3. Ergebnisse

3.1 Ausgangszustand der Prüfkörper

3.1.1 Oberflächenrauheit

Die Rauheits-Messwerte, gemittelte Rautiefe R_z , Mittenrauwert R_a und maximale Rautiefe R_{max} , sind für die mit Korund abgestrahlten Proben fast doppelt so hoch wie die mit Biokeramik abgestrahlten Proben. Noch niedriger liegen die Messwerte für die unbehandelten Proben (Tab. 10, Abb. 7).

Tab. 10: Rauheits-Messwerte in Abhängigkeit von der Oberflächenbearbeitung Mittenrauwerte (R_a) der mit Biokeramik (GB14/AP40) bzw. Korund (Korox) abgestrahlten Ti-Oberflächen

Rauheits-	Größe	unbehandelt	Biokeramik	Korund	
Messwert			(GB14/AP40)	(Korox)	
gemittelte	Messwerte	2,18; 1,94; 3,25	3,71; 4,3; 4,62	7,04; 8,2; 8,56	
Rautiefe R_z	Mittelwert	2,46	4,21	7,9	
[µm]	Standardabw.	0,70	0,46	0,79	
	Median	2,18	4,3	8,2	
Mitten-	Messwerte	0,27; 0,31; 0,48	0,5; 0,54; 0,63	1,01; 1,05; 1,06	
rauwert	Mittelwert	0,35	0,56	1,04	
R _a [µm]	Standardabw.	0,11	0,07	0,03	
	Median	0,31	0,54	1,05	
maximale	Messwerte	3,31; 2,61; 5,03	4,4; 4,82; 5,76	8,61; 9,56; 9,9	
Rautiefe	Mittelwert	3,65	4,99	9,36	
R _{max} [µm]	Standardabw.	1,25	0,70	0,67	
	Median	3,31	4,82	9,56	



Abb. 7: Vergleichende Darstellung der Rauheits-Messwerte in Abhängigkeit von der Oberflächenbearbeitung

Die unterschiedlichen Rautiefen spiegeln sich auch in den rasterelektronenmikroskopischen (REM) Aufnahmen wieder. Zur besseren Darstellung der Oberflächenstrukturierung sind die Aufnahmen der Implantatoberflächen von der Seite angefertigt worden. Für jede Bearbeitungsvariante sind charakteristische Strukturierungen der Ti-Oberfläche erkennbar (Abb. 8).



Abb. 8: Zusammenstellung der seitlichen Ansicht der Oberflächen im Rasterelektronenmikroskop

3.1.2 Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop und dem energiedispersiven Röntgenspektrometer

Die Ausgangssituation der drei verschiedenen Oberflächen-Modifikationen wurde mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskopes (REM) und eines energiedispersiven Röntgenspektrometers (EDX) untersucht.

Mit dem EDX wurde die durchschnittliche Zusammensetzung einer 120 x 90 µm großen Messfläche bestimmt (Tab. 11).

Bei der unbehandelten Probe fällt das Sticktoff-(N)-Signal auf welches auf die Anwesenheit einer Titannitrid-(TiN)-Schicht hinweist (Abb. 9). Im Falle der Bearbeitung mit Korund (Korox) sind die dafür typischen Elemente Aluminium (Al) und Sauerstoff (O) auf der Implantatoberfläche nachweisbar, siehe Abb. 10. Auf den mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlten Oberflächen wurden neben dem Titan (Ti) zusätzlich Phosphor (P), Kalzium (Ca), Silizium (Si), Kalium (K), Natrium (Na) und Magnesium (Mg), die Hauptbestandteile der Biokeramik, nachgewiesen, wie in Abb. 11 zu sehen. Dies sind eindeutige Belege dafür, dass die Strahlgutpartikel in die Oberfläche impaktiert werden.

Prüfkörper	Element	Linie	Masse-	rel. Atomkonz. /	
			konzentration	Vertrauensinterv.	
unbehandelt	Ti	K-alpha	69,22	47,21±4,07	
	Al	K-alpha	0,25	0,15±0,20	
	Ν	K-ser	22,57	52,64±9,13	
	standardfrei		92,05	100	
Korund	Ti	K-alpha	58,60	36,59±3,31	
(Korox)	Al	K-ser	8,94	9,91±0,99	
	Fe	K-alpha	0,28	0,15±0,18	
	0	K-ser	28,54	53,36±9,49	
	standardfrei		96,36	100	
Biokeramik	Ti	K-alpha	81,54	84,01±7,06	
(GB14/AP40)	Р	K-ser	1,81	2,89±0,46	
	Ca	K-alpha	2,38	2,93±0,39	
	Si	K-ser	0,98	1,73±0,35	
	Κ	K-alpha	0,75	0,95±0,26	
	Na	K-ser	2,94	6,31±1,26	
	Mg	K-ser	0,59	1,19±0,5	
	standardfrei		90,99	10020	

Tab. 11: Ergebnisse der REM / EDX-Analyse des Ausgangszustandes der Prüfkörper



Abb. 9: REM-Bild (oben) und EDX-Spektrum (unten) der unbehandelten Titanoberfläche. Der Stickstoff (N) Peak ist charakteristisch für TiN (Titannitrit)



Abb. 10: REM-Bild (oben) und EDX Spektrum (unten) der mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlten Ti-Oberfläche im Vergleich mit der unbehandelten Ti-Oberfläche im Hintergrund (grau)



Abb. 11: REM-Bild (oben) und EDX Spektrum (unten) der mit Korund (Korox) abgestrahlten Ti-Oberfläche im Vergleich mit der unbehandelten Ti-Oberfläche im Hintergrund (grau)

3.2 Prüfkörper nach 7 Tagen Liegezeit

3.2.1 Lichtmikroskopische Aufnahmen

Die in Abb. 12 erfolgte Zusammenstellung gibt einen Überblick über die histologischen Befunde nach einer Liegezeit von 7 Tagen, die im Folgenden detaillierter dargestellt werden.

111 5 2000	
Nr. 1004, Unbehandelte Oberfläche	Nr. 1011, Biokeramik abgestrahlt
Nr. 1029, Korund abgestrahlt	

Abb. 12: Lichtmikroskopische Aufnahmen am Auflichtmikroskop nach 7 Tage Liegezeit (Vergrößerung 6x)

3.2.2 Histologische Befunde

Unbehandelte Oberfläche:

In Folge der Implantation sind scharfrandige Durchtrennungen des präexistenten trabekulären Knochens und Einsprengung von Knochenfragmenten zwischen den Knochenbälkchen in der Nähe des Implantats und an wenigen Stellen zwischen Implantat und Knochenbälkchen zu erkennen. Nur an wenigen Stellen sind Reste von Exsudat mit feinnetzigem Fibrin und Resten von Erythrozyten zwischen Metall und Trabekeln bzw. Knochenbruchstücken zu finden. Es überwiegen bereits Organisationsgewebe mit Fibroblasten und proliferierten Kapillaren sowie Makrophagen an der Metalloberfläche und in der Umgebung der Knochenfragmente. An einigen Stellen wurde in feinnetziger Anordnung oder in fingerförmigen Protuberanzen reaktiver Faserknochen mit reichlich Osteoblasten mit deutlicher Mineralisation der Grundsubstanz zwischen den Osteoblasten gefunden. Ebenfalls sehr gering ausgeprägt war der Saum von Osteoblasten (Beispiel: Nr. 1006).

Nur in geringem Umfang sind Makrophagen und Osteoklasten, die Knochenfragmente und auch präexistenten Knochen abbauen, zu beobachten.

Mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlte Oberfläche:

Wie schon im vorherigen Abschnitt beschrieben, sind auch in diesem Fall nach 7 Tagen Liegedauer Reste von Exsudat mit Erythrozyten im Fibrinnetz, einigen Vakuolen, möglicherweise Reste von Fett und Makrophagen an der Grenzzone zwischen Fett und Gewebe, Bruchstücke von Knochen zwischen Knochenbälkchen und der Metalloberfläche zu sehen. An einigen Stellen ist auch hier wiederum Organisationsgewebe mit Makrophagen zwischen den neugebildeten Kapillaren und proliferierenden Fibroblasten zu finden. An einigen wenigen Stellen sind bereits Bälkchen aus Faserknochen mit lebhafter Aktivität von Osteoblasten, Säumen von Osteoid, Proliferation von derartigen Bälkchen und Osteoblasten auch an der Oberfläche des Metalls (Beispiel: Nr. 1009 rechts) (Abb. 16) zu beobachten. Ebenfalls werden Knochenfragmente, präexistenter Knochen und bereits neugebildeter Knochen herdförmig osteoklastär ab- und umgebaut (Beispiel: Nr. 1012 rechts).



Abb. 13: Charakteristische lichtmikroskopische Aufnahme einer maschinenbearbeteten Probe nach 7 Tagen Liegezeit, Querschnitt, Probenmitte (Vergrößerung: links 6,5x, rechts 10x)



Abb. 14: Lichtmikroskopische Aufnahmen der mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlten Oberfläche nach 7 Tagen Liegezeit (Vergrößerung: links 6,5x, rechts 10x)

Histologischer Befund bei der mit Korund (Korox) abgestrahlter Oberfläche:

Reste von Blutkoagula und Exsudat zwischen Metalloberfläche und glatt durchgefrästem Knochen, abschnittsweise untermischt mit Fragmenten des Knochens (Knochenmehl) sind wie in Abb. 17 zu erkennen. Es überwiegen jedoch zwischen Metall und Trabekeln aber auch zwischen den Trabekeln selbst Organisationsgewebe mit Fibroblasten und neugebildeten Kapillaren. (Beispiel: Nr. 1025 rechts sowie Nr. 1030 rechts) (Abb.17). Nur in wenigen Fällen wurde das Bohrloch im Rand der Epiphyse oder durch die Epiphyse eingebracht, somit durch Knorpel gebohrt, in diesen Fällen zeigt sich eine Verlagerung von Knorpel teilweise bis zur Implantatoberfläche und eine partielle Mineralisierung von Knorpel und Knochenregenerat (Beispiel: Nr. 1025 rechts). In demselben Fall ist auch eine teilweise Ablösung des Gewebes von der Metalloberfläche und Bildung von zystenartigen Strukturen nach Art von so genannten Geröllzysten bei Osteoarthrose festzustellen.



Abb. 15: Lichtmikroskopische Aufnahmen der mit Korund (Korox) abgestrahlten Oberfläche nach 7 Tagen Liegezeit (Vergrößerung: links 6,5x, rechts 10x)

3.3 Prüfkörper nach 28 Tagen Liegezeit

3.3.1 Lichtmikroskopische Aufnahmen

Abb. 16 enthält eine Zusammenstellung ausgewählter lichtmikroskopischer Aufnahmen von Kossa gefärbter Schnitte nach 28 Tagen Liegezeit. Die linke Spalte zeigt die unbehandelte Referenzprobe, die mittlere Spalte die Bilder der mit Biokeramik (GB14/AP40) und die rechte Spalte die Bilder der mit Korund (Korox) behandelten Oberfläche.



Abb. 16: Zusammenstellung lichtmikroskopischer Aufnahmen nach 28 Tagen Liegezeit (Vergrößerung 5x)

3.3.2 Histologische Befunde

Unbehandelte Oberfläche:

Der Umbau der präexistenten Knochenbälkchen und die Entwicklung von faserknöchernem Regenerat ist im Bereich des ehemaligen Bohrlochs bereits fortgeschritten (Abb. 17). Sowohl an der Oberfläche des trabekulären knöchernen Regenerats als auch an den präexistenten und apponierten oder abgebauten Knochentrabekeln findet ein lebhafter Umbau mit Osteoblasten in Kohorten und herdförmigem Abbau durch Osteoklasten (Abb. 17) statt. An einigen Stellen ist Knochenregenerat bis zur Metalloberfläche entwickelt (Abb. 17). Der größere Teil der Oberfläche ist allerdings eingenommen von einem lockeren fibrösen Gewebe (Abb. 17) mit einigen Makrophagen, vereinzelt auch mehrkernigen Riesenzellen möglicherweise vom Fremdkörpertyp. Vereinzelt ist das fibröse Gewebe von der Metalloberfläche abgelöst, so dass ein Spalt zwischen Metall und retikulärem fibrösem Gewebe existiert, an der Oberfläche des Spalts sind einige abgerundete Makrophagen zu sehen. Nur an wenigen Stellen produzieren die Regeneratzellen in der Nähe der Metalloberfläche metachromatische knorpelähnliche Grundsubstanz, Chondroid (Beispiel: Nr. 1052 rechts). Die operationsbedingten Knochenfragmente, Sägemehl, sind im Rahmen der Organisation und des Umbaus von Knochen völlig verschwunden.



Abb. 17: Lichtmikroskopische Aufnahmen der unbehandelten Oberfläche nach 28 Tagen Liegezeit, links Übersichtsaufnahme, rechts Ausschnitte. Bereiche ohne Kontakt sind deutlich erkennbar (siehe Pfeile)

Mit Biokeramik (GB 14/AP40) abgestrahlte Oberfläche:

Um das zylindrische Implantat herum ist in einem Abstand von etwa 50 bis 10 µm ein fast durchgehender Rahmen trabekulären Knochens entstanden, von dem aus füßchenförmige Protuberanzen bis zur Implantatoberfläche reichen. Dieser Knochen wird sowohl auf der äußeren Seite als auch der inneren, dem Metall zugewendeten Seite umgebaut, einerseits apponiert unter Osteoblasten in größeren Kohorten oder abgebaut durch Osteoklasten. Im übrigen findet sich lockeres fibröses Gewebe bis zur Implantatoberfläche mit einer nur geringen Zahl freier Zellen beispielsweise Makrophagen. In der weiteren Umgebung findet sich zwischen den Knochenbälkchen lockeres Bindegewebe und eine geringe Entwicklung von univakuolärem Fettgewebe oder hämopoetischem Gewebe. Nur an ganz wenigen Stellen zeigen Regeneratzellen in unmittelbarer Umgebung der Implantatoberfläche metachromatische knorpelähnliche Grundsubstanz, somit chondroide Eigenschaften. Die Mineralisation des knöchernen Regenerats ist zum Teil bis zur Metalloberfläche zu verfolgen, so dass Kontinuität zwischen der mineralisierten Knochengrundsubstanz und dem Metall anzunehmen ist. In einem Präparat (Nr. 1039, rechte Spalte) zeigt sich die umschriebene mukoide Degeneration des Bindegewebes und eine Spaltbildung zwischen Metalloberfläche und benachbartem fibrösem Gewebe und Knochen, siehe Abb. 18.



Abb. 18: Lichtmikroskopische Aufnahmen der mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlten Oberfläche nach 28 Tagen Liegezeit

Mit Korund (Korox) abgestrahlte Oberfläche:

Auch in dieser Serie zeigt sich ein ringförmiges knöchernes Regenerat um den Implantatzylinder herum (Abb. 21). Von diesem Ring aus an die Oberfläche des Metalls reichend zumindest abschnittsweise füßchenförmige Protuberanzen. Zwischen diesen knöchernen Abschnitten findet sich lockeres fibröses Gewebe mit einigen wenigen Makrophagen. Der Knochen zeigt außerhalb der ringförmigen Struktur aber auch auf der dem Metall zugewendeten Seite Umbauerscheinungen, Apposition und lakunäre Resorption. Im Weichgewebe teilweise sehr nahe an die Implantatoberfläche reichend Vorstufen der Hämopoese und einige Fettzellen. Die Struktur des Gewebes ist somit sehr ähnlich der Struktur in der weiteren Umgebung des Implantats. In einem Präparat ist fibröses lockeres Gewebe mit einer Spaltbildung zwischen Metalloberfläche und abgehobenem Gewebe, wo sich einige Makrophagen befinden (Beispiel: Nr. 1044), zu beobachten. Die Mineralisation des knöchernen Regenerats reicht teilweise bis zur Metalloberfläche.



Abb. 19: Lichtmikroskopische Aufnahmen der mit Korund (Korox) abgestrahlten Oberfläche nach 28 Tagen Liegezeit. Neben der Verankerung von Knochenzellen an der Oberfläche werden auch Stellen ohne Knochenkontakt beschrieben (Vergrößerung: links 6,5x, rechts 25x)

3.4 Prüfkörper nach 84 Tagen Liegezeit

3.4.1 Lichtmikroskopische Aufnahmen

Für 84 Tage Liegezeit wird eine Zusammenstellung der lichtmikroskopischen Aufnahmen der histologischen Schnitte gegeben. Die linke Spalte zeigt die unbehandelte Referenzprobe, in der Mitte sind die Bilder der mit Biokeramik (GB14/AP40) und in der rechten Spalte die Bilder der mit Korund (Korox) behandelten Prüfkörper angeordnet (Abb. 20).



Abb. 20: Lichtmikroskopische Aufnahmen nach 84 Tagen Liegezeit, von Kossa-Färbung (Vergrößerung 6,5x)

Diese Aufnahmen geben in der Übersicht den Eindruck wieder, der bei der Bestimmung des MBC gewonnen wurde, nämlich die "sparsame" Fixierung der mit Korund (Korox) abgestrahlten Oberflächen, rechte Spalte, die deutlich dichtere Knochenstruktur um die mit Biokeramik (GB14/AP40) behandelten Oberflächen, mittlere Spalte, und eine erhöhte aber auch mit Defekten, z.B. Zyste, versehene Knochenmanschette um die Implantate ohne besondere Oberflächenbearbeitung, linke Spalte.

3.4.2 Histologische Befunde

Unbehandelte Oberfläche

In der Umgebung des Implantatzylinders zeigt sich ein überwiegend dichter Ring von trabekulärem Knochen, der abschnittsweise hinsichtlich der Dichte und der Entwicklung von Havers'schen Kanälen (Abb. 21-Abb. 23) Corticalis ähnlich strukturiert ist.

Dieser Knochenring zeigt eine Dicke bis etwa 500 µm. Ein gewisser Teil der Implantatoberfläche ist bedeckt von mineralisiertem Knochen. An einigen Stellen zeigt sich allerdings auch ein schmaler Saum von nicht voll mineralisiertem, d.h. beispielsweise in der Giemsa-Färbung blau eingefärbtem Gewebe. Gelegentlich findet sich in dem Regenerat metachromatische Grundsubstanz zwischen den regenerierten Zellen mit Hinweise auf chondroiden Knochen bzw. Chondroid. Im übrigen lockeres oder mäßig dichtes fibröses Gewebe teilweise mit zystenartiger Abhebung von der Metalloberfläche (Abb. 21) und wenigen Makrophagen (Beispiel: Nr. 1015 links). An Stellen mit Weichgewebe sind abschnittsweise auch Fettzellen und Vorstufen der Hämopoese zu beobachte. Gleichfalls sind deutliche Zeichen des Umbaus von Knochen in der Nähe des Implantats mit Apposition von Osteoblasten in ausgedehnten Säumen sowie teilweise auch lakunärer Resorption von Knochen durch Osteoklasten erkennbar. Abschnittsweise reicht das mineralisierte Knochenregenerat bis zum Metall.

Nur an wenigen Stellen gibt es einen Verdacht auf Riesenzellen vom Fremdkörpertyp an der Implantatoberfläche, wie beispielhaft an einer Stelle mit Abhebung von fibrösem Gewebe von der Metalloberfläche und Zystenbildung (Beispiel: Nr. 1018 rechts) zu sehen ist.



Abb. 21: Lichtmikroskopische Aufnahmen der unbehandelten Oberfläche nach 84 Tagen Liegezeit



Abb. 22: Titanzylinder mit unbehandelter Oberfläche 84 Tage nach Implantation, Vergrößerung: 6 x (links) und dünner Knochenrahmen mit füßchenförmigen Ausläufern zum Interface. 90 x (rechts)



 Abb. 23: Unterschiedlich dichtes Weichgewebe mit wenigen Makrophagen im Interface. Vergrößerung: 90 x (links) und sagittaler Schnitt durch das oberflächlich unbehandelte Implantat 84 Tage nach Implantation. Dünner Knochenrahmen auch in der so darstellbaren Zirkumferenz. Vergrößerung: 6 x (rechts)

Mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlte Oberfläche:

Es ist ein überwiegend dichter Knochenring in der Umgebung des Zylinders (Abb. 24) mit einer Breite bis etwa 300 μ m zu sehen. Ein sehr dünner, nur die Oberfläche bedeckender knöcherner Ring (Abb. 25) wird durch Trabekel mit füßchenförmiger Verbreiterung in der Nähe der Implantatoberfläche entsprechend Baud'schen Kurven abgestützt. Die Mineralisation des knöchernen Regenerats reicht bis zur Implantatoberfläche, so dass eine Lastübertragung zwischen Knochen und Implantat angenommen werden kann. Ebenfalls zu beobachten ist lockeres fibröses Gewebe mit Fettzellen und

hämopoetischem Gewebe, das teilweise bis nahe an die Implantatoberfläche heranreicht. An anderer Stelle ist lockeres Bindegewebe mit einigen wenigen Makrophagen zu finden.

Im Bereich des Rings ist sowohl nach außen aber auch in Richtung auf das Implantat mit Säumen von Osteoblasten und lakunärer Resorption von Knochen durch Osteoklasten ein mäßiger Umbau des Knochens feststellbar (Abb. 25-Abb. 26).



Abb. 24: Lichtmikroskopische Aufnahmen der mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlten Oberfläche nach 84 Tagen Liegezeit



Abb. 25: Mit Biokeramik (GB14/AP40) behandelter Titanzylinder 84 Tage nach Implantation, Vergrößerung: 6 x (links) und Knochenrahmen mit Protuberanzen zu Implantatoberfläche. Vergrößerung: 36 x (rechts).



Abb. 26: Knochen und Weichgewebe am Interface. Vergrößerung : 360 x (links) und Neue Knochenbälkchen im Verbund mit alten Bälkchen im Knochenrahmen der Implantatumgebung. Vergrößerung: 90 x (rechts).

Mit Korund (Korox) abgestrahlte Oberfläche:

An der Implantatoberfläche ist ein partieller knöcherner Rahmen, Dicke etwa 200 µm zu sehen (Abb. 27-Abb. 29). Darüber hinaus sind auch Abschnitte mit füßchenförmigen Fortsätzen von Trabekeln und zwischen diesen Abstützungen lockeres Bindegewebe (Abb. 28-Abb. 29) mit Fettzellen, abschnittsweise auch Vorstufen der Hämopoese oder einige wenige Makrophagen zu beobachten. Die Mineralisation des Knochenregenerats zwischen präexistentem lamellärem Knochen und der Metalloberfläche ist gleichmäßig, es ist weder Osteoid noch Chondroid zu finden.



Abb. 27: Lichtmikroskopische Aufnahme der mit Korund (Korox) abgestrahlten Oberfläche nach 84 Tagen Liegezeit



Abb. 28: Titanzylinder der mit Korund (Korox) abgestrahlten Oberfläche 84 Tage nach Implantation. Vergrößerung: 4.5 x (links) und grobe Bälkchenstruktur des Knochens mit Protuberanzen zum Interface. Vergrößerung: 90 x (rechts)



Abb. 29: Knochen und Weichgewebe mit wenigen Zellen im Interface. 360 x (links) und Knochen und Weichgewebe mit wenigen Makrophagen im Interface. 360 x (rechts)

3.5 Morphometrie des Metall-Knochen-Kontakts

Bei der Morphometrie wurde der Prozentsatz von Knochen, Osteoid, Chondroid und Weichgewebe am Interface bestimmt.

Nach 7 Tagen wurde noch kein Implantat-Knochen Kontakt (MBC) festgestellt. Erst nach 28 Tagen waren überhaupt Implantat-Knochen-Kontaktbereiche feststellbar und zwar bei den unbehandelten Probekörpern in 3 von 5 Fällen und den mit Korund und Biokeramik abgestrahlten Probekörpern in jeweils 4 von 5 Fällen (Tab. 12). Die Einheilung und das Knochenwachstum haben also begonnen. Der MBC lag in der Regel unter 10 %, nur bei einem mit Korund abgestrahlten Probekörper wurden ein MBC von 51,2 % gemessen.

	Versuchs-	Tier-	Implantat	Kno-	% Knochen	Mittelwert
	nummer	nummer	umfang	chen	im Interface	
Unbehandelt	97-109	1051	1810	146	8,1	
		1053	1833	182	9,9	
		1054		0	0	
		1050		0	0	
		1052	1824	14	0,8	6,3 ±4,8
Biokeramik	97-107	1041	1820	220	12,1	
(GB14/AP40)		1042	1780	128	7,1	
		1038	1857	75	4,0	
		1040		0	0	
		1039	1853	120	6,5	$7,4 \pm 3,4$
Korund	97-108	1045	1873	959	51,2	
(Korox)		1047	1843	53	2,8	
		1044	1828	598	3,3	
		1048	1810	408	2,2	
		1046	0	0	0	$14,9 \pm 24,2$

Tab. 12: Morphometrische Ergebnisse nach 28Tagen Liegezeit

Das Knochenwachstum setzte sich mit zunehmender Liegedauer fort. Nach 84 Tagen lag bereits in allen Fällen ein MBC vor. Bei den unbehandelten Probekörpern lag der MBC in 3 von 4 Fällen unter 11 %. Dagegen lag der MBC bei den mit Korund (Korox) abgestrahlten Proben im Bereich von 31 % bis 65% und bei den mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlten Proben im Bereich von 53 % bis 77 % (Tab. 13).

	Versuchs-	Tier-	Impl	Kno-	% Knochen	Mittelwert
	nummer	nummer	umfang	chen	im Interface	
Unbehandelt	97-103	1014 re	1832	100	5,46	
		1018 re	1824	192	10,53	
		1017 li	1433	70	4,88	
		1015 li	1837	1199	65,27	21,53±25,35
Biokeramik	97-104	1022 re	1934	1061	54,86	
(GB14/AP40)		1021 li	1617	857	53,00	
		1024 re	1231	871	70,76	
		1023 re	2109	1623	76,96	63,89±10,22
Korund	97-106	1036 re	1918	605	31,54	
(Korox)		1035 li	1870	910	48,66	
		1032 re	1805	1169	64,76	
		1034 re	1798	978	54,39	
		1033 li	1855	1027	55,36	50,94±11,0

Tab. 13: Morphometrische Ergebnisse nach 84 Tagen Liegezeit

Somit ist an der maschinenbearbeiteten Oberfläche der geringste Knochenzuwachs zu verzeichnen. Deutlich höher ist der Knochenzuwachs bei den mit Korund abgestrahlten Probenkörpern. Das größte Wachstum wurde bei den mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlten Probenkörpern festgestellt. Anzumerken ist dabei jedoch die große Schwankungsbreite der Messwerte (Abb. 30).





Abb. 30: MBC nach 28 Tagen und 84 Tagen Liegezeit in Abhängigkeit von der Oberflächenmodifikation

Nach 28 Tagen bestanden zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Nach 84 Tagen bestand nur zwischen den unbehandelten und den mit Biokeramik abgestrahlten Probekörpern ein signifikanter Unterschied (Tab. 14).

Tab. 14:Statistische Bewertung der morphometrischen Messung nach 28Tagen und 84 Tagen

Vergleich	28 Tage	84 Tage	
Unhandelt < Korund	p=0,46 (nicht signifikant)	p=0,13 (nicht signifikant)	
Unhandelt < Biokeramik	p=0,48 (nicht signifikant)	p=0,023 (signifikant)	
Korund < Biokeramik	p=0,58 (nicht signifikant)	p=0,18 (nicht signifikant)	

3.6 REM Analysen nach 7, 28 und 84 Tagen Liegezeit

Nach dem Abrisstest wurden die Probenoberflächen sowie das Implantatbett im REM untersucht. Die folgenden Abb. 31 bis Abb. 33 geben einen Überblick über die u.E. typischen Oberflächenzustände. Nach 7 Tagen Liegezeit sind die Oberflächenrauheitsstrukturen noch deutlich zu erkennen.



Abb. 31: REM-Aufnahme der unbehandelten Titan-Oberfläche nach Abrisstest (links Implantatoberfläche, rechts Implantatbett)



Abb. 32: REM-Aufnahme der mit Biokeramik abgestrahlten Titan-Oberfläche nach Abrisstest (links Implantatoberfläche, rechts Implantatbett)



Abb. 33: REM-Aufnahme der mit Korund abgestrahlten Titan-Oberfläche nach Abrisstest (links Implantatoberfläche, rechts Implantatbett)

Nach 84 Tagen Liegezeit werden diese Konturen teilweise durch Belege überdeckt, was besonders deutlich im Falle der Biokeramik modifizierten Oberflächen zu Tage tritt, wie den Aufnahmen in der folgenden Abb. 34 zu entnehmen ist.



Abb. 34: REM-Aufnahmen der Implantatoberflächen nach Abrisstest nach 84 Tagen Liegezeit

3.7 Zugfestigkeitsprüfung

Nach einer Liegedauer von 28 Tagen wurde bei den unbehandelten und mit Biokeramik abgestrahlten Probekörpern überhaupt noch keine Zugfestigkeit festgestellt und bei den Korund abgestrahlten Probekörpern in 2 von 5 Fällen. Nach 84 Tagen war bei den unbehandelten Probekörpern immer noch keine Zugfestigkeit vorhanden. Bei den mit Biokeramik abgestrahlten Probekörpern lag in 4 von 5 Fällen und bei den Korund abgestrahlten Probekörpern in allen Fällen eine gewisse Zugfestigkeit vor. Die mit Korund abgestrahlten Proben wiesen eine im Mittel um den Faktor 2,5 höhere Zugfestigkeit auf, als die mit Biokeramik (GB14/AP40) abgestrahlten Proben.

Liegedauer 28 Tage			Liegedauer 84 Tage				
Unbehandelt	Biokeramik	Korund	Unbehandelt	Biokeramik	Korund		
	(GB14/AP40)	(Korox)		(GB14/AP40)	(Korox)		
0	0	0	0	4	25,8		
0	0	0	0	8	21,2		
0	0	0	0	0	23,4		
0	0	11,4	0	12	9,4		
0	0	15,2	0	15	18,5		
Mittelwerte [N]							
0	0	5,32	0	7,8	19,66		

Tab. 15: Zugfestigkeit in [N] nach 28 Tagen und 84 Tagen Liegedauer