

## Zusammenfassung

*Einleitung:* Die kristalline Struktur von Knochenersatzmaterialien wie Hydroxylapatitkeramiken (HA) oder Trikalziumphosphatkeramiken (TCP) beeinflusst deren physikalische und sicher auch biologische Eigenschaften. Unterschiedliches Löslichkeitsverhalten von synthetischem und biologischem HA scheinen mit unterschiedlichen Ergebnissen in der Röntgenpulverdiffraktometrie (RDX), einem Routineverfahren der Materialwissenschaften [2, 6] zur Analyse kristalliner Strukturen, korreliert zu sein [1]. Vergleichende RDX-Analysen von TCP liegen in der einschlägigen Literatur nicht vor. Best et al. [4] unterstrichen in jüngster Zeit die Bedeutung der Charakterisierung der Knochenersatzmaterialien zum Verständnis der Resorptionsmechanismen [4]. *Fragestellung:* Ausmaß und Qualität der Kristallisation verschiedener z. Z. verfügbarer Knochenersatzmaterialien wurden mittels RDX-Analyse bestimmt. *Material und Methoden:* Die verwendeten Materialien wurden in 3 Gruppen eingeteilt: Hydroxylapatitkeramiken, Trikalziumphosphatkeramiken und Biogläser. Anhand der mittels Pulverdiffraktometer gewonnenen Intensitätsspektren können die Materialien hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Kristallisation charakterisiert werden. *Ergebnisse:* Die HA-Materialien (bis auf Alqipore) scheinen monophasige Produkte zu sein, wobei nur Ceros80 und Endobone eine hohe Kristallisation aufweisen. Auch die TCP-Produkte Biobase und Cerasorb sind nahezu monophasig, während Ceros82 aus einer Mischung von 30% HA und 70%  $\beta$ -TCP zu bestehen scheint. Alle TCP weisen einen hohen Kristallisationsgrad auf. Die Biogläser zeigten erwartungsgemäß keine kristallinen Strukturen. *Diskussion:* Die möglichen Ursachen der inhomogenen Kristallisation der untersuchten Materialien reichen von der Zusammensetzung aus kleinen Einzelkristalliten über Fremdioneneinschlüsse zu defizitären Apatiten durch Kalziumkarbonatbeimengungen. Deren Bedeutung für das biologische Verhalten ist nicht geklärt. *Resümee:* Es fanden sich Unterschiede zwischen den untersuchten Materialien, deren Bedeutung für das biologische Verhalten nicht geklärt ist. Weiterführende Untersuchungen sind erforderlich, um diese Eigenschaften mit dem klinischen Verhalten zu korrelieren.

## Schlüsselwörter

Ca-P-Keramiken · Knochenersatzmaterialien · Röntgendiffraktometrie · Kristallisation

# Röntgenspektrometrischer Vergleich der aktuell verfügbaren Knochenersatzmaterialien

G. Weibrich<sup>1</sup>, S.-H. Gnoth<sup>1</sup>, M. Kunkel<sup>1</sup>, R. Trettin<sup>2</sup>, H.-D. Werner<sup>2</sup>, W. Wagner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (Prof. Dr. Dr. W. Wagner), Mainz

<sup>2</sup> Institut für Geowissenschaften, Mainz

Kristallisierte Materialien, wie medizinisch verwendete Hydroxylapatitkeramiken (HA) oder Trikalziumphosphatmaterialien (TCP), besitzen eine periodische atomare Struktur. Der Aufbau dieser Kristallstruktur hat wesentlichen Einfluß auf die biologischen Eigenschaften des Materials. So konnten Abdel-Fattah et al. [1] unterschiedliches Löslichkeitsverhalten von synthetischem und biologischem HA mit unterschiedlichen Ergebnissen in der Röntgendiffraktometrie (RDX-Analyse) korrelieren. Andere Arbeitsgruppen haben verschiedene Produktions- und Sinterungsmethoden zur Herstellung von Hydroxylapatitkeramiken und Trikalziumphosphatkeramiken durch Anwendung der Röntgendiffraktometrie untersucht und beschrieben [5]. Eine vergleichende Anwendung dieser Methode auf medizinisch zum Knochenersatz eingesetzte Kalziumphosphatkeramiken ist jedoch in der vorliegenden Literatur nicht vorhanden. Vergleichende RDX-Analysen von klinisch relevanten TCP-Materialien finden sich darin ebenfalls nicht.

Auch Best et al. [4] bekräftigten in neuerer Zeit die Notwendigkeit einer detaillierten Charakterisierung der verwendeten Knochenersatzmaterialien zur Aufklärung des unterschiedlichen Resorptionsverhaltens. Sie fanden in vitro unterschiedliche zelluläre Reaktionen an 2 HA-Materialien, welche sie

auf unterschiedliche Materialcharakteristika zurückführten [4].

## Fragestellung und Zielsetzung

Es wurde die Phasenzusammensetzung mehrerer z. Z. für die klinische Anwendung verfügbarer Knochenersatzmaterialien mittels der Röntgendiffraktometrie bestimmt. Mit der gleichen Methode erfolgten auch eine semiquantitative Abschätzung des kristallinen Anteils sowie eine Bestimmung der Menge an amorphen Bestandteilen. Die Untersuchungsergebnisse sollen als Grundlage für weiterführende Untersuchungen zur biologischen Charakterisierung der Knochenersatzmaterialien dienen.

## Material

Die untersuchten Materialien wurden in 3 Gruppen unterteilt:

- In der 1. Gruppe befanden sich die Hydroxylapatitkeramiken (HA), die entweder tierischen (Rind), phytotropen (Algen) oder synthetischen Ursprungs sind, und über deren Anwendung seit längerer Zeit klinische Erfahrung vorliegt.
- In der 2. Gruppe wurden die (synthetisch hergestellten)  $\alpha$ - und  $\beta$ -Trikalziumphosphatkeramiken (TCP) zusammengefaßt; die derzeit erhältlichen Präparate sind erst seit kurzer Zeit zur klinischen Anwendung zugelassen.
- Die 3. Gruppe bilden die Biogläser (BG) als eigenständige Substanzgruppe, die zur Vervollständigung der Untersuchung miteinbezogen wurde.

Eine genaue Aufstellung der untersuchten Materialien findet sich in Tabelle 1.

Dr. Dr. G. Weibrich, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Augustusplatz 2, D-55131 Mainz

## X-ray diffractometry of bone regeneration materials

G. Weibrich, S.-H. Gnoth, M. Kunkel, R. Trettin, H.-D. Werner, W. Wagner

### Summary

**Introduction:** The crystalline structure of hydroxyapatite (HA) and tricalciumphosphate (TCP) used as bone regeneration materials affects their physical and probably also their biological properties. Varying velocities of the HA solution process seem to be correlated to different results in powder diffraction analysis (RDX) [1], a validated, routine procedure in mineralogy [2, 6] to analyse crystallized materials. As far we know there are no comparative RDX analyses for the TCP materials in clinical use. **Goals:** The dimension and quality of the crystallization of several bone regeneration materials are analysed by RDX. **Material and methods:** The materials analysed were divided in different groups: hydroxyapatite, tricalciumphosphate and bioglass. The materials are characterized by the specific intensity curve measurements. **Results:** The HA products, with the exception of Algipore, seem to be monophasic. Ceros80 and Endobone were the only ones which

seem to be totally crystallized. The TCP products Biobase and Cerasorb are nearly monophasic, whereas Ceros82 seems to contain a mixture of 30% HA and 70%  $\beta$ -TCP. All TCPs show a high crystallization. The bioglasses did – as suspected – not show crystalline structures. **Discussion:** There are many possible causes for inhomogeneous crystallization of the investigated materials, as they are composites of different foreign ions, extremely small crystals or abnormal (deficient) apatites. How this affects the biological behaviour is not known. **Summary:** We found differences between the examined materials; how this affects the biological behaviour is unknown. Further investigations are necessary to correlate the characteristics of the materials to the clinical outcome.

### Key words

Calciumphosphate ceramics · Bone regeneration materials · X-ray diffractometry · Crystallisation

die Netzebenen bilden, beschreiben. Zu jeder Netzebene verläuft eine Schar identischer, paralleler Ebenen. Man spricht von einer Netzebenenschar. Identische Netzebenen eines Kristalls haben einen senkrechten Abstand, den d-Wert. Treffen Röntgenstrahlen in einem bestimmten Winkel auf ein Kristallgitter, werden die Röntgenstrahlen in einem definierten Winkel reflektiert (im eigentlichen Sinn gebeugt, jedoch im Ergebnis analog zur Reflexion), da die Abstände der identischen Atome in der Größenordnung der Wellenlängen der Röntgenstrahlen liegen (Abb. 1). Mit Hilfe der Bragg-Gleichung lassen sich die konstruktiven Interferenzerscheinungen der reflektierten Röntgenstrahlen auswerten und ermöglichen dadurch Rückschlüsse auf die atomare Struktur. Die Bragg-Gleichung definiert den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge der einfallenden Röntgenstrahlung  $\lambda$ , dem Netzebenenabstand der kristallinen Struktur  $d$  sowie dem Beugungswinkel der reflektierten Röntgenstrahlen  $\vartheta$ :  $n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin(\vartheta)$ .

Die Herstellung der feinkristallinen Pulver mit einer Korngröße von 10–40  $\mu\text{m}$  erfolgte durch Mahlen im Achatmörser. Zur Untersuchung der so vorbereiteten Materialien wurde ein Pulverdiffraktometer vom Typ XDAL 3000 (Fa. Seifert, Aachensburg) verwendet. Die Generierung der Röntgenstrahlung erfolgte bei einer Röhrenspannung von 40 kV bei einem Heizstrom von 30 mA ( $\lambda$  Cu K  $\alpha$ ). Die monochromatische Röntgenstrahlung fällt dabei auf das ebenflächige Pulverpräparat und wird von den verschiedenen Netzebenenscharen unter verschiedenen  $\vartheta$ -Winkeln gebeugt. Die durch die Proben gebeugte Röntgenstrahlung wurde bei einer Schrittweite von  $0,1^\circ \vartheta$  und einer Meßzeit von 3 s pro Schritt gemessen; ein Zählrohr registriert winkelabhängig die Intensitätsmaxima (Abb. 2).

Aus der Bragg-Gleichung ergeben sich die zugehörigen d-Werte. Die d-Werte sind nicht wie der Beugungswinkel von der Wellenlänge der benutzten Röntgenstrahlung abhängig, son-

## Methode

In der hier verwendeten Röntgendiffraktometrie werden Untersuchungen am Einkristall und an Pulvern unterschieden. Im wesentlichen dienen Einkristallmethoden der Aufklärung der Kristallstruktur und die Pulvermethoden u. a. zur Identifizierung kristallisierter Verbindungen. So ist es mit Hilfe der Röntgenbeugung an Pulvern möglich, 2 Phasen mit gleicher chemischer Zusammensetzung, wie z. B. das  $\alpha$ - und das  $\beta$ -Tricalciumphosphat, zu unterscheiden, da diese unterschiedliche Interferenzdiagramme liefern. Mit solchen strukturellen Modifikationen der Phase können völlig unterschiedliche physikalische und biologische Eigenschaften einhergehen.

### Physikalische Grundlagen der Röntgendiffraktometrie

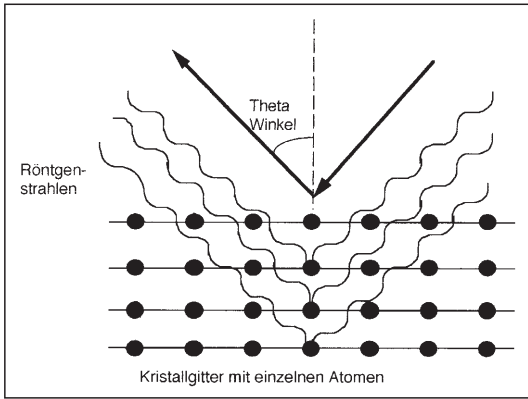
Kristallstrukturen lassen sich durch dreidimensionale periodische Anordnungen von Atomen,

Tabelle 1

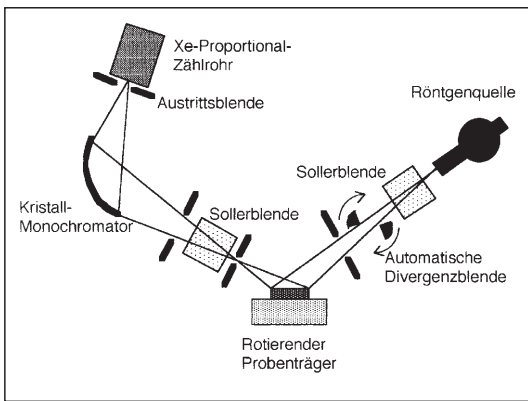
### Die untersuchten Materialien wurden in 3 Gruppen unterteilt: Hydroxylapatite, Trikalziumphosphate und Biogläser

Gruppe	Ursprung	Präparatename	Hersteller (Vertrieb)	Zusammensetzung (Herstellerangaben)
1 HA	Synthetisch	Ceros80	Merck <sup>a</sup>	HA
	Bovine	Endobone	Merck	HA
	Bovine	Bio Oss	Geistlich	HA
	Phytotroph	Algipore	Friatec	HA
2 TCP	Synthetisch	Ceros82	Merck <sup>a</sup>	TCP
	Synthetisch	Biobase	Sulzer-Calcitek	Phasenreines $\alpha$ -TCP
	Synthetisch	Cerasorb	Curasan	Phasenreines $\beta$ -TCP
3 Bioglas	Synthetisch	PerioGlas	Dumex	Bioglas
	Synthetisch	Biogran	Orthovita	Bioglas

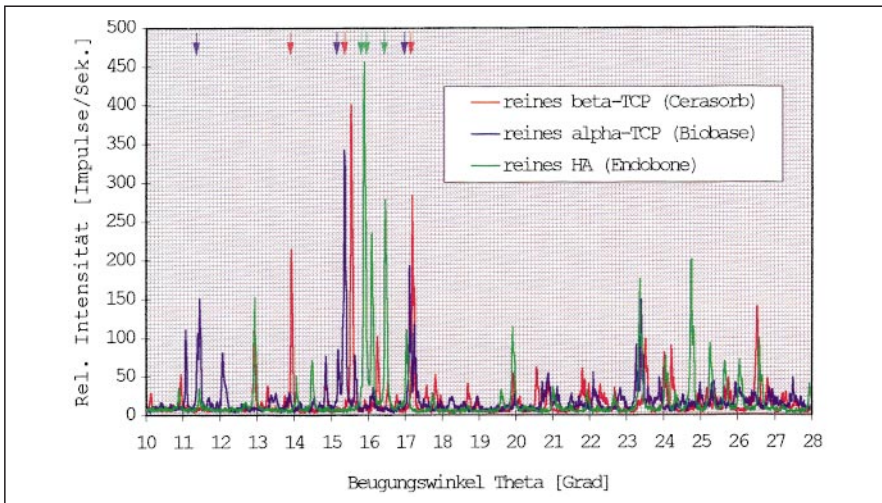
<sup>a</sup>Das Material wird nicht mehr von Fa. Merck und nicht mehr unter diesem Handelsnamen vertrieben



**Abb. 1.** Die Reflexion der einfallenden Röntgenstrahlen an den Kristallgittern erfolgt im Winkel von  $2\theta$



**Abb. 2.** Strahlengang und experimentelle Anordnung des verwendeten Pulverdiffraktometers, modifiziert nach Krischner u. Koppelhuber-Bitschnau [6]



**Abb. 3.** Kristalline, hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung ähnliche oder auch identische Proben können anhand der Röntgenpulverdiffraktometrie unterschieden werden. Im hier gezeigten Diffraktogramm unterscheiden sich Intensitätsverteilung und -maxima von Hydroxylapatit (*grün*),  $\alpha$ -TCP (*blau*) sowie  $\beta$ -TCP (*rot*) recht deutlich. Die typischen Peaks der einzelnen Materialien wurden mit Pfeilen in der gleichen Farbe markiert

den ausschließlich eine Materialeigenschaft. Die Verteilung der Intensitätsmaxima ist in Kombination mit den  $d$ -Werten charakteristisch für die entsprechende Kristall- und damit Elementstruktur. Die so erzielte Charakterisierung ermöglicht anhand bestehender Materialdatenbanken auch die Unterscheidung von verschie-

den kristallinen Modifikationen ( $\alpha$ - und  $\beta$ -) der identifizierten Probe (Abb. 3).

Die fast immer feststellbare, basale Anhebung der Diagrammlinien korreliert mit dem Anteil der amorphen, d.h. schlecht kristallisierten Materialanteile. Die Intensitätsmaxima (Peaks) signalisieren das Vorliegen periodischer Netzebenen.

Je schmaler sich die Basis der Peaks darstellt, um so besser kristallisiert ist die Struktur des untersuchten Materials. Umgekehrt muß aus der Verbreiterung der Reflexe auf Amorphisierungstendenzen oder Störungen der kristallinen Ordnung geschlossen werden [Oberflächenartefakte, Fremdioneneinschlüsse, Kristallgitterversatz, feinkristallines Material ( $< 1 \mu\text{m}$ )].

Die absolute Höhe der Peaks ist abhängig von der Textur der Netzebenen, d.h. der Besetzungsdichte (Atome pro Volumen) als auch von der Art der Besetzung (Ordnungszahl des streuenden Elements), und daher von eingeschränkter Bedeutung. Die Höhe des Reflexes stellt jedoch auch einen Hinweis auf die Qualität der Kristallisation dar, da eine breite Basis gewöhnlich mit einer verminderten Reflexionsintensität einhergeht. Eine Anhebung der die amorphen Anteile repräsentierenden Basalschicht kann dadurch jedoch nicht in bedeutsamen Umfang bewirkt werden.

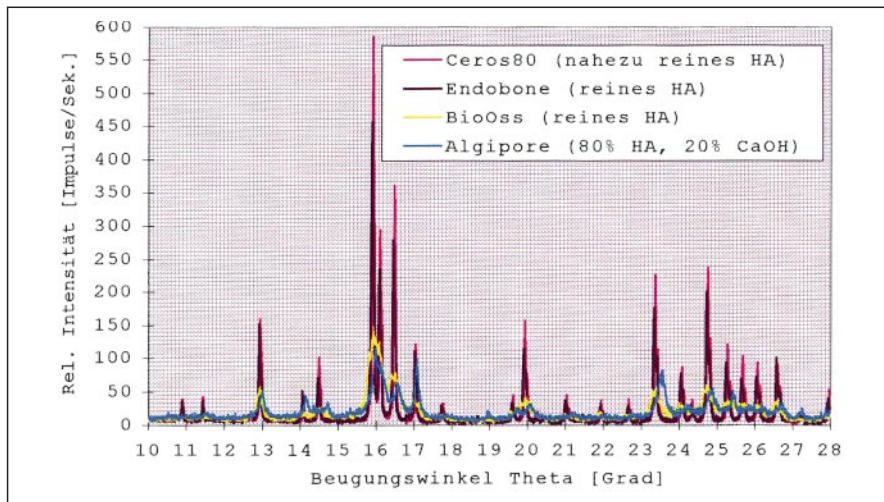
### Ergebnisse

Alle Hydroxylapatitkeramiken zeigten nur geringe amorphe Anteile. Hinsichtlich der Materialzusammensetzung und Kristallisation stellen sich die Materialien in der Hydroxylapatitgruppe sehr heterogen dar. Das jetzt nicht mehr erhältliche synthetische Produkt Ceros80 zeigt eine hohe Kristallisation bei fehlender Fremd Beimengung; die Intensitätskurve zeigt unter allen getesteten Materialien Maximalwerte bei schmaler Basis der Peaks (Abb. 4). Eine vergleichbar homogene Materialzusammensetzung hatten auch die beiden bovinen Hydroxylapatitkeramiken. Endobone zeigte in der Diffraktometrie deutliche Zeichen einer hohen Kristallisation, während das Präparat BioOss eher weniger kristallisiert erscheint. Die Basen der Intensitätspeaks sind eher verbreitert, die Intensitäten im Vergleich zum Endobone vermindert.

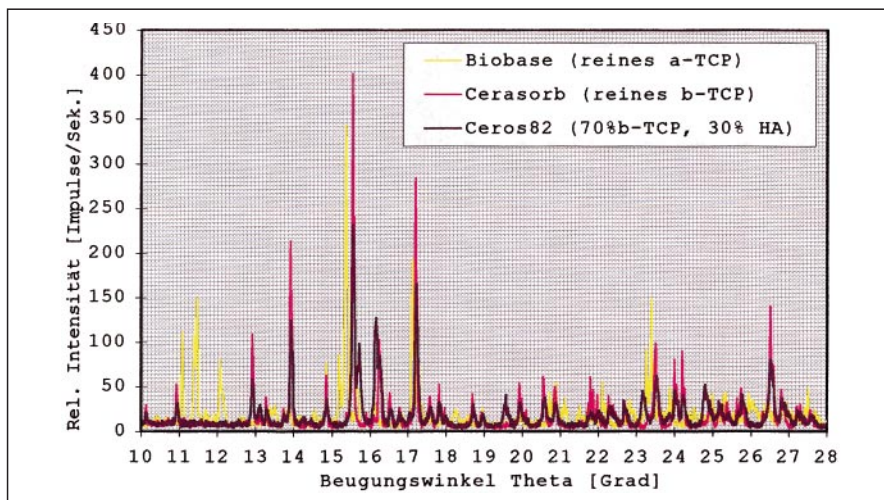
Am unterschiedlichsten erscheint in dieser Gruppe das phylogene Material Alqipore, das nur zu 80% aus Hydroxylapatit besteht; die restlichen 20% scheinen sich aus Kalziumhydroxidbeimengungen zusammenzusetzen. In der Beurteilung der Kristallisation des Gesamtpräparats findet sich nur ein geringer Anteil an kristalliner Substanz. Fremd Beimengungen von Trikalziumphosphaten konnten bei allen hier untersuchten Hydroxylapatiten nicht nachgewiesen werden.

In der Materialzusammensetzung der 3 TCP-Präparate finden sich deut-

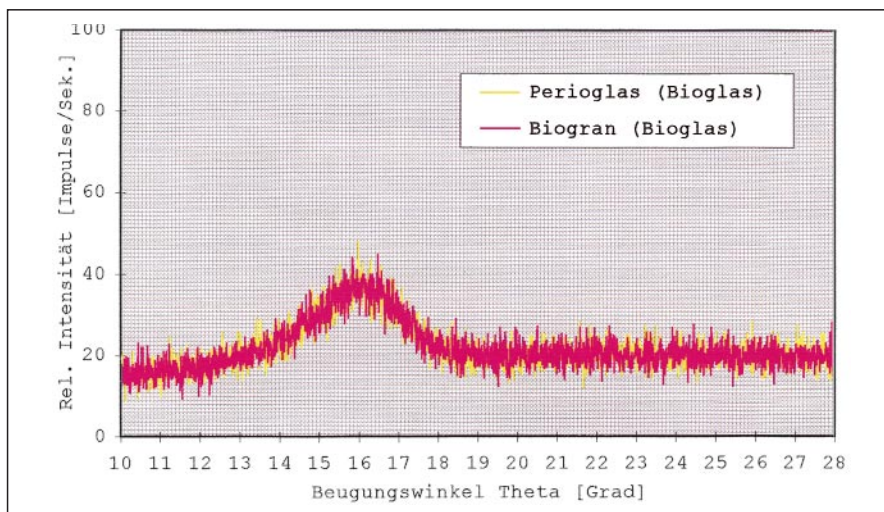




**Abb. 4.** Diffraktogramm von den Hydroxylapatitkeramiken Ceros80, Endobone, BioOss und Algipore



**Abb. 5.** Die Intensitätsverteilung der Trikalziumphosphatkeramiken spricht für nahezu monophasige TCP-Präparationen von Biobase und Cerasorb, bei Ceros82 kann eine Beimengung von 30% Hydroxylapatit angenommen werden



**Abb. 6.** Beide hier untersuchten Biogläser zeigen keine Intensitätsverteilungen, die auf eine Beimengung von kristallinen Materialien hinweisen

liche Unterschiede; das Material Ceros82 ist als Mischpräparat aus Hydroxylapatit und  $\beta$ -Trikalziumphosphat aufzufassen, die anderen TCP-Materialien scheinen weitgehend monophasige Produkte darzustellen. Ceros82 zeigt verstärkte Intensitäten z. B. an dem typischen Hydroxylapatitpeak bei einem  $\vartheta$ -Winkel von  $16,5^\circ$ , deutlich höher als Biobase (Abb. 5). Für das dort geringere Intensitäten zeigende Cerasorb kann eine minimale Beimengung von Hydroxylapatit methodisch bedingt nicht sicher ausgeschlossen werden. Der für TCP typische Peak bei  $17,5^\circ \vartheta$  erscheint bei Ceros82 entsprechend vermindert gegenüber den beiden anderen Materialien.

Als Gemeinsamkeit zeigten alle hier eingeschlossenen Proben nur geringe amorphe Anteile bei einem hohen kristallinen Anteil der Keramiken, sichtbar an der nur geringen Anhebung der Basallinie und den insgesamt sehr schmalen Basen der Intensitätskurven.

Beide getesteten Biogläser zeigten keinen Hinweis auf röntgenkristalline Strukturen. Im wesentlichen zeigt sich eine angehobene Basislinie, die sich als Korrelat der fehlenden Kristallisationsmuster deutlich unregelmäßiger darstellt (Abb. 6). Der andeutungsweise sichtbare „Peak“ von  $14\text{--}19^\circ \vartheta$  ist als Korrelat von minimalen Strukturierungstendenzen zu interpretieren.

Eine tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Tabelle 2. Im Vergleich zu den früher erhältlichen Knochenersatzmaterialien, die z. T. als Mischungen der verschiedenen chemischen Substanzen aufzufassen waren (Ceros82), sind die heute erhältlichen, hier untersuchten synthetischen Präparate als nahezu monophasig zu bezeichnen. Der Anteil an amorphen Bestandteilen ist bei allen hier untersuchten Materialien sehr gering. In der spektrometrischen Untersuchung der Kristallisation zeigt ein Teil der Produkte auf biologischer Basis (BioOss und Algipore) eine höhere Störung der Kristallstruktur. Die Untersuchungen sowohl des bovinen Endobone als auch der neuen Trikalziumphosphatmaterialien (Biobase und Cerasorb) zeigten eine hohe Kristallisation.

Tabelle 2

**Materialzusammensetzung der verschiedenen Knochenersatzmaterialien nach semiquantitativer Abschätzung mittels der Röntgenpulverdiffraktometrie**

Handelsname	Materialzusammensetzung [%]				Kristallisation [hoch/gering]
	HA	α-TCP	β-TCP	Amorphe Masse	
HA					
Ceros80	> 95	0	0	< 5 <sup>a</sup>	+
Endobone	> 95	0	0	< 5 <sup>a</sup>	+
BioOss	> 95	0	0	< 5 <sup>a</sup>	-
Algipore	80	0	0	< 5 <sup>a</sup> 20% Ca-Hydroxid	-
TCP					
Ceros82	30	0	70	< 5 <sup>a</sup>	+
Biobase	0	> 95	0	< 5 <sup>a</sup>	+
Cerasorb	<< 5 <sup>a</sup>	0	> 95	< 5 <sup>a</sup>	+
Bioglas					
Perioglas				100% Glas	Minimale strukturierte Anteile
Biogran				100% Glas	Minimale strukturierte Anteile

<sup>a</sup>Aufgrund der semiquantitativen Abschätzung der Materialzusammensetzung ist die Validität der genauen Quantifizierung von Anteilen im Bereich von einigen Volumenprozenten mit hohem relativen Fehleranteil behaftet und daher mit Einschränkungen zu interpretieren

**Diskussion**

Die Methode der Röntgendiffraktometrie zur Analyse von kristallinen Strukturen kann als ausreichend validiert gelten, da dies seit Jahren als Standardverfahren in den Materialwissenschaften angewendet wird [2, 6]. Die semiquantitative Abschätzung kann für die Beantwortung der hier untersuchten Fragestellung als akzeptabel gelten.

Die Interpretation der Ergebnisse scheint hinsichtlich der Abschätzung der amorphen Materialanteile relativ eindeutig; das niedrige Basalniveau der Intensitätskurven spricht in allen Fällen für einen geringen amorphen Materialanteil.

Auch die Frage der Perfektion der Kristallgitter sowie die Phasenanalyse konnten erwartungsgemäß mit der gewählten Methode zufriedenstellend evaluiert werden; es zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden gut kristallisierten Hydroxylapatit-

präparaten und den Präparaten mit Störungen im Gittermuster, welche an der reduzierten Höhe und der verbreiterten Basis der typischen HA-Peaks deutlich zu erkennen sind. Die möglichen Interpretationen dieser nachgewiesenen Unregelmäßigkeiten der Gitterstrukturen sind vielfältig: Als Ursachen können Gitterfehler durch den Einbau von Fremdatomen oder durch die Zusammensetzung aus sehr feinkörnigen Einzelkristallen genauso wie das Vorhandensein von Kalziumkarbonatanteilen als Korrelat defizitärer Apatite gelten.

Die Bestimmung der Materialzusammensetzung kann als valide gelten, da durch einen Vergleich der Intensitätsverläufe mit Computerdatenbanken verschiedener Materialien eine zuverlässige Charakterisierung der enthaltenen Verbindungen erreicht werden kann. Als Kontrolle wurden die Ergebnisse dieser Untersuchung mit einer Elementanalyse der untersuchten Materialien verglichen. Die Energie-

und Wellenlängen-dispersive Elementanalyse korrelierte gut mit den hier nachgewiesenen Verbindungen.

Best u. Bonefield [3] konnten 1994 an 3 Hydroxylapatiten gleicher chemischer Zusammensetzung bei unterschiedlicher Morphologie, darunter auch das hier untersuchte Endobone, nachweisen, daß die mechanischen Eigenschaften der Materialien nicht nur von der chemischen Zusammensetzung, der Partikelgröße und dem Sinterungsprozeß abhängig sind, sondern auch von der Verteilung der Partikelgröße, der Oberfläche und der Partikelmorphologie beeinflußt werden. Die im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführte Röntgendiffraktometrie der 3 HA-Materialien von British Charcoals, MacDonalds und Merck GmbH zeigte für alle Materialien ein ähnliches Ergebnis, welches mit dem hier gefundenen Untersuchungsergebnis für Endobon (Fa. Merck) in Einklang stand.

Eine entsprechende, vergleichende Charakterisierung der vorhandenen „monophasigen“ TCP-Knochenersatzmaterialien konnte in der vorliegenden Literatur nicht gefunden werden; die Zulassung für den klinischen Einsatz erst vor mehreren Monaten könnte dies erklären.

**Resümee**

Bei der röntgendiffraktometrischen Untersuchung der hier verwendeten Knochenersatzmaterialien ließen sich deutliche Unterschiede feststellen. Unter den untersuchten Proben fanden sich teilweise monophasige, teilweise polyphasige Materialien, einige zeigten einen hohen Anteil kristalliner Strukturen, andere nur geringe Strukturierungstendenzen.

Die Auswirkungen der geschilderten Differenzen auf das biologische Verhalten der Materialien in situ sind derzeit noch unklar; weitere Untersuchungen zur umfassenden Charakterisierung der verschiedenen Materialien als Basis für die Analyse und das Verständnis der Resorptionsmechanismen sind erforderlich.

Nach der Aufklärung der Resorptionsvorgänge wäre eine Beeinflussung der Resorptionsgeschwindigkeit durch den Einsatz unterschiedlicher Materia-



lien zur Synchronisation von Osteoneogenese und Resorption der Kalziumphosphatkeramik denkbar.

Diese Untersuchung wurde finanziell unterstützt von Geistlich Biomaterials, GEWO GmbH, D-76487 Baden-Baden; Friatec AG, D-68222 Mannheim, und Sulzer-Calcitek GmbH, D-79001 Freiburg.

## Literatur

1. Abdel-Fattah WI, El-Sayed AM, Ali FM, Behri HH (1994) Serum-hydroxylapatite interaction in vitro. *Biomaterials* 15: 643–649
2. Allmann R (1994) Röntgen-Pulver-Diffraktometrie. Clausthaler Thektonische Hefte. Sven von Loga, Köln
3. Best S, Bonfield W (1994) Processing behaviour of hydroxyapatite powders with contrasting morphology. *J Mater Sci Mater Med* 5: 516–521
4. Best S, Sim B, Kayser M, Cownes S (1997) The dependence of osteoblastic response on variations in the chemical composition and physical properties of hydroxyapatite. *J Mater Sci Mater Med* 5: 97–103
5. Cüneyt Tas A, Korkusuz F, Timucin M, Akkas N (1997) An investigation of the chemical synthesis and high-temperature sintering behaviour of calcium hydroxyapatite (HA) and tricalcium phosphate (TCP) bioceramics. *J Mater Sci Mater Med* 5: 91–96
6. Krischner H, Koppelhuber-Bitschnau B (1994) Röntgenstrukturanalyse und Rietveldmethode, 5. Aufl. Vieweg, Braunschweig Wiesbaden

**Endoskopische Laserchirurgie der oberen Luft- und Speisewege.** Hrsg.: Steiner W., Stuttgart New York: Thieme (1997). 200 S., 281 farb. Abb., 286 S., 73 Abb., 52 Tabellen, (ISBN 3-13-102241-8), DM 148,- (SFr 131,-, ÖS 1080,-)

Zweifellos kommt dem Autor das große Verdienst zu, mit Energie die endoskopische Laserchirurgie im Bereich des oberen Aerodigestivtrakts vorangetrieben zu haben. Seine ersten Berichte wurden in der Vergangenheit nicht immer ohne Kritik aufgenommen. Jetzt legt er aber eine Operationslehre vor, die seine umfangreichen chirurgischen Erfahrungen – gestützt durch Ergebnisbilanzen – zusammenfaßt, wobei ein exzellentes Bildmaterial den geschickt aufgearbeiteten Text erläutert.

Nach technisch-praktischen Erläuterungen (Kapitel 1) wird die endoskopische mikrochirurgische Lasertherapie benigner Erkrankungen der oberen Luft- und Speisewege behandelt (Kapitel 2). Erfreulich ist die kritische Darstellung der Indikationsgrenzen besonders bei den laryngotrachealen Stenosen. Der morbiditätsmindernde Effekt der endoskopischen Laserchirurgie bei malignen Erkrankungen ohne Minderung der onkochirurgischen Valenz bedingt zweifelsfrei den wesentlichen Gewinn des Verfahrens (Kapitel 3). Nach Präzisierung der präoperativen Diagnostik und einer zusammenfas-

senden Darstellung des Therapiekonzepts wird die Lasermikrochirurgie der Karzinome von Larynx, Hypopharynx, Oropharynx, Nase, Nasopharynx und Trachea abgehandelt. Dabei werden perioperative Behandlungsmaßnahmen, Komplikationen sowie unerwünschte Folgen nicht umgangen. Die abschließenden Kapitel werden anästhesiologischen Problemen, den Aufgaben des Phoniaters in der Larynxchirurgie sowie der Lasertechnik und dem -strahlenschutz gewidmet.

Die endoskopische Lasermikrochirurgie im Aerodigestivtrakt besonders maligner Erkrankungen ist heute nicht mehr aus dem Arbeitsspektrum des Kopf-Hals-Chirurgen wegzudenken. Neben der Beherrschung der Technik und der Erfassung einer neuen Anatomie, die „von innen heraus“ die Strukturen des Halses operativ behandeln läßt, ist der Erfolg dieser Chirurgie wesentlich von einer kritischen Indikationsstellung abhängig. Dieses arbeitet der Autor mit klarer Diktion heraus. Die operative Technik ist faszinierend.

Steiner bietet mit seinem Buch dem Beginner wie dem Erfahrenen wertvolle Hinweise und entscheidende Regeln. Seine „*Endoskopische Laserchirurgie*“ gehört ohne Einschränkung in jede Kopf-Hals-chirurgische Bibliothek und in jede Hand eines Operateurs, der in den oberen Luft- und Speisewegen mit dieser Methode arbeitet.

C. Herberhold, Bonn