.

### **3.4. Patientenzielgruppe**

Patienten mit geplanter Zahnimplantatversorgung

### **3.5. Verbindungen zu anderen Leitlinien**

- Implantat-Versorgung zur oralen Rehabilitation im Zusammenhang mit Kopf-Hals-Bestrahlung (AWMF-Registernummer 007-089)
- Dentale digitale Volumetomographie (AWMF-Registernummer 083-005)
- Implantatprothetische Versorgung des zahnlosen Oberkiefers (AWMF-Registernummer 083-010)
- Indikationen zur implantologischen 3D-Röntgendiagnostik und navigationsgestützte Implantologie (AWMF-Registernummer 083-011)
- Vollkeramische Kronen und Brücken (AWMF-Registernummer 083-012)
- Zahnärztliche Chirurgie unter oraler Antikoagulation / Thrombozytenaggregationshemmung (AWMF-Registernummer 083-018)
- Periimplantäre Infektionen an Zahnimplantaten, Behandlung (AWMF-Registernummer 083-023)

- Zahnimplantatversorgungen bei multiplen Zahnnichtanlagen und Syndromen (AWMF-Registernummer 083-014)
- Zahnimplantate bei Diabetes mellitus (AWMF-Registernummer 083-025)
- Zahnimplantate bei medikamentöser Behandlung mit Knochentiresorptiva (inkl. Bisphosphonate) (AWMF-Registernummer 083-026)

## 4. Grundlagen der Methodik

Die Methodik zur Erstellung dieser Leitlinie richtet sich nach dem AWMF-Regelwerk (Version 1.1 vom 27.03.2013).

Quelle: Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) - Ständige Kommission Leitlinien. AWMF-Regelwerk „Leitlinien“. 1. Auflage 2012. (<http://www.awmf.org/leitlinien/awmf-regelwerk.html>)

Unter besonderer Beachtung der Stellungnahmen der European Association for Osseointegration (EAO, 2018) (Schliephake et al. 2018) und des International Team for Implantology (ITI, 2018) (Jung et al. 2018) sowie die Leitlinie der DGI/AWMF „In welchen implantologischen Indikationen ist die Anwendung von Knochenersatzmaterialien experimentell und klinisch wissenschaftlich belegt?“. Autoren der Leitlinie: Al-Nawas, Gellrich, Klein, Palm, Rothamel, Schlee, Schultze-Mosgau, Schwarz, Sommer; Datum der Erstellung: 06.01.2011 wurde ein Literaturreview in Anschluss an die Studie Tröltzsch et al. 2016 (Troeltzsch et al. 2016) durchgeführt, bei dem der Suchzeitraum mit der gleichen Methodik bis Mai 2019 erweitert wurde.

### 4.1. Empfehlungsfindung und -graduierung

Am 25.09.2019 fand in Eltville am Rhein die 4. Leitlinienkonferenz der Deutschen Gesellschaft für Implantologie statt. In diesem Rahmen wurde die vorliegende S2k-Leitlinie unter neutraler Moderation (Prof. Dr. Ina Kopp, AWMF) konsentiert.

In Erweiterung der Publikation von Tröltzsch et al. 2016 wurden die Suchkriterien beibehalten und der Zeitraum bis Mai 2019 erweitert. Die Suche wurde elektronisch in den Pubmed und Cochrane Datenbanken durchgeführt. Die Begriffe waren: „augmentation dental, augmentation bone, augmentation jaw, bone graft horizontal, bone graft vertical, horizontal defect, vertical defect, combined augmentation, vertical sandwich, dehiscence defect, implant dehiscence“. Zudem wurden folgende Zeitschriften händisch durchsucht: International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Journal of Craniomaxillofacial Surgery, Journal of Clinical Periodontology, Journal of Periodontology, Clinical Oral Implant Research, International Journal of Oral Maxillofacial Implants, Clinical Implant Dentistry and Related Research. Die Einschlusskriterien waren: humane Studien, alle Publikationsarten (Case Report bis Meta-Analyse), Augmentationen vor oder simultan mit Implantation sowie numerisch auswertbare Ergebnisse in der Studie. Als Ausschlusskriterien galten: Tierstudien, *in vitro* Studien, Studien, die nicht im oralen Gebiet durchgeführt wurden, ossäre Augmentation in Zusammenhang mit freien Lappen und fehlende auswertbare Daten.

#### 4.1.1. Statements

Dies sind Ausführungen und Erläuterungen zu Sachverhalten ohne konkrete Handlungsaufforderung. Sie basieren auf Studien oder Expertenmeinungen.

#### 4.1.2. Expertenkonsens (EK)

Statements und Empfehlungen, für die keine hochwertigen Studien zur Evidenzbasierung zu finden sind, werden im Expertenkonsens beschlossen. Die Konsentierung erfolgt in einem formalen Konsensusprozess unter neutraler Moderation. Es werden keine zusätzlichen Angaben von Evidenz- und Empfehlungsgraden dargelegt, der Grad der Empfehlung basiert ausschließlich auf Formulierungen, die wie folgt lauten.

Nach AWMF Richtlinien wurde folgende Empfehlungsgraduierung vorgenommen:

Empfehlungsgrad	Formulierung
<b>starke Empfehlung</b>	soll/ soll nicht
<b>Empfehlung</b>	sollte/ sollte nicht
<b>Empfehlung offen</b>	kann/ kann verzichtet werden

#### 4.2. Feststellung der Konsensstärke

Die Konsensstärke wurde folgendermaßen klassifiziert:

Klassifikation der Konsensusstärke	
<b>Starker Konsens</b>	Zustimmung von > 90% der Teilnehmer
<b>Konsens</b>	Zustimmung von > 75 bis 90% der Teilnehmer
<b>Mehrheitliche Zustimmung</b>	Zustimmung von > 50 bis 75% der Teilnehmer
<b>Kein Konsens</b>	Zustimmung von < 50% der Teilnehmer

## 5. Zusammensetzung der Leitliniengruppe

### 5.1. Koordination

Prof. Dr. Dr. Bilal Al-Nawas, DGI

### 5.2. Beteiligte Fachgesellschaften und Organisationen

Mandatierte/r Vertreter/in	Fachgesellschaft
<b>Anmeldende Fachgesellschaft</b>	
Dr. Jaana Kern Dr. Burkhard Kunzendorf PD Dr. Dr. Peer Kämmerer Prof. Dr. Dr. Jörg Wiltfang Dr. Dr. Anette Strunz Prof. Dr. Dr. Frank Schwarz Dr. Dr. Andreas Pabst Dr. Christian Hammächer Dr. Kathrin Becker Prof. Dr. Stefan Wolfart Prof. Dr. Benedict Wilmes Prof. Dr. Dr. Bilal Al-Nawas Prof. Dr. Beuer Prof. Dr. Dr. Knut Grötz PD Dr. Dr. Eik Schiegnitz	Deutsche Gesellschaft für Implantologie e.V. (DGI)
<b>AWMF-Fachgesellschaften</b>	
Dr. Reinald Kühle Prof. Dr. Dr. Michael Stiller Prof. Dr. Dr. Jürgen Hoffmann Prof. Dr. Dr. Stefan Haßfeld	Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (DGMKG)
Dr. Jan Hourfar	Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO)
Dr. Stephan Jacoby Prof. Dr. Meike Stiesch	Deutsche Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien (DGPro)
<b>Beteiligung weiterer Fachgesellschaften/ Organisationen</b>	
Prof. Dr. Dr. Hendrik Terheyden	Arbeitsgemeinschaft für Oral- und Kieferchirurgie (AGOKi)
Dr. Stefan Liepe Dr. Wolfgang Neumann	Bundesverband der implantologisch tätigen Zahnärzte in Europa e.V./European Association of Dental Implantologists (BDIZ EDI)

Mandatierte/r Vertreter/in	Fachgesellschaft
Dr. Dr. Wolfgang Jakobs Dr. Mathias Sommer Dr. Martin Ullner Prof. Dr. Fouad Khoury Dr. Markus Blume	Berufsverband Deutscher Oralchirurgen (BDO)
Dr. Georgia Trimpou PD Dr. Jonas Lorenz	Deutsche Gesellschaft für Ästhetische Zahnmedizin e.V. (DGÄZ)
Dr. Jörg Munack	Deutsche Gesellschaft für Alterszahnmedizin (DGAZ)
PD Dr. Dr. Lutz Ritter	Deutsche Gesellschaft für computergestützte Zahnheilkunde (DGCZ)
Dr. Markus Quitzke Dr. Arzu Tuna Dr. Navid Salehi	Deutsche Gesellschaft für Zahnärztliche Implantologie e.V. (DGZI)
Prof. Dr. Dr. Felix Koch	Freier Verband Deutscher Zahnärzte (FVDZ)
Dr. Birgit Lange-Lentz	Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KZBV)
Thomas Müller Gunthard Kissinger	Selbsthilfegruppe (SHG) Mundkrebs
Rainer Struck Henning Hinrichs	Verband Deutscher Zahntechniker-Innungen (VDZI)
Sylvia Gabel Marion Schellmann	Verband Medizinischer Fachberufe e.V.

Es erfolgte keine Rückmeldung der folgenden angefragten Fachgesellschaften/ Organisationen:

- Bundeszahnärztekammer, BZÄK

### 5.3. Patientenbeteiligung

Die Leitlinie wurde unter Beteiligung von Patientenvertretern (Thomas Müller und Gunthard Kissinger der Selbsthilfegruppe (SHG) Mundkrebs) erstellt.

#### 5.4. Beteiligte Experten ohne Mandat

Name	Aufgabe
Matthias Tröltzsch	Co-Autor und Recherche
Philipp Kauffmann	Co-Autor und Recherche
Phillipp Brockmeyer	Co-Autor und Materialübersicht
Knabe-Ducheyne, Christine	Beratung

#### 5.5. Methodik

- Prof. Dr. Ina Kopp (AWMF)
- PD Dr. Dr. Eik Schiegnitz (DGI, Leitlinienbeauftragter)
- Dr. Silke Auras (DGZMK, Leitlinienbeauftragte)
- Dr. Anke Weber (DGZMK, Leitlinienbeauftragte)

#### 5.6. Management der Interessenkonflikte

Die Erstellung dieser Leitlinie erfolgte unabhängig und neutral. Alle Autoren und Teilnehmer der Leitlinienkonferenz nutzten das AWMF-Interessenkonflikt-Formular (Stand 23.05.2018) zur Offenlegung etwaiger Konflikte. Im DGI-Büro sind die Originale hinterlegt. Die tabellarische Darstellung der Interessenkonflikt-Erklärungen liegt dieser Leitlinie im Anhang bei.

Das Management der Bewertung der Interessenerklärungen wurde von Frau Prof. Kopp (AWMF) moderiert. Zunächst erfolgte eine Aufklärung über direkte finanzielle und indirekte Interessen.

##### Direkte finanzielle Interessen:

- Berater- oder Gutachtertätigkeit in einem wissenschaftlichen Beirat eines Unternehmens der Gesundheitswirtschaft, industriellen Interessenverbänden, kommerziell orientierter Auftragsinstitute oder einer Versicherung
- Vortrags- und Schulungstätigkeiten im Auftrag eines Unternehmens der Gesundheitswirtschaft, industrieller Interessenverbände, kommerziell orientierter Auftragsinstitute oder einer Versicherung
- Finanzielle Zuwendungen für Forschungsvorhaben oder direkte Finanzierung von Mitarbeitern der Einrichtung von Seiten eines Unternehmens der Gesundheitswirtschaft, industriellen Interessenverbänden, kommerziell orientierten Auftragsinstituten oder einer Versicherung
- Eigentümerinteressen an Arzneimitteln/Medizinprodukten (z. B. Patent, Urheberrecht, Verkaufslizenz)

- Besitz von Geschäftsanteilen, Aktien mit Beteiligung von Unternehmen der Gesundheitswirtschaft.

**Indirekte Interessen:**

- Mitglied von in Zusammenhang mit der Leitlinienentwicklung relevanten Fachgesellschaften/ Berufsverbänden, Mandatsträger im Rahmen der Leitlinienentwicklung
- Akademische (z. B. Zugehörigkeit zu bestimmten „Schulen“), wissenschaftliche oder persönliche Interessen, die mögliche Konflikte begründen konnten
- Persönliche Beziehungen zu einem Vertretungsberechtigten eines Unternehmens der Gesundheitswirtschaft

Weder beim Koordinator noch den Autoren lag ein Interessenkonflikt mit Bezug zum Leitlinienthema vor, weswegen ihre Leitungsfunktion hätte eingeschränkt werden sollen.

Für die Teilnehmer der LL-Gruppe wurden als relevante (moderat/hoch) Interessenkonflikte die Mitgliedschaft in einem Advisory Board oder Eigentümerinteressen (Patent, Urheberrecht, Aktienbesitz), erhebliche Einkünfte aus Gutachter-, Berater-, Referenten-, Vortrags- oder Schulungstätigkeiten für Firmen oder Institutionen mit Bezug auf das Leitlinienthema definiert. Zudem wurden auch indirekte Interessenskonflikte wie persönliche Beziehungen zu Betreibern und Akteuren in Firmen oder Institutionen mit Bezug auf das Leitlinienthema, Mitgliedschaften in speziellen Schulen, Gesellschaften und Gruppierungen mit Bezug auf das Leitlinienthema sowie weitergehenden persönliche Interessen die konfliktträchtig sein könnten, gewertet.

Bei keinem der Anwesenden lag ein relevanter Interessenkonflikt vor, so dass alle Mandatsträger stimmberechtigt waren und das Abstimmverhalten sowie Enthaltungen somit nur im Inhalt der jeweiligen Fragestellung begründet waren. Der Koordinator der Leitlinie enthielt sich grundsätzlich.



## 6. Einleitung

### 6.1. Anamnese

Insgesamt gibt es sehr wenig Literatur zur Fragestellung, inwieweit medizinische Faktoren den Augmentationserfolg beeinflussen. Ein großer Teil der in der Literatur vorliegenden Arbeiten bezieht sich auf gesunde Patienten. Bei der präoperativen Evaluation der Patienten sollten allerdings konstitutionelle Faktoren, wie zum Beispiel der body mass index (BMI), aber auch hormonelle Faktoren, Geschlecht und Lebensalter Beachtung finden, da diese Umstände die regenerative Kapazität der Patienten determinieren können. So konnte beispielsweise klinisch, histologisch und immunhistochemisch gesichert werden, dass Raucher einer geringeren Knochenneubildungsrate speziell in Sinusaugmentaten aufweisen (Knabe 2017). Hinweise auf eine erhöhte Neigung zu postoperativen Komplikationen bei Rauchern, nicht eingestellten Diabetikern und vorausgegangener Parodontitis liegen vor (Sakkas et al. 2018; Zhang et al. 2019). Es gibt weiterhin Hinweise darauf, dass niedrige Vitamin D-Spiegel ein Risiko für Implantat- und Augmentatheilung darstellen könnten (Fretwurst et al. 2016). Auch Sildenafil scheint zumindest kurzfristig die Heilung in Extraktionsalveolen zu verzögern (Orchard et al. 2017).

Klinisch ist es aufgrund der geringen Datenlage dennoch naheliegend, die Auswirkung allgemeinmedizinischer Faktoren auf den Implantaterfolg - als grundlegender endgültiger Erfolgsfaktor einer Augmentation - zu betrachten und daraus Rückschlüsse auf die Augmentation zu ziehen. Hier ist die Datenlage etwas besser. Für die Vorhersage des Implantaterfolgs gibt es Hinweise, dass schwere kardiologische und metabolische Erkrankungen die Erfolgsaussichten reduzieren, ebenso wie Nikotinabusus, vorausgegangene Parodontitis, nicht eingestellter Diabetes, Bestrahlung oder die Gabe von Bisphosphonaten (Farzad et al. 2002; Gomez-de Diego et al. 2014; Grötz 2016; Heitz-Mayfield 2008; Kandasamy et al. 2018; Schimmel et al. 2018; Ting et al. 2017). Auch für Osteoporose gibt es Hinweise auf einen reduzierten Implantaterfolg (Erdogan et al. 2007), wobei die Erkrankung nicht als Kontraindikation gesehen wird (Wagner et al. 2017). Insbesondere Osteoporosefälle, die mit Bisphosphonaten therapiert wurden, sind mit einem höheren Implantatmisserfolgsrisiko behaftet (Niedermaier et al. 2017). Ob das Alter des Patienten eine Rolle spielt, ist umstritten (Compton et al. 2017; Hasegawa et al. 2017). Leberzirrhose, Osteoarthritis, Parkinson und Demenzerkrankungen zeigten kein erhöhtes Risiko für Implantatverluste (Schimmel et al. 2018). Für schlecht eingestellten Diabetes gibt es Fallstudien von schwersten Komplikationen nach Implantation (Doll et al. 2015). Mehrere Studien zeigen, dass die Einnahme von selektiven Serotonin-Wiederaufnahmehemmern (SSRI) und Protonenpumpeninhibitoren (PPI) mit einer erhöhten Verlustrate von Implantaten einhergehen (Carr et al. 2019; Wu et al. 2017). In einer Metaanalyse konnte dies bestätigt werden, für Bisphosphonate, nicht-steroidale anti-entzündliche Medikamente (NSAID) und antihypertensive Medikamente konnte der Effekt in dieser Studie nicht nachgewiesen werden (Chappuis et al. 2018). Des Weiteren existieren durchaus Berichte über erfolgreiche Implantationen und Augmentationen bei Patienten, die Bisphosphonate in verschiedenen Dosierungen erhielten (El-Halaby et al. 2009; Mattheos et al. 2013; Taxel et al. 2014). Für die genauere Einschätzung wird hier auf die S3-Leitlinie „Antiresorptiva-assoziierte Kiefernekrosen“, AWMF Registernummer: 007-091 2018 (Schiegnitz E 2018) und die Leitlinie „Zahnimplantate bei medikamentöser Behandlung mit Knochenantiresorptiva (inklusive Bisphosphonate)“, AWMF Registernummer: 083-026, 2016 (Grötz 2016) verwiesen.

Zusammenfassend sollte auch bei der insgesamt ungenügenden Datenlage davon ausgegangen werden, dass Patienten mit systemisch wirksamen Erkrankungen mit einem höheren Risiko einer verzögerten Knochenneubildungsrate oder gar eines Misserfolges einer Augmentation behaftet sind als gesunde Patienten.

Somit empfiehlt sich auch in dieser Hinsicht eine ausführliche medizinische und Medikamentenanamnese schon bei der Planung des Eingriffs. Wenn möglich, sollte eine Verbesserung des Gesundheitszustandes des Patienten vor der Augmentation angestrebt werden. Zudem ist der Patient über das möglicherweise erhöhte Risiko für Komplikationen und Fehlschläge und auch über nicht-chirurgische Alternativbehandlungen aufzuklären.

Empfehlung		
1.	Es soll eine mit Hinblick auf den geplanten Eingriff spezifische Anamnese (insbesondere der Risikofaktoren) erfolgen.	starker Konsens
2.	Wenn möglich, sollen Maßnahmen zur Verminderung des Risikos vor einer Augmentation durchgeführt werden.	
3.	Der Patient soll über das individuelle Risiko - insbesondere den Verlust des Augmentats - und über Alternativen aufgeklärt werden.	
Abstimmung: 29/0/1 (ja, nein, Enthaltung)		
Expertenkonsens		

### Erläuterung

Die Datenlage über medizinische Einflussfaktoren auf den Augmentationserfolg ist nicht sehr ergiebig. Rauchen, schlecht eingestellter Diabetes, vorbestehende, unbehandelte Parodontitis und mangelhafte Mundhygiene, niedrige Vitamin D-Spiegel, die Einnahme von SSRI, PPI und Bisphosphonaten, Bestrahlungsbehandlungen, schwere metabolische und onkologische Erkrankungen und andere, möglicherweise noch nicht erkannte Faktoren, können die Erfolgsaussichten einer Augmentation negativ beeinflussen.

## 6.2. Regeneration bei Defekten des Kieferkammes

Das Implantat kann ein notwendiges Hilfsmittel sein, um zur Wiederherstellung oder Unterstützung der Kaufunktion einen möglichst funktionellen und ästhetisch ausgewogenen Zahnersatz abstützen zu können. Falls an der Stelle der prothetisch korrekten Implantatposition ein Defekt des Alveolarknochens vorhanden ist, der eine Implantation entweder unmöglich oder nicht langzeitstabil machen würde, kann in solchen Fällen die Rehabilitation der Knochenkonturen durch augmentative Maßnahmen indiziert sein. Um dies durchzuführen, stehen verschiedene Materialgruppen zur Auswahl, die verschiedene individuelle Vor- und Nachteile sowie Indikationsbereiche aufweisen. Diese werden weiterhin durch die verwendete Operationstechnik beeinflusst. Alle haben das gemeinsame

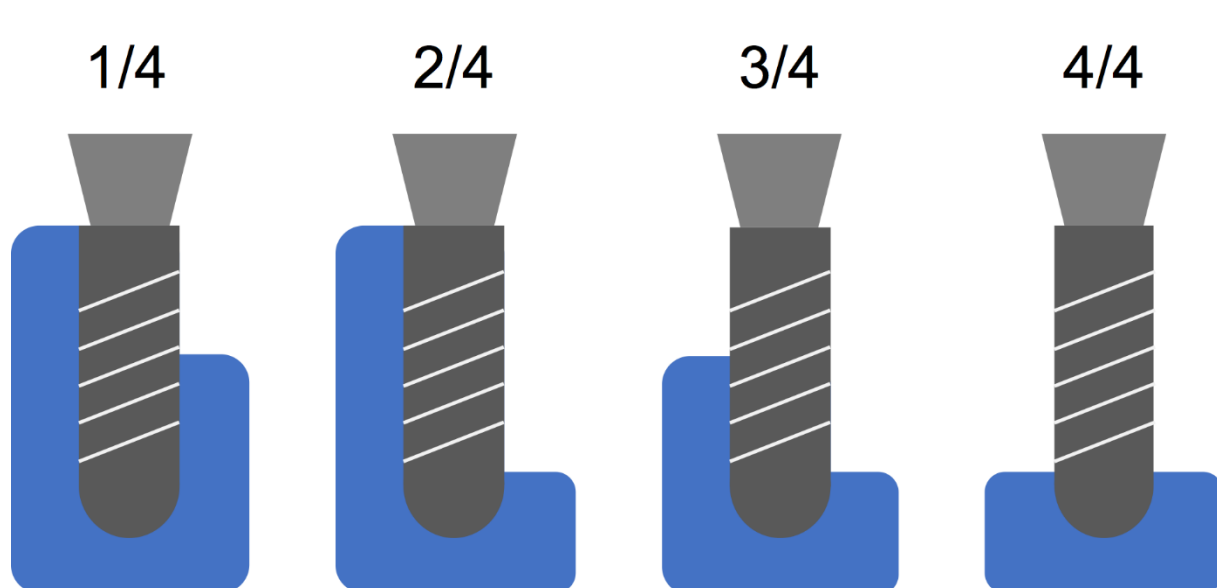
Ziel der Herstellung einer ausreichenden Knochenhöhe, -breite und -kontur für eine optimale spätere Implantatverankerung.

### 6.3. Defektbiologie im Kieferknochen

Um die ossäre Situation besser einschätzen zu können, wurden verschiedene Klassifikationen definiert. Für die hier vorliegende Leitlinie wurde die Defektklassifikation des International Team for Implantology (ITI) zur Veranschaulichung gewählt.

#### 6.3.1. Defektklassifikation des International Team for Implantology (ITI)

Entsprechend der ITI-Defektklassifikation nach Terheyden (Terheyden, H. 2010) lassen sich in Abhängigkeit von der Ausgangssituation und von der Defektgeometrie vier verschiedene Arten von Alveolarkammdefekten unterscheiden (Abbildung 1) (Cordaro L 2014).



**Abbildung 1:** ITI-Klassifikation der Alveolarkammdefekte nach Terheyden (Terheyden, H. 2010).

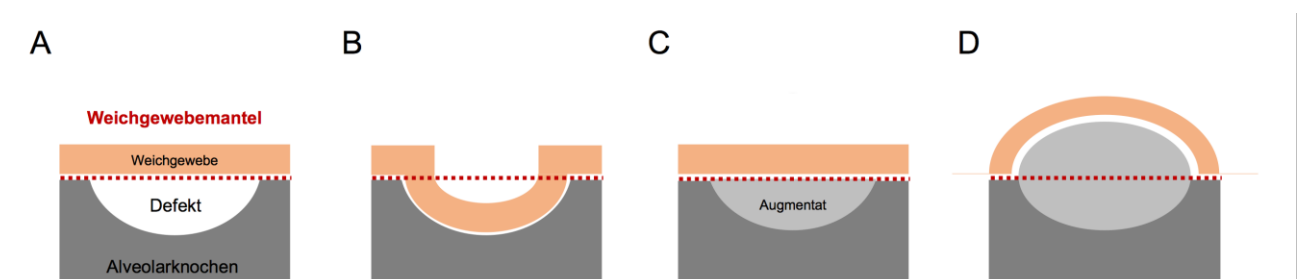
Die verschiedenen Defektklassen lassen sich sowohl auf Einzelzahnücken, ausgedehnte Lücken und Freisituationen als auch auf den zahnlosen Kiefer anwenden (Tabelle 1), wobei die Komplexität, der Aufwand und auch die möglichen Komplikationen einer ossären Augmentation mit der zunehmenden Defektausdehnung von 1/4 nach 4/4 ansteigen.

Defekttyp	Einzelzahn­lücke	Ausgedehnte Schalt­lücke, Freiendsituation	Zahnloser Kiefer
1/4	Dehiszenzdefekt, selbstbegrenzend	Mehrere Dehiszenzdefekte, selbstbegrenzend	Mehrere Dehiszenzdefekte, selbstbegrenzend
2/4	Horizontaler Defekt, nicht selbstbegrenzend, Augmentation außerhalb des „Skeletal Envelope“ erforderlich	Horizontaler Defekt, nicht selbstbegrenzend, Augmentation außerhalb des „Skeletal Envelope“ erforderlich	Scharfkantiger Alveolarkamm
3/4	Kombinierter Defekt mit horizontalem und vertikalem Knochendefizit	Kombinierter Defekt mit horizontalem und vertikalem Knochendefizit	Scharfkantiger Alveolarkamm mit vertikalem Knochendefizit (Klasse IV nach Cawood)
4/4	Durchgängiger Defekt	Rein vertikaler Defekt	Vollständige Alveolarkammatrophie (Klasse V und VI nach Cawood)

**Tabelle 1:** ITI-Klassifikation der Alveolarkammdefekte nach Terheyden (Cordaro L 2014; Terheyden 2010).

### 6.3.2. Knochenkontur, Weichgewebsmantel und biologische Kapazität eines Defektes

Obwohl die Begriffe klinisch und in Vorträgen häufig verwendet werden und auch in verschiedenen Studien darauf Bezug genommen wird (Lundgren et al. 1995; Stavropoulos et al. 2005; Yamada et al. 2003), findet sich in der Literatur keine allgemein gültige Definition der Knochenkontur und des dazugehörigen Weichgewebsmantels („Skeletal Envelope“). Die Knochenkontur wird in der vorliegenden Leitlinie daher durch die Defektmorphologie der defizitären Situation definiert, zum Beispiel im Falle einer mehrwandigen Defektmorphologie durch die Grenzen des anliegenden ortsständigen Knochens (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung der Knochenkontur, des Weichgewebsmantels sowie einer Augmentation innerhalb und außerhalb des Weichgewebsmantels. Die Darstellung gilt sowohl für horizontale, vertikale als auch kombinierte Alveolarkammdefekte. Der Weichgewebsmantel (rote Linie) beschreibt die natürliche Dimension des knöchernen Alveolarkammes (A). Wenn ein solcher Defekt nicht augmentiert wird prolapiert das Weichgewebe und die Knochenkontur wird verändert (B). Es wird zwischen Augmentationen innerhalb (C) und außerhalb (D) des Weichgewebsmantels unterschieden.

Die biologische Kapazität eines Defektes beschreibt das regenerative Potential des Alveolarknochens und der bedeckenden Weichteile, bei Verwendung von Implantationsmaterialien eine langzeitstabile Regeneration des augmentierten Bereiches auch unter Lasteinleitung durch zahnärztliche Implantate zu ermöglichen. Dieses Potenzial wird unter anderem determiniert durch die Möglichkeit der Einwanderung von Knochenzellen in den zu augmentierenden Bereich, dem angiogenen Potenzial des Empfängerbettes, der abschirmenden Wirkung (Einschränkung der zellulären Einwanderung) durch Implantatkörper und Osteosynthesematerialien sowie dem defektmorphologischen Verhältnis zwischen periostaler und medullärer Komponente des betreffenden Kieferabschnittes. Zum anderen wird das regenerative Potential auch in Abhängigkeit von weiteren Umständen (zum Beispiel systemischen Erkrankungen und konstitutionellen Faktoren, siehe oben) beschrieben. Je geringer diese biologische Kapazität ist, desto unsicherer ist die Augmentation beziehungsweise desto größer ist der Aufwand, der mit dieser einhergeht.

Während beim Sinuslift und bei dem Alveolenerhalt (Synonym: Socket Preservation, Alveolar Ridge Preservation) fast immer von einer hohen biologischen Kapazität auszugehen ist, muss bei anderen Augmentationsverfahren und Ausgangssituationen von einem schlechteren Regenerationspotential ausgegangen werden. Hinsichtlich der Defektgeometrie steigt wegen der oben genannten Faktoren der Aufwand/Schwierigkeitsgrad in Anlehnung an die ITI-Defektklassifikation von 1/4 nach 4/4 (Abbildung 1). Einen wichtigen Anhaltspunkt bietet dabei die knöcherne Begrenzung des Defektes. Je mehr der zu augmentierende Bereich knöchern begrenzt ist, desto besser ist daher auch das biologische Regenerationspotential des Defektes (Cordaro L 2014; Terheyden 2010).

#### 6.4. Einteilung verschiedener Biomaterialien

Autologer Knochen wird von vielen Autoren weiterhin aus physiologischer Sicht für Augmentationen als Goldstandard mit der höchsten regenerativen Potenz angesehen (Bauer and Muschler 2000; Fretwurst et al. 2015a; Sakkas et al. 2017). Allerdings folgt auf die Entnahme von autologem Knochen eine gewisse Morbidität (in Abhängigkeit von der Entnahmelokalisation) und das Material steht – vor allem bei enoraler Entnahme – nur in begrenzter Menge zur Verfügung. Zudem zeigen sich unerwünschte Resorptionseffekte (Chiapasco et al. 2007; Dahlin and Johansson 2011; Felice et al. 2008). Dementsprechend können Knochenersatzmaterialien – unter Betrachtung der jeweiligen Indikation und Operationstechnik – eine weniger invasive und in unbegrenztem Umfang verfügbare Alternative darstellen. Nicht vom Empfänger selbst stammende Knochenersatzmaterialien können menschlichen (allogen) Ursprungs sein, einer anderen Spezies angehören (xenogen) oder synthetischen (alloplastisch) Ursprungs sein (Tabelle 2) (Titsinides et al. 2019). In dieser Leitlinie werden in Folge der autologe Knochen und die verschiedenen Knochenersatzmaterialien als „Biomaterialien“ zusammengefasst, während die allogenen, xenogenen und alloplastischen Materialien als Knochenersatzmaterialien zusammengefasst werden.

Einteilung von Biomaterialien	Erklärung
Autogen/Autolog	Vom Patienten selbst
Allogen	Von einem Individuum derselben Spezies
Xenogen	Von einer fremden Spezies
Alloplastisch	körperfremde, künstliche Materialien

**Tabelle 2:** Gruppeneinteilung derzeitig erhältlicher Biomaterialien

Die chemische Zusammensetzung sowie strukturellen Eigenschaften von Biomaterialien sind breit gefächert und je nach dem verwendeten Material unterschiedlich, wobei alle eine hohe Biokompatibilität aufweisen müssen und optimalerweise biodegradierbar sowie bioaktiv sein sollten. Üblicherweise bieten sie eine Leitstruktur für das Wachstum von knöchernem Nachbargewebe (Osteokonduktion), wobei dem autologen Knochen und – in geringerem Maße den allogenen Präparaten – eine zusätzliche Knochen *de novo*-induzierende Wirkung (Osteoinduktion) zugesprochen wird (Boniello et al. 2013; Kübler et al. 1999).

#### 6.4.1. Autologer Knochen/Eigenknochen

Bei autologem Knochen handelt es sich um Material des Patienten selbst, das von einer Körperregion zu einer anderen transplantiert wird. Die Defektgröße gibt die Menge des zu transplantierenden Knochens vor, wobei hier – je nach Indikation und Notwendigkeit - unterschiedliche intra- und extraorale Spenderregionen gewählt werden können (zum Beispiel Knochenblocktransplantate vom Kieferwinkel, Kinn, Tuber maxillae oder Beckenkamm) (Khouri and Hanser 2015; Nkenke and Neukam 2014; Tolstunov 2009; Tolstunov et al. 2019; Zouhary 2010). Klarer Vorteil des autologen Knochens ist seine immunologische und infektiöse Unbedenklichkeit sowie sein osseoinduktives Potential, weshalb der autologe Knochen auch als biologischer Goldstandard der Augmentation im Kieferbereich gesehen wird. Als relevanter Nachteil ist der zusätzliche zeitliche Entnahmeaufwand und vor allem die je nach Spenderregion unterschiedlich hohe Morbidität zu erwähnen und lässt im Gesamtkontext den Wunsch nach alternativen Augmentationsmaterialien für die verschiedenen Indikationen und chirurgischen Techniken nachvollziehen (Kämmerer et al. 2017; Li et al. 2019; Schneider et al. 2016).

#### 6.4.2. Allogener Knochen

Bei allogenem Knochen wird Gewebe von einem Individuum derselben Spezies transplantiert. Dieses wird durch Biobanken zur Verfügung gestellt, die es mithilfe unterschiedlicher Verfahren aufarbeiten (Rasch et al. 2019). Der Vorteil der Verwendung des allogenen Knochens ist – genauso wie bei den anderen Knochenersatzmaterialien - die fast uneingeschränkte Verfügbarkeit, das Ausbleiben eines zweiten Operationsgebietes und eine Vermeidung der damit verbundenen Morbidität (Nkenke and Neukam 2014; Rasch et al. 2019). Beim Aufbereitungsprozess werden chemische, enzymatische und physikalische Verfahren eingesetzt, um eine Übertragung potentiell infektiöser Erreger oder Allergien auszuschließen (Rasch, A.; et al. 2019). Die Regularien hierfür sind sehr streng, besonders weil es sich

beim allogenen Knochen um ein Arzneimittel nach dem deutschen Arzneimittelgesetz handelt. Allerdings ließen sich in verschiedenen allogenen Transplantatprodukten biochemisch und histologisch verschiedene Zell- und DNA-Fragmente nachweisen (Fretwurst et al. 2018; Fretwurst et al. 2014; Ghanaati et al. 2014; Li et al. 2019; Lorenz et al. 2018b). Die klinische Bedeutung ist bisher umstritten und wissenschaftlich nicht abschließend geklärt. Einige Autoren gehen – analog zu den klinischen Beobachtungen über Jahrzehnte – davon aus, dass bei dem in Deutschland zugelassenen allogenen Knochen weder eine infektiöse noch eine immunologische Relevanz vorhanden ist (Solakoglu et al. 2019a; Solakoglu et al. 2019b; Stopa et al. 2018).

Durch die unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen Allografts, vor allem bedingt durch die unterschiedlichen Aufbereitungsprozesse (Tabelle 3), ist allerdings eine einheitliche Beurteilung schwierig, so dass sich für ein individuelles Material in einer spezifischen Fragestellung nur wenig bis keine hochwertige Literatur finden lässt (Wood and Mealey 2012).

### 6.4.3. Xenogener Knochen

Bei xenogenem Knochen erfolgt die Transplantation zwischen Individuen unterschiedlicher Spezies. Die im Bereich der Augmentation im Kieferbereich verwendeten Knochenersatzmaterialien kommen vorwiegend vom Tier (zum Beispiel Rind (bovin), Schwein (porcin) und Pferd (equin)) aber auch von Pflanzen (zum Beispiel Korallen (Tabelle 3)) zur Anwendung. Die Aufbereitung der Spendermaterialien unterliegt auch hier strengen Regularien, um eine Übertragung potentiell immunogenen oder infektiösen Materials auszuschließen (Jamjoom and Cohen 2015). Bei xenogenen Knochenersatzmaterialien handelt es sich um Medizinprodukte. Die gesetzliche Grundlage wird sich Mitte 2020 ändern und es werden zusätzliche Kontrollmechanismen eingeführt, da die bisherigen Zulassungsmechanismen als ungenügend eingestuft wurden (s.o.). Daher ist bei der Materialauswahl zu beachten, ob das jeweilige spezielle Präparat eine ausreichende Datenlage aufweist. In der Zahnmedizin sind einige xenogene Knochenersatzmaterialien (vor allem boviner Herkunft) gut und über sehr lange Beobachtungszeiträume bei unterschiedlichen Indikationen und hohen Erfolgsraten dokumentiert (Klein et al. 2013; Majzoub et al. 2019; Mendoza-Azpur et al. 2019; Thoma et al. 2019). Aufgrund der minimalen, wenn überhaupt vorhandenen, Resorption der xenogenen Materialien (Klein et al. 2013; Mordenfeld et al. 2010) kann das Material – neben den gängigen Indikationen – auch als Resorptionsschutz verwendet werden (Naenni et al. 2019).

### 6.4.4. Alloplastische/synthetische Materialien

Die alloplastischen Materialien sind körperfremd und werden synthetisch hergestellt. Somit sind sie immunologisch und infektiös als unbedenklich einzustufen. Zu ihnen zählen zum Beispiel Hydroxylapatite, siliziumhaltige Biogläser, Calciumphosphate einschließlich Tricalciumphosphate und biphasische Calciumphosphate und mikroporöse Komposite, die in Abhängigkeit von ihrer Komposition resorbierbar oder auch nicht resorbierbar, partikulär oder auch als Blöcke produziert werden können. Die verschiedenen Knochenersatzmaterialientypen unterscheiden sich merklich hinsichtlich ihrer Resorbierbarkeit, Bioaktivität und Knochenbindung. Ihre Vorteile alloplastischer Knochenersatzmaterialien liegen vor allem in ihrer unbegrenzten Verfügbarkeit sowie in der Vermeidung einer Entnahmemorbidität (Elgali et al. 2017; Jamjoom and Cohen 2015). In



verschiedenen *in vitro*- und *in vivo*-Studien konnte bei unterschiedlichen Indikationen teilweise die Äquivalenz alloplastischer Materialien, teilweise die Unterlegenheit gegenüber xenogenen Knochenersatzmaterialien herausgestellt werden (Dau et al. 2016; Hung et al. 2019; Lorenz et al. 2016; Sanz and Vignoletti 2015). Wie bei Verwendung allogenen Knochens ist aufgrund der Vielfalt der erhältlichen alloplastischen Materialien (Tabelle 3) eine einheitliche Beurteilung jedoch - obwohl erstrebenswert - schwierig bis nicht möglich.

#### 6.4.5. Membranen

Die Verwendung von Membranen mit Zellokklusivität und Barrierefunktion sowie die Stabilisierung des Defekts sind die Schlüsselprinzipien der Guided Bone Regeneration (GBR) (Elgali et al. 2017).

Verschiedene Materialien und Modifikationen sind im Einsatz. Es werden nicht resorbierbare Membranen aus PTFE und e-PTFE mit und ohne Titanverstärkung sowie resorbierbare Membranen aus Kollagen, aber auch verschiedensten synthetisch hergestellten Polymeren eingesetzt. Als nachteilig wird die Notwendigkeit eines zweiten Eingriffes zum Entfernen der nicht-resorbierbaren Membranen angesehen. Zudem kann sich mit zunehmend verringerter Biodegeneration die Biokompatibilität der Membranen verschlechtern und *vice versa* (Elgali et al. 2017).

#### 6.4.6. Übersicht über verschiedene Präparate

Material-eigen-schaft	Herkunft	Firma	Produkt	Resor-bierbar	Einsatzbereich
Allogen	Humane Knochenmatrix	Argon Dental	OsteoGraft® DBM	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OsteoGraft® CortiFlex®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OsteoGraft® Femur Span	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OsteoGraft® Cortical Granula	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OsteoGraft® Spongiosa Granula	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OsteoGraft® J & C Grafts	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OsteoGraft® Osillium & Spongiosa Grafts	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			Human-Spongiosa CHB Knochenring	X	IM/AA/DC
			Human-Spongiosa CHB Granulat spongiös	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			Human-Spongiosa CHB Block	X	IM/AA/DC
			maxgraft® cortico	X	IM/AA/DC
			maxgraft® bonering	X	IM/AA/DC
			maxgraft® Granulat spongiös	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			maxgraft® Granulat cortico-spongiös	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			maxgraft® Block	X	IM/AA/DC
		Zimmer Biomet	maxgraft® bonebuilder	X	IM/AA/DC
			Puros® Allograft Block	X	IM/AA/DC
			Puros® Allograft Patientenindividueller Block	X	IM/AA/DC
			Puros® Allograft Spongiosa Partikel	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
Xenogen	Equin	American Dental Systems Mectron	OsteoBioI® SP-Block (Bone Splitting/Spread.)	X	AA
			BIO-GEN® Spongy		IM/PA/SA/AA/DC/AV
			BIO-GEN® Cortical		IM/PA/SA/AA/DC/AV
			BIO-GEN® Mix		IM/PA/SA/AA/DC/AV
			BIO-GEN® Putty		AV
	Porcin	American Dental Systems	OsteoBioI® Gen-Os	X	IM/PA/SA/AA/DC
			OsteoBioI® Apatos (Mix)		IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OsteoBioI® mp3	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OsteoBioI® GTO®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV



			OsteoBiol® Putty	X	IM/PA/AA
			OsteoBiol® SP-Block (Bone Splitting/Spread.)	X	AA
			OsteoBiol® Bone Lamina Soft (Barrier)	X	IM/AA/DC
		CAMLOG	MinerOss® XP	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Champions-Implants	Matri™ Bone	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			CollaWin!	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		curasan (Vertrieb: mds)	CERASORB® Foam	X	IM/SA/AA/DC/AV
		Dentsply Sirona	Symbios® Xenograft-Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Geistlich Biomaterials	Geistlich Bio-Oss® COLLAGEN	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Hess Medizintechnik	Geistlich Bio-Oss® COLLAGEN	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		REGEDENT	The Graft		IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OSSIX® VOLUMAX	X	IM/AA/DC
			OSSIX® Bone	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Straumann (botiss)	collacone® max	X	IM/AV
		Thommen Medical	The Graft		IM/PA/SA/AA/DC/AV
			OSSIX® Bone		IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Bovin	BEGO Implant Systems	BEGO OSS		IM/PA/SA/AA/DC/AV
		BioHorizons (CAMLOG Dtl.)	MinerOss®-X	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Bioimplon	Hypro-Oss®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		CAMLOG	MinerOss® X	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			MinerOss® X Collagen	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Dentegris Deutschland	CompactBone B	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Geistlich Biomaterials	Geistlich Bio-Oss® Spongiosa Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			Geistlich Bio-Oss® Spongiosa Block	X	IM/SA/AA/DC
			Geistlich Bio-Oss® COLLAGEN	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			Geistlich Bio-Oss Pen® Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Henry Schein	NuOss® Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Hess Medizintechnik	Geistlich Bio-Oss® Spongiosa Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			Geistlich Bio-Oss® Spongiosa Block	X	IM/SA/AA/DC
			Geistlich Bio-Oss® COLLAGEN	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			Geistlich Bio-Oss Pen® Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Nobel Biocare	creos xenogain	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		OT medical	BioVin® Bovine Bone	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Septodont	R.T.R. Kegel	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Straumann (botiss)	cerabone®		IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Zimmer Biomet	Endobon® Xenograft Granulat		IM/PA/SA/AA/DC/AV
			CopiOs® Xenograft Spongiosa Partikel	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Pflanzlich	Dentsply Sirona	Frios® Aligipore®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
			Symbios® Biphasisches KAM	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Gebr. Martin/KLS Martin	Maratrix	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		SIC invent	SIC nature graft	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
Synthe- tisch	HA/Kollagen/Glykos- aminoglykane	ACTEON Germany	BIOSTITE	X	IM/PA/SA/AA/DC
	Natriumhyaluronat	Argon Dental	OsteoGel® Hyaluron	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	BEGO Implant Systems	BEGO OSS S	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP	Bicon	SynthoGraft™	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	Champions-Implants	Matri™ Bone	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Kollagen		CollaWin!	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP	curasan (Vertrieb: mds)	CERASORB® Classic	X	IM/SA/AA/DC/AV
	β-TCP		CERASORB® M	X	IM/SA/AA/DC/AV
	β-TCP		CERASORB® Perio	X	PA
	β-TCP		CERASORB® Plus	X	IM/SA/AA/DC/AV
	β-TCP		CERASORB® Paste	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP		CERASORB® Foam	X	IM/SA/AA/DC/AV
	β-TCP		CERASORB® Formteile	X	DC
	HA		Osbone®		IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Calciumsulfat/β-TCP	Demedi-Dent	ethOss	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	Dentegris Deutschland	CompactBone S	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Kollagen	Dentium/iCT Europe	OSTEON™		IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Kollagen		OSTEON™ Sinus & Lifting		IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Kollagen		OSTEON II™		IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Kollagen		OSTEON II™ Sinus & Lifting		IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	Dr. Ihde Dental	Nanos®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	HA/SiO <sub>2</sub>	Hager & Meisinger	NanoBone®   granulate	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	HA/SiO <sub>2</sub>		NanoBone®   block	X	IM/AA/DC

	HA/SiO <sub>2</sub>		NanoBone®   QD	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	Henry Schein	BONITmatrix®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP	K.S.I. Bauer-Schraube	calc-i-oss™	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP		easy-graft®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP	LASAK	PORESORB-TCP	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	HA		OssaBase® -HA	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	HA/BCS	MIS Implants Technologies	4MATRIX	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP		4-Bone™	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCS		BONDBONE®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	OT medical	OToss Synthetic Bone	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP		OToss Synthetic Bone Inject	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCS	REGEDENT	3D Bond	X	IM/PA/AA/DC/AV
	HA/BCS		Bond Apatite	X	IM/PA/AA/DC/AV
	BCP		OSOPIA	X	IM/PA/SA/AA/DC
	Kollagen		OSSIIX® Bone	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	Shared Implantology	SinossGraft	X	IM/PA/SA/AA/DC
	BCP	(Novadento)	SinossGraft Resorb	X	IM/PA/SA/AA/DC
	BCP		SinossGraft Inject	X	IM/PA/SA/AA/DC
	β-TCP	Septodont	R.T.R. Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP		R.T.R. Spritze	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	Straumann	Straumann® BoneCeramic	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP	Straumann (botiss)	maxresorb®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP		maxresorb® inject	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP/Kollagen		collacone® max	X	IM/AV
	β-TCP	Sunstar Deutschland	calc-i-oss™ CLASSIC	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP		easy-graft® CLASSIC	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCP		easy-graft® CRYSTAL	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP	TAG Dental Systems	Sybone	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP	Thommen Medical	Ceros® TCP Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP		Ceros® TCP Putty	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	BCS		3D Bond	X	IM/PA/AA/DC/AV
	HA/BCS		Bond Apatite	X	IM/PA/AA/DC/AV
	PLA/PGA	Zantomed	FISIOGRAFT Granulat	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	PLA/PGA		FISIOGRAFT Gel	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	PLA/PGA		FISIOGRAFT Schwamm	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	HA		FISIOGRAFT BONE Granular	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	HA	Zimmer Biomet	IngeniOs HA		IM/PA/SA/AA/DC/AV
	β-TCP/Silicium		IngeniOs β-TCP bioaktiv	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
	Calciumphosphosilikat		Nova Bone	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
Autogen	Autologe vitale osteogene Zellen	BTI	PRGF® Endoret®	X	IM/PA/SA/AA/DC/AV
		Champions-Implants	Smart Grinder	X	IM/SA/AA/DC/AV
		Schlumbohm	Autologer Knochen (KF T3)	X	IM/PA/SA/AA/DC

**Tabelle 3:** Marktüberblick über Augmentationsmaterialien in der Zahnmedizin und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Stand: April 2019. Aus: Jahrbuch Implantologie 2019, OEMUS MEDIA AG, Leipzig. Einsatzbereich: Implantologie (IM), Parodontologie (PA), Sinusbodenaugmentation (SA), Augmentation allgemein (AA), Defektchirurgie (DC), Alveolenversorgung (AV).

## 7. Stellenwert der Augmentation

### 7.1. Allgemeines

Die Augmentation stellt eine mögliche Grundlage des implantatchirurgischen Eingriffs dar, geht diesem nicht selten als eigenständige Operation voraus und birgt eigene Risiken und Komplikationen. Dementsprechend ist eine Augmentation dann geboten, wenn das Knochenlager an der prothetisch notwendigen Implantatposition für eine erfolgreiche Implantation nicht ausreichend vorliegt. Die Erweiterung der Wissensbasis für Implantate geringeren Durchmessers geringerer Länge ist daher von hoher Bedeutung für die Indikation einer Augmentation. Diese Fragestellungen wurden im ITI Consensus Report 2018 (Jung et al. 2018) ausgiebig untersucht.

### 7.2. Implantatüberleben im augmentierten und nichtaugmentierten Knochen

In der Literatur zeigt sich, dass Implantate in gut eingehheilten augmentierten Arealen keine schlechtere Langzeitüberlebensrate haben als in nativem Knochen (Aloy-Prosper et al. 2015; Barone et al. 2012; Jensen and Terheyden 2009; Marconcini et al. 2018; Motamedian et al. 2016; Salvi et al. 2018; Tran et al. 2016; Urban et al. 2017) und das unabhängig von der Art des verwendeten Augmentationsmaterials (Jensen and Terheyden 2009; Troeltzsch et al. 2016). Es gibt jedoch auch Studien, die von höheren Knochenverlusten um Implantate in augmentierten Arealen berichten (Ting et al. 2017). Allerdings haben nicht alle Materialien wissenschaftliche Langzeitevidenz für jede Indikation.

Empfehlung		
1.	Die Implantatposition sollte ausgehend von der idealen prothetischen Position des geplanten Zahnes festgelegt werden, dies hat Auswirkungen auf die Indikation zur Augmentation und die zu verwendenden Materialien.	starker Konsens
2.	In ausgewählten Fällen kann (zum Beispiel bei Indikations-einschränkungen einer Augmentation) von diesem Prinzip abgewichen werden.	
3.	Zur Einschätzung der Prognose soll die Defektgeometrie (Knochen-kontur) beachtet werden.	
Statement		
4.	Implantate in gut eingehheilten augmentierten Arealen zeigen (bei systemisch nicht-kompromittierten Patienten) keine schlechtere Langzeitüberlebensrate als im ortsständigen Knochen.	starker Konsens
Abstimmung: 32/1/1 (ja, nein, Enthaltung)		
Expertenkonsens		

**Erläuterung**

Bei Augmentationen, die den Weichgewebismantel verdrängen und außerhalb der ehemaligen Knochenkontur liegen, zeigt sich ein deutlich höheres Komplikations- und Resorptionspotential. Somit ist die vorhandene Knochenkontur und eine potentielle Verdrängung des Weichgewebismantels eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Einschätzung des benötigten Augmentationsmaterials und der anzuwendenden augmentativen Technik.

## 8. Augmentation einfacher Defizite und Defekte

**Zusammenfassung**

Wie in Kapitel 6.3 ausgeführt, ist die Defektmorphologie ein entscheidender Faktor für die Regenerationskapazität. Die in diesem Kapitel vorgestellten Defektsituationen zeichnen sich durch ein hohes primäres Regenerationspotential aus, wodurch sowohl Materialwahl als auch Operationstechnik eine geringere Rolle spielen als bei komplexen Defekten (Kapitel 9). Bei allen hier aufgezeigten Indikationen lässt sich für viele verfügbaren Materialien gute Evidenz finden, die sich meist auf partikuläre Darreichungsformen bezieht. Häufig kommen aufgrund der vergleichbaren Erfolgsaussichten von autologem und nicht autologem Material und des fehlenden Entnahmedefektes Knochenersatzmaterialien zur Anwendung.

### 8.1. Erhalt des Alveolarkammes nach Extraktion: Ridge Preservation

**Grundlagen**

In den ersten vier Wochen nach Zahnextraktion ist die Osteoblastenaktivität im apikalen Anteil der Extraktionsalveole am höchsten und wandert dann nach koronal, um hier 12 Wochen nach Extraktion die Hauptaktivität zu entfalten (Nahles et al. 2013). Ziel eines Ridge Preservation-Protokolls ist es, den natürlichen Resorptionsvorgang, der nach der Zahnextraktion stattfindet, abzumildern und somit mehr Knochenbreite und -höhe zu erhalten (Avila-Ortiz et al. 2014b). In randomisierten, kontrollierten klinischen Studien konnte nachgewiesen werden, dass dies durch verschiedenste Protokolle erreicht werden kann (Avila-Ortiz et al. 2014b; Barone et al. 2013; Willenbacher et al. 2016). Metaanalysen konnten diese Erkenntnis bestätigen (Avila-Ortiz et al. 2014a; Bonanini et al. 2014a) und zudem aufzeigen, dass es eine Vielzahl von Faktoren gibt, die die jeweilige Resorption und Knochenneubildung des Alveolarkamms beeinflussen (Avila-Ortiz et al. 2014a).

#### 8.1.1. Materialauswahl

Es finden sich zur Ridge Preservation verschiedene mögliche Materialien in der Literatur. In den allermeisten Fällen wird von partikulären Darreichungsformen ausgegangen. Die Eingabe des

Suchbegriffs „Ridge Preservation“ am 28.04.2019 in Pubmed ergab 1006 Treffer, innerhalb derer sich Studien zu vielen soweit bekannten Materialien finden ließen. Im Fokus stehen unter anderem xenogenes und allogen Material, aber auch synthetische Materialien und autologe Substanzen.

Viele Arbeiten lassen sich zu xenogenen und allogenen Materialien finden, wobei die Pubmed-Suche vom 19.04.2019 für den isolierten Begriff DBBM (Deproteinized bovine bone mineral - Xenogenes Material vom Rind) 408 Studien, für FDBA (freeze-dried bone allograft (Anmerkung: in Deutschland nicht zugelassen)) 85 Studien und für DFDBA (demineralized freeze-dried bone allograft) 203 Studien ergab. Studien, die für die Indikation der Ridge Preservation einen direkten Vergleich zwischen allogenem Knochen und dem bovinen Knochenersatzmaterial zogen, zeigten Vorteile des xenogenen Materials (mehr erhaltener Knochen, bessere Weichgewebsheilung) (Scheyer et al. 2016) beziehungsweise keinen signifikanten Unterschied (Sadeghi et al. 2016). Direkte Vergleichsstudien innerhalb der Materialgruppen konnten bei xenogenem bovinem Material keine herstellerabhängigen Unterschiede (Barone et al. 2013), bei allogenem Knochen aber Unterschiede in der Präparationsform nachweisen, wobei die einzelnen Präparate als nicht vergleichbar und DFDBA als überlegen angegeben wird (Whetman and Mealey 2016; Wood and Mealey 2012). Ein systematisches Review wies darauf hin, dass auch synthetisches Bioglas gut als Material für die Ridge Preservation geeignet ist (Ioannou et al. 2015). Nach dem Konsensus Report der European Association for Osseointegration (EAO) von 2018 zeigt auch A-PRF (Platelet Rich Fibrin) in Extraktionsalveolen mit erhaltenen Wänden eine erhöhte Knochenneubildung im Vergleich zu unbehandelten Extraktionsalveolen (Schliephake et al. 2018). Eine weitere Entwicklung zum Erhalt des Kieferkammes ist die sogenannte „Socket Shield“-Technik (Baumer et al. 2015), bei der ein vestibulärer Wurzelanteil in der Alveole bei der Extraktion belassen wird. Bisher finden sich in der Literatur aber vor allem Fallberichte und Fallserien (Gluckman et al. 2018). Auch die Nutzung von aufbereiteten und gemahlenem autogenem Zahnmaterial wird als erfolgreich beschrieben (Ji-Young Lee 2013; Kim et al. 2014; Schwarz et al. 2019), wobei auch hier bisher Untersuchungen höherer Evidenz fehlen (Ramanauskaitė et al. 2019).

### 8.1.2. Membranen und Barrieren

Die Notwendigkeit für eine Barriere zusätzlich zum jeweils gewählten Knochenersatzmaterial hängt von der Defektausdehnung ab. Bei gut erhaltenen Knochenwänden scheint keine Barriere nötig zu sein, bei vorher bestehenden oder durch die Extraktion entstandenen Defekten der Alveolenwände wird ein besseres Ergebnis durch den Einsatz einer Membran erreicht (Avila-Ortiz et al. 2014a; Barone et al. 2008; Brkovic et al. 2012; Fischer et al. 2018; Jung et al. 2018b).

### 8.1.3. Zusammenfassung

Soweit ersichtlich zeigen alle Materialien einen besseren Alveolarkammerhalt im Vergleich zu unbehandelten Alveolen (Morjaria et al. 2014; Tomlin et al. 2014), wobei sich ein großer Teil der Literatur auf xenogenes und allogen Material fokussiert. Bei Defekten der Alveolenwände sollte eine Barrieremembran verwendet werden, um die Resorption des Alveolarkamms weiter zu verringern. In der Literatur finden sich verschiedene Einheilzeiten, wobei 4-6 Monate am häufigsten genannt werden.

<b>Empfehlung</b>	
1. Wenn ein Alveolarkammerhalt nach Zahnverlust zum knöchernen Dimensionserhalt durchgeführt wird, sollte ein (Ersatz)material eingesetzt werden.	starker Konsens
Abstimmung: 32/0/2 (ja, nein, Enthaltung)	
Expertenkonsens	

## Glossar

Ersatzmaterial: Alle Materialien, die in den Defekt eingebracht werden können, inklusive beispielsweise autogene Transplantate und Thrombozytenkonzentrate.

## 8.2. Dehiszenzdefekte an Implantaten

### 8.2.1. Grundlagen

Wenn es beim Platzieren von Implantaten zu Fenestrationen des Knochens oder Defiziten des um die Implantatschulter herum liegenden, periimplantären Knochens kommt, werden diese als Dehiszenzdefekte bezeichnet. Techniken zur Regeneration wurden schon vor über 20 Jahren beschrieben (Dahlin et al. 1991; Dahlin et al. 1995; Jovanovic et al. 1992). Hierbei wurde primär nur mit Membranen ohne darunter eingebrachtem Knochenersatzmaterial gearbeitet (Dahlin et al. 1995). Zunehmend wurden dann Verfahren ohne Membran oder in Kombination von Biomaterial und Membran eingeführt (Dau et al. 2016; Nemcovsky et al. 2002; Schwartz-Arad and Chaushu 1997), die bis heute als Standard der Versorgung zu betrachten sind (Hassan 2009; Jung et al. 2015; Llambes et al. 2007; Troeltzsch et al. 2016).

### 8.2.2. Materialauswahl und Membranen

Bei der Wertung der Literatur zeigen sich Studien für eine Vielfalt der kommerziell erhältlichen Materialien, vor allem in partikulärer Form. Für alle Materialien sind hier erfolgreiche Anwendungen beschrieben, wobei vor allem autologe, allogene und xenogene Materialien die vorteilhafteste Defektauffüllung darstellen (Troeltzsch et al. 2016). Besondere Bedeutung fällt der Barrieremembran zu, wobei die günstigste Kombination aus Knochenregeneration und Komplikationsrate bei den resorbierbaren Kollagenmembranen zu verzeichnen ist (Le and Borzabadi-Farahani 2014; Troeltzsch et al. 2016). Im Vergleich von regenerierten Dehiszenzdefekten mit solchen ohne Augmentationsmaßnahmen zeigte sich ein deutlicher Langzeitvorteil der augmentierten Areale (Jung et al. 2017). Insgesamt können Regenerationsraten zwischen 80% und über 90% erreicht werden (Troeltzsch et al. 2016).

### 8.2.3. Handlungsempfehlungen

Als Ersatzmaterial eignen sich nach aktuellem Wissensstand alle verfügbaren synthetischen, xenogenen und allogenen Materialien. Beim Einsatz von partikularem Material ist der Einsatz einer Barrieremembran indiziert.

Empfehlung		
1.	Knochenersatzmaterial und Membran sollten für die Regeneration periimplantärer Dehiszenzdefekte zusammen eingesetzt werden.	starker Konsens
Statement		
2.	Für die Regeneration von periimplantären Dehiszenzdefekten können alle zur Verfügung stehenden Knochenersatzmaterialien verwendet werden.	starker Konsens
3.	Bei der Regeneration von periimplantären Dehiszenzdefekten mit Knochenersatzmaterialien ist keine vollständige Wiederherstellung des periimplantären Gewebes zu erwarten.	
Abstimmung: 31/2/2 (ja, nein, Enthaltung)		
Expertenkonsens		

## 8.3. Sinusbodenelevation

### 8.3.1. Grundlagen

Bei der Sinusbodenelevation wird je nach Technik entweder von lateral oder crestal die Schneider'sche Membran angehoben. Dadurch wird ein Raum geschaffen, der zur vertikalen und lateralen Augmentation im Oberkiefer dient (Nkenke and Stelzle 2009). Initial wurde zur Augmentation vor allem autogener Beckenknochen verwendet (Block and Kent 1997), inzwischen wird für diese Indikation eine Vielfalt von Biomaterialien eingesetzt (Lee et al. 2012; Nkenke and Stelzle 2009; Rickert et al. 2012; Stumbras et al. 2019).

### 8.3.2. Materialauswahl und Membranen

Die Literatur zeigt bezüglich der Materialauswahl an autologem Knochen und unterschiedlichen Knochenersatzmaterialien beim Sinuslift eine große Anzahl an verfügbaren Studien. Eine systematische Pubmed Recherche mit Stichtag 29.04.2019 und dem Suchbegriff „sinus augmentation“ ergab 2625 Ergebnisse, worunter auch viele Untersuchungen von hohem Evidenzgrad zu finden sind. Zwischen dem autologen Knochen und Knochenersatzmaterialien lassen sich keine Unterschiede in der Überlebensrate zahnärztlicher Implantate finden (Al-Nawas and Schiegnitz 2014; Danesh-Sani et

al. 2017; Starch-Jensen et al. 2018a; Starch-Jensen et al. 2018b). Des Weiteren gibt es Hinweise in der Literatur, dass das Durchmischen von autologem Knochen und xenogenem Ersatzmaterial das Überleben der Implantate nicht zu verändern scheint, allerdings weist rein xenogenes Material im Tierversuch hier einen geringeren Knochen-Implantat-Kontakt als eine Mischung aus autologem Knochen und xenogenem Material auf (Jensen et al. 2013; Jensen et al. 2012). Auch Techniken des Sinuslifts ohne die Verwendung von Biomaterialien (sogenannte „graftless sinus floor elevation“) sind beschrieben (Altintas et al. 2013; de Oliveira et al. 2013; Pinchasov and Juodzbals 2014). Allerdings gibt es derzeit noch wenige Daten zum Langzeit-Outcome nach einem Graftless-Sinuslift, sodass eine abschließende evidenzbasierte Beurteilung derzeit nur eingeschränkt möglich ist (Dongo et al. 2018; Yang et al. 2019). Zudem wurde zu längeren Implantaten geraten, wenn ohne Biomaterialien im Sinus augmentiert wird (Dongo et al. 2018).

Ein systematisches Review aus dem Jahr 2014 untersuchte verschiedene chirurgische Techniken der lateralen Sinusbodenaugmentation, wie zum Beispiel das Präparieren der lateralen Zugangskavität mit rotierenden Instrumenten im Vergleich zur Piezo-Chirurgie, den Nutzen der Abdeckung der lateralen Zugangskavität mit einer Membranen und verschiedene Materialien zur Füllung des im Bereich des Kieferhöhlenbodens. Hier konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der ossären Neubildung und der Komplikationsrate zwischen den verschiedenen Techniken und Materialien aufgezeigt werden (Esposito et al. 2014). Allerdings gibt es Hinweise, dass die Präparation der lateralen Zugangskavität bei einem externen Sinuslift mittels Piezo-Chirurgie die Gefahr einer Membranperforation reduzieren kann (Jordi et al. 2018). Der Einsatz von Membranen über dem lateralen Zugang zeigte kein hierdurch verbessertes Ergebnis (Suarez-Lopez Del Amo et al. 2015).

### 8.3.3. Handlungsempfehlungen

Zur Augmentation des Sinus maxillaris eignen sich nach aktuellem Wissensstand neben dem autologen Knochen auch alle verfügbaren xenogenen, synthetischen und allopathen Knochenersatzmaterialien beziehungsweise Knochenkompositionen. Der zusätzliche Gewinn von autologem Knochen im OP-Gebiet kann empfohlen werden.

Statement		
1.	Bei der Durchführung eines Sinuslifts kann der Behandler mit vergleichbaren Erfolgsraten auf alle vorhandenen Materialien und Techniken zurückgreifen.	starker Konsens
2.	Bei einem zweizeitigen Vorgehen kann ein Knochenersatzmaterial mit einer Resorptionsstabilität von Vorteil sein.	
Empfehlung		
3.	Beim Sinuslift kann ein Knochenersatzmaterial verwendet werden.	starker Konsens
Abstimmung: 29/3/1 (ja, nein, Enthaltung)		
Expertenkonsens		



## 9. Horizontale und vertikale Defekte des Alveolarkamms – komplexe Defizite und Defekte

### Zusammenfassung

Im Kapitel 6.3 wurde das unterschiedliche Regenerationspotential bei verschiedenen Defekten dargestellt. Die in diesem Kapitel vorgestellten Situationen zeichnen sich durch ein geringes primäres Regenerationspotential im Bereich des ortsständigen Defekts/ Knochenlagers aus - somit stehen für den Regenerationserfolg die verwendeten Materialien und das operative Verfahren wesentlich mehr im Fokus als noch bei den im Kapitel 8 vorgestellten Ausgangssituationen. Für kleinere Alveolarkammdefekte mit einem zu regenerierenden Knochendefizit von circa  $\pm 3$  mm kann mit den gleichen operativen Verfahren, die in den Kapiteln 8.1 und 8.2 vorgestellt wurden, verfahren werden. Bei größeren Defekten können autologe Knochenblöcke verwendet werden, die zum Beispiel zusammen mit partikulärem Knochen oder Knochenersatzmaterialien eingesetzt werden können. Dabei können auch besondere operative Verfahren, wie zum Beispiel die Sandwich-Osteoplastik oder die Schalentechnik verwendet werden.

### 9.1. Grundlagen

Bei der Evaluation der verfügbaren Literatur zeigte sich, dass Strecken um circa 3 mm horizontal oder vertikal mit einer Kombination aus partikulärem Material und Membran mit guter Vorhersagbarkeit des Behandlungserfolgs augmentiert werden können (Beitlitum et al. 2010; Kuchler and von Arx 2014; Tolstunov et al. 2019; Troeltzsch et al. 2016). Einzelne Studien zeigen Evidenz, dass auch größere Strecken mit Techniken der Guided Bone Regeneration (GBR) behandelt werden können (Lorenz et al. 2018a; Rocchietta et al. 2016; Urban et al. 2019), wobei hier vermehrt auf Blockaugmentationstechniken ausgewichen werden sollte. Autologe Knochenblöcke, insbesondere Knochenblöcke vom Beckenkamm, werden hinsichtlich der der Komplikationsrate und der Regenerationsrate für große Alveolarkammdefekte somit von vielen Autoren als Goldstandard angesehen (Duttenhoefer et al. 2015; Fretwurst et al. 2015b; Lorenz et al. 2018b; Sakkas et al. 2017; Troeltzsch et al. 2016). Allerdings können die zusätzlichen Knochenentnahmen zu einer weiteren Morbidität und Komplikationen führen (Barone et al. 2011; Chiapasco et al. 2004; Chiapasco et al. 2007; Felice et al. 2009; Felice et al. 2010), welche durch die Nutzung von Knochenersatzmaterialien vermieden werden.

Empfehlung		
1.	Bei komplexen Defekten bis zu 3 mm kann eine Kombination aus partikulärem Material und Membran verwendet werden.	starker Konsens
2.	Bei komplexen Defekten sollte die Implantation sekundär (zweizeitiges Vorgehen) erfolgen.	
Statement		

3.	Die komplexe vertikale Augmentation ist auch aufgrund der Weichgewebssituation anspruchsvoller als die horizontale.	starker Konsens
Abstimmung: 33/2/1 (ja, nein, Enthaltung)		
Expertenkonsens		

## 9.2. Materialien

### 9.2.1. Knochenersatz mit partikulärem Material

Bei kleinen Defekten scheinen alle partikulären Materialien mit ähnlichem Erfolg verwendet werden können. Strecken und Komplikationsraten hängen auch von der verwendeten Barriere ab, wobei titanverstärkte Barrieren oder Titangitter mehr Knochenregeneration bei aber höherer Komplikationsrate aufweisen als resorbierbare Membranen (Hartmann et al. 2019; Troeltzsch et al. 2016). Es wird in diesem Zusammenhang auch auf das Kapitel 8.2.2 verwiesen. Wenn bei größeren Defekten regeneriert werden muss, sind spezifischere Techniken GBR, Blockmaterialien oder stabile Barrieren wie zum Beispiel titanverstärkte Membranen oder (individualisierte) Titangitter notwendig (Rocchietta et al. 2016; Seiler et al. 2018a; Seiler et al. 2018b; Troeltzsch et al. 2016; Urban et al. 2019).

Empfehlung		
1.	Zur Regeneration bei größeren Defekten können - neben dem autologen Transplantat - Augmentationstechniken der Guided Bone Regeneration (GBR) oder stabile Platzhalter verwendet werden.	starker Konsens
Abstimmung: 34/0/2 (ja, nein, Enthaltung)		
Expertenkonsens		

### 9.2.2. Knochenersatz mit autologen Blöcken

Der Unter- und Oberkiefer sind die naheliegendsten Spenderregionen für autologe Augmentationen, da die Entnahme in Lokalanästhesie erfolgen kann und die Mundhöhle nicht verlassen werden muss. Hier kommen insbesondere der aufsteigende Ast des Unterkiefers (Linea obliqua), der Kinn-/Symphysenbereich und der Tuberbereich im Oberkiefer in Frage (Aloy-Prosper et al. 2015; Chappuis et al. 2017; Cordaro et al. 2002; Gultekin et al. 2016; Khojasteh et al. 2012a; Khojasteh et al. 2016; Khoury and Hanser 2015; Monje et al. 2013; Pistilli et al. 2014; Sakkas et al. 2016; Troeltzsch et al. 2016). Die Entnahmemorbidität im Kinn/Symphysenbereich wird im Vergleich zu den anderen Methoden als hoch angegeben (Nkenke and Neukam 2014). Insgesamt sind mit intraoral entnommenen autogenen Blöcken Augmentationsstrecken von bis zu 5 mm zu bewältigen (Khojasteh

et al. 2012a; Khojasteh et al. 2012b; Troeltzsch et al. 2016) und erfolgreiches Implantatüberleben in so augmentierten Arealen ist über 10 Jahre beschrieben (Chappuis et al. 2017; Khoury and Hanser 2015; Schwartz-Arad et al. 2014). Bei größeren Defekten empfehlen sich Knochenentnahmen aus extraoralen Regionen; hier werden am häufigsten der Beckenkamm und das Schädeldach genannt (Troeltzsch et al. 2016).

Autologe Knochentransplantate vom Beckenkamm werden häufig als Goldstandard für große Augmentationen bezeichnet und weisen valide Langzeitdaten auf, zeigen aber auch langfristige Resorption (Barone et al. 2011; Boven et al. 2014; Fretwurst et al. 2015a; Fretwurst et al. 2015b; Sakkas et al. 2017). Bei Untersuchungen der Osteoblasten und von Osteopontin in autologem Knochen aus verschiedenen Spenderarealen konnte eine Überlegenheit des Knochens aus dem Beckenkamm festgestellt werden (Wein et al. 2015; Wein et al. 2019), wobei in manchen Studien die geringe Resorption von Knochen aus der Calvaria betont wird (Maestre-Ferrin et al. 2009; Mertens et al. 2013; Smolka 2014). Manche Studien beschreiben eine geringe Morbidität der Patienten nach Knochenentnahme vom Beckenkamm (Fretwurst et al. 2015c), wobei die posteriore Region für die Entnahme als günstiger als die anteriore beschrieben wird (Nkenke and Neukam 2014). Des Weiteren wird hervorgehoben, dass die Morbidität nach Knochenentnahmen von der Calvaria gering sei (Quiles et al. 2015).

Insgesamt wird festgestellt, dass die Beeinträchtigungen nach Entnahme von autogenem Knochen nicht lange andauern (Barone et al. 2011; Kuik et al. 2016; Putters et al. 2018)

Auch andere Spenderareale wie der Tibiakopf (Kirmeier et al. 2007), die avaskuläre Fibula (Duttenhoefer et al. 2015) und der Gaumen (Gluckman et al. 2016; Hernandez-Alfaro et al. 2005) sind als erfolgreich nutzbar beschrieben. Trotz der erwähnten Darstellung einer geringfügigen Morbidität und Komplikationsrate durch die Entnahme eines autologen Knochenblocks darf diese nicht unterschätzt werden (Barone et al. 2011; Covani et al. 2013; Dahlin and Johansson 2011; Nkenke and Neukam 2014; Troeltzsch et al. 2016)

### 9.2.3. Alveolarkammaugmentation mit allogenen, xenogenen und alloplastischen Blöcken

In der Literatur lassen sich daher auch vielfältige Untersuchungen zu nicht-autologen Blöcken finden, die den Vorteil der Stabilität ohne den Nachteil der Entnahmemorbidität mit sich bringen und in den gleichen Indikationen eingesetzt werden können wie autologe Blöcke. Für verschiedene allogene und xenogene Blockvarianten wurden erfolgreiche Einsätze beschrieben (Blume et al. 2017; Bonanini et al. 2014b; Dahlin and Johansson 2011; Pereira et al. 2014).

Allerdings gibt es hier auch kritische Aspekte. Im Vergleich der Komplikationsraten von autologen Blöcken und xenogenen Blöcken zeigen sich die xenogenen klar unterlegen (Pistilli et al. 2014; Troeltzsch et al. 2016), obwohl auch Fallberichte existieren, die deren Gebrauch befürworten (De Angelis and Scivetti 2011; Felice et al. 2013) und xenogene Blöcke im Rahmen von Sandwich-Techniken erfolgreich eingesetzt werden (Marconcini et al. 2019; Scarano et al. 2011). Zudem scheint die Zugabe von Kollagen oder Wachstumsfaktoren wie dem BMP-2 zu bovinen Blöcken dem autologen Material teilweise äquivalente Ergebnisse zu liefern (Ortiz-Vigon et al. 2017; Schwarz et al. 2017; Thoma et al. 2018).

Direkte Vergleiche zwischen allogenen und autogenen Blöcken zeigen in den meisten Studien eine bessere Osseointegration, eine geringere Resorptionsrate und eine geringere Komplikationsrate der autogenen Transplantate (Chiapasco et al. 2013; Khojasteh et al. 2012a; Leong et al. 2015; Lumetti et al. 2014; Lumetti and Galli 2014; Troeltzsch et al. 2016). In einer aktuellen klinischen Studie konnten allerdings auch für vertikale und laterale Augmentationen eingesetzte allogene (in Deutschland zugelassenes DFDBA) und autologe, enoral entnommene Knochenblöcke bei einer Nachsorgezeit von einem Jahr gleichwertige Ergebnisse hinsichtlich des gewonnenen Knochens und der Resorption nachgewiesen werden (Kloss et al. 2018). Analog hierzu konnten Studien, welche die Allograft-Blöcke untersuchten, nachweisen, dass diese erfolgreich für vertikale und horizontale Augmentation eingesetzt werden können (Blume et al. 2017; Motamedian et al. 2016; Pereira et al. 2014; Schlee and Rothamel 2013) und geringe Komplikationsraten aufweisen können (Dahlin and Johansson 2011; Monje et al. 2014). Allerdings muss auch hier beachtet werden, dass die in den genannten Studien verwendeten allogenen Knochenkompositionen sehr inhomogen sind und somit ein direkter Vergleich nur bedingt möglich ist. In der Literatur wird eine langsamere Umbaurate der allogenen Blöcke im Vergleich zu autogenen Blöcken aus vitalem Knochen beschrieben (Brownfield and Weltman 2012; Chiapasco et al. 2013; Lorenz et al. 2018b; Spin-Neto et al. 2014a; Spin-Neto et al. 2014b). Des Weiteren sind auch bei den allogenen Blöcken Limitationen zu beachten. So wurde bei vertikalen Augmentationen von bis zu 5 mm mit allogenen Blöcken (in Deutschland zugelassenes Material) eine prospektive Studie nach 6 von 20 geplanten Fällen aufgrund der hohen Komplikationsrate abgebrochen. Allerdings ist hier neben der Augmentationshöhe kritisch anzumerken, dass bei 4 der 6 eingeschlossenen Patienten die Augmentation simultan mit der Implantation stattfand und dass keine Kontrollgruppe beobachtet wurde (Draenert et al. 2016).

In allogenen Knochenblöcken verschiedener Aufbereitungsformen ließen sich DNA-Reste nachweisen, wobei es sich möglicherweise um inaktive Fragmente handelt und es unklar ist, inwieweit dies eine klinische Relevanz hat (Coutinho et al. 2017; Fretwurst et al. 2018; Fretwurst et al. 2014; Ghanaati et al. 2014; Kubosch et al. 2016a; 2016b; Lorenz et al. 2018b; Lorenz et al. 2017; Wein et al. 2015). Mögliche immunologische Effekte werden kontrovers diskutiert (Fretwurst et al. 2018; Ghanaati et al. 2014; Lorenz et al. 2018b; Lumetti et al. 2014; Lumetti and Galli 2014) oder als das Vorhandensein von Wachstumsfaktoren positiv gewertet (Krasny et al. 2018). Organische Materialien wurden auch in xenogenen Blöcken gefunden (Ghanaati et al. 2014).

Bei alloplastischen Blöcken ist die Datenlage schlechter als bei den xenogenen Blöcken. So konnte zwar nachgewiesen werden, dass nanostrukturiertes Hydroxylapatit generell als Block zur Augmentation im Unterkiefer von Minipigs eingesetzt werden kann (Kirchhoff et al. 2011), klinische Studien liegen allerdings nicht vor.

Insgesamt ist die verfügbare Literatur zu den xenogenen und allogenen Knochenblöcken sehr heterogen, teilweise kontrovers und insgesamt unzureichend. Von der Verwendung alloplastischer Knochenblöcke muss aufgrund fehlender klinischer Daten abgeraten werden. Valide Langzeitergebnisse, randomisierte prospektive klinische Studien, systematische Reviews oder Metaanalysen konnten zum Zeitpunkt der Erstellung der Leitlinie (Suchzeitraum der Literatur bis April 2019) für diese Materialgruppen noch nicht identifiziert werden.

### 9.3. Membranen und Barrieren

#### 9.3.1. Partikulärer Knochen und Knochenersatzmaterial

Um erfolgreich mit einem partikulären Material größere vertikale und horizontale Alveolarkammdefekte augmentieren zu können, müssen feste beziehungsweise formstabile Barrieren (zum Beispiel Titangitter oder auch Schalentechniken (Kapitel „Besondere operative Techniken“)) eingesetzt werden (Seiler 2018, Seiler 2018, Hartmann 2019, Khoury 2019). Kleinere Alveolarkammdefekte bis circa 3 mm können hingegen mit kollagenbasierten-, PTFE oder PLA/PGA Membranen im Zuge eines GBR-Verfahrens aufgebaut werden (Merli et al. 2014; Simion et al. 2007; Troeltzsch et al. 2016). Hierbei zeigten kollagenbasierte Membranen und PTFE Membranen die besten Ergebnisse (Troeltzsch et al. 2016). Für Alveolarkammdefekte von über 3 mm hat sich zum Beispiel Titan als mögliche Barriere bewährt (Troeltzsch et al. 2016), wobei hier titanverstärkte Membranen (Cucchi and Ghensi 2014; Cucchi et al. 2017; Fontana et al. 2015; Mendoza-Azpur et al. 2018; Merli et al. 2014; Soldatos et al. 2017; Urban et al. 2014) oder Titangitter zur Verfügung stehen (Briguglio et al. 2019; Ciocca et al. 2018; Cucchi et al. 2017; Pieri et al. 2008; Sagheb et al. 2017).

Zur Zeit stehen insbesondere nach 3D-Bildgebung individualisiert hergestellte Titangitter im Fokus, da der intraoperative Aufwand der Gitteradaptation durch die exakte präoperative Planbarkeit verringert wird (Ciocca et al. 2011; Ciocca et al. 2018; Hartmann et al. 2019; Lorenz et al. 2018a; Sagheb et al. 2017). Im direkten Vergleich scheinen Polytetrafluoroethylene (PTFE)-Membranen mit einer integrierten Titanverstärkung oder resorbierbare Membranen die vom Operateur mit Osteosyntheseplatten aus Titan verstärkt werden ähnliche Resultate zu erzielen (Merli et al. 2014) ebenso wie titanverstärkte PTFE-Membranen und Titangitter (Cucchi et al. 2017). Hierbei werden Komplikationsraten von circa 20% angegeben, bei denen es sich meist um Wunddehiszenzen handelt (Cucchi et al. 2017; Troeltzsch et al. 2016).

In verschiedenen Studien wird darauf hingewiesen, dass das Weichgewebsmanagement bei Titanbarrieren aller Art aufgrund der Dehiszenzgefahr als erfolgskritisch anzusehen ist (Ciocca et al. 2018; Sagheb et al. 2017). Zur Verbesserung der Dehiszenzrate wird hier der Einsatz resorbierbarer Kollagenmembranen und von PRF vorgeschlagen (Lorenz et al. 2018a). Als Risikofaktoren für Dehiszenzen werden Nikotinabusus und simultane Sinusbodenevaluationen genannt (Hartmann et al. 2019). Als weiteres Gittermaterial neben Titan wird Poly-ether-ether-ketone (PEEK) untersucht (Mounir et al. 2019).

### 9.4. Besondere operative Techniken

Neben den GBR-Techniken und der Verwendung unterschiedlicher Knochenblöcke können auch weitere operative Verfahren zur Alveolarkammaugmentation erfolgreich eingesetzt werden. So gibt es Sandwichosteotomien, bei denen nach einer partiellen Durchtrennung des residualen Alveolarknochens dieser vertikal und / oder lateral angehoben wird und zwischen beide Anteile entweder autologer Knochen oder ein Knochenersatzmaterial, häufig xenogener oder alloplastischer Herkunft, meist als Block, eingesetzt wird (Bormann et al. 2010; Felice et al. 2014; Fu et al. 2014; Leong et al. 2015; Rachmiel et al. 2018; Starch-Jensen and Nielsen 2018; Teng et al. 2014; Wen et al. 2018).

Ähnlich verhält sich die vertikale Distraktionsosteogenese, die auch ohne ein eingesetztes Material auskommt (Chiapasco et al. 2004; Hameed et al. 2019; Kim et al. 2013; Mampilly et al. 2014; Oncu et al. 2015; Rachmiel et al. 2018). Im direkten Vergleich der Augmentation durch Sandwichosteotomie oder die Auflagerung von allogenen Blöcken zeigte sich die Komplikationsrate der Osteotomie deutlich geringer (Komplikationsrate Sandwichosteotomie 30% vs. allogener Block 77,8%) (Leong et al. 2015). Im Vergleich dazu wird für autologe Blöcke eine deutlich niedrigere Komplikationsrate angegeben (Sakkas et al. 2017; Troeltzsch et al. 2016). Auch wurde die vertikale Distraktionsosteogenese und die Augmentation mit autogenen Knochenblöcken verglichen, wobei beide Techniken vergleichbare Ergebnisse zeigten (Hameed et al. 2019; Kim et al. 2013) und teilweise sehr hohe, aber angeblich unkritische Komplikationsraten für die Distraktion beschrieben wurden (Ugurlu et al. 2013).

Des Weiteren wird die Schalenteknik mit autologem kortikalen Knochen als feste Barriere im Sinne einer GBR-Technik erfolgreich eingesetzt. Der dadurch zwischen ortsständigem Knochen und Kortikalisplatte entstehende Hohlraum kann dann mit autologem partikulären Knochen oder einem Knochenersatzmaterial aufgefüllt werden (Khouri and Hanser 2015; 2019; Stimmelmayer et al. 2014a; Stimmelmayer et al. 2014b; Tunkel et al. 2018). Diese Technik wird auch für kortikale Schalen aus allogenem und xenogenen Knochen als erfolgreich beschrieben (Buttchereit and Kämmerer 2017; Deepika-Penmetsa et al. 2017; Peck 2015).

Für sehr ausgedehnte Defekte, wie zum Beispiel Kontinuitätsunterbrechungen oder bei sehr kritischen Situationen wird auf revaskularisierte Transplantate mit oder ohne 3D-Planung zurückgegriffen (Awad et al. 2019; Goetze et al. 2020a; Goetze et al. 2020b; Kokosis et al. 2016; Moldovan et al. 2015; Patel et al. 2019; Zhang et al. 2016; Zheng et al. 2018).

Statement		
1.	Xenogene und alloplastische Blocktransplantate sind dem autologen Knochenblock unterlegen.	starker Konsens
2.	Die Langzeitprognose von allogenen Blocktransplantaten ist in der Literatur nicht belegt.	
Abstimmung: 34/2/0 (ja, nein, Enthaltung)		
Expertenkonsens		

### Erläuterung

Bei Augmentationen von größeren lateralen und vertikalen Defekten muss gesteigerter Aufwand mit höheren Komplikationsraten in Kauf genommen werden. Wissenschaftlich findet sich die beste Datenlage für autologe extra- und intraorale Blöcke und für Techniken der Guided Bone Regeneration wie zum Beispiel unter Verwendung von titanverstärkten Barrieren. Weitere Techniken und Materialien sind beschrieben, allerdings mit wenigen Studien und teilweise heterogenen Ergebnissen.

## 10. Zusammenfassung

Wie in den einzelnen Kapiteln beschrieben, stehen für die unterschiedlichen klinischen Indikationen verschiedene Techniken und Materialien der Alveolarkammaugmentation zur Verfügung. Direkte Vergleiche zwischen den einzelnen Materialien und den unterschiedlichen Techniken sind durch die verfügbare Literatur nicht immer evidenzbasiert möglich und auch nicht - obwohl erstrebenswert - in jedem Fall in klinischen Studien ethisch vertretbar umsetzbar. Dennoch trägt der behandelnde Arzt und Zahnarzt dem Patienten gegenüber für seine Auswahlentscheidung und die Risiko-Nutzen-Abwägung die Verantwortung. Demzufolge ist zu empfehlen, Biomaterialien auszuwählen, zu denen detaillierte Untersuchungen zur biologischen Wirkung vorliegen, welche klinische Studien mit histologischer Charakterisierung der Gewebsreaktion und radiologischer Analyse der Volumenstabilität des Augmentats einschließen sollten.

Weiterhin sollten adäquate tierexperimentelle Untersuchungen im klinisch repräsentativen Großtiermodell unter Charakterisierung der Gewebsreaktion und des Einheilverhaltens zu verschiedenen Zeitpunkten sowie Grundlagenuntersuchungen zur Charakterisierung der biologischen Wirkung auf die Zellfunktion vorliegen. Hierbei ist aber zu beachten, dass Tiermodelle alleine keine valide Aussage über den klinischen Erfolg oder Misserfolg beim Einsatz im menschlichen Körper bieten können. In vitro und tierexperimentelle Modelle sind somit als Grundlagen wichtig, ersetzen aber keinesfalls die klinische Datenlage.

### 10.1. Zukünftige Entwicklungen

Trotz der insgesamt umfangreichen Literatur zum Thema Alveolarkammaugmentation sind viele Aspekte noch nicht wissenschaftlich fundiert untersucht und können noch nicht abschließend bewertet werden. So liegen zum Beispiel beim allogenen Knochen noch keine ausreichenden Langzeitergebnisse vor, um eine abschließende evidenzbasierte Beurteilung treffen zu können.

Der Bereich der Wachstumsfaktoren und der Biofunktionalisierung von Biomaterialien und Knochenersatzmaterialien wird zukünftig möglicherweise mehr an Bedeutung gewinnen und benötigt besonders im Bereich der Knochenregeneration weitere klinische Studien. Auch CAD/CAM gefertigte individuelle Titangitter benötigen weitere wissenschaftliche Untersuchungen. Dasselbe betrifft den 3D Druck von patientenindividuellen alloplastischen Knochenersatzblöcken sowie die Entwicklung von resorbierbaren injizierbaren und knetbaren Knochenersatzementen und die Entwicklung von Methoden zum Zementieren von resorbierbaren Knochenersatzblöcken mit zum Beispiel calciumphosphatbasierten Knochenersatzementen.

Die Fragestellung der Komplikationen und Fehlschläge ist nicht ausreichend untersucht und dokumentiert und es ist unklar, inwieweit gesundheitliche Einschränkungen der Patienten Auswirkungen auf augmentative Verfahren haben. Auch die Alveolarkammaugmentation und die Anwendung von Knochenersatzmaterialien beim kompromittierten Patienten wird zukünftig von zunehmender klinischer Relevanz sein.

## **10.2. Alveolarkammaugmentationen bei einfachen Defekten**

Augmentationen innerhalb des Weichgewebsmantels und Defekte, die von mehreren Knochenwänden umgeben sind, wie zum Beispiel frische Extraktionsalveolen oder kleine Dehiszenzdefekte, gehören zu dieser Gruppe. Zusätzlich kann die Sinusbodenelevation als einfacher Defekt eingestuft werden. Aufgrund der guten Erfolgsraten der verschiedenen Knochenersatzmaterialien steht hier der autologe Knochen nicht immer im Fokus. In der klinischen Anwendung haben sich dabei alle partikulären Materialien bewährt.

## **10.3. Alveolarkammaugmentationen komplexer Defekte**

Augmentationen außerhalb des „Skeletal Envelope“ (Definition siehe oben) und Defekte, die von wenigen oder nur einer Knochenwand begrenzt sind, wie zum Beispiel der stark atrophierte Alveolarkamm, bei dem laterale und vertikale augmentative Verfahren vor einer geplanten Implantation erforderlich sind, werden hier zusammengefasst. Eine valide Datenlage findet sich vor allem für extra-/ intraoral entnommene autologe Knochenblöcke oder Techniken, die feste Barrieren, wie zum Beispiel Titangitter oder autogene kortikale Schalen verwenden.