
Gliederung

	Seite	
1	Einleitung	1
1.1	Einführung in die Problemstellung	1
1.2	Der Knochen – Stand der Wissenschaft	4
1.2.1	Faserknochen und lamellärer Knochen	4
1.2.2	Blutversorgung	5
1.2.3	Mikroarchitektur des Knochens	6
1.2.4	Knochenzellen	7
1.2.5	Knochenbildung	10
1.2.6	Grundlagen der Knochenbruchheilung	12
1.3	Biomaterialien – alloplastischer Ersatz - Stand der wissenschaft	15
1.3.1	Verhalten des Biomaterials	16
1.3.2	Mechanische, biomechanische und biochemische Einflüsse zwischen Knochen und Implantat	18
1.3.3	Materialien für Implantate und Implantatbeschichtungen	23
1.3.3.1	Metalle	24
1.3.3.2	Polymere	25
1.3.3.3	Keramische Werkstoffe	26
1.3.3.3.1	Oxidkeramiken	26
1.3.3.3.2	Aktive und resorbierbare Keramiken	28
1.3.3.3.3	Materialien für Prothesenbeschichtungen	29
1.3.4	Prothesendesign	32
1.3.5	Prothesenverankerung	32
1.3.5.1	Zementierte Implantation	33
1.3.5.2	Zementfreie Implantation	35
1.3.5.2.1	Die Integration von Prothesen – klinische Ergebnisse	36
1.3.5.2.2	Die Integration von Implantaten – experimentelle Ergebnisse	39
1.3.6	Anforderungen an experimentelle Implantate	42
1.4	Vorarbeiten und Drittmittelförderung	42
1.5	Fragestellung	43
2	Material und Methodik	47
2.1	Implantatmaterialien	47
2.1.1	Eigenschaften und Herstellungsverfahren der Proben	47
2.1.2	Porenkanalgeometrie	48
2.2	Versuchstiere	50
2.2.1	Skelett des Kaninchenhinterlaufs	51
2.2.2	Gefäße und Muskeln des Hinterlaufs	51
2.2.3	Band- und Sehnenansätze am Kniegelenk	52
2.3	Implantationstechnik – Entwicklung und Validierung	53
2.3.1	Instrumentarium	53
2.3.2	Press-fit Operationsmethode	54
2.3.3	Validierung der Press-fit- Operationstechnik	58
2.3.3.1	konventionelle Röntgenuntersuchung der press-fit Implantation	58

2.3.3.2	Histomorphometrische Auswertung des Knochen-Implantat-Kontakte	58
2.4	Versuchsreihen	64
2.4.1	Versuchsgenehmigung	64
2.4.2	Tierdaten	64
2.4.3	Versuchsgruppen und –dauer	64
2.4.3.1	6-Wochen-Versuch	65
2.4.3.2	6-Monate-Versuch	65
2.4.3.3	1-Jahres-Versuch	65
2.4.4	Kriterien des Versuchsabbruchs	65
2.4.5	Operation	65
2.4.5.1	Perioperative Maßnahmen	65
2.4.5.2	Narkose und Dokumentation	65
2.4.5.3	Operationsverfahren	66
2.4.5.3.1	Operationsmodell Femur-press-fit-Implantation	66
2.4.5.3.2	Operationsmodell ersatzschwaches Lager (Periostlappen)	66
2.4.6	Intraoperative Daten	69
2.4.7	Postoperative Kontrollen	69
2.5	Tierhaltung	69
2.6	intravitale polychrome Sequenzmarkierung	70
2.7	Probleme und Komplikationen	71
2.8	Intravitale Angiographie, Versuchsende	72
2.9	Herstellung der Präparate	74
2.10	Auswertungsverfahren	76
2.10.1	Konventionelle Röntgendiagnostik	76
2.10.2	Mikroradiographie	77
2.10.3	Histo-morphologische Auswertung	78
2.10.3.1	Kriterien der mikroskopisch-morphologischen Auswertung	79
2.10.3.1.1	Gefäßnachweis	80
2.10.3.1.2	Gefäßarchitektur	80
2.10.3.1.3	Knochnachweis qualitativ	81
2.10.3.1.4	Knochenformationen	81
2.10.3.1.5	Knochenart	82
2.10.3.1.6	Qualitativer Nachweis der Fluoreszenzfarben	87
2.10.3.1.7	Zeitpunkt der Knochenentstehung	87
2.10.3.1.8	Knochen-Bindegewebe-Porenkanalwandkontakt	87
2.10.3.1.9	Kontakt an der Außenseite des Implantats	87
2.10.4	Histomorphometrische Auswertung	87
2.10.4.1	Quantimet Verfahren	87
2.10.4.2	Validierung des Quantimet-Verfahrens	89
2.10.4.3	Quantitative Bestimmung der Fluoreszenzfarbstoffanteile	91
2.10.4.4	Quantitative Bestimmung der knöchernen Anteile in der Mikroradiographie	91
2.11	Statistik	91
2.11.1	EDV-gestützte Korrektur von Unzulänglichkeiten durch das Sägen der Präparate	91
2.11.2	Weiterverarbeitung der Daten und statistische Verfahren	91
3	Ergebnisse	94
3.1	Maße der Porenkanäle	94
3.2	6-Wochen-Versuch	95

3.2.1	Gefäßnachweis	96
3.2.2	Gefäßarchitektur	98
3.2.3	Qualitativer und quantitativer Knochnachweis	102
3.2.4	Formen der Knochenbildung in den Porenkanälen	104
3.2.4.1	Wandständige Inseln	104
3.2.4.2	Wandständige Knochenringe	105
3.2.4.3	Knöchern aufgefüllte Porenkanalanschnitte	106
3.2.4.4	Knochenform „Speichentyp“	107
3.2.4.5	Knochenform „zentrale Insel“	108
3.2.4.6	Konzentrische Farbmarkierung	109
3.2.4.7	Knochenwachstum nach 6 Wochen - Zusammenfassung	110
3.2.5	Knochenart	111
3.2.6	Qualitativer Nachweis der Fluoreszenzfarben	112
3.2.7	Zeitpunkt des Knochenwachstums	115
3.2.8	Quantitative Bestimmung des fluoreszenzgefärbten Knochens	117
3.2.9	Knochenkontakt zur Porenkanalwand	120
3.2.10	Kontakt an der Außenbegrenzung der Implantate	121
3.3	6-Monate-Versuch	123
3.3.1	Gefäßnachweis	123
3.3.2	Gefäßarchitektur	124
3.3.3	Qualitativer und quantitativer Knochnachweis	126
3.3.4	Knochenformation	129
3.3.4.1	Wandständige Inseln	129
3.3.4.2	Wandständige Knochenringe	130
3.3.4.3	Vollständig lamellär aufgefüllte Porenkanalanschnitte	130
3.3.4.4	Knochenform Speichentyp	131
3.3.4.5	Knochenform zentrale Inseln	132
3.3.4.6	Konzentrische Farbmarkierung	133
3.3.5	Knochenart	133
3.3.6	Qualitative Bestimmung der Fluoreszenzfarben	134
3.3.7	Zeitpunkt des Knochenwachstums	136
3.3.8	Quantitative Bestimmung des fluoreszenzgefärbten Knochens	137
3.3.9	Kontakt zur Porenkanalwand	139
3.3.10	Kontakt an der Außenbegrenzung der Implantate	139
3.3.11	Zusammenfassung des 6-Monateversuchs	140
3.4	12-Monateversuch	141
3.4.1	Gefäßnachweis	141
3.4.2	Gefäßarchitektur	142
3.4.3	Knochnachweis qualitativ und quantitativ	142
3.4.4	Knochenformen	143
3.4.4.1	Wandständige Knocheninseln	144
3.4.4.2	Wandständige Knochenringe	144
3.4.4.3	Vollständig lamellär aufgefüllte Porenkanalanschnitte	145
3.4.4.4	Knochenform „Speichentyp“	146
3.4.4.5	Knochenform „zentrale Insel“	146
3.4.4.6	Konzentrische Farbmarkierung	147
3.4.5	Qualitative und quantitative Bestimmung der Fluoreszenzfarbstoffe	147
3.4.6	Zeitpunkt der Knochenentstehung	148

3.4.7	Knochenkontakt zur Porenkanalwand	149
3.4.8	Kontakt zwischen Implantat und umgebendem Knochen	149
3.4.9	Zusammenfassung der Ergebnisse nach 12 Monaten	150
3.5	Vergleich der Ergebnisse der 6-Wochen-, 6-Monate- und 12-Monate-Versuche	153
3.5.1	Gefäßwachstum	153
3.5.2	Knochenwachstum	155
3.5.3	Knochenart und Zeitpunkt der Knochenbildung	158
3.5.4	Kontakt zwischen Knochen und der Wand des Porenkanals	159
3.5.5	Kontakt zwischen Implantat und Knochen nach 6 Wochen, 6 Monaten und 1 Jahr	160
3.6	Periostlappentest im ersatzschwachen Lager	165
3.6.1	Gefäßnachweis	165
3.6.2	Gefäßarchitektur	166
3.6.3	Qualitativer Knochennachweis	166
3.6.4	Knochenformationen	166
3.6.5	Zeitpunkte der Knochenentstehung	168
3.6.6	Histomorphometrie	168
3.6.7	Knochenkontakt zur Kanalwand	169
4	Diskussion	170
4.1	Tiermodelle und Methoden	170
4.2	Abstand und Bewegung im Interface, Press-fit-Implantation	177
4.3	Einfluß von Mikrostruktur und Porendurchmesser der Implantate auf das Einwachsverhalten	181
4.4	Vaskularisation	189
4.5	Tiefenwachstum in poröse Oberflächen und Kanäle	192
4.6	Zeitliche Informationen über das Knochenwachstum	197
4.7	Kontakt zwischen Implantat und Knochen - Interface	201
4.8	Knochenmasse	206
4.9	Geometrie und Qualität des Knochens im Implantat	207
4.10	Periostlappentest	211
4.11	Schlußfolgerungen	214
5	Zusammenfassung	218
6	Literaturverzeichnis	239
7	Anhang (Statistische Auswertungen, chemische Formeln, Operationsinstrumentarium, Danksagung)	A1