

Tierärztliche Hochschule Hannover

**Entwicklung von Methoden zur Qualitätssicherung
und Auswertung von Dichtemessungen an Implantat-
und Knochenstrukturen im μ CT**

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
- Doctor medicinae veterinariae -
(Dr. med. vet.)

vorgelegt von
Jurriaan Schulman
Amsterdam

Hannover 2010

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	3
2.1	Computertomographie.....	3
2.1.1	Einführung in die Computertomographie	3
2.1.2	Physikalische Grundlagen der Computertomographie.....	5
2.2	Mikro-Computertomographie	9
2.2.1	Grundlagen der Mikro-CT	9
2.2.1.1	In-vitro-Mikro-CT	11
2.2.1.2	In-vivo-Mikro-CT und Versuchstierbildgebung	12
2.2.2	Anwendungsbereiche der Mikro-CT.....	12
2.2.2.1	Materialwissenschaften und Geologie	13
2.2.2.2	Präklinische Forschung	13
2.2.2.3	Klinische Anwendung der Mikro-CT	14
2.2.3	Qualitative und quantitative Mikro-CT.....	15
2.3	CT-Spezifische Messgrößen der Dosis	16
2.4	Parameter der Bildqualität.....	19
2.4.1	Objektive Bewertung der Bildqualität.....	20
2.4.1.1	Homogenität und Linearität der CT-Zahlen.....	20
2.4.1.2	Hochkontrastauflösung (Ortsauflösung)	21
2.4.1.3	Pixelrauschen	23
2.4.1.4	Signal-Rausch-Verhältnis.....	26
2.4.2	Halbobjektive Beurteilung der Bildqualität	29
2.4.2.1	Niedrigkontrastauflösung	29
2.4.2.2	Bildartefakte	33
2.4.2.2.1	Strahlaufhärtingsartefakte	34
2.4.2.2.2	Metallartefakte	35
2.4.2.2.3	Partialvolumenartefakte	35
2.4.2.2.4	Ringartefakte	36
2.4.2.2.5	Bewegungsartefakte	37
2.4.2.2.6	Streustrahlenartefakte	37
2.5	Maßnahmen zur Qualitätssicherung.....	38

2.5.1	Empfehlungen aus Leitlinien und DIN	38
2.5.2	Qualitätssicherung in der Versuchstierbildgebung	39
3	Eigene Untersuchungen	41
3.1	Mikro-Computertomographen	41
3.1.1	XtremeCT	41
3.1.1.1	Bedienungssoftware des XtremeCT	42
3.1.1.2	Halterung für den XtremeCT	43
3.1.2	µCT 80	44
3.2	Entwurf und Konstruktion der Phantome	45
3.2.1	Präparation von Knochen	48
3.2.2	Herstellung von Knochenmehl	48
3.2.3	Degradable Magnesiumimplantate	48
3.2.4	Implantatbeschichtung	50
3.2.5	Wasserphantom	51
3.2.6	Phantom zur Bestimmung der Linearität der CT-Zahlen	52
3.2.7	Niedrigkontrastphantom	53
3.2.8	Implantatphantom Nr. I	54
3.2.9	Implantatphantom Nr. II	55
3.2.10	Implantatphantom Nr. III	56
3.2.11	LAE442-Stifte zur Kalibrierung der Implantatdichte	57
3.2.12	Implantatdichtephantom	58
3.3	Phantomstudien	59
3.3.1	Tägliche und wöchentliche Qualitätssicherung am XtremeCT	60
3.3.2	Allgemeine Bildqualitätsparameter am XtremeCT	62
3.3.2.1	Bestimmung von Pixelrauschen und Homogenität der CT-Zahlen	62
3.3.2.2	Linearität der CT-Zahlen	64
3.3.2.3	Niedrigkontrastauflösung und Kontrast-Rausch-Verhältnis	64
3.3.2.4	Beurteilung von Bildartefakten	66
3.3.3	Mikrotomographische Untersuchungen an Magnesiumimplantaten, Hydroxylapatit und Knochengewebe	66
3.3.3.1	Beurteilung von Strahlauhfärbungs- und Metallartefakten am XtremeCT ..	66

3.3.3.2	Mittlere Implantatdichte am XtremeCT	67
3.3.3.3	Mittlere Implantatdichte am μ CT 80	67
3.3.3.4	Mittlere kortikale Knochendichte am XtremeCT	68
3.3.3.5	Mittlere kortikale Knochendichte am μ CT 80	68
3.3.3.6	Mittlere Dichte von Hydroxylapatit und Knochenmehl am XtremeCT	69
3.3.3.7	Mittlere Dichte von Hydroxylapatit und Knochenmehl am μ CT 80	69
3.3.3.8	Pixelrauschen am μ CT 80	70
3.3.3.9	Visuelle Unterscheidung von Beschichtung und Implantat am XtremeCT	70
3.3.3.10	Visuelle Unterscheidung von Beschichtung und Implantat am μ CT 80	71
3.3.3.11	Kontrastauflösung bei abnehmendem Implantatdurchmesser am XtremeCT	71
3.3.3.12	Kalibrierung der Implantatdichte am XtremeCT	72
3.4	Kontraste in Abhängigkeit der mittleren Photonenenergie	73
3.5	Kontrast-Rausch-Verhältnis zwischen Magnesiumimplantaten, kortikalem Knochen, Hydroxylapatit und Knochenmehl	74
3.6	Ermittlung der theoretischen Scanzeiten und Abschätzung der Strahlendosis am XtremeCT	75
3.7	Auswertung mit dem μ CT Evaluation Program	76
3.7.1	Bestimmung der optimalen Segmentierungseinstellung	76
3.8	Visuelle Auswertung der Schnittbilder	78
3.9	Statistik	79
4	Ergebnisse	81
4.1	Theoretische Scanzeiten und Strahlendosis	81
4.2	Allgemeine Bildqualitätsparameter am XtremeCT	83
4.2.1	Linearität der CT-Zahlen	83
4.2.2	Pixelrauschen	84
4.2.3	Homogenität der CT-Zahlen	87
4.2.4	Niedrigkontrastauflösung	90
4.2.5	Ring- und Strichartefakte	90
4.3	Metallartefakte am XtremeCT	92
4.4	CT-Zahlen von Knochen- und Implantatvolumina	93

4.4.1	Segmentierung.....	93
4.4.2	Mittlere CT-Zahlen mit Standardabweichung.....	94
4.5	Kontraste in Abhängigkeit von der mittleren Photonenenergie.....	102
4.6	Kontrast-Rausch-Verhältnisse.....	105
4.7	Kontrastauflösung bei der μ CT-Bildgebung beschichteter Magnesiumimplantate ..	105
4.8	Kontrastauflösung bei abnehmendem Implantatdurchmesser am XtremeCT.....	111
4.9	Dichtekalibrierung von LAE442-Implantaten am XtremeCT	111
5	Diskussion	114
5.1	Theoretische Scanzeiten und Strahlendosis	114
5.1.1	Theoretische Scanzeiten	114
5.1.2	Strahlendosis	116
5.2	Ergebnisse der allgemeinen Bildqualitätsparameter	118
5.2.1	Linearität der CT-Zahlen.....	120
5.2.2	Pixelrauschen	121
5.2.3	Homogenität der CT-Werte.....	123
5.2.4	Niedrigkontrastauflösung	124
5.2.5	Bildartefakte	126
5.3	Diskussion der degradablen Magnesiumimplantate.....	127
5.3.1	Auswahl der Magnesiumlegierungen.....	127
5.3.2	Metallartefakte	128
5.4	CT-Zahlen von Knochen- und Implantatvolumina	128
5.4.1	Segmentierung von Implantaten und Knochengewebe.....	129
5.4.2	Mittlere CT-Zahlen mit Standardabweichung.....	131
5.5	Kontraste in Abhängigkeit von der mittleren Photonenenergie.....	132
5.6	Kontrast-Rausch-Verhältnisse.....	134
5.7	Kontrastauflösung bei der μ CT-Bildgebung beschichteter Magnesiumimplantate ..	134
5.8	Kontrastauflösung am XtremeCT bei abnehmendem Implantatdurchmesser.....	136
5.9	Dichtekalibrierung von LAE442.....	137
5.10	Abschließende Bewertung der Eigenschaften des XtremeCT	138
6	Zusammenfassung.....	141
7	Summary.....	144

8 Verzeichnisse	147
8.1 Literaturverzeichnis.....	147
8.2 Abkürzungsverzeichnis	165
9 Anhang	167