

# **UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF**

Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie

Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Max Heiland

## **Erfolg von dentalen Keramikimplantaten und Patientenzufriedenheit nach Sofortimplantation**

### **Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Leon Neuhöffer

aus Bielefeld

Hamburg 2017

**Angenommen von der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 20.09.2017**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

**Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. R. Smeets**

**Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. F. Barvencik**

**Prüfungsausschuss, dritte/r Gutachter/in:**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1	Dentale Implantologie	6
1.2	Osseointegration	6
1.3	Materialien für dentale Implantate	9
	1.3.1 Titan	9
	1.3.2 Zirkoniumdioxidkeramik	10
1.4	Keramikimplantate	11
1.5	Sofortimplantate	14
1.6	Sofortbelastung/Sofortversorgung	17
1.7	Knochenklassifikation nach Misch (1990)	22
1.8	Das Implantatsystem	22
	1.8.1 Implantatspezifische Richtlinien der Sofortversorgung	26
1.9	Patientenzufriedenheit als Erfolgsparameter	27
1.10	Pink Esthetic Score	28
<b>2</b>	<b>Fragestellungen</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>32</b>
3.1	Patientenpool und Dokumentation	32
	3.1.1 Einschlusskriterien:	34
	3.1.2 Ausschlusskriterien:	34
	3.1.3 Voraussetzungen für Sofortimplantationen	35
	3.1.4 Ethikvotum	35
3.2	Das Behandlungsprotokoll	36
	3.2.1 Chirurgisches Protokoll	36
	3.2.2 Röntgenuntersuchungen	40
	3.2.3 Belastungsprotokolle	40
3.3	Röntgenologische Datenerhebung	42

3.3.1	Knochenhöhe	42
3.4	Erfolgskriterien	46
3.4.1	Pink Esthetic Score	47
3.4.2	OHIP-Edent Fragebogen	48
3.5	Statistik	49
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>51</b>
4.1	Patientenkollektiv	51
4.1.1	Untersuchungszeitraum und Patientenzahl	51
4.1.2	Geschlechter- und Altersverteilung	51
4.1.3	Patientenverteilung	51
4.1.4	Patientendropouts	51
4.2	Deskriptive Statistik	52
4.2.1	Implantatdropouts	52
4.2.2	Implantatbezogene Daten	52
4.2.3	Implantationszeitpunkte und Belastungsverteilung	54
4.2.4	Implantatregionen	55
4.2.5	Implantatverteilung pro Patient	58
4.2.6	Altersverteilung	59
4.2.7	Zeitdifferenz Operation bis Belastung	60
4.2.8	Recallzeiträume	60
4.2.9	Knochenhöhe	61
4.2.10	Pink Esthetic Score	63
4.2.11	OHIP Fragebogen	66
4.3	Überlebensstatistik	69
4.4	Verluste	71
4.4.1	Verlustanalyse	73
4.5	Erfolgsstatistik	73
4.6	Signifikanztests	77
4.6.1	Einfluss auf das periimplantäre Knochenniveau	77
4.6.2	Einfluss auf den Implantaterfolg	78

<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>79</b>
5.1	Limitationen	79
5.2	Belastungsprotokoll	82
5.3	Knochenabbau	84
5.4	Erfolgsrate	87
	5.4.1 Pink Esthetic Score	95
	5.4.2 OHIP	97
5.5	Schlussfolgerung	98
<b>6</b>	<b>Abstract</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>101</b>
7.1	Beispiel für Pink Esthetic Score Fragebogen	101
7.2	OHIP Fragebogen	102
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>104</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>105</b>
<b>10</b>	<b>Diagrammverzeichnis</b>	<b>107</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>108</b>
<b>12</b>	<b>Danksagung</b>	<b>126</b>
<b>13</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>127</b>
<b>14</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung</b>	<b>128</b>

## 1 Einleitung

### 1.1 Dentale Implantologie

Die moderne dentale Implantologie geht auf die Entdeckung Per-Ingvar Brånemarks zurück, der vor mehr als 30 Jahren in einem Tierexperiment zur Untersuchung der Blutzirkulation bei der Knochenheilung mit einem optischen Messgerät aus Titan entdeckte, dass Titan osseointegriert und die Definition dieses Begriffs prägte (Branemark et al., 1977). Aus dieser Entdeckung entstand das erste Implantatsystem, welches bis heute in modifizierter Form existiert. Er forderte zudem sterile Operationsbedingungen.

Darüber hinaus erkannten Per-Ingvar Brånemark und Willi Schulte die Notwendigkeit für eine funktionslose Einheilung der Implantate (Schwenzer und Ehrenfeld, 2009).

### 1.2 Osseointegration

Der Begriff der Osseointegration wurde von Per-Ingvar Brånemark als einen im lichtmikroskopischen Bereich sichtbaren direkten funktionellen und strukturellen Verbund zwischen dem organisierten, lebenden Knochengewebe und der Oberfläche eines belasteten Implantats beschrieben (Branemark et al., 1977). Dieser feste Verbund zwischen Implantat und Knochen ist Grundvoraussetzung für die Fixierung von alloplastischem Material im Kieferknochen und wird auch als funktionelle Ankylose bezeichnet (Foitzik, 1995). Ein Implantat wird als osseointegriert bezeichnet, wenn keine Relativbewegung zwischen Implantat und Knochen, mit dem es direkten Kontakt hat, vorhanden ist und kein lichtmikroskopischer Nachweis einer bindegewebigen Einheilung besteht (Branemark, 1983).

Entscheidende Voraussetzungen für die Osseointegration sind eine ausreichende Primärstabilität (De Bruyn et al., 2014) und eine Blutzirkulation im Bereich des Implantatbettes mit Abwesenheit von Infektionen. Unter Primärstabilität wird die initiale Festigkeit des Implantats nach Insertion verstanden. Die Primärstabilität ist abhängig von der Qualität und Quantität des kortikalen Knochenanteils in dem dieses fixiert wird, von der Technik, mit der

insetiert wird, sowie von der Makro- und Mikrostruktur des Implantats und wird anhand des Eindrehwiderstands bestimmt (Sharawy et al., 2002, Marco et al., 2005). Dabei konnte gezeigt werden, dass eine hohe Primärstabilität eine hohe Sekundärstabilität begünstigt (Davies, 1998). Unter Sekundärstabilität versteht man die sich nach Osseointegration ausbildende Festigkeit des Implantats im Knochen. Außerdem begünstigen konische Implantate durch die Kompression des periimplantären Knochens eine hohe Primärstabilität (De Bruyn et al., 2014). Durch Knochenkondensierung (Bone Condensing) oder Anwendung spezieller Bohrprotokolle kann die Primärstabilität durch Verdichtung des periimplantären Knochens erhöht werden. Von Bedeutung ist hier ebenfalls die Verwendung geeigneter Implantate, die durch ihre osseokonduktiven Eigenschaften eine hohe Primärstabilität begünstigen.

Um eine sichere Einheilung zu gewährleisten, sollten die Mikrobewegungen an Implantaten 100 µm nicht überschreiten (Brunski, 1992). Anderen Studien zufolge sollten tolerierbare Mikrobewegungen 150 µm nicht überschreiten (Szmukler-Moncler et al., 2000). Geringe Mikrobewegungen werden durch eine hohe Primärstabilität begünstigt.

Bei der Osseointegration sind folgende Phasen der Wundheilung zu erkennen (Abrahamsson et al., 2004):

- A) Ausbildung eines Blutkoagulums/Fibrinnetzes entlang der Wund-/Implantatoberfläche (ab circa 2 Stunden nach Implantation)
- B) Polymorphkernige Zellen / Monozyten / Makrophagen / Osteoklasten resorbieren nekrotische Gewebeanteile und bauen das Fibrinnetz ab (4 Tage bis 1 Woche nach Implantation)
- C) Prä-Osteoblasten besiedeln durch aktive Lokomotion die „freie“ Implantatoberfläche sowie die Osteotomiefläche (1 Woche nach Implantation)
- D) Prä-Osteoblasten differenzieren in Osteoblasten und lagern unverkalkte Grundsubstanz (=Osteoid) ab (appositionelles Wachstum als auch Kontaktosteogenese an Implantatoberfläche; 1 Woche nach Implantation)

E) Osteoid mineralisiert durch Einlagerung von Kalzium und Phosphat und wird zum Geflechtknochen (=unreifer Knochen, „woven bone“; >1 Woche nach Implantation)

F) Geflechtknochen wird durch Umbauvorgänge in lamellären Knochen (=funktioneller Knochen) umgebaut (ab der 2. Woche bis >4 Wochen nach Implantation)

Dabei ist die Osseointegration, wie bereits erwähnt, abhängig von der Knochenqualität, -quantität und osseokonduktiven Eigenschaften der Implantatoberfläche (Gutwald et al., 2010). Raue osseokonduktive Oberflächen weisen eine schnellere Knochenneubildung entlang der Implantatoberfläche auf, welche auch als Kontaktosteogenese bezeichnet wird (Abrahamsson et al., 2004, Gutwald et al., 2010). Die Knochenneubildungsrate beträgt hierbei 30-50 µm/Tag auf und begünstigt eine schnellere Gewebeintegration.

Unterschiede in der Osseointegration zwischen den heute verwendeten Implantatmaterialien Titan und Zirkoniumdioxid sind kaum auszumachen (Gahlert et al., 2009, Kohal et al., 2009b, Gahlert et al., 2010, Depprich et al., 2014).

Gahlert et al. wiesen in einer in vivo Studie nach, dass der perimplantäre Knochen an Implantaten aus Zirkoniumdioxid höhere Dichten aufweist als an Implantaten aus Titan (Gahlert et al., 2009). Dies wurde in einer experimentellen Tierstudie nachgewiesen, in denen 15 Schweinen jeweils der zweite und dritte Inzisivus extrahiert wurde und 6 Monate später jeweils ein Zirkoniumdioxidimplantat mit geätzter Oberfläche und ein Titanimplantat mit demselben Design und geätzter und sandgestrahlter Oberfläche in die Extraktionsregionen inseriert wurden. Nach 4, 8 und 12 Wochen wurden 30 Implantate mit deren umgebenden Knochen histologisch untersucht.

Die Werte des Bone Implant Contacts (BIC) von Zirkoniumdioxidimplantaten sind in vivo den Werten von Titanimplantaten ebenbürtig (Gahlert et al., 2009).

In einer weiteren Studie von Gahlert et al. wurden in vivo höhere Knochenresorptionen um Titanimplantate als um Zirkoniumdioxidimplantate zu jedem Zeitpunkt der Messung festgestellt (Gahlert et al., 2010). In dieser Studie

wurden 16 Schweine mit insgesamt 64 Implantaten in der Inzisivenregion versorgt, wobei geätzte Zirkoniumdioxidimplantate mit Titanimplantaten desselben Designs in Bezug auf ihre Ausdrehmomente untersucht und verglichen wurden.

### 1.3 Materialien für dentale Implantate

#### 1.3.1 Titan

Bei Titan handelt es sich um ein chemisches Element mit der Ordnungszahl 22 aus der 4. Gruppe (Titangruppe). Titan zeichnet sich durch die Ausbildung einer korrosionsbeständigen Oxidschicht durch die Einlagerung von Sauerstoffatomen an Luft oder nach Wasserkontakt aus und wird durch diese Eigenschaften als „biokompatibel“ bezeichnet (Akagawa und Abe, 2003).

Durch Oberflächenmodifikationen des Mikro- und Makrodesigns wurden seit der Entdeckung des osseointegrativen Potentials von Titan durch Brånemark die Eigenschaften von Titanimplantaten unter Berücksichtigung der biologischen Heilungskaskade verbessert (Davies, 2003). Bei den Oberflächenmodifikationen wird zwischen additiven und subtraktiven Verfahren unterschieden:

##### 1.3.1.1 Additive Verfahren

Durch additive Oberflächenbeschichtung beispielsweise mittels Plasma oder Hydroxylapatit wird versucht, die Implantatoberfläche zu vergrößern und die Osseointegration zu fördern. Jedoch sind diese Verbindungen anfällig für Ablösungen und Abscherungen insbesondere während der Implantatinsertion (Martini et al., 2003).

##### 1.3.1.2 Subtraktive Verfahren

Subtraktive Verfahren können durch Ätzen, Sandstrahlen oder eine Kombination aus beidem zu einer Oberflächenvergrößerung von Titanoberflächen führen (Wieland et al., 2000).

Besonders vorteilhaft hat sich die Kombination aus einer Sandstrahlung mit anschließender Ätzung erwiesen. Durch das Sandstrahlen wird zunächst eine Makrorauigkeit erzielt, der eine Mikrorauigkeit durch das Ätzen folgt und eine

Kombination aus biologischer und mechanischer Konsolidierung ermöglicht (Kappert und Eichner, 2008). Diese Oberflächenbehandlung zeigte in vitro frühzeitig erhöhte Knochenappositionen (Buser et al., 1991, Cochran et al., 1998) und höhere Ausdrehmomenten (Buser et al., 1999, Abron et al., 2001) in vivo. In klinischen Studien konnte gezeigt werden, dass durch derartige Oberflächenmodifikationen bei konservativem Vorgehen verkürzte Einheilzeiten von bis zu 6 Wochen mit Erfolgsraten von 99% nach 3 Jahren follow-up möglich sind (Bornstein et al., 2003). Weiterhin kann durch extensive Hydratation der Oxidschicht auf Titanoxidoberflächen eine Hydrophilie erzeugt werden, welche sich positiv auf die Interaktion mit Biomolekülen auswirkt (Textor et al., 2001).

### 1.3.2 Zirkoniumdioxidkeramik

Bei der Zirkoniumdioxidkeramik, aus der neben Kronen- und Brückengerüsten auch dentale Implantate hergestellt sind, handelt es sich um das Oxid des chemischen Elements Zirkonium (Zr) mit der Ordnungszahl 40 aus der 4. Gruppe (Titangruppe). Zirkoniumoxid ( $ZrO_2$ ) liegt üblicherweise als weißes hochschmelzendes Pulver vor und weist einen Schmelzpunkt von  $2690^\circ C$  und einen Siedepunkt von  $5500^\circ C$  auf (Nielsen, 1996). Um Zirkoniumdioxid seine stabile Form zu verleihen findet ein Schmelzvorgang mit anschließender Abkühlung statt. Beim Abkühlvorgang entsteht unter  $2370^\circ C$  der sogenannte Tetragonal Zirconia Polycrystal (TZP) in der tetragonalen Phase (t) aus der kubischen Phase (k), welcher bei weiterer Abkühlung in die monokline Phase (m) übergeht (Cramer von Clausbruch, 2003). Diese sogenannte martensitische t-m-Umwandlung führt zwangsläufig zu einer Volumenzunahme von anfänglich 3% und bei entgültiger Abkühlung von 4,9% (Evans und Cannon, 1986) und ist mit einer Spannungsbildung verbunden, welche die Verwendung der reinen Zirkoniumdioxidkeramik als dentalen Werkstoff unmöglich macht. Um die tetragonale Phase zu stabilisieren, werden Stabilisierungsoxide zum Zirkoniumdioxid hinzugegeben wie beispielsweise 3Mol-% Yttriumoxid ( $Y_2O_3$ ), welches sich in der dentalen Anwendung durchgesetzt hat (Evans und Cannon, 1986, Raigrodski, 2004, Schweiger, 2004, Rieger et al., 2007). Dieser Komplex wird mit Y-TZP abgekürzt und besteht idealerweise zu 100% aus tetragonaler Phase. Durch Hinzugabe von 0,25% oder mehr  $Al_2O_3$  kann die

Transformationsrate um den Faktor 10 gesenkt werden und es entsteht Alumina Toughened Zirconia (ATZ) (Weber et al., 2001). Diese Formen der Keramik weisen Biegefestigkeiten von 900 bis über 1200 MPa auf (Gutwald et al., 2010, Kohal, 2013).

Insbesondere Y-TZP weist durch die beschriebenen Maßnahmen zur Materialoptimierung eine Transformationsverstärkung auf, die darauf beruht, dass die tetragonale Phase zwar potenziell durch Rissbildung in die monokline Phase übergehen kann, die daraus resultierende Volumenzunahme jedoch der weiteren Rissbildung durch Zusammenrücken der Zirkoniumdioxidkristalle entgegenwirkt (Heuer et al., 2000).

Weitere Eigenschaften von Zirkoniumdioxid sind die geringe Plaqueaffinität mit reduzierter Gefahr für periimplantäre Entzündungen (Scarano et al., 2004), hohe Biokompatibilität, Dauerfestigkeit und guten Verschleißigenschaften (Witkowski, 2006). Außerdem verhält sich Zirkoniumdioxid bioinert und hat keinen zytotoxischen Effekt auf Fibroblasten (Degidi et al., 2006). Entzündungsinfiltrate der implantat- beziehungsweise abutmentumgebenden Mukosa können demnach an Einheilungskäppchen aus Titan deutlich höher als an Keramikimplantaten sein und unterliegen somit einem erhöhten Risiko für Periimplantitis.

#### 1.4 Keramikimplantate

Schulte verwendete als Werkstoff für sein Implantat bereits 1976 Keramik, dessen Indikation er für den Einzelzahnersatz im Frontzahnggebiet sah (Schulte und Heimke, 1976). Er entwickelte 1976 das sogenannte Tübinger Sofortimplantat aus Aluminiumoxidkeramik. Dieses Implantatsystem stellte sich jedoch als enttäuschend im Sinne der Langzeitstabilität heraus und wurde durch das Titanimplantatsystem Frialit-II (Friadent, Mannheim, Deutschland) ersetzt (Schulte und Heimke, 1976). Auf dieser Basis wurde in den folgenden Jahren vor allem Titan als Werkstoff für dentale Implantate verwendet und weiterentwickelt.

Allerdings ist mittlerweile auch seit vielen Jahren Zirkoniumdioxid als metallfreies Pendant zu Titan etabliert. Die Gründe für die Erforschung des

Materials Zirkoniumdioxid als Basis für dentale Implantate waren und sind vielfältig.

Es wurde u.a. über erhöhte Titankonzentrationen im umliegenden Gewebe, Allergien, Sensibilisierungen und Immunreaktionen diskutiert, wobei gezeigt werden konnte, dass sowohl frühe als auch späte Implantatverluste im Zusammenhang mit einem statistisch signifikanten Anstieg der TNF-alpha und IL-1 stehen, welche proinflammatorische Zytokine von Makrophagen darstellen und durch Partikel von Titanimplantaten stimuliert werden (Sterner et al., 2004, Jacobi-Gresser et al., 2013). Die Biokompatibilität von Titan wird als nahezu vollkommen gegeben bezeichnet (Foitzik, 1995, Smith et al., 1997, Textor et al., 2001). Jedoch liegt die Löslichkeit von Reintitan bei einem pH-Wert von 7 bei circa 1 ng Titan/Liter. Obwohl Titan spontan oxidiert und kaum Ionen abgibt, wurden nach Insertion von Titanimplantaten erhöhte Werte von Titanablagerungen in vitro in inneren Organen, insbesondere in Lunge und Knochen, gefunden (Schliephake et al., 1989, Frisken et al., 2002). Darüber hinaus finden sich nach Insertion von Titanimplantaten in lokalen Lymphknoten erhöhte Werte von Titanpartikeln, die durch Makrophagen hierher gelangen (Brune, 1986, Weingart et al., 1994, Frisken et al., 2002). Publikationen zu Folge findet zwischen Titan und weiteren Metalllegierungen (Reclaru und Meyer, 1994) oder Fluoriden (Toumelin-Chemla et al., 1996) eine stetig nachweisbare Korrosion statt. Die Anreicherung von Titan im Gewebe steigt proportional mit seiner Verweildauer an (Bianco et al., 1996). Diese Tatsache ist als kritisch zu betrachten (Weingart et al., 1994). Basierend auf Lymphozytentransformationstests gibt es mittlerweile Hinweise auf biologische Reaktionen auf Titan (Jacobi-Gresser et al., 2013).

Unter dem Lymphozytentransformationstest wird ein Verfahren zum Nachweis einer spezifischen zellulären Sensibilisierung verstanden, wobei allergenspezifische Lymphozyten nachgewiesen werden (IMD Labor Berlin Potsdam, 2017). Derartige Sensibilisierungen treten bei Typ-IV-Sensibilisierungen auf, wobei Metalle und Acrylate körpereigene Proteine verändern und zum Allergen machen. Es bilden sich die erwähnten spezifischen T-Lymphozyten, die auf das Allergen reagieren und eine Immunreaktion hervorrufen.

Darüber hinaus spielen ästhetische Gründe eine Rolle, da es bei einer gewissen Unterschreitung der Gingivadicke zu einem Durchschimmern des dunklen Titans kommen kann (Gutwald et al., 2010, Schliephake et al., 2010, Kohal, 2013). Des Weiteren spielt für einige Patienten neben ästhetischen Aspekten auch der Wunsch nach einer metallfreien Versorgung eine Rolle (Kohal, 2013).

Zirkoniumdioxid wird bereits seit vielen Jahren aufgrund seiner Festigkeit und Biokompatibilität in der Medizin für Gehör-, Finger- und Hüftendoprothesen verwendet (Christel, 1989, Gutwald et al., 2010, Kohal, 2013).

Akagawa et al. publizierten bereits 1993 über den Erfolg der Osseointegration von Implantaten aus Zirkoniumdioxid, indem er in vivo an Hunden und Affen die Ausbildung eines Knochenkontakts mit unterschiedlichen Belastungsarten nachweisen konnte (Akagawa et al., 1993, Akagawa et al., 1998). Seit dem ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts beschreiben diverse Studien annähernd gleiche Erfolgsraten für Zirkonoxidkeramikimplantate im Vergleich zu Titanimplantaten (Gahlert et al., 2009, Gahlert et al., 2012, Kohal, 2013, Weng, 2014).

Gahlert et al. stellten 2010 im Tiermodell an 16 Schweinen mit 59 Implantaten fest, dass dentale Implantate aus Zirkonoxid im Vergleich zu Titanimplantaten geringere Werte für marginale Knochenresorptionen erzielen können (Gahlert et al., 2010). Das Studiendesign dieser Studie sah eine Untersuchung der Verbundfestigkeit von Implantaten aus Zirkoniumdioxid im Vergleich zu Ti-SLA Implantaten gleichen Designs mit einem Durchmesser von 4,1 mm und 10 mm Länge vor. Jeweils zwei Implantate der unterschiedlichen Werkstoffe wurden in die Maxilla von jedem Schwein implantiert, nachdem diesen sechs Monate zuvor jeweils der zweite und dritte Inzisivus extrahiert wurde. Alle Implantate heilten gedeckt ein. Nach unterschiedlichen Einheilzeiträumen von 4, 8 und 12 Wochen wurden 5, 6 und 5 Schweine geopfert und der Ausdrehtorque sowie Dehizensen bestimmt. Nach 8 Wochen Einheilzeit war kein statistisch signifikanter Unterschied der Ausdrehtorques beider Implantattypen vorhanden. Das breite Confidence Interval der 4- und 12-Wochen-Gruppen ließ jedoch keine verlässliche Aussage zu.

## 1.5 Sofortimplantate

Sofortimplantate haben sich in den letzten Jahren als reliable Methode zur dentalen Rehabilitation herausgestellt und erzielen mittlerweile Überlebensraten von 94,6% nach 7 und 91,8% nach 10 Jahren (Covani et al., 2012, Chrcanovic et al., 2015, Barone et al., 2016). In der Literatur finden sich verschiedene Begriffe zur Beschreibung des Zeitpunkts der Implantation nach Zahnextraktion. Die Begriffe Sofortimplantation, verzögerte Sofortimplantation und Spätimplantation werden unter Berücksichtigung des Implantatzeitpunkts in Zusammenhang mit der Weich- und Hartgewebsheilung verwendet (Wilson Jr und Weber, 1993, Esposito et al., 2006). Auf den ITI Konsensuskonferenzen von 2003 und 2008 wurde eine Klassifikation der Implantatzeitpunkte vorgenommen deren Fokus stärker auf dem Heilungsfortschritt der Hart- und Weichgewebe liegt und zeitabhängige Beschreibungen in den Hintergrund stellt (Hammerle et al., 2004, Chen und Buser, 2009).

Die Klassifikation sieht folgende Zeitpunkte der Implantation vor:

1. Sofortimplantation: Die Extraktionsalveole liegt ohne Heilungsprozesse von Knochen oder Weichgewebe vor. Implantation am selben Tag der Zahnextraktion und im Rahmen desselben chirurgischen Eingriffs.
2. Frühimplantation mit Weichgewebsheilung nach 4 bis 8 Wochen: Die Weichgewebsheilung ist erfolgt jedoch weitestgehend ohne Knochenheilung.
3. Frühimplantation mit partieller Knochenheilung nach 12 bis 16 Wochen: Die Weichgewebsheilung und Knochenheilung sind deutlich zu erkennen.
4. Spätimplantation nach mehr als 6 Monaten Heilung: Vollständig ausgeheilte Extraktionsalveole. Reife Weichgewebsheilung erleichtert die Bildung von Mukoperiostlappen.

Zahnentfernungen führen im Heilungsverlauf zur Knochenregeneration innerhalb der Extraktionsalveole sowie zu Umbauvorgängen durch Knochenremodelling und Knochenresorption (Camargo et al., 2000, Iasella et al., 2003, Araujo und Lindhe, 2005). Chen et al. beziehen sich in ihrem

Consensus Statement von 2009 auf Publikationen, die belegen, dass Implantate, welche in Extraktionsalveolen platziert werden, die Knochenresorption und das Boneremodelling nicht pauschal aufhalten (Araujo et al., 2005, Araújo et al., 2006, Chen und Buser, 2009). Eine im Consensus Statement zitierte Studie ergab, dass insbesondere die Knochenresorption in orofazialer Richtung bis zu 56% fazial und 30% lingual beträgt (Botticelli et al., 2004). Die Knochenhöhe reduzierte sich jedoch nur geringfügig. Am stärksten fällt die Knochenresorption demnach an der fazialen Alveolenwand aus. Aus diesem Grund ist laut Statement nicht davon auszugehen, dass Sofortimplantate die Umbauvorgänge des Alveolarknochens nach Extraktion per se aufhalten.

Bei Sofortimplantationen ist es möglich, den zum Zeitpunkt der Zahnextraktion vorhandenen Knochen optimal zu nutzen (Hammerle et al., 2004). Einige Autoren konnten außerdem belegen, dass auch die Implantatzeitpunkte 1 und 2 nach der ITI Definition zu einer vollständigen periimplantären Defektausheilung von Implantatalveolenspalten bis zu 2 mm führen (Covani et al., 2003, Covani et al., 2004).

Durch Sofortimplantationen können die Behandlungszeit, die Anzahl der chirurgischen Eingriffe und die Zeit von der Extraktion bis zur prothetischen Rehabilitation um die Zeit zwischen Extraktion und Implantation verkürzt werden, was zu einer Steigerung der Patientenzufriedenheit und Akzeptanz des Verfahrens führen kann (Hammerle et al., 2004, Chrcanovic et al., 2015).

Retrospektive und prospektive Studien berichten von Überlebensraten zwischen 94% und 100% nach Sofortimplantation und beschreiben diese als vielversprechende Methode (Chen und Buser, 2009, Barone et al., 2016). Die Erfolgsaussichten der verschiedenen Implantationszeitpunkte sind unter Berücksichtigung bestimmter Faktoren als gleichwertig zu betrachten, auch für den Fall von Sofortimplantationen in Regionen mit lokaler Pathologie (Hammerle et al., 2004) oder mit parodontaler Erkrankung (Polizzi et al., 2000).

In einer Studie von Covani et al. wurde ein Knochenverlust von 0.6 bis 1.5 mm an Sofortimplantaten in einem Zeitraum bis zu zehn Jahren gefunden, was als Erfolg verzeichnet werden kann und die Sofortimplantation als geeignetes

Verfahren unterstreicht (Covani et al., 2012). Das Studiendesign sah eine Untersuchung der klinischen und radiologischen 10-Jahres Follow-up Ergebnisse von 159 Sofortimplantaten in 91 Patienten mit (101 Implantate) und ohne (58 Implantate) augmentative Verfahren sowie Einzelzahnkronenversorgung vor. Klinische und radiologische Untersuchungen erfolgten jährlich. Es ergab sich eine 10-Jahres Erfolgsrate von 91,8% (87,9% ohne Augmentation, 94,1% mit Augmentation) und keine statistisch signifikanten Unterschiede des marginalen Knochenverlustes sowie des klinischen Attachmentniveaus. Die Erfolgseinteilung erfolgte nach Buser et al. (Buser et al., 1990).

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass es möglich ist, mit Sofortimplantationen ähnliche ästhetische Ergebnisse zu erzielen sind wie mit Spätimplantaten (Esposito et al., 2010, Covani et al., 2012, Slagter et al., 2014, Barone et al., 2016). Das Ziel einer prospektiven Studie von Barone et al. war die Untersuchung der Erfolgsrate, der marginalen Knochenhöhe und der Weichgewebsverhältnisse von Sofortimplantaten nach einem 7-Jahres Follow-up (Barone et al., 2016). 32 Patienten erhielten 37 Sofortimplantate mit Sofortversorgung in Form von Einzelzahnrestorationen. Es ergab sich eine Überlebensrate von 94,6% nach 7 Jahren sowie ein Pink Esthetic Score (PES) von 8.1 nach fünf Jahren und 7.7 nach sieben Jahren.

Die Studienlage zu Keramiksofortimplantaten ist laut eines Reviews von Depprich et al. begrenzt (Depprich et al., 2014). Lambrich und Iglhaut untersuchten in einer 2008 veröffentlichten Publikation die Überlebensraten von 361 Implantaten aus Titan und Zirkoniumdioxid und stellten diese gegenüber (Lambrich und Iglhaut, 2008). Es wurden sowohl Sofortimplantationen, verzögerte Sofortimplantationen als auch Spätimplantationen berücksichtigt. Es ergab sich insgesamt eine Überlebensrate von 98,41% für Titanimplantate und 84,4% für Keramikimplantate im Oberkiefer. Die höhere Verlustrate von Keramikimplantaten ereignete sich laut Studie bei Implantationen in weichem Knochen mit der Notwendigkeit von Augmentationen (laterale/vertikale Anlagerung, Sinuslift). Begründet wurde die hohe Verlustrate mit potentiellen

Mikrotraumen während der Einheilung durch gingival gelagerte Schutzschienen in Kombination mit geringer Primärstabilität. Im Unterkiefer ergab sich für Titanimplantate eine Überlebensrate von 97,22% und für Keramikimplantate von 98,4%. Es fand keine separate Unterteilung der Überlebensraten der einzelnen Implantatzeitpunkte statt. Auch Borgonovo et al. setzten in einer klinischen Studie unter anderem 4 Keramiksofortimplantate (26 Implantate insgesamt) (Borgonovo et al., 2011). Eine genaue Unterscheidung der Überlebens-/Erfolgsrate bezüglich Implantatzeitpunkt fand nicht statt und es ergab sich eine Gesamtüberlebensrate von 96,16% und –erfolgsrate von 91,6% 12 – 14 Monaten nach Implantation.

Spies et al untersuchten in einer prospektiven Kohortenstudie ebenfalls einteilige Keramikimplantate aus ATZ über einen Zeitraum von bis zu 3 Jahren (Spies et al., 2015). Insetiert wurden 51 Spätimplantate und 2 Sofortimplantate bei insgesamt 40 Patienten und es ergab sich eine kumulative Überlebensrate von 94,2% nach drei Jahren. Eine Unterscheidung bezüglich des Implantationszeitpunkts fand nicht statt.

Die zuvor genannten Studien verdeutlichen insbesondere aufgrund der geringen Fallzahlen von Keramiksofortimplantaten deren begrenzte wissenschaftliche Aussagekraft. Aus diesem Grund sind Untersuchungen dieses Themengebietes von besonderem wissenschaftlichen Interesse.

#### 1.6 Sofortbelastung/Sofortversorgung

Die Entwicklung immer neuer und voranschreitender Behandlungsprotokolle in der dentalen Implantologie ist heutzutage unabdingbar für den Erfolg dieses therapeutischen Behandlungskonzepts.

Der Wunsch der Patienten nach verkürzter Behandlungsdauer und feststehendem Zahnersatz sind nur zwei Gründe für die ständige Forderung die Möglichkeiten der funktionellen und ästhetischen Rehabilitation des Kauorgans in der dentalen Implantologie zu hinterfragen und weiterzuentwickeln.

Im Mittelpunkt stehen hierbei die Ausarbeitung von Behandlungskonzepten der sogenannten Sofortversorgung und Sofortbelastung, bei denen die Patienten unmittelbar nach operativer Versorgung mit enossalen Implantaten mit provisorischem oder definitivem Zahnersatz feststehend versorgt werden. Das

klassische Verfahren der Spätbelastung kann für den Patienten sowohl physisch als auch psychisch Anspruchsvoll sein, persönliche Unzufriedenheit und mehrere operative Eingriffe bedeuten sowie mit langer Wartezeit verbunden sein (Avila et al., 2007).

Publikationen zu Folge sind die Erfolgsraten von Behandlungsprotokollen mit Sofortversorgung/Sofortbelastung hoch und ermöglichen es, den Wünschen der Patienten nachzukommen und die Behandlungsdauer zu verkürzen (Chen et al., 2009). Die kürzere Behandlungsdauer wird durch eine kürzere Einheilzeit bis zur definitiven prothetischen Rehabilitation ermöglicht (Chen et al., 2009, De Bruyn et al., 2014, Gallucci et al., 2014, Sanz-Sanchez et al., 2014).

Definitionsgemäß handelt es sich bei der Sofortversorgung um die Eingliederung von Zahnersatz ohne Okklusionskontakt am Tag der Implantation oder bis spätestens 48 Stunden nach der Implantation („geschützte Okklusion“). Sofortbelastung bedeutet in diesem Zusammenhang die Eingliederung von Zahnersatz mit Okklusionskontakt am Tag der Implantation oder bis spätestens 48 Stunden nach der Implantation. Verzögerte Sofortbelastung bedeutet die Belastung zwischen der zweiten und sechsten Woche nach Implantation.

Nach Implantatinsertion kommt es zum oben erwähnten Bone-Remodelling. In der frühen Phase der Besiedelung der Implantatoberfläche und der Osteotomiefläche mit Prä-Osteoblasten (Phase C) kommt es Studien zufolge bereits nach sechs Tagen zur Osteoidablagerung auf der Implantatoberfläche (Phase D) und nach vierzehn Tagen zur Matrixkalzifizierung (Phase E) (Abrahamsson et al., 2004).

Lange Zeit galten unbelastete Einheilzeiten im Oberkiefer von 4 bis 6 Monaten und im Unterkiefer von 3 bis 4 Monaten (Branemark et al., 1977). Dieses Konzept basierte auf Erfahrungswerten. Es konnte jedoch schon in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts gezeigt werden, dass sofortbelastete Implantate unter bestimmten Voraussetzungen dieselbe Überlebensrate erzielen können (Ledermann, 1983). Im Consensus Statement von Gallucci et al. wurde die

Sofortbelastung unter der Berücksichtigung gewisser Anforderungen als zuverlässiges Konzept bezeichnet (Gallucci et al., 2014).

Vergleiche zwischen den Überlebensraten von sofortversorgten und sofortbelasteten Implantaten verdeutlichten, dass die Überlebensrate sofortbelasteter Implantate im Vergleich zu sofortversorgten Implantaten sogar höher sein kann. In einer Studie von Degidi und Piattelli wurden 253 sofortbelastete Implantate, 135 sofortversorgte Implantate und 314 Kontrollimplantate mit konventionellem Einheilprotokoll untersucht und es resultierte für sofortbelastete Implantate eine Verlustrate von 0,8%, für sofortversorgte 1,5% und für konventionell eingeheilte Implantate 0,6% (Degidi und Piattelli, 2005).

In vivo-Studien belegen, dass sofortbelastete Implantate im Vergleich zu konventionell belasteten Implantaten einen erhöhten oder mindestens gleichwertigen Bone Implant Contact aufweisen können (Degidi et al., 2003, Rocci et al., 2003a, Degidi et al., 2009, Donati et al., 2013). Zudem ist die Knochendichte um sofortbelastete Implantate höher als um konventionell belastete Implantate (Romanos et al., 2002, Lee et al., 2009, Donati et al., 2013). Nichts desto trotz scheint die Sofortbelastung eine Option für sorgfältig ausgesuchte Einzelfälle zu sein, wobei offensichtlich geringere Verlustraten bei der Sofortbelastung als bei der Frühbelastung auftreten (Esposito et al., 2009).

Offensichtlich lassen sich Belastungsspitzen bei Implantaten durch Verblockung verringern und es lässt sich somit die Osseointegration verbessern (Calandriello et al., 2003, De Bruyn et al., 2014). Calandriello et al. belegten, dass keine Knochenresorption als Folge hoher Eindrehmomente von 40 – 72 Ncm an sofortversorgten Implantaten festzustellen waren, indem sie das periimplantäre radiologische Knochenniveau ermittelten und sich kein statistisch signifikanter Einfluss zwischen Knochenabbau und Eindrehmoment ergab (Calandriello et al., 2003). Der mittlere Knochenabbau nach einem Jahr betrug 1,22 mm und blieb danach in einem Zeitraum bis 24 Monate nach Implantation stabil. Darüber hinaus sind Einzelzahnimplantate höheren Mikrobewegungen und

Belastungsspitzen ausgesetzt als Brücken oder implantatgetragener Zahnersatz im zahnlosen Kiefer (Sanz-Sanchez et al., 2014). Dementsprechend ist das Verlustrisiko als höher einzuschätzen.

Eine prospektive Studie von Payer et al. untersuchte das Outcome von 20 sofortversorgten einteiligen Keramikimplantaten in 20 Patienten (11 Maxilla, 9 Mandibula) hinsichtlich des Weichgewebsverhaltens, des marginalen Knochenlevels sowie der Überlebens- und Erfolgsrate in einem Zeitraum bis zu 24 Monaten (Payer et al., 2013). Der mittlere periimplantäre Knochenabbau wurde radiologisch bestimmt und ergab im ersten Jahr einen signifikant stärkeren Knochenabbau (1,01 mm) als im darauffolgenden Zeitraum (1,29 mm nach 24 Monaten). Es resultierte eine Erfolgs- und Überlebensrate von 95% bei nur einem Implantatverlust.

Verglichen mit Studien von anderen Autoren wurde für sofortversorgte einteilige Titanimplantate des Typs Nobel Direct® und Nobel Perfect® (Nobel Biocare®, Göteborg, Sweden) nach einem durchschnittlichen 1-Jahres Follow-up von höhere Verlustraten berichtet: 6,3% bei Sennerby et al. und 11,8% bei Albrektsson et al. (Albrektsson et al., 2007, Sennerby et al., 2008).

Durch die sogenannte Knochenkondensation kann insbesondere im Bereich der Spongiosa ein optimiertes Knochenlager erzeugt werden (Summers, 1994), welches höhere Eindrehmomente während der Implantatinserterion ermöglicht (Marković et al., 2013). Darüber hinaus wirken sich konische Implantatdesigns mit apikalem Gewinde positiv auf eine hohe Primärstabilität aus (De Bruyn et al., 2014).

Hohe Eindrehmomente begünstigen höhere Werte der Primärstabilität, welche sich positiv auf eine Sofortversorgung/Sofortbelastung auswirken.

Während der Einheilphase sollten sofortbelastete Implantate axial belastet werden (Salama et al., 1995).

De Bruyn et al. beschreiben in ihrem Review, dass die Überlebensrate von sofortbelasteten Implantaten abhängig von der Anzahl der gesetzten Implantate und der Kieferregion ist (De Bruyn et al., 2014). Im Unterkiefer ist die Überlebensrate höher als im Oberkiefer, wobei die Überlebensrate der

sofortversorgten/sofortbelasteten Implantate im Oberkiefer durch eine vermehrte Anzahl an Implantaten gesteigert werden kann. Die Verlustrate betrug für beide Kiefer 0-3,3%.

Die positiven Effekte der Verbesserungen und Weiterentwicklungen des Implantatdesigns wirken sich über die Osseointegration hinaus auch auf die Sofortversorgung/Sofortbelastung aus. Optimierungen in Mikro- und Makrostruktur führen zu einer erhöhten Primärstabilität, zuverlässigerer Osseointegration und höheren Werten des Bone Implant Contacts und zu höheren Erfolgsraten in der Sofortversorgung/Sofortbelastung (Abrón et al., 2001, Ivanoff et al., 2001, Sharawy et al., 2002, Cochran et al., 2003, Rocci et al., 2003b, O'Sullivan et al., 2004, Marco et al., 2005, Mendonca et al., 2008, De Bruyn et al., 2014). Dies wird durch ein ITI Consensus Statement von 2004 bestätigt (Ganeles und Wismeijer, 2004).

Anforderungen für eine erfolgreiche Sofortversorgung/Sofortbelastung endossaler Implantate sind eine hohe Primärstabilität, Erfahrung des Behandlers, geeignetes Implantatdesign und ausreichende Implantatdimension, das Fehlen kaufunktioneller Habbits und systemischer Erkrankungen (Gallucci et al., 2014). Bei allen Vorteilen, die das beschriebene Verfahren offenbar mit sich bringt, gibt es allerdings einige Studien, die belegen, dass unter der Sofortversorgung/Sofortbelastung die Ästhetik leiden kann (De Bruyn et al., 2014). Daher liegt ein besonderes Augenmerk der gegenwärtigen Forschung auf dem Einfluss der Sofortversorgung/Sofortbelastung auf das ästhetische Erscheinungsbild an Keramikimplantaten.

Ein aktuelles Review zeigt, dass die Überlebensraten von Sofortimplantaten weder von einer Sofortversorgung/Sofortbelastung noch von einer Spätbelastung beeinflusst werden (Slagter et al., 2014). So wurde die Überlebensrate für diese Therapie in der genannten Publikation durchschnittlich auf 97,1% beziffert.

Für Keramikimplantate gibt es nach Literaturrecherche bis dato keine vergleichbare Studie, daher sind Studienergebnisse zu dieser Thematik von besonderem wissenschaftlichen Interesse.

### 1.7 Knochenklassifikation nach Misch (1990)

Für die Implantatinsertion ist neben einer ausreichenden Knochenquantität auch eine ausreichende Knochenqualität erforderlich. Diese wird maßgeblich von den Anteilen der Spongiosa und Kompakta bestimmt und lässt sich nach Misch wie folgt einteilen (Misch, 1990):

	D1	D2	D3	D4
<b>Charakteristikum</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompakta</li> <li>• Spongiosa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dicht, porös</li> <li>• engmaschig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dünn, porös</li> <li>• weitmaschig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• weitmaschig</li> </ul>
<b>Lokalisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• atrophierte, zahnlose UK-Front</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OK-Front oral</li> <li>• UK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OK fazial</li> <li>• UK-Molarenbereich</li> <li>• Zustand nach Osteoplastik von D2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuberbereich</li> <li>• Zustand nach Osteoplastik von D3</li> </ul>
<b>Primärstabilität</b>	Gut		gering	
<b>Blutversorgung</b>	reduziert	gut		
<b>Implantat-Knochen-Kontaktfläche</b>	groß		reduziert	
<b>Implantatbettpräparation</b>	Schwierig (Überhitzung)	Einfach	schwierig	
<b>Klinik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oft geringe vertikale Knochenhöhe</li> <li>• Längere Einheilzeit</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Implantatanzahl</li> <li>• Knochenkondensation</li> <li>• Maximale Ausnutzung des Knochenangebots notwendig</li> </ul>	

**Tabelle 1: Klassifizierung der Knochenqualität (Misch, 1990)**

### 1.8 Das Implantatsystem

In dieser Studie wurde das Keramikimplantatsystem des Herstellers SDS Swiss Dental Solutions AG (Kreuzlingen, Schweiz) verwendet. Die Implantate bestehen aus Alumina Toughened Zirconia (ATZ) oder Tetragonal Zirconia Polycrystal (TZP) Zirkoniumoxid. SDS bietet sowohl einteilige als auch zweiteilige Keramikimplantate an. Die Implantate sind vom Hersteller sowohl für die Sofort- als auch Spätimplantation und die Sofortbelastung freigegeben.

SDS Keramikimplantate verfügen über unterschiedliche Gewindedesigns: Das Dynamic Thread (DT-Design) Design (Abbildung 1) verfügt laut Herstellerangaben im unteren Bereich über ein konisches selbstschneidendes Gewinde mit einer 2,5-fachen Gewindetiefe. Durch derartige Gewindeformen kann die Primärstabilität gesteigert werden. Darüber hinaus wird eine große Oberfläche generiert und somit eine sichere Osseointegration ermöglicht. Dieser Implantattyp ist nach Herstellerangaben für alle Knochenklassen zugelassen, da aufgrund „integrierter Knochenkondensation“ durch unterschiedliche Bohrsequenzen (Abbildungen 4 und 5) die Primärstabilität und Osseointegration sichergestellt werden kann. In der Knochenklasse D3 und D4 (Tabelle 1) wird dies durch Knochenverdichtung des periimplantären Knochens ermöglicht. In der Knochenklasse D1 und D2 werden zirkulär um den Implantatkern Hohlräume geschaffen, welche sich mit Blut, Stammzellen und Knochenspänen füllen und eine schnelle Kallusbildung ermöglichen.

Das Root Design (RD-Design) (Abbildung 1) ist durch eine glatte Spitze und ein parallelförmiges Gewinde gekennzeichnet. Es ist laut Herstellerangaben für die Knochenklasse II geeignet.

SDS bietet einteilige Implantate im DT- sowie im RD-Design an. Diese Implantate bestehen aus ATZ Zirkonoxid mit einer Zircapore®-Oberfläche (Metoxit AG, Thayngen, Schweiz) aus TZP (SDS-SwissDentalSolutions, 2016). Diese wird nach Herstellerangaben durch ein Schlickerverfahren additiv auf das Implantat gebracht und stellt keine Beschichtung dar. Die Zircapore®-Oberfläche generiert Rauigkeiten von 2 µm, welche als klinisch erforderlich gelten (Wennerberg und Albrektsson, 2000).

Daneben existiert zum einen der Implantattyp „SDS 1.1“ (Abbildung 1) mit einer locatorähnlichen Patritze. Dieses Implantat kann sowohl als einteiliges als auch zweiteiliges Implantat verwendet werden, besteht aus TZP und verfügt über ein Gewinde im DT-Design.

Zum anderen existiert der Implantattyp SDS 2.0 aus TZP im DT-Design (Abbildung 1). Es handelt sich um ein zweiteiliges Implantat.



**Abbildung 1: SDS-Implantat- und Gewindetypen; links SDS 1.1 DT Design, Mitte SDS 1.0 ATZ RD Design, rechts SDS 2.0 DT Design**

Das SDS-Implantatsystem beinhaltet ausschließlich Tissue-Level-Implantate, die laut Herstellerangaben im Mund beschleifbar sind (SDS-SwissDentalSolutions, 2016). Des Weiteren verfügen die Implantate über selbstschneidende Gewinde.

In diese Studie wurden Patienten mit allen vom Hersteller auf dem Markt befindlichen Implantattypen inbegriffen.

Die Implantate stehen in den Längen 8, 11 und 14 mm zur Verfügung, wobei das SDS 1.1 Implantat mit 3,2 mm Durchmesser lediglich in 11 mm Länge zur Verfügung steht.

Die Implantate des Typs SDS 2.0, 1.1 und 1.0 DT stehen in den Durchmessern 3,8 und 4,6 mm zur Verfügung. Das Implantat SDS 1.0 RD steht in den



Aus einem Review von De Bruyn et al. geht hervor, dass für die Sofortversorgung/Sofortbelastung eine raue Implantatoberfläche sowie eine konische Implantatform mit aggressiver Gewindeform vor allem im apikalen Teil eines Implantats von Vorteil sind (De Bruyn et al., 2014). Durch die Zircapore®-Oberfläche weist das SDS-Implantatsystem Rauigkeiten von bis zu 2 µm auf und entspricht damit den Anforderungen in der Literatur nach einer rauen Oberfläche für sofortbelastete/sofortversorgte Implantate (Wennerberg und Albrektsson, 2000, Abrahamsson et al., 2004). Weiterhin kann die Osseointegration sofortversorgter/sofortbelasteter Implantate durch Auswahl geeigneter Implantatlängen und Anwendung von Implantaten mit geeigneten Thread-Designs begünstigt werden (Salama et al., 1995, Balshi und Wolfinger, 1997, Tarnow et al., 1997). In Studien konnte gezeigt werden, dass Zirkoniumdioxidimplantate bezüglich der Osseointegration und aus histologischer Sicht den Anforderungen moderner Dentalimplantate entsprechen (Gahlert et al., 2009, Setzer et al., 2009, Saulacic et al., 2014). Durch das selbstschneidende Gewinde des Implantatsystems kann in vivo die Primärstabilität und der BIC erhöht werden und somit die Osseointegration begünstigt werden (Gehrke et al., 2016).

Implantate mit konischer Form und zunehmender Gewindetiefe sind geeignet, eine größere Fläche des periimplantären Knochens zu berühren und führen durch Anwendung geeigneter Bohrprotokolle zu hohen Werten der Primärstabilität (Lang et al., 2007, Dard et al., 2016). Dies macht sich besonders bei Knochen niedrigerer Qualität bemerkbar (Romanos et al., 2014). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass sich konische Implantate mit zunehmender Gewindetiefe besser an frische Extraktionsalveolen adaptieren und eine hohe Primärstabilität erreichen (Romanos et al., 2014, Sennerby et al., 2015). Hierdurch kann es auch ggf. möglich sein, krestalen Knochenabbau zu verringern (Nentwig, 2004).

#### 1.8.1 Implantatspezifische Richtlinien der Sofortversorgung

Die Richtlinien für die Sofortversorgung des SDS-Implantatsystems gehen aus Tabelle 2 hervor:

Implantation:	SDS Implantat:	Sofortimplantation:	Spätimplantation:	Versorgung:
Einzelzahnimplantate	SDS 1.0 RD ATZ	x	x	Provisorische Sofortversorgung 15-25, 35-45 (PV aus Luxatemp oder Protemp, eingesetzt mit Durelon und verklebt an Nachbarzähnen) vollständig okklusionsfrei in Statik und Dynamik
	SDS 1.0 DT ATZ		x	
	SDS 1.1	x	x	
Mehrere Implantate	SDS 1.0 RD ATZ	x		Provisorische Sofortversorgung: 1. Bei 1-2 Implantaten nebeneinander Fixierung an Nachbarzähnen. 2. Ab 3 Implantaten nebeneinander alleinige Verblockung durch PV
	SDS 1.0 DT ATZ	x	x	
	SDS 1.1	x	x	
	SDS 1.1	x	x	ohne Schutzmaßnahmen
	SDS 2.0	x	x	gedeckte Einheilung - Tissue Level

**Tabelle 2: Sofortversorgungsprotokoll nach SDS – Swiss Dental Soluitions (SDS-SwissDentalSolutions, 2015b)**

### 1.9 Patientenzufriedenheit als Erfolgsparameter

In vielen Studien über den Erfolg von dentalen Implantaten stehen objektive Parameter wie Überlebensrate und der Verlauf des Bone-Levels mesial und distal im Vordergrund. Jedoch spielt ebenso die Patientenzufriedenheit mit der implantologisch-prothetischen Rehabilitation für den Erfolg von dentalen Implantaten eine große Rolle.

Aus Sicht der Patienten fallen hierbei über die Implantatüberlebensrate und das Bone-Level hinaus andere subjektive Faktoren ins Gewicht. Diese sind beispielsweise die entstandenen Kosten, die Behandlungsdauer sowie die Morbidität vor, während oder nach der Behandlung (Thoma et al., 2015). Auch ästhetische Aspekte bei der Anwendung dentaler Implantate aus Keramik spielen hierbei eine Rolle wie beispielsweise die weiße Farbe und das dadurch bedingte Fehlen des dunklen Durchschimmerns bei einer grazen vestibulären Knochenlamelle wie es bei Titanimplantaten häufig beobachtet wird (Kohal, 2013). Daneben kann die Patientenzufriedenheit auch durch individuelle Unterschiede wie Alter, Geschlecht oder Persönlichkeit beeinflusst werden (Alsabeeha et al., 2009).

Der OHIP-Fragebogen wurde 1994 als Hilfsmittel zur Ermittlung der Oral health-related quality of life (OHRQoL) für dentalen Zahnersatz eingeführt und seitdem mehrfach modifiziert und übersetzt.

Publikationen zufolge ist es wünschenswert die subjektive Patientenzufriedenheit objektiv anhand von OHIP-Fragebögen zu evaluieren (Kim et al., 2014). Ergebnisse aktueller Studien bestätigen, dass es notwendig ist, die Patientenzufriedenheit als Erfolgsparameter mit einzubeziehen. Bezugnehmend auf „Strength of recommendation taxonomy (SORT)“ von Ebell et al. heißt es, dass durch Berücksichtigung der Patientenmeinung die Qualität einer Studie erhöht wird und ihr Impact-Faktor verbessert werden kann (Ebell et al., 2004).

#### 1.10 Pink Esthetic Score

Eine ideale ästhetische Implantatrestauration ist definiert als Kombination aus einem visuell ansehnlichen Zahnersatz und gesunder, harmonisch konturierter periimplantärer Weichgewebe (Wittneben et al., 2013).

Seit einigen Jahren verdichten sich die Annahmen, dass Zirkoniumdioxid positive Einflüsse auf das Outcome periimplantärer Weichgewebe hat.

In Publikationen konnte gezeigt werden, dass um Zirkoniumdioxid eine geringere Anzahl an Entzündungsmediatoren und Entzündungsinfiltraten als um Titan gefunden wurde (Degidi et al., 2006). Dies sei u.a. auf die geringere Affinität von bakteriellen Biofilmen an Zirkoniumdioxid zurückzuführen (Sicilia et al., 2008). Es konnte histologisch in vitro belegt werden, dass periimplantäre Mukosazellen um Zirkoniumdioxid eine erhöhte Expression von E-cadherin mRNA aufweisen (Okabe et al., 2015). Aufgrund der geringeren bakteriellen Adhäsion an Zirkoniumdioxid sollen starke interzelluläre hemidesmosomale Verbindungen vermittelt werden, die exogene Stimuli verhindern. Eine weitere Publikation zeigte für Keramikimplantate ebenfalls signifikant höhere Werte an organisierten Kollagenfasern als für Titanimplantate (Liñares et al., 2016). In dieser Studie wurde in vivo das klinische histomorphologische Ergebnis von Hart- und Weichgeweben um Keramikimplantate verglichen mit Titanimplantaten an 6 Minischweinen untersucht. Es wurden jeweils 9

Implantate in die Unterkiefer implantiert und nach zwei Monaten Blockbiopsien untersucht, die keine Unterschiede im Bone Implant Contact sowie in der periimplantären Mukosahöhe in beiden Implantatgruppen ergaben. Das Sulkusepithel an ZrO<sub>2</sub>-Implantaten war signifikant kürzer, die Taschentiefen wiesen jedoch keine signifikanten Unterschiede auf. Letzteres kann von verschiedenen Studien, die dieselbe Thematik in Bezug auf Vergleiche zwischen Abutments aus Keramik und Titan behandelten, bestätigt werden (Sailer et al., 2009, Zembic et al., 2009, Lops et al., 2013, Carrillo de Albornoz et al., 2014).

Payer et al. untersuchten in einer prospektiven Studie das radiologische Knochenniveau, die Weichgewebsverhältnisse, das ästhetische Outcome sowie die Überlebens- und Erfolgsrate von 16 zweiteiligen ZrO<sub>2</sub>-Implantaten im Vergleich zu 15 Titanimplantaten in 22 Patienten nach 24 Monaten und konnten zeigen, dass beide Gruppen einen signifikanten Knochenabbau 24 Monate nach Implantation und Erfolgs- und Überlebensraten von 93,3% für Keramikimplantate und 100% für Titanimplantate aufweisen (Payer et al., 2015). Zur Beurteilung des ästhetischen Outcomes beider Gruppen wurde der Pink Esthetic Score halbjährlich erhoben und ergab einen statistisch signifikanten Unterschied mit höheren Werten für Keramikimplantate zu jedem Zeitpunkt der Messung.

Diese Erkenntnisse lassen vermuten, dass Zirkoniumdioxid sowohl auf die Quantität als auch Qualität periimplantärer Weichgewebe einen positiven Einfluss haben kann (Weng, 2014). Ein weiterer Aspekt bezüglich des ästhetischen Potenzials von dentalen Keramikimplantaten zeichnet sich darin ab, dass insbesondere in der ästhetischen Zone bei graziler vestibulärer Knochenwand kein dunkles Durchscheinen wie bei Titanimplantaten festzustellen ist (Kohal, 2013, Depprich et al., 2014). In den 2014 erschienenen Consensus Statements der fünften ITI Consensus Conference wurde der Pink Esthetic Score als geeignet für die Beurteilung der Weichgewebsverhältnisse um Sofortimplantate bezeichnet (Martin et al., 2014, Morton et al., 2014).

Der Pink Esthetic Score wurde im Jahre 2005 von Fürhauser et al. entwickelt und wird für die Anwendung in klinischen Studien empfohlen (Fürhauser et al., 2005, Morton et al., 2014, Tettamanti et al., 2015).

Er zeichnet sich durch eine hohe Reproduzierbarkeit und einfache und schnelle Anwendbarkeit aus (Tettamanti et al., 2015). Darüber hinaus lässt er sich exzellent in den wissenschaftlichen Kontext einordnen und ermöglicht so eine Vergleichbarkeit von Studien (Tettamanti et al., 2015).

## 2 Fragestellungen

Ziele dieses Forschungsvorhabens sind:

- Retrospektive Darstellung des Outcomes von in drei Praxen zwischen Juni 2013 und Juni 2015 gesetzten Sofort- und Spätimplantate eines Keramikimplantatsystems in insgesamt 58 Patienten nach Sofort- und Spätbelastung im Ober- und Unterkiefer und Beurteilung der röntgenologischen Osseointegration.
- Untersuchung von intrinsischen (Alter, Geschlecht, Rauchgewohnheiten, etc) und extrinsischen (Implantattyp, Länge, Durchmesser, prothetischer Aufbau) Risikofaktoren
- Beurteilung des Weichgewebsverhaltens um sofortversorgte / sofortbelastete Sofortimplantate aus Keramik mit Hilfe des Pink Esthetic Scores
- Untersuchung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität eines zufällig ermittelten Teils der retrospektiv in Frage kommenden Patienten nach implantatprothetischer Versorgung durch eine prospektive Fragebogenstudie

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Patientenpool und Dokumentation**

In dieser Studie wurde ein multizentrischer Patientenpool von 58 Patienten, die zwischen Juni 2013 und Juni 2015 operativ von Herrn Doktor Ulrich Volz mit Implantaten des Herstellers SDS Swiss Dental Solutions versorgt wurden, eingeschlossen. Herr Doktor Volz war an der Entwicklung des Implantatsystems sowie des damit verknüpften Behandlungsprotokolls beteiligt.

Der Studienzeitraum setzt sich aus einem retrospektiven sowie prospektiven Teil zusammen.

Der retrospektive Teil bezieht sich auf Sofortimplantationen und Spätimplantationen. Die Daten der Sofort- und Spätimplantationen sowie der Recalluntersuchungen bis zu circa 1,5 Jahre postoperativ wurden retrospektiv erhoben und im Anschluss anonymisiert ausgewertet.

Der prospektive Teil beginnt circa 1 bis 1,5 Jahre postoperativ mit der Ermittlung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität über einen prospektiven Fragebogen. Eine Zustimmung der Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg zu diesem Forschungsvorhaben liegt vor (PV5074).

Die Datenerhebung erfolgte für den retrospektiven und prospektiven Studienteil pseudonymisiert, um einen Zusammenhang zwischen Ergebnissen des Fragebogens und den Daten der erhaltenen Versorgung herstellen zu können. Für den prospektiven Studienteil wurden alle im Zeitraum September bis Oktober 2014 durch Herrn Doktor Ulrich Volz in drei zahnärztlichen Behandlungszentren (Tagesklinik Konstanz; Zahnarztpraxis Doktor Steinbach&Kollegen, Stuttgart; Paracelsus Klinik Lustmühle AG, Teufen) mit Sofortimplantaten versorgten Patienten eingeschlossen. Ein Ausschluss erfolgte auf persönlichen Wunsch der Patienten oder von jenen, die die Studienanforderungen hinsichtlich intrinsischer Faktoren nicht erfüllen.

Es wurden anamnestische Daten, Implantationsdaten, Röntgenbilder, Daten der prothetischen Versorgung und des Recalls des Patientenpools pseudonymisiert retrospektiv ausgewertet, die aus verschiedenen Behandlungszentren stammen:

- Zahnärztliche Tagesklinik Dr. Scholz (ehemals Dr. Volz und Dr. Scholz), Lohnerhofstr. 2, 78467 Konstanz
- Zahnarztpraxis Dr. Kathrin Steinbach & Kollegen, Uhlbacher Straße 10, 70329 Stuttgart
- Paracelsus Klinik Lustmühle AG, Battenhusstraße 12, CH-9053 Teufen AR.

Alle retrospektiv in die Auswertung übernommenen Untersuchungen sowohl im Rahmen der Studie als auch generell entsprechen der klinischen Routine einer normalen zahnärztlichen Untersuchung (Zahnstatus, Fotodokumentation, etc.) im Rahmen eines parodontologischen oder implantologischen Recalls. Die klinische Routine wurde in der Form ohnehin unabhängig von der Studie durchgeführt, sodass kein Recall speziell für diese Studie durchgeführt wurde. Sollten sich klinische Auffälligkeiten ergeben haben, wurden bei spezifischen Fragestellungen dentale Röntgenaufnahmen angefertigt. Es wurden keine Röntgenaufnahmen speziell für diese Studie angefertigt, sondern lediglich Röntgenaufnahmen ausgewertet, die während aktueller oder vorheriger Recall- oder Kontrolltermine durchgeführt wurden und die nach klinischer Indikationsstellung erfolgt sind oder der radiologischen Implantatdokumentation entsprechen. Studienbedingt erfolgte die Übergabe bzw. Zusendung einer Patientenaufklärung über Sinn und Zweck der Studie sowie eines modifizierten OHIP Edent-Fragebogens zur Patientenzufriedenheit.

Die Daten des retrospektiven Teils der Patienten der jeweiligen zahnärztlichen Einrichtungen wurden in einer Excel-Tabelle (Excel, Microsoft Office Version 2013, Microsoft Corporation, Redmond, USA) erhoben. In einer separaten Excel-Tabelle wurden die Daten der prospektiven Fragebogenstudie erhoben. Die Datenerhebung erfolgte pseudonymisiert. In der Fragebogenstudie wurde jedem Patienten eine zufällig erzeugte Schlüsselnummer zugeordnet. Die Liste mit den patientenbezogenen Schlüsselnummern wird durch den Leiter des Studienprojektes verschlossen verwahrt und nicht auf dem Computer, mit dem die Datenerhebung durchgeführt wurde. Im Anschluss erfolgte die Zusendung der Fragebögen mit separatem Einwilligungsbogen. Jeder Fragebogen war mit der gleichen Nummer kodiert, die dem Patienten initial zugeordnet wurde. Nach

Rückert wurden die Antworten digitalisiert und über die Schlüsselnummer dem jeweiligen Datensatz zugeordnet. Rückschlüsse auf die Identität des Patienten ohne den Schlüssel sind somit ausgeschlossen.

Widersprach ein Patient der Nutzung seiner Daten wurde der komplette Datensatz aus der Studientabelle gelöscht.

Die Fragebogenstudie wurde mittels eines modifizierten OHIP Edent (Oral Health Impact Profile) Fragebogens durchgeführt. Das OHIP ist ein durch Studien validierter Fragebogen zur Messung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität. Es wird in zahnmedizinischen Studien zur Ermittlung des Behandlungserfolges eingesetzt.

Die in den jeweiligen Behandlungszentren beschäftigten Zahnärzte haben die Dokumentation der Daten ihres Zuständigkeitsbereiches übernommen.

Als Ein- oder Ausschlusskriterien wurden folgende Parameter festgelegt:

#### 3.1.1 Einschlusskriterien:

Eingeschlossen wurden Implantationen mit dem SDS-Implantatsystem, die nicht unter die Ausschlusskriterien fallen und den Empfehlungen der fünften ITI Konsensuskonferenz entsprechen (Gallucci et al., 2014). Diese entsprechen ebenfalls den Voraussetzungen der Sofortversorgung:

- Implantationen im Ober und Unterkiefer zwischen Juni 2013 und Juni 2015
- Primärstabilität mit Drehmomenten  $\geq 20$  Ncm bis 45 Ncm
- Fehlen von lokalen Kontraindikationen wie Parafunktionen und ausgedehnte Knochendefekte
- Der klinische Nutzen überwiegt den Risiken

#### 3.1.2 Ausschlusskriterien:

Die Ausschlusskriterien wurden in Anlehnung an Empfehlungen der zweiten ITI Konsensuskonferenz wie folgt festgelegt (Buser et al., 2000):

- Kompromittierter allgemeiner Gesundheitszustand, der Einfluss auf die Wundheilung und Osseointegration dentaler Implantate haben könnte

- Parafunktionen (Bruxismus, Pressen etc.)
- Starke Raucher (> 10 Zigaretten pro Tag)
- Maligne Grunderkrankungen, z.B.: rheumatoide Arthritis, Osteomalazie, Osetogenesis imperfecta
- Chemotherapie
- Bisphosphonattherapie
- Bestrahlungstherapie
- Immunkompromittierende Erkrankungen, z.B.: HIV
- Schlechte Mundhygiene (PSI  $\geq$  3)

### 3.1.3 Voraussetzungen für Sofortimplantationen

Die Voraussetzung für eine Sofortimplantation sind in Anlehnung an die Consensus Statements der dritten ITI Konsensuskonferenz und das Short Cut Concept nach Dr. Volz (Hammerle et al., 2004, SDS-SwissDentalSolutions, 2015a):

- Einschlusskriterien aus 3.1.1
- Minimalinvasive Zahnextraktion insbesondere mit Erhalt der vestibulären Knochenlamelle
- Entfernung sämtlichen Granulationsgewebes
- Ausreichende Primärstabilität (30-40 Ncm)
- Dreidimensional korrekte Position unter Berücksichtigung der späteren Restauration durch Zuhilfenahme des PV-Formteils auf Basis der vorherigen Zahnstellung

### 3.1.4 Ethikvotum

Eine Zustimmung der Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg zu diesem Forschungsvorhaben liegt vor (PV5074).

### 3.2 Das Behandlungsprotokoll

Alle Patienten dieser Studie wurden anhand des vom Hersteller vorgegebenen chirurgischen und prothetischen Behandlungsprotokolls versorgt:

#### 3.2.1 Chirurgisches Protokoll

Alle Patienten, deren Daten für diese Studie herangezogen wurden, wurden vor Implantation körperfremder und körpereigener Materialien über das Prozedere, die damit möglicherweise verbundenen Risiken und potenzielle Behandlungsalternativen aufgeklärt und haben ihre Einwilligung in den vorgeschlagenen Eingriff erteilt (Informed Consent).

Nach einer eingehenden vorherigen klinischen Untersuchung und Erhebung der aktuellen Anamnese der behandelten Patienten wurde entschieden, ob sich die Patienten analog zu den oben genannten Kriterien für eine Implantation eignen. Von allen Patienten wurden durch den Behandler standardmäßig vor Implantation ein digitales oder analoges zweidimensionales und, falls es die Situation erforderte, ein dreidimensionales Röntgenbild (Digitales Volumentomogramm) angefertigt. Darüber hinaus wurden standardmäßig Fotos der jeweiligen Situation vor, während und nach Implantation angefertigt. Diese betrafen ausschließlich den Mundraum des jeweiligen Patienten und wurden mit Fotospiegeln für die dentale Fotografie (Jakobi Dental GmbH, Sandhausen) sowie einer digitalen Spiegelreflexkamera Canon Eos 400D mit Macroobjektiv und Macro-Ringlite Blitzsystem (Canon Inc., Tokio, Japan) angefertigt.

Falls es die Situation erforderte, wurde ebenfalls ein intraorales Bone-Mapping zur Evaluierung der Knochenbreite und -höhe mit Injektionskanülen durchgeführt. Hierbei wird mit Hilfe einer Tiefziehschiene und einer Injektionskanüle mit Gummistopp an vorgegebenen Punkten der Tiefziehschiene die Oberflächentopografie des vorhandenen Knochens sowie die Schleimhautdicke bestimmt und kann anschließend auf ein Meistermodell übertragen werden. Hierdurch ist eine Darstellung der Knochenbreite und -höhe möglich.

Anhand dieser diagnostischen Verfahren wurde unter Berücksichtigung der zu erwartenden Knochenqualität und -quantität die erforderlichen

Implantatparameter wie Länge, Durchmesser und Design bestimmt sowie die Notwendigkeit augmentativer Verfahren oder sonstiger Verfahren. Die Knochenklassifikation wurde intraoperativ anhand der Einteilung von Misch (1990) (Kapitel 1.7) durch den Chirurgen erhoben.

Alle Patienten wurden mit dem Anästhetikum Ultracain® DS forte (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland) per Infiltrationsanästhesie lokal anästhesiert.

Die Zahnentfernung vor Sofortimplantation wurde lappenlos und atraumatisch durchgeführt. Besondere Aufmerksamkeit galt dem Erhalt der vestibulären Knochenlamelle. Nach Zahnentfernung wurde die Alveole sorgfältig kürettiert, um sicherzugehen, dass kein infektiöses Gewebe im Knochen zurückblieb.

Die Voraussetzungen für eine Sofortimplantation entsprechen den oben genannten Kriterien.

Bei Spätimplantationen wurde die Gingiva in der Regel im Durchmesser des später zu inserierenden Implantats gestanzt. Sofern eine perioperative Augmentation notwendig war, wurde durch einen krestalen Schnitt ein Mukoperiostlappen gebildet.

#### 3.2.1.1 Augmentationen

Sofern eine prä- oder perioperative Augmentation in Form eines Sinuslifts notwendig war, wurde diese durch einen paramarginalen Schnitt im Vestibulum des Oberkiefers zwischen Fossa canina und Crista zygomaticoalveolaris durchgeführt. Bei Sinusbodenelevationen wurde nach Mukoperiostlappenbildung mit Hilfe des Gerätes Piezosurgery® touch (mectron Deutschland Vertriebs GmbH, Köln, Deutschland) durch Anlage eines vestibulären Knochenfensters zwischen Fossa Canina und Crista zygomaticoalveolaris ein Sinuslift mit chronOS™ (reines Beta-Tricalciumphosphat, Depuy Synthes Companies, Zuchwil, Schweiz) und mit autologem PRGF (Plasma Rich in Growth Factors) durchgeführt.

Vestibulär wurde eine autologe Membran eingesetzt, welche der Augmentation flächig aufgelagert wurde. Die Herstellung erfolgte anhand des Protokolls der Endoret® (prgf®) Technologie der Firma BTI© (BTI Biotechnology Institute Deutschland GmbH 2011, Pforzheim) (Anitua et al., 2006). Zur Herstellung der

Membranen erfolgte eine Blutabnahme der Patienten, welches mit Natriumzitat als Gerinnungshemmer in Röhrchen des PRGF Systems vermischt wurde. Zur Herstellung unterschiedlicher Fraktionen erfolgte eine achtminütige Zentrifugation bei 460 G und die anschließende Isolation der obersten Fibrinfraktion. Zur Ausbildung der Fibrinmembran wurde diese 30 Minuten lang bei 37°C retrahieren gelassen. Die Herstellung des PRGF erfolgte durch Abpipetieren von 0,5ml der Plasmafraktion oberhalb des Erythrozytenkonzentrats. Fünf Minuten vor Anwendung wurde das PRGF mit Kalziumchlorid aktiviert.

### 3.2.1.2 Das Bohrprotokoll

Das Bohrprotokoll sieht in Abhängigkeit der Knochenklasse nach Pilotbohrung eine Bohrsequenz mit Spiralbohrern mit ansteigendem Durchmesser vor. Bei weichem Knochen wie in Knochenklasse D3 – D4 sieht das Bohrprotokoll laut Herstellerangaben vor in der letzten Bohrsequenz mit einem geringeren Durchmesser (unterdimensioniert, Abbildung 5) als in Knochenklasse D1 – D2 (Abbildung 4) zu bohren und somit bedingt durch das Implantatdesign über eine periimplantäre Knochenverdichtung eine hohe Primärstabilität zu erreichen.

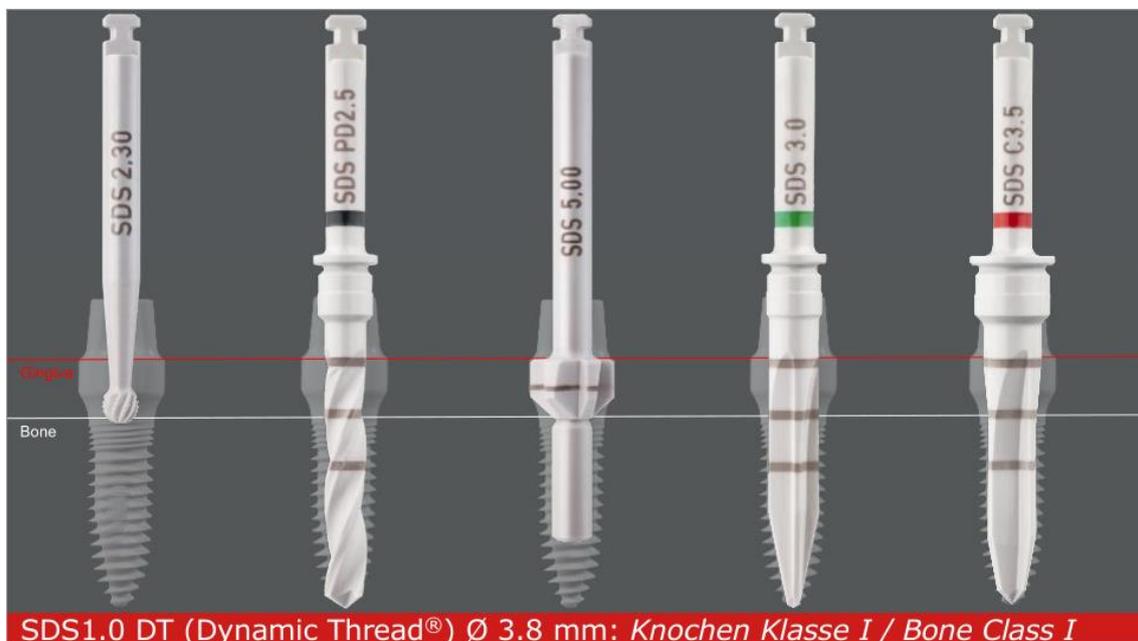
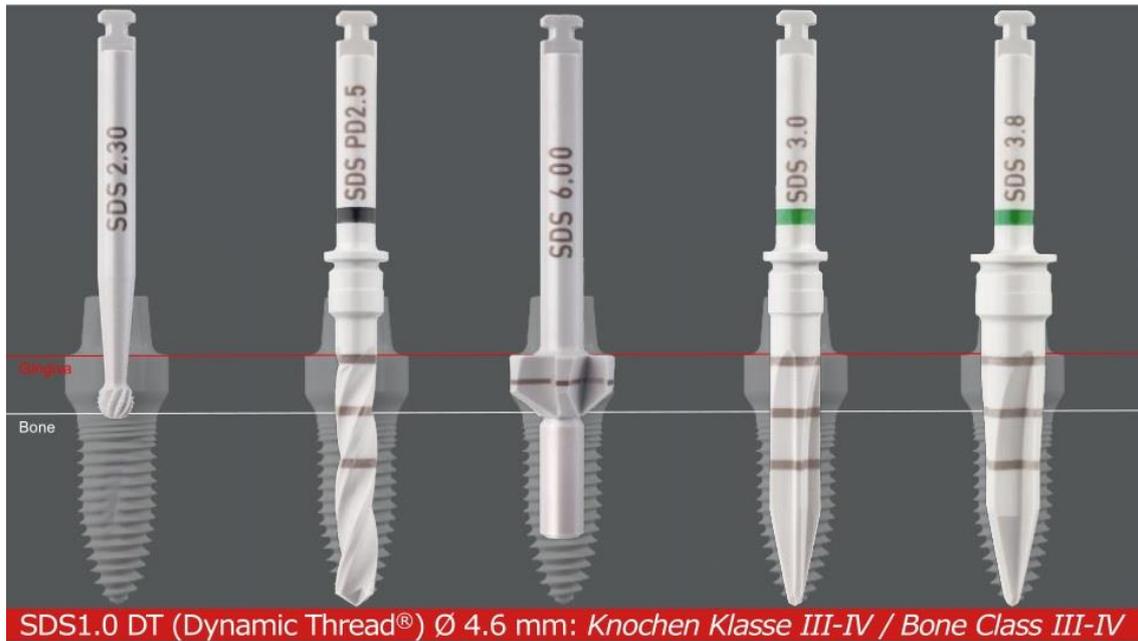


Abbildung 4: Bohrprotokoll DT Knochen Klasse I



**Abbildung 5: Bohrprotokoll DT Knochen Klasse III-IV**

Nach Abschluss der Bohrung wurden alle Bohrlöcher vor Eindrehen des jeweiligen Implantats mit Ozon durch das Gerät Ozone DTA (Apoza Enterprise Co. LTD., Taipei City, Taiwan) vorbehandelt, um einen antimikrobiellen Effekt zu erzielen.

Die Aufbereitung des Implantatlagers als auch das initiale Eindrehen der Implantate fand maschinell mit dem Chirurgiemotor Frios Unit S/i (DENTSPLY IH GmbH, Mannheim, Deutschland) statt. Anschließend wurden die Implantate von Hand mittels Drehmomentschlüssel festgedreht und das Eindrehmoment über den Eindreher bestimmt. Sie variierte von 10 Ncm bis 45 Ncm.

Alle Implantate wurden bezüglich der Implantatschulter in Bezug auf das Tissue-Level unterschiedlich tief gesetzt und sollten bei der prothetischen Versorgung beschliffen werden. Die jeweiligen Insertionstiefen wurden erfasst. Waren die Voraussetzungen nicht erfüllt, wurde ein konventionelles Belastungsprotokoll mit transgingivaler Einheilung durchgeführt, um das Risiko des frühzeitigen Implantatverlusts, insbesondere durch Überlastung in der initialen Einheilphase, zu minimieren.

Unmittelbar nach Implantation wurde ein OPG zur Kontrolle angefertigt.

Eine Woche nach Implantation erfolgte bei Implantationen mit Mukoperiostlappenbildung in der Regel die Nahtentfernung des Materials Gore-Tex® Suture P6K23 CV5 (W. L. Gore & Associates, Inc., Flagstaff, Arizona, USA).

### 3.2.2 Röntgenuntersuchungen

Die Zeitpunkte der Nachkontrollen und Röntgenuntersuchungen wurden in dieser Studie in drei Gruppen mit halbjahresabständen nach Implantatinsertion gegliedert.

Die Röntgenuntersuchungen in der Zahnärztlichen Tagesklinik Dr. Scholz (ehemals Dr. Volz und Dr. Scholz), Lohnerhofstr. 2, 78467 Konstanz erfolgten mit einem Sirona Orthophos SL 3D (Sirona Dental GmbH, Wals, Österreich).

In der Zahnarztpraxis Dr. Kathrin Steinbach & Kollegen, Uhlbacher Straße 10, 70329 Stuttgart fand die Erstellung der Röntgenbilder mittels Planmeca Proline CC (Planmeca Vertriebs GmbH, Bielefeld, Deutschland) statt.

Die Röntgenuntersuchungen in der Paracelsus Klinik Lustmühle AG, Battenhusstraße 12, CH-9053 Teufen AR erfolgten mit einem PAX-i3D (orangedental GmbH & Co. KG, Biberach, Deutschland).

### 3.2.3 Belastungsprotokolle

#### 3.2.3.1 Konventionelles Belastungsprotokoll

Bedingt durch das Implantatdesign sind in dieser Studie lediglich Implantate mit transgingivaler Einheilung integriert. Waren die Voraussetzungen für eine Sofortversorgung/Sofortbelastung nicht gegeben, wurden die Implantate nach dem klassischen konventionellen Belastungsprotokoll versorgt.

Dies bedeutet, dass die Implantate im Oberkiefer sowie im Unterkiefer in Anlehnung an die ITI Konsensus Konferenz von 2000 nach frühestens drei Monaten definitiv prothetisch versorgt wurden (Buser et al., 2000).

Nach der jeweiligen Einheilzeit wurden die Implantate, sofern notwendig, bis zur Implantatschulter freigelegt und in die entsprechende Form mit Hilfe von eiförmigen Diamantbohrern der Hersteller Meisinger (Hager & Meisinger,

Neuss) und Komet Dental (Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo) präpariert.

Bei zweiteiligen Implantaten wurde das passende Abutment ausgewählt und dieses, falls notwendig, ebenfalls geringfügig nach Herstellerangaben mit entsprechenden Diamantbohrern der oben genannten Hersteller nachpräpariert. Anschließend wurde eine Präzisionsabformung in Form eines Doppelmischabdrucks mit Impregum™ Penta™ Polyether Abformmaterial (3M ESPE, 3M Deutschland GmbH, Neuss) vorgenommen. Bei zweiteiligen Implantaten stand die Möglichkeit der indirekten Abformung mittels Abformpfosten zur Verfügung.

Nach Fertigstellung des definitiven Zahnersatzes wurde dieser mit Ketac™ Cem Glasionomermzement (3M ESPE, 3M Deutschland GmbH, Neuss) eingegliedert. Bei zweiteiligen Implantaten stehen nach Herstellerangaben zwei verschiedene Abutmentschrauben zur Verfügung. Die Goldschraube wurde mit höchstens 15 Ncm angezogen. Für Patienten mit nachgewiesener Metallsensibilisierung wurde eine PEKK-Schraube mit 5 Ncm angezogen. Zusätzlich wurde das Abutment zementiert (SDS-SwissDentalSolutions, 2015c). Anschließend erfolgte die Überprüfung der Okklusion in Statik und Dynamik.

### 3.2.3.2 Sofortbelastungsprotokoll

Das Sofortbelastungsprotokoll bezieht sich auf das sogenannte SCC-Short Cut Concept des Implantatherstellers (SDS-SwissDentalSolutions, 2015a). Zur prothetischen Versorgung bei sofortversorgten Implantaten wurden anfänglich nur Langzeitprovisorien eingebracht. Alle Langzeitprovisorien wurden mit Hilfe einer auf dem Situationsmodell tiefgezogenen Provisorien-Schiene innerhalb von 48 Stunden nach Implantation chair-side aus dem Material Luxatemp® (DMG, DMG Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg) oder Protemp™ (3M ESPE, 3M Deutschland GmbH, Neuss) hergestellt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass jegliche Friktion zwischen Langzeitprovisorium (LZP) und Implantatabutment reduziert wurde und die Langzeitprovisorien in statischer und dynamischer Nonokklusion oder Gruppenführung im zahnlosen Kiefer vorliegen. Das LZP wurde anschließend mittels Durelon™ (3M ESPE, 3M Deutschland GmbH, Neuss) zementiert.

Zum Zweck der Rotationsstabilität sieht das Belastungsprotokoll vor, dass eine Verblockung eines Einzelzahnimplantats mesial und distal an Nachbarzähnen durch Säure-Ätz-Technik mittels Venus Flow (Heraeus Kulzer Deutschland, Hanau) bei provisorischer Versorgung durchgeführt wird. Bei zwei Implantaten in Reihe wird das Langzeitprovisorium mindestens auf einer Seite adhäsiv befestigt und drei oder mehr Implantate in Reihe konnten mit rein implantatgetragenen Langzeitprovisorien versorgt werden.

Alle Patienten wurden instruiert, ausschließlich weiche Nahrung im Bereich des Langzeitprovisoriums zu sich zu nehmen, nicht darauf zu kauen und in der Front nicht abzubeißen.

Das Sofortbelastungsprotokoll sieht eine Einheilzeit bis zur Prothetik für singuläre Sofortimplantate von 3 Monaten und für Sofortimplantate, die später einer auf mehreren Pfeilern verankerten Prothetik dienen, von 4 Monaten vor.

Die definitive Versorgung der Implantate erfolgte in dieser Studie nach frühestens 12 Wochen.

### 3.2.3.3 Prophylaxekonzept

Alle Patienten willigten vor Implantation in eine mindestens vierteljährliche zahnärztliche Untersuchung mit Prophylaxebehandlung ein. Dabei wurde am jeweiligen Implantat der Klopfeschall überprüft und bei Notwendigkeit eine Blutungsprobe durchgeführt.

Weitergehende diagnostische Maßnahmen wie die Erhebung parodontaler Indizes oder die Anfertigung radiologischer Aufnahmen wurden bei Verdacht auf unphysiologische periimplantäre Prozesse ergriffen.

## 3.3 Röntgenologische Datenerhebung

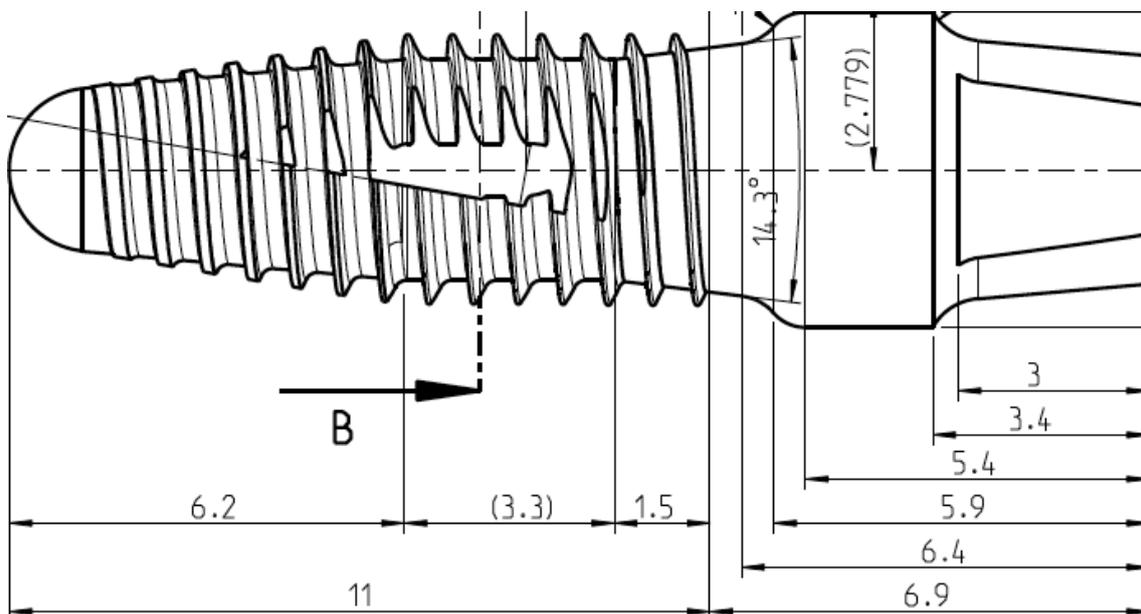
### 3.3.1 Knochenhöhe

Die Befundung der vorhandenen Röntgenbilder wurde an einem abgenommenen Befundungsmonitor Philips 220WS8 (Koninklijke Philips N. V., Amsterdam, Niederlande) in einem abgedunkelten Raum vorgenommen. Die Messungen der Knochenhöhe wurden ausschließlich anhand von Panoramaschichtaufnahmen vorgenommen. In zwei der in dieser Studie

integrierten Behandlungszentren wurden ausschließlich digitale Röntgenbilder angefertigt. In einem Zentrum wurden analoge Panoramaschichtaufnahmen angefertigt. Diese analogen Bilder wurden zunächst mit Hilfe eines speziell für die Digitalisierung von Röntgenbildern geeigneten Scanners (Epson Expression 1680 mit Rücklicht, EPSON Deutschland GmbH, Meerbusch) digitalisiert. Alle Röntgenbilder wurden auf einem PC mit der Röntgensoftware DÜRR DENTAL DBSWIN 5.5.0 (DÜRR DENTAL AG, Bietigheim-Bissingen) ausgewertet.

Da die Implantate des Herstellers SDS insbesondere im Bereich der Implantatschulter beschleifbar sind, ist diese als Referenzpunkt für die Kalibrations-Länge zur Festlegung des Maßstabs auf den Röntgenbildern nicht geeignet. Daher wurden zunächst andere Referenzpunkte an den Implantaten festgelegt, die eindeutig auf den Röntgenbildern für die Festlegung der Kalibrations-Länge geeignet sind.

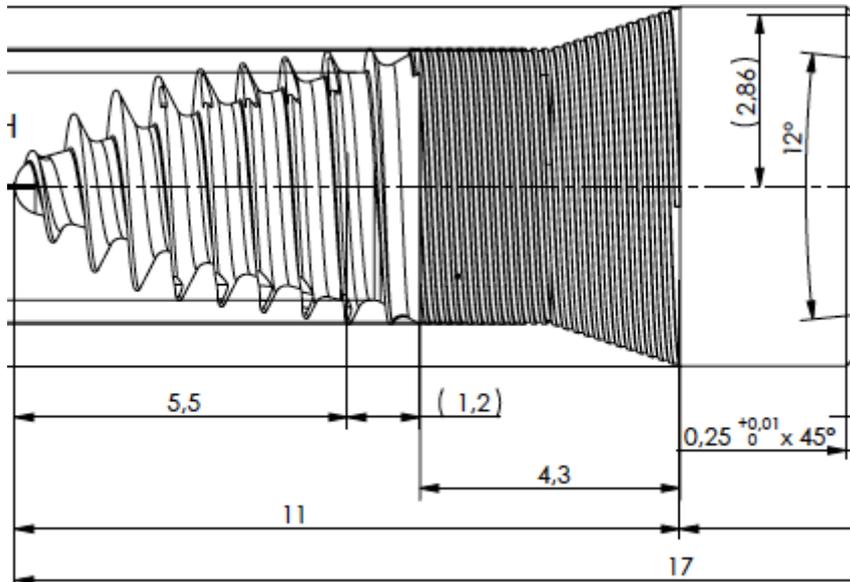
Dieser Referenzpunkt ist bei den einteiligen Implantaten die in Abbildung 6 markierte Linie mit dem Abstand von 5,9 mm bis zum Implantatkopf:



**Abbildung 6: Längenbestimmung SDS 1.0 RD (ATZ), Länge 11 mm, Referenzpunkt ist die Linie mit einem Abstand von 5,9 mm zum Implantatkopf**

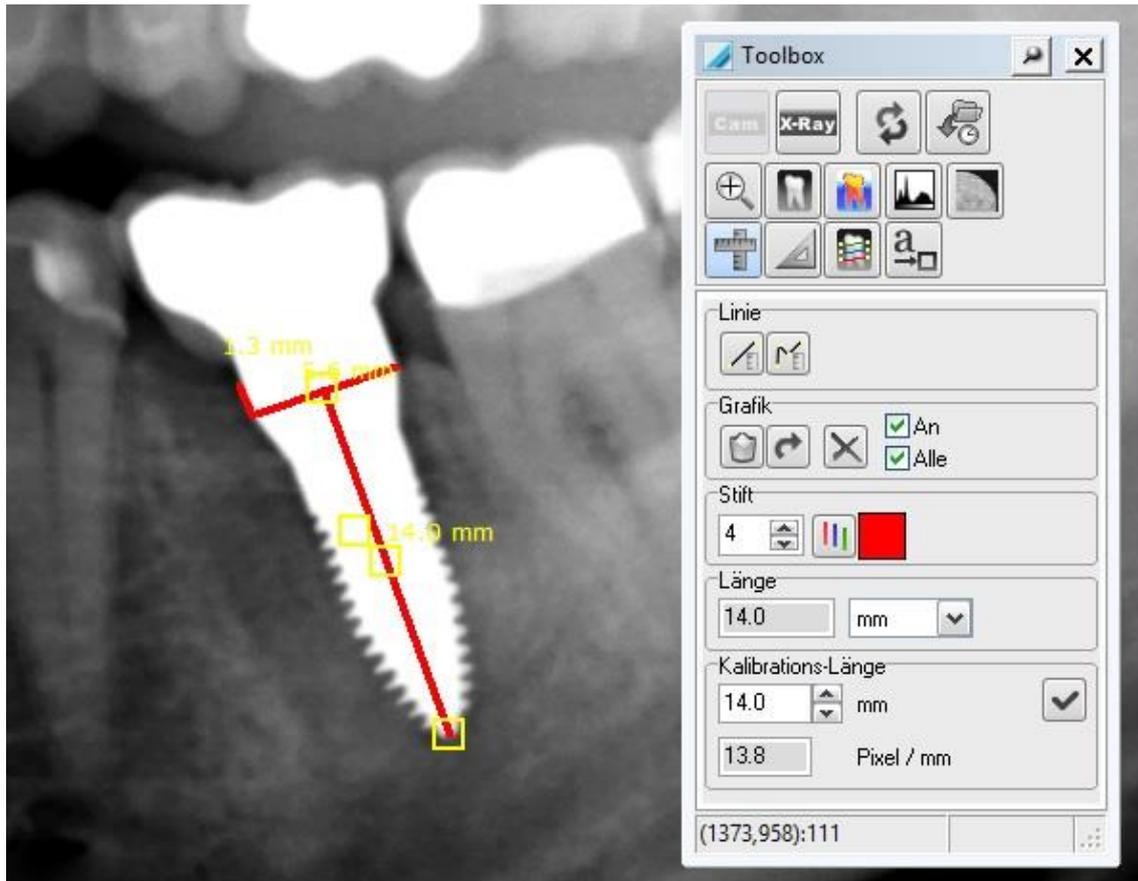
Die Länge von der Implantatspitze bis zu diesem Punkt beträgt an dem in Abbildung 6 gezeigten Implantat dementsprechend 12,5 mm.

Der Referenzpunkt bei den zweiteiligen Implantaten ist das Ende des letzten Gewindegangs und entspricht dementsprechend der vom Hersteller angegebenen Länge – in diesem Fall 11 mm (Abbildung 7):



**Abbildung 7: Längenbestimmung SDS 2.0 DT, Länge 11 mm, Referenzpunkt ist die Linie mit 11 mm Abstand zur Implantatsspitze**

Nach Anpassung des Maßstabs durch Festlegung der Kalibrierungslänge wurde der Abstand des Knochenniveaus vom Referenzpunkt mesial und distal des Implantates gemessen und auf 0,5 mm gerundet (Abbildung 8).



**Abbildung 8: Bestimmung der Knochenhöhe**

Zur genauen Beurteilung des Knochenverlaufs und der Knochenstruktur konnten Vergrößerung, Kontrast und Helligkeit auf jedem Bild individuell angepasst werden. Alle Aufnahmen wurden von zwei unabhängigen Personen unter gleichen Bedingungen vermessen, welche nicht in die chirurgischen Prozesse involviert waren. Recallzeitpunkte sowie Röntgenkontrollen fanden anhand der halbjährlichen Einteilung nach Implantation statt und wurden bis 1,5 Jahre nach Implantation erfasst.

Zur Kontrolle wurden am Tag der Operation eine postoperative und zu den Recallzeitpunkten Panoramaschichtaufnahmen angefertigt. Bei allen Röntgenaufnahmen handelte es sich ausschließlich um Panoramaschichtaufnahmen.

### 3.4 Erfolgskriterien

In dieser Studie wurden die Erfolgskriterien analog zu der Health Scale for Dental Implants der Pisa Consensus Conference, Italy 2007 wie folgt eingeteilt (Misch et al., 2008):

Health Scale for Dental Implants - International Congress of Oral Implantologists, Pisa Consensus Conference, Italy 2007	
Stufe des Implantaterfolgs	Klinische Bedingungen
I. Erfolg (optimaler Gesundheitszustand)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Keine Schmerzen oder Druckempfindlichkeit unter Funktion</li> <li>b) 0 Mobilität</li> <li>c) &lt;2 mm radiologischer Knochenverlust seit Operationstag</li> <li>d) Keine Entzündung im Verlauf</li> </ul>
II. Zufriedenstellende Überlebensrate	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Keine Schmerzen oder Druckempfindlichkeit unter Funktion</li> <li>b) 0 Mobilität</li> <li>c) 2-4 mm radiologischer Knochenverlust seit Operationstag</li> <li>d) Keine Entzündung im Verlauf</li> </ul>
III. Beeinträchtigte Überlebensrate	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) eventuell Empfindlichkeit unter Funktion</li> <li>b) Keine Mobilität</li> <li>c) radiologischer Knochenverlust &gt;4mm (geringer als die Hälfte der Implantatlänge)</li> <li>d) Sondierungstiefe &gt;7 mm</li> <li>e) eventuell Entzündung im Verlauf</li> </ul>
IV. Misserfolg (klinischer oder absoluter Misserfolg)	<p>Eines der Folgenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Schmerzen unter Funktion</li> <li>b) Mobilität</li> <li>c) radiologischer Knochenverlust größer als die Hälfte der Implantatlänge</li> <li>d) unkontrollierbare Entzündung</li> <li>e) Nicht mehr im Mund</li> </ul>

**Tabelle 3: Success Scale for Dental Implants der Pisa Consensus Conference, Italy 2007 (Misch et al., 2008)**

Als Misserfolge wurden die Gruppen III und IV nach der oben aufgeführten Erfolgseinteilung gewertet.

#### 3.4.1 Pink Esthetic Score

Bei jeder Operation wurden standardmäßig vor, während und nach der Sofortimplantation Fotos mit intraoralen Fotospiegeln, Spiegelreflexkamera mit Macroobjektiv und Ringblitz-System angefertigt. Weitere Fotos wurden auf dieselbe Art und Weise zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung angefertigt.

Alle Fotos wurden von einer unabhängigen Person, die nicht an den Operationen beteiligt war, auf einem Computer mit der Software Irfanview (Irfanview Version 4,38, © Irfan Skiljan, Wien, Österreich), falls erforderlich, gespiegelt, gedreht und im 16:9 Format zugeschnitten.

In die Erhebung des Pink Esthetic Scores gingen die Fotos von 30 Sofortimplantaten von 13 pseudonymisierten Patienten ein. Die Daten von 45 pseudonymisierten Patienten waren Dropouts aufgrund der Tatsache, dass keine Erhebung des Pink Esthetic Scores aus Gründen der Bildqualität und -einstellung möglich war. Im Programm Microsoft Word (Microsoft Office Version 2013, Microsoft Corporation, Redmond, USA) wurden auf einer DIN A4 Seite die Bilder vor der Implantation und nach prothetischer Versorgung gegenüber gestellt und durch eine kurze Beschreibung kenntlich gemacht, welche Regio dem zu bewertenden Implantat entspricht. Allen Implantaten wurde in derselben Beschreibung eine Nummer zugeordnet.

Anschließend wurden die Fälle in Farbe auf einem Develop ineo+ 554 Farbdrucker (Konica Minolta Business Solutions Deutschland GmbH, Langenhagen, Deutschland) ausgedruckt und 6 unabhängigen Zahnärzten unterschiedlicher Spezialisierungen zur Bewertung der Situation nach prothetischer Versorgung verglichen mit der Situation vor Implantation vorgelegt (siehe Anhang, Kapitel 7.1). Die Zahnärzte erhielten außerdem eine Beschreibung des Vorgehens. Nach vier Wochen erfolgte eine Wiederholung der Bewertungen.

Die jeweiligen Parameter wurden anhand der folgenden Tabelle (Tabelle 4) erhoben:

Parameter		0	1	2
Mesiale Papille	Gestalt vgl. zu urspr. Zahn (Höhe, Breite, Kontur...)	Fehlend	Unvollständig	Vollständig
Distale Papille	Gestalt vgl. zu urspr. Zahn (Höhe, Breite, Kontur...)	Fehlend	Unvollständig	Vollständig
Höhe der marginalen Gingiva	Höhe vgl. zu urspr. Zahn	Hauptdiskrepanz >2mm	Geringe Diskrepanz 1-2mm	Keine Diskrepanz <1mm
Weichgewebkontur	Natürlichkeit vgl. zu urspr. Zahn (Bogen marginale Gingiva etc.)	Unnatürlich	Ziemlich Natürlich	Natürlich
Alveolarfortsatz	Alveolarfortsatzrückgang (Weichgewebsveränderungen außen vor gelassen)	Offensichtlich	Geringfügig	Keiner
Weichgewebsfarbe	Farbe vgl. zu urspr. Zahn	Offensichtlicher Unterschied	Geringfügiger Unterschied	Kein Unterschied
Weichgewebstextur	Textur vgl. zu urspr. Zahn	Offensichtlicher Unterschied	Geringfügiger Unterschied	Kein Unterschied

**Tabelle 4: Erhebung des Pink Esthetic Scores (Furhauser et al., 2005)**

Alle Bewertungen wurden elektronisch erfasst und in die Gesamtexceltabelle (Excel, Microsoft Office Version 2013, Microsoft Corporation, Redmond, USA) mit den bereits beschriebenen Parametern der Implantation und Nachuntersuchung übertragen.

#### 3.4.2 OHIP-Edent Fragebogen

Die Fragebogenstudie wurde mittels eines modifizierten OHIP Edent (Oral Health Impact Profile) Fragebogens durchgeführt. Das OHIP ist ein durch Studien validierter Fragebogen zur Messung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität. Es wird in zahnmedizinischen Studien zur Ermittlung des Behandlungserfolges eingesetzt.

Im Zeitraum zwischen Februar und März 2016 wurde der modifizierte OHIP Edent Fragebogen mit Patienteninformation und dem Einwilligungsbogen in doppelter Ausführung (einer zum Verbleib beim Patienten) an 41 Patienten nach vorheriger persönlicher oder telefonischer Aufklärung mit einem freigemachten Rückumschlag zum Ausfüllen verschickt oder ausgehändigt. 14 Patienten wurden nicht erreicht und drei Patienten haben die Teilnahme von vornherein abgelehnt.

Der OHIP Edent Fragebogen enthält 20 Fragen zur mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität (siehe Anhang, Kapitel 7.2).

Nach Rückerhalt wurde der Einwilligungsbogen separat abgeheftet und die Antworten in Excel (Microsoft Office Version 2013, Microsoft Corporation, Redmond, USA) digitalisiert und über die Schlüsselnummer dem jeweiligen Datensatz zugeordnet.

### 3.5 Statistik

Unter Berücksichtigung der oben erwähnten Ein- und Ausschlusskriterien, die für diese Studie zugrunde gelegt werden, wurde entschieden, ob und von welchem Patienten Daten gesammelt und analysiert werden.

Es werden sowohl Sofort-, verzögerte Sofort-, als auch Spätimplantationen in dieser Studie berücksichtigt. Darüber hinaus werden für jeden Implantationszeitpunkt jeweils Sofortversorgungen/Sofortbelastungen als auch konventionelle Belastungsprotokolle berücksichtigt. Die relevanten Patientendaten über die implantologischen und prothetischen Behandlungsmaßnahmen wurden aus den Akteneinträgen der jeweiligen Behandlungszentren oder über die Auswertung vorhandener Röntgenbilder oder Fotodokumentationen während der Behandlung oder der Recalls gewonnen.

Die gewonnenen Daten wurden zusammen mit den Ergebnissen der röntgenlogischen Vermessungen, den Ergebnissen der Bewertung des Pink Esthetic Scores und den Ergebnissen der prospektiven Fragebogenstudie pseudonymisiert in eine Excel-Tabelle (Microsoft Office Version 2013, Microsoft Corporation, Redmond, USA) übertragen.

Es folgte die Erhebung deskriptiver Statistiken, von Signifikanztests, Verweilwahrscheinlichkeitsanalysen nach Kaplan und Meier (Kaplan und Meier, 1958) und des intra-/innerobserver Agreement für den PES mit Hilfe des Statistikprogramms Stata (StataCorp LP, College Station, Texas, USA) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf (Institutsdirektor: Prof. Dr. rer. pol. Karl Wegschneider).

Zur Bestimmung der Signifikanz wurde ein Likelihood ratio Test angewendet, in dem gemischte Modelle mit Messwiederholung auf bestimmte Restriktionen hin überprüft wurden. Zur Überprüfung des intra- und innerobserver Agreement des Pink Esthetic Scores wurde das Cronbachs Alpha angewendet, um die Reliabilität oder interne Konsistenz des Messinstruments zu bestimmen.

Mit Hilfe des Cronbachs Alpha lässt sich demnach überprüfen inwieweit, wie in diesem Fall, dieselben Fälle oder Fragen hinsichtlich ihrer Einschätzung ähnlich bewertet werden (Krüger et al., 2014).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Patientenkollektiv

#### 4.1.1 Untersuchungszeitraum und Patientenzahl

Von Juni 2013 bis Juni 2015 wurden die Daten von insgesamt 58 Patienten in dieser Studie analysiert. Im Zeitraum von September 2014 bis Oktober 2014 wurden alle Patienten mit Sofortimplantaten berücksichtigt (n=56). Bei allen Patienten, die zuvor bereits Implantate erhalten haben, wurden diese Implantate aus den vorhandenen Daten mit erfasst und analysiert, gleiches trifft auf nachträglich gesetzte Implantate in diesen Patienten zu. 2 Patienten mit ausschließlich Spätimplantaten wurden für eine Kontrollgruppe integriert, da diese im Zeitraum September bis Oktober 2014 ebenfalls vorstellig waren.

#### 4.1.2 Geschlechter- und Altersverteilung

In dieser Studie wurden die Daten von 27 Männern (46,6%) und 31 Frauen (53,5%) ausgewertet. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Implantation betrug 57 Jahre (Minimum 28 Jahre und Maximum 77 Jahre).

#### 4.1.3 Patientenverteilung

Das Patientenkollektiv dieser Studie stammt aus drei verschiedenen Behandlungszentren. 30 Patienten (51,7%) stammen aus der Tagesklinik Konstanz Dr. Scholz (ehemals Dr. Volz & Dr. Scholz, Lohnerhofstr. 2, 78467 Konstanz), 20 Patienten (34,5%) aus der Zahnarztpraxis Dr. Steinbach & Kollegen (Uhlbacher Straße 10, 70329 Stuttgart) und 8 Patienten (13,8%) aus der Paracelsus-Klinik Lustmühle AG (Battenhusstrasse 12, CH-9053 Teufen AR).

#### 4.1.4 Patientendropouts

Bei 58 Patienten konnten von 7 Patienten (12,1%) keine Verlaufsdaten für das Knochenlevel und das Gingivaniveau ermittelt werden. Daher wurden die Daten dieser Patienten aus diesem Studienteil (röntgenologisches Knochenniveau und Pink Esthetic Score) ausgeschlossen. Bei vier der sieben aus der Studie

herausgefallen Patienten (57,1%) war kein Verlaufsrontgenbild vorhanden und drei Patienten (42,9%) sind nicht wieder zum Recall erschienen.

## 4.2 Deskriptive Statistik

### 4.2.1 Implantatdropouts

Insgesamt wurden die Daten von 163 Implantaten erfasst. Bei 13 Implantaten (8%) konnten keine Verlaufsdaten erfasst werden und somit wurden diese als Dropout nicht weiter berücksichtigt. Von diesen 13 Implantaten sind bei 5 Implantaten (38,5%) die Patienten nicht wieder erschienen und bei 8 Implantaten (61,5%) fehlte ein Verlaufsrontgenbild sowie Fotos zur Erfassung des Knochenniveaus beziehungsweise des Pink Esthetic Scores.

### 4.2.2 Implantatbezogene Daten

Dementsprechend wurden die Daten von 51 Patienten mit insgesamt 150 Implantaten ausgewertet.

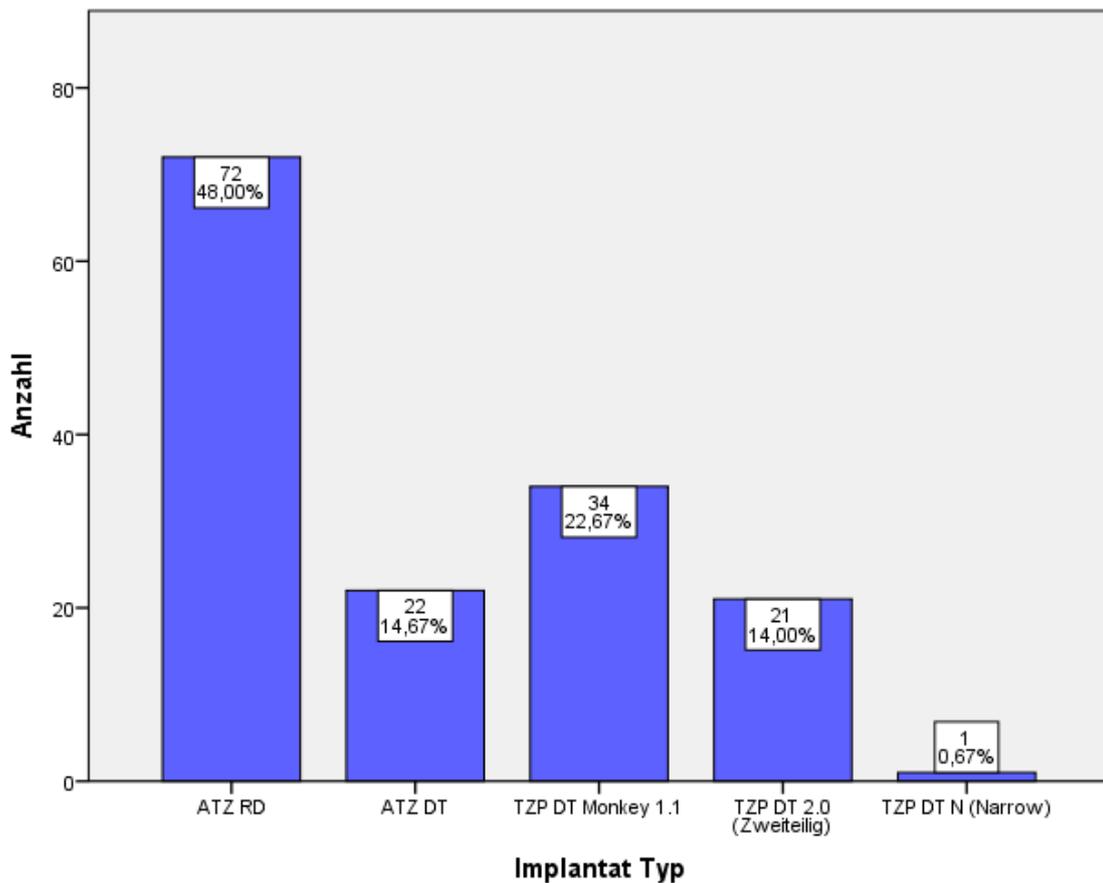
Implantate mit dem Durchmesser 4,6 mm wurden 51 mal (34%) verwendet und wurden damit insgesamt am häufigsten inseriert. Unter Berücksichtigung der Implantatlängen wurde dieser Durchmesser in der Gruppe der 11 mm (14,7%) und 14 mm (18,7%) langen Implantate ebenfalls am häufigsten verwendet, in der Gruppe der 8 mm langen Implantate wurden Implantate mit dem Durchmesser 5,4 mm am häufigsten inseriert (insgesamt 2%; siehe Tabelle 5).

			Implantatlänge			Gesamtsumme
			8	11	14	
Implantatbreite	3,20	Anzahl	0	1	0	1
		% des Gesamtergebnisses		0,7%		0,7%
	3,70	Anzahl	0	0	5	5
		% des Gesamtergebnisses			3,3%	3,3%
	3,80	Anzahl	1	6	20	27
		% des Gesamtergebnisses	0,7%	4,0%	13,3%	18,0%
	4,40	Anzahl	2	10	22	34
		% des Gesamtergebnisses	1,3%	6,7%	14,7%	22,7%
	4,60	Anzahl	1	22	28	51
		% des Gesamtergebnisses	0,7%	14,7%	18,7%	34,0%

5,40	Anzahl	3	8	21	32
	% des Gesamtergebnisses	2,0%	5,3%	14,0%	21,3%
Gesamtsumme	Anzahl	7	47	96	150
	% des Gesamtergebnisses	4,7%	31,3%	64,0%	100,0%

**Tabelle 5: Verteilung der Implantatlängen und -breiten**

Bei den verschiedenen Implantattypen des Implantatsystems wurde das Implantat des Typs ATZ mit Root Design mit 72 mal (48%) am häufigsten verwendet. Der am zweithäufigsten verwendete Implantattyp ist das sogenannte TZP Dynamic Thread 1.1 Implantat mit 34 mal (22,67%). Dies entspricht weniger als einem Viertel aller gesetzten Implantate (siehe Diagramm 1).



**Diagramm 1: Häufigkeiten der verschiedenen Implantattypen**

Die Verteilung der Gewindeform zeigt einen Anteil von 78 Implantaten (52%) des Implantattyps mit der Bezeichnung Dynamic Thread und einen Anteil von 72 Implantaten (48%) des Implantattyps Root Design aller gesetzten Implantate.

#### 4.2.3 Implantationszeitpunkte und Belastungsverteilung

In dieser Studie wurden sowohl Sofort- als auch Spätimplantate untersucht. Auf Sofortimplantate entfallen 113 Implantate (75,3%) in 49 Patienten, spät implantiert wurden 37 Implantate (24,7%) in 15 Patienten. Das heißt 13 Patienten erhielten sowohl Sofort- als auch Spätimplantate. Damit ist der Anteil der Sofortimplantate verglichen mit den Spätimplantaten mehr als drei Mal so groß.

113 Implantate (75,3%) wurden sofortversorgt und 37 Implantate (24,7%) erhielten keine Sofortversorgung (siehe Tabelle 6).

			Implantatzeitpunkt		Gesamtsumme
			Sofortimplantation	Spätimplantation	
Provisorische Belastungsart	Sofortversorgt	Anzahl	87	26	113
		% des Gesamtergebnisses	58,0%	17,3%	75,3%
	keine Belastung	Anzahl	26	11	37
		% des Gesamtergebnisses	17,3%	7,3%	24,7%
Gesamtsumme		Anzahl	113	37	150
		% des Gesamtergebnisses	75,3%	24,7%	100,0%

**Tabelle 6: Kreuztabelle über das Verhältnis von Sofortversorgung zum Implantatzeitpunkt**

#### 4.2.4 Implantatregionen

Im Oberkiefer wurden 96 Implantate inseriert (64%) und im Unterkiefer 54 Implantate (36%; siehe Tabelle 7). In der Region des ersten Molaren wurde insgesamt am häufigsten implantiert (n=39, 26%). Die wenigsten Implantate wurden in der Region der seitlichen Inzisivi inseriert (n= 9, 6%), gefolgt von der Canini-Region (n=10, 6,7%) und der Region der zweiten Molaren (n=16, 10,7%; siehe Diagramm 2 und Tabelle 7).

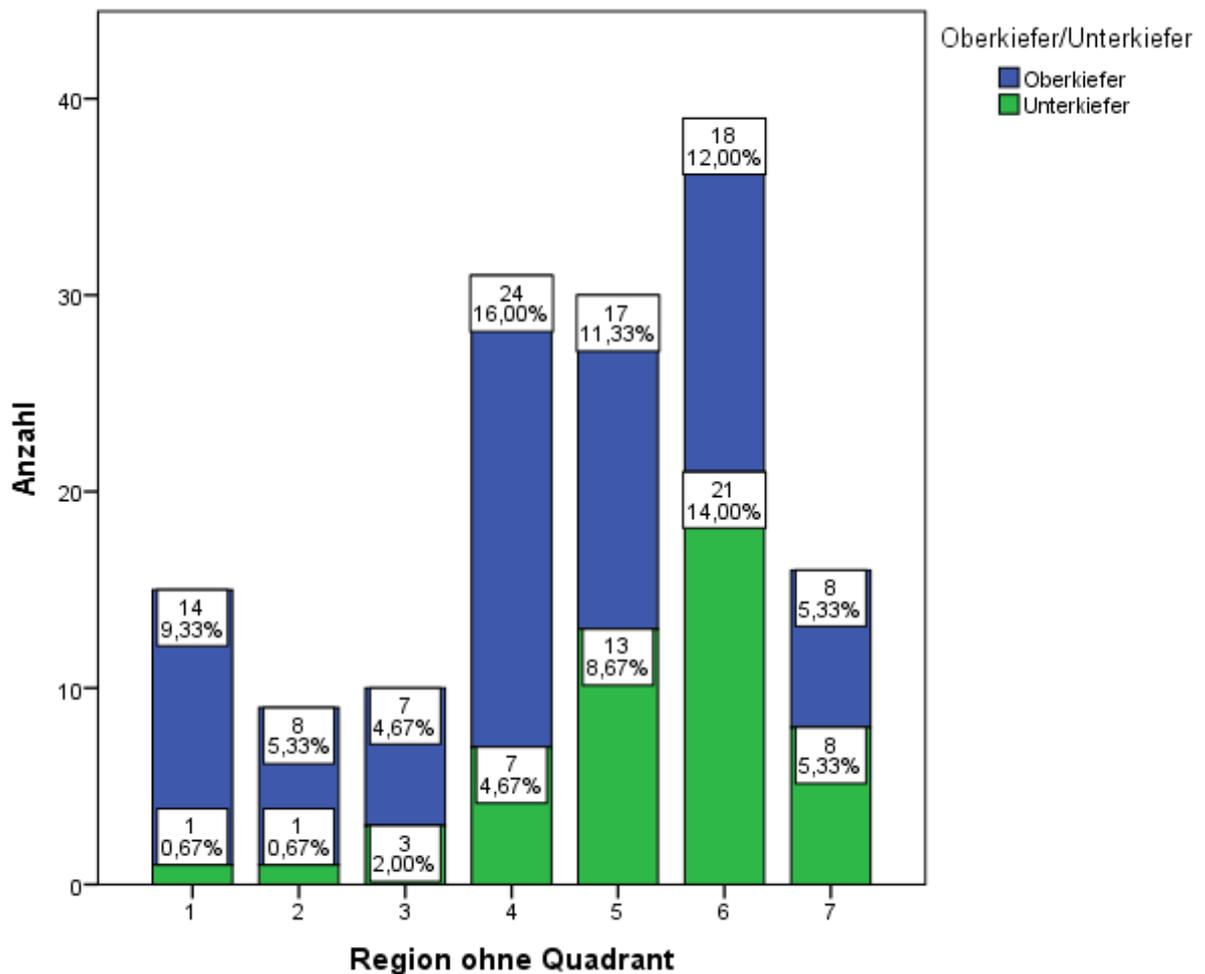


Diagramm 2: Verteilung der Implantationsregion nach Oberkiefer und Unterkiefer

– Ergebnisse –

			Region ohne Quadrant							Gesamtsumme
			1	2	3	4	5	6	7	
Oberkiefer /Unter- kiefer	Ober- kiefer	Anzahl des Gesamtergebnisses	14 9,3%	8 5,3%	7 4,7%	24 16,0%	17 11,3%	18 12,0%	8 5,3%	96 64,0%
	Unter- kiefer	Anzahl des Gesamtergebnisses	1 0,7%	1 0,7%	3 2,0%	7 4,7%	13 8,7%	21 14,0%	8 5,3%	54 36,0%
Gesamtsumme		Anzahl des Gesamtergebnisses	15 10,0%	9 6,0%	10 6,7%	31 20,7%	30 20,0%	39 26,0%	16 10,7%	150 100,0%

**Tabelle 7: Implantanzahl pro Implantatregion**

Anterior (Zahn 1 bis 3 nach internationaler Klassifikation) im Oberkiefer wurden etwas weniger als die Hälfte der Implantate (n=29, 19,3%) als posterior (Zähne distal 3 nach internationaler Klassifikation; n=67; 44,7%) inseriert. Im Unterkiefer wurden anterior 5 Implantate (3,3%) inseriert und posterior 49 (32,7%) – damit wurden posterior fast neun Mal so viele Implantate gesetzt wie anterior (siehe Diagramm 3).

– Ergebnisse –

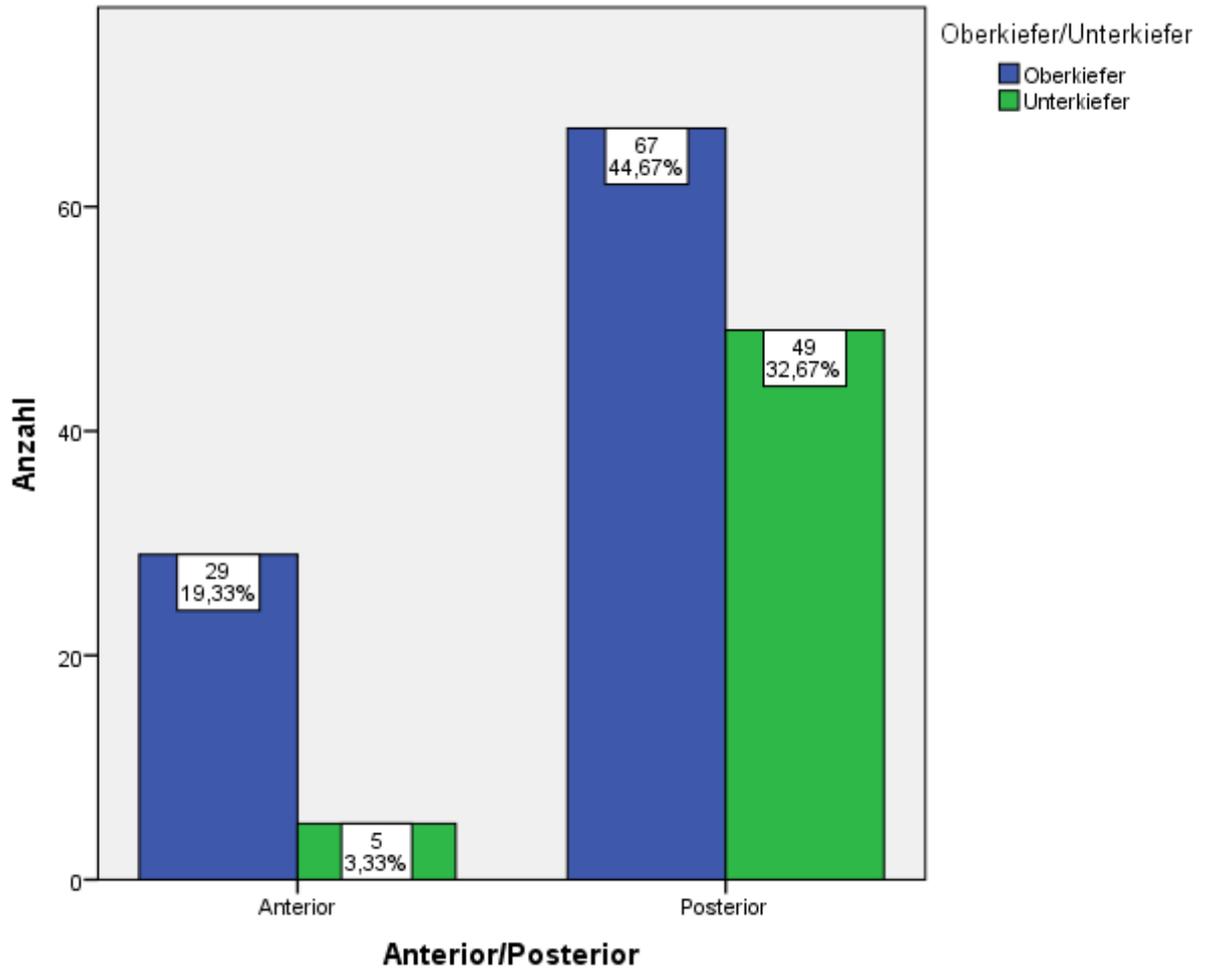


Diagramm 3: Implantanzahl nach anterior/posterior

#### 4.2.5 Implantatverteilung pro Patient

Am häufigsten wurde ein Implantat pro Patient (n=16; 31,37%) inseriert. Mehr als neun Implantate erhielt kein Patient (siehe Tabelle 8).

	Häufigkeit	Prozent
Anzahl 1	16	31,4
Implantate 2	10	19,6
3	9	17,6
4	6	11,8
5	3	5,9
6	3	5,9
7	2	3,9
8	1	2,0
9	1	2,0
Gesamtsumme	51	100,0

**Tabelle 8: Implantatanzahl pro Patient**

#### 4.2.6 Altersverteilung

Die Altersverteilung des Gesamtkollektivs bezogen auf die Implantatanzahl hat einen Mittelwert von 57,2 Jahren, wobei der jüngste Patient 28 Jahre alt war und der älteste 77 Jahre (siehe Diagramm 4).

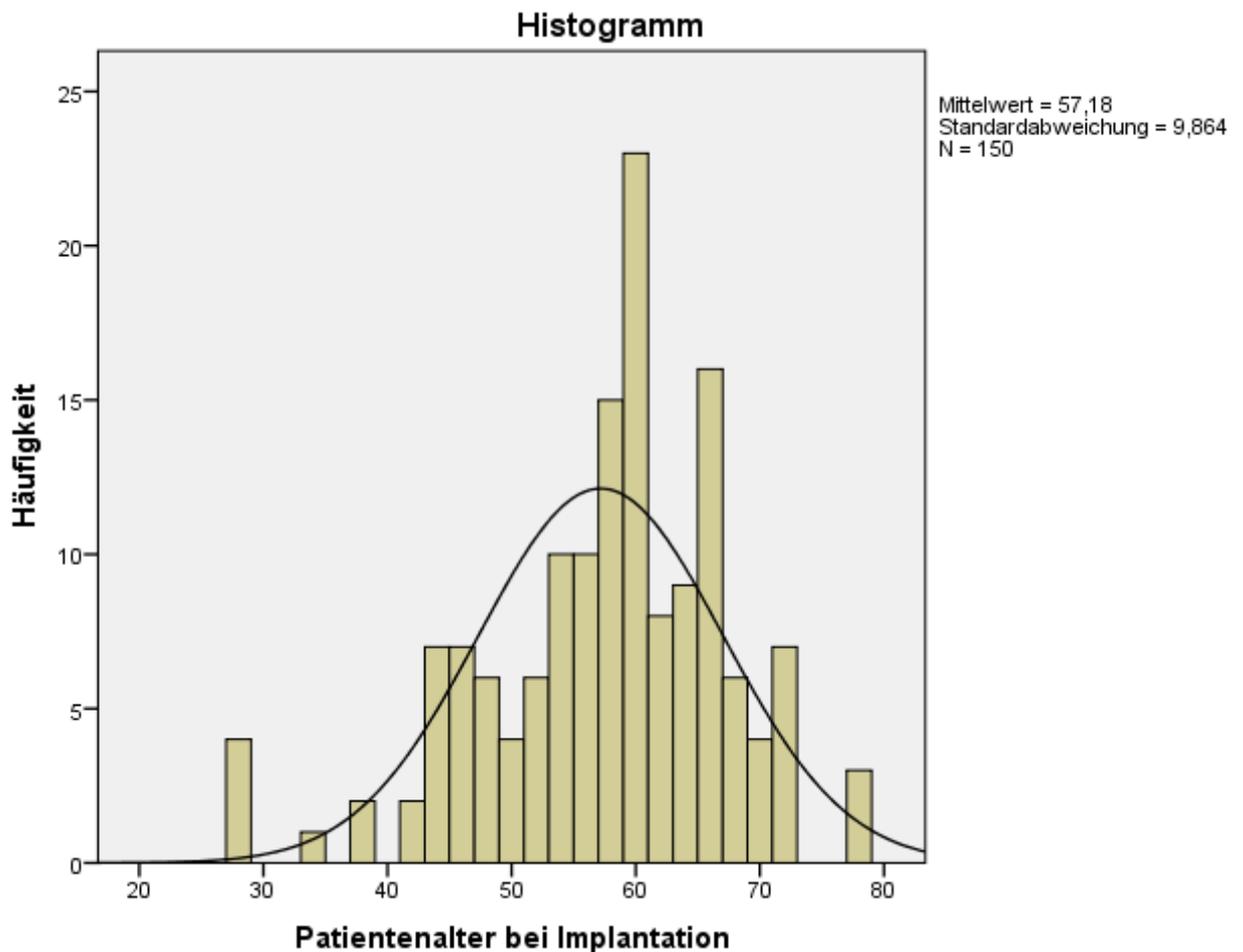


Diagramm 4: Patientenalter als Histogramm

Der Mittelwert der sofort implantierten Patienten liegt bei 56,0 Jahren und der Mittelwert in der Gruppe der spät implantierten Patienten bei 60,8 Jahren.

#### 4.2.7 Zeitdifferenz Operation bis Belastung

Betrachtet man die Zeitdifferenz vom Zeitpunkt der Implantation bis zur ersten Belastung der Implantate beträgt diese für Sofortimplantate im Mittel 37 Tage (Maximum 378, Minimum 0; n=106). Für Spätimplantate beträgt der Mittelwert 56 Tage (Maximum 457, Minimum 0; n=34). Der Gesamtmittelwert bis zur ersten Belastung beträgt 41,6 Tage.

Die Zeitdifferenz vom Zeitpunkt der Implantation bis zur definitiven Belastung beträgt für Sofortimplantate im Mittel 214 Tage (Maximum 457, Minimum 105; n=86) und für Spätimplantate 272 Tage (Maximum 457, Minimum 91; n=24). Der Gesamtmittelwert bis zur definitiven Belastung beträgt 227 Tage. Bislang sind 40 Implantate (27 Sofortimplantate und 13 Spätimplantate) nicht definitiv versorgt (26,7%).

#### 4.2.8 Recallzeiträume

Pro Patient fanden im Mittel 1,8 Recalls statt (n=24 ein Recall und n=1 fünf Recalls). Die Recallzeiträume wurden in dieser Studie in drei Gruppen definiert. Der erste Recallzeitraum entspricht dem ersten halben Jahr nach Implantation. In diesem Zeitraum waren insgesamt 40 Patienten mit 107 Implantaten zu insgesamt 139 Recalls vorstellig.

Der zweite Recallzeitraum entspricht dem Zeitraum  $\frac{1}{2}$  - 1 Jahr nach Implantation. Hier sind insgesamt 19 Patienten mit 60 Implantaten zu insgesamt 72 Recalls erschienen.

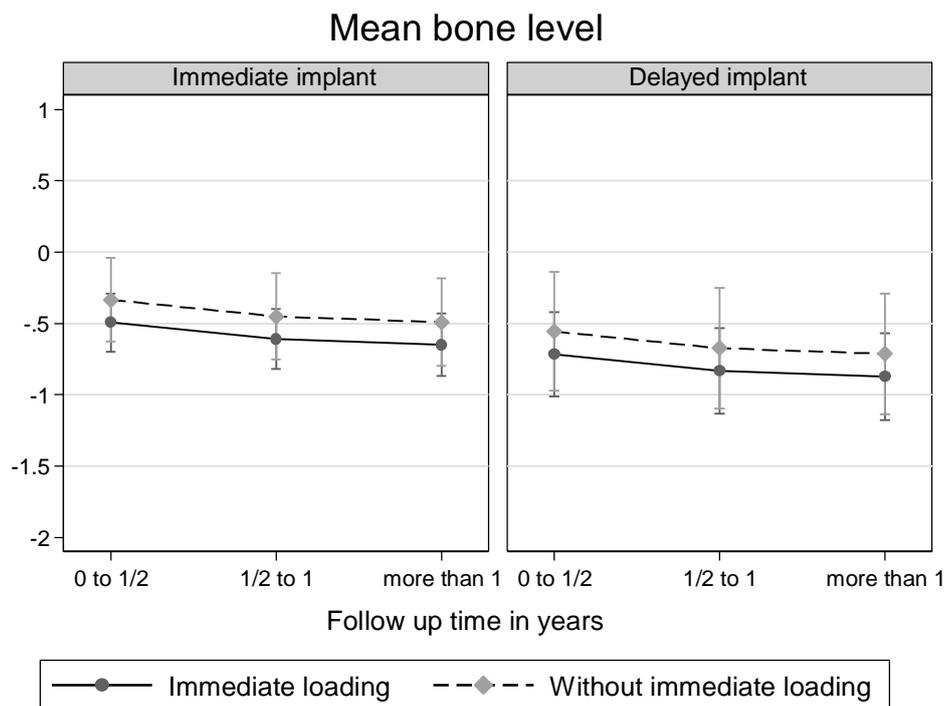
Der dritte Recallzeitraum entspricht dem Zeitraum von mehr als einem Jahr nach Implantation. In diesem Zeitraum wurden 14 Patienten mit 45 Implantaten zu 65 Recalls vorstellig.

#### 4.2.9 Knochenhöhe

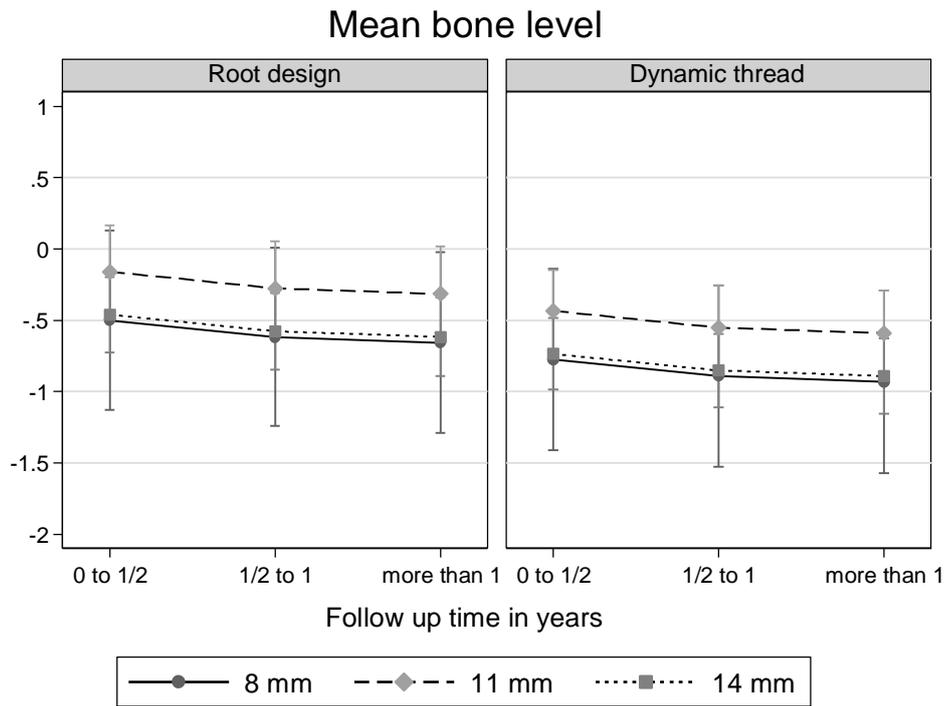
Die Differenz der gemittelten periimplantären Knochenhöhe beträgt im Mittel -0,58 mm für Sofortimplantate und -0,73 für Spätimplantate zum Zeitpunkt des letzten Recalls im Vergleich mit der Knochenhöhe postoperativ (Tabelle 9, Diagramme 5-7).

		BLdiff Mittelwert							
		N	Max.	Min.	Mittelw.	SD	p25	p50	p75
Implantat-zeitpunkt	Sofort-implantation	113	,75	-3,25	-,58	,77	-1,00	-,50	,00
	Spät-implantation	37	,75	-5,50	-,73	1,16	-1,25	-,50	,00

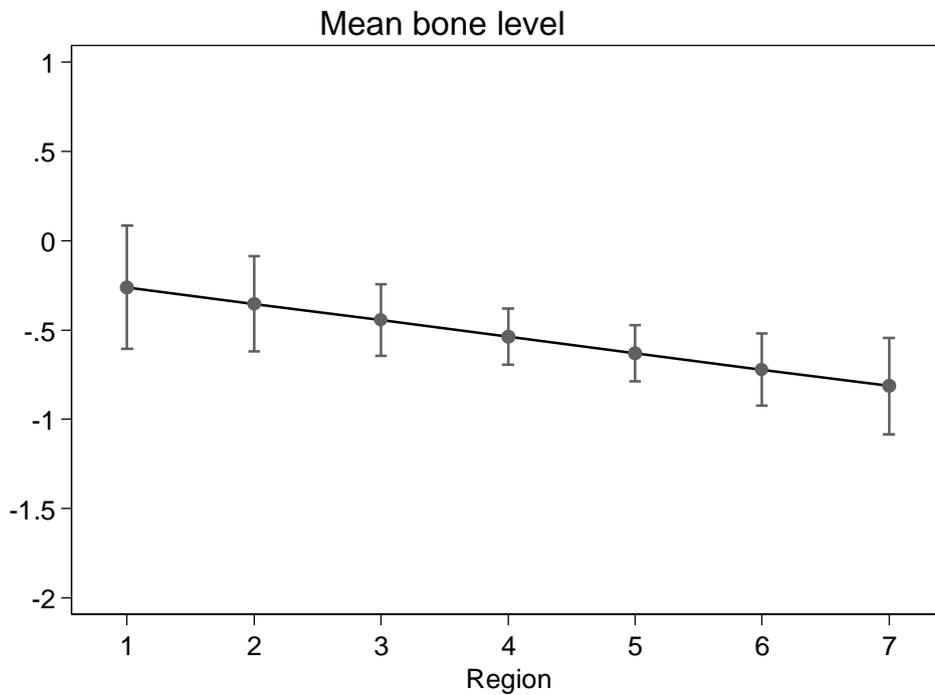
**Tabelle 9: Differenz Knochenhöhe zum Zeitpunkt letztes Recall verglichen mit unmittelbar postoperativem Kontrollbild**



**Diagramm 5: Darstellung des gemittelten periimplantären radiologischen Knochniveaus in Abhängigkeit von Implantatzeitpunkt und provisorischer Belastungsart**



**Diagramm 6: Darstellung des gemittelten periimplantären radiologischen Knochenniveaus in Abhängigkeit von Implantatdesign und -länge**



**Diagramm 7: Lineare Darstellung der Difference from Baseline des gemittelten periimplantären radiologischen Knochenniveaus nach Regionen nach Kovarianzanalyse**

#### 4.2.10 Pink Esthetic Score

Insgesamt wurden 30 Implantate aus 13 Patienten von sechs unabhängigen Zahnärzten (deutsche Approbation) mit unterschiedlichen Spezialisierungen bewertet. Der Mittelwert des Pink Esthetic Scores liegt zum Zeitpunkt der ersten Messung bei 12,14 Punkten und zum Zeitpunkt der zweiten Messung bei 12,3 Punkten. Am häufigsten wurden sowohl zum Zeitpunkt der ersten als auch zweiten Messung 14 Punkte vergeben und am seltensten vier und fünf Punkte (siehe Tabelle 10).

**Kreuztabelle PES Scores / Zeitpunkt der Messung**

			Zeitpunkt der Messung		Gesamtsumme
			1	2	
PES Scores	4	Anzahl	1 (0,6%)	1 (0,6%)	2 (0,6%)
	5	Anzahl	2 (1,1%)	0 (0%)	2 (0,6%)
	7	Anzahl	2 (1,1%)	2 (1,1%)	4 (1,1%)
	8	Anzahl	7 (3,9%)	7 (3,9%)	14 (3,9%)
	9	Anzahl	14 (7,8%)	10 (5,6%)	24 (6,7%)
	10	Anzahl	13 (7,2%)	8 (4,4%)	21 (5,8%)
	11	Anzahl	16 (8,9%)	17 (9,4%)	33 (9,2%)
	12	Anzahl	25 (13,9%)	40 (22,2%)	65 (18,1%)
	13	Anzahl	31 (17,2%)	27 (15%)	58 (16,1%)
	14	Anzahl	69 (38,3%)	68 (37,8%)	137 (38,1%)
Gesamtsumme		Anzahl	180 (100%)	180 (100%)	360 (100%)

**Tabelle 10: Pink Esthetic Scores zu den Zeitpunkten der Messungen**

Zu beiden Messzeitpunkten wurden für die Variable „Weichgewebsfarbe“ am häufigsten 2 Punkte (höchste Punktzahl) vergeben (n=169 und n=168) und für die Variablen „Mesiale Papille“ und „Distale Papille“ am häufigsten 0 Punkte (niedrigste Punktzahl) vergeben (n=12; Tabelle11).

– Ergebnisse –

		Zeitpunkt der Messung			
		1		2	
		Anzahl	Anzahl der Spalten (%)	Anzahl	Anzahl der Spalten (%)
Mesiale Papille	Fehlend (0)	12	6.7%	9	5.0%
	Unvollständig (1)	50	27.8%	55	30.6%
	Vollständig (2)	118	65.6%	116	64.4%
Distale Papille	Fehlend (0)	9	5.0%	12	6.7%
	Unvollständig (1)	57	31.7%	46	25.6%
	Vollständig (2)	114	63.3%	122	67.8%
Höhe marginale Gingiva	Hauptdiskrepanz >2mm (0)	6	3.3%	1	0.6%
	Geringe Diskrepanz 1-2mm (1)	37	20.6%	42	23.3%
	Keine Diskrepanz <1mm (2)	137	76.1%	137	76.1%
Weichgewebkontur	Unnatürlich (0)	7	3.9%	6	3.3%
	Ziemlich natürlich (1)	55	30.6%	47	26.1%
	Natürlich (2)	118	65.6%	127	70.6%
Alveolarfortsatzrückgang	Offensichtlich (0)	5	2.8%	4	2.2%
	Geringfügig (1)	23	12.8%	19	10.6%
	Keiner (2)	152	84.4%	157	87.2%
Weichgewebsfarbe	Offensichtlicher Unterschied (0)	0	0.0%	1	0.6%
	Geringfügiger Unterschied (1)	11	6.1%	11	6.1%
	Kein Unterschied (2)	169	93.9%	168	93.3%
Weichgewebstextur	Offensichtlicher Unterschied (0)	1	0.6%	1	0.6%
	Geringfügiger Unterschied (1)	22	12.2%	18	10.0%
	Kein Unterschied (2)	157	87.2%	161	89.4%

**Tabelle 11: Häufigkeiten von 0, 1 und 2 Punkten**

#### 4.2.10.1 Reliabilität

Weiterhin erfolgte eine Überprüfung des intra- und innerobserver Agreement anhand der Messungen des Pink Esthetic Scores mit Hilfe des Cronbachs Alpha, welches dazu dient, die Reliabilität oder interne Konsistenz eines Messinstruments zu bestimmen.

Für die Intraobserver-Übereinstimmung ergeben sich die in Tabelle 12 ersichtlichen Werte.

Variable	Cronbachs Alpha	Anzahl Items
Mesiale Papille	0,808	6
Distale Papille	0,638	6
Höhe marginale Gingiva	0,742	6
Weichgewebkontur	0,640	6
Alveolarfortsatzrückgang	0,493	6
Weichgewebsfarbe	-0,420	6
Weichgewebstextur	0,082	6

**Tabelle 12: Reliabilität der Intraobserver-Übereinstimmung**

Für die Interobserver-Übereinstimmung ergeben sich folgende Werte nach Cronbachs Alpha (Tabelle 13):

Variable	Cronbachs Alpha	Anzahl Items
Mesiale Papille	0,883	2
Distale Papille	0,789	2
Höhe marginale Gingiva	0,840	2
Weichgewebkontur	0,817	2
Alveolarfortsatzrückgang	0,868	2
Weichgewebsfarbe	0,958	2
Weichgewebstextur	0,563	2

**Tabelle 13: Reliabilität der Interobserver-Übereinstimmung**

In der Literatur wird üblicherweise ein Wert von 0,7 als Schwellenwert angegeben, um von einer intern konsistenten Skala auszugehen (Schmitt,

1996). Einheitliche Angaben diesbezüglich gibt es nicht (Krüger et al., 2014). Werte < 0,5 sind inakzeptabel und zeugen von keiner internen Konsistenz.

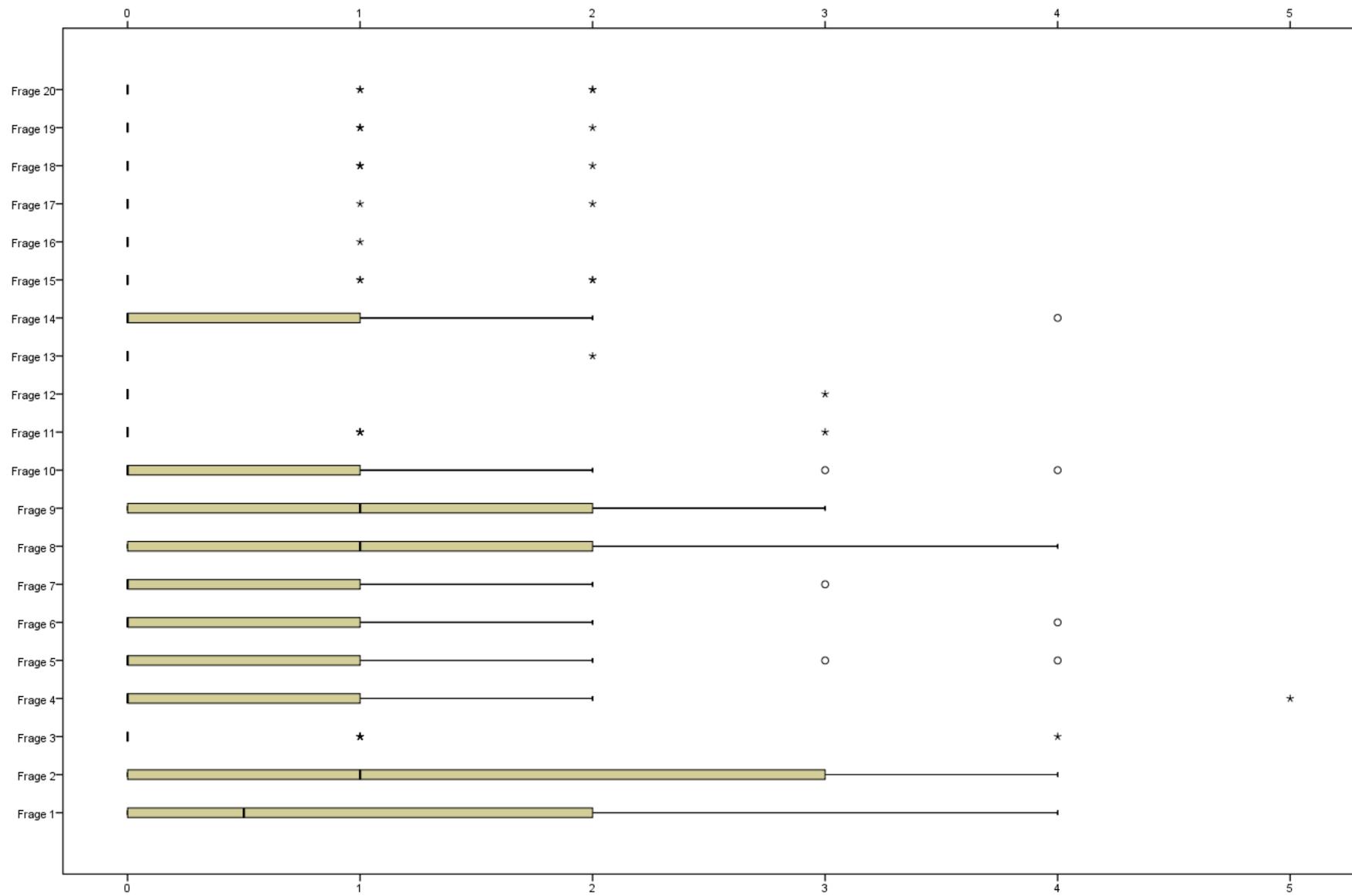
#### 4.2.11 OHIP Fragebogen

Der OHIP Fragebogen wurde prospektiv an 41 Patienten mit Sofortimplantaten (vierzehn Patienten wurden nicht erreicht, davon 11 Patienten, die weder die deutsche noch die schweizerische Staatsbürgerschaft hatten) und drei Patienten haben die Teilnahme von vornherein abgelehnt) nach vorheriger persönlicher oder telefonischer Aufklärung verschickt oder ausgehändigt und es ergab sich eine Rücklaufquote von n=22 (53,7%).

Insgesamt ergibt sich ein Durchschnitt von 0,54 Punkten für alle Fragen aller rückgesendeten Fragebögen. Der höchste Mittelwert trat bei Frage zwei auf mit 1,59 Punkten und den niedrigsten Mittelwert erzielte Frage 16 mit 0,05 Punkten (siehe Tabelle 14 und Diagramm 8).

Statistiken										
		Frage 1	Frage 2	Frage 3	Frage 4	Frage 5	Frage 6	Frage 7	Frage 8	Frage 9
N	Gültig	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Mittelwert		.86	1,59	.36	.77	.77	.68	.59	1,18	.86
Standardabweichung		1.082	1.368	.902	1.232	1.110	1.041	.854	1.140	.941
		Frage 10	Frage 11	Frage 12	Frage 13	Frage 14	Frage 15	Frage 16	Frage 17	Frage 18
N	Gültig	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Mittelwert		.64	.32	.14	.09	.73	.27	.05	.14	.23
Standardabweichung		1.136	.716	.640	.426	1.032	.631	.213	.468	.528
		Frage 19	Frage 20							
N	Gültig	22	22							
Mittelwert		.23	.27							
Standardabweichung		.528	.631							

**Tabelle 14: Auswertungsübersicht des OHIP-Fragebogens**



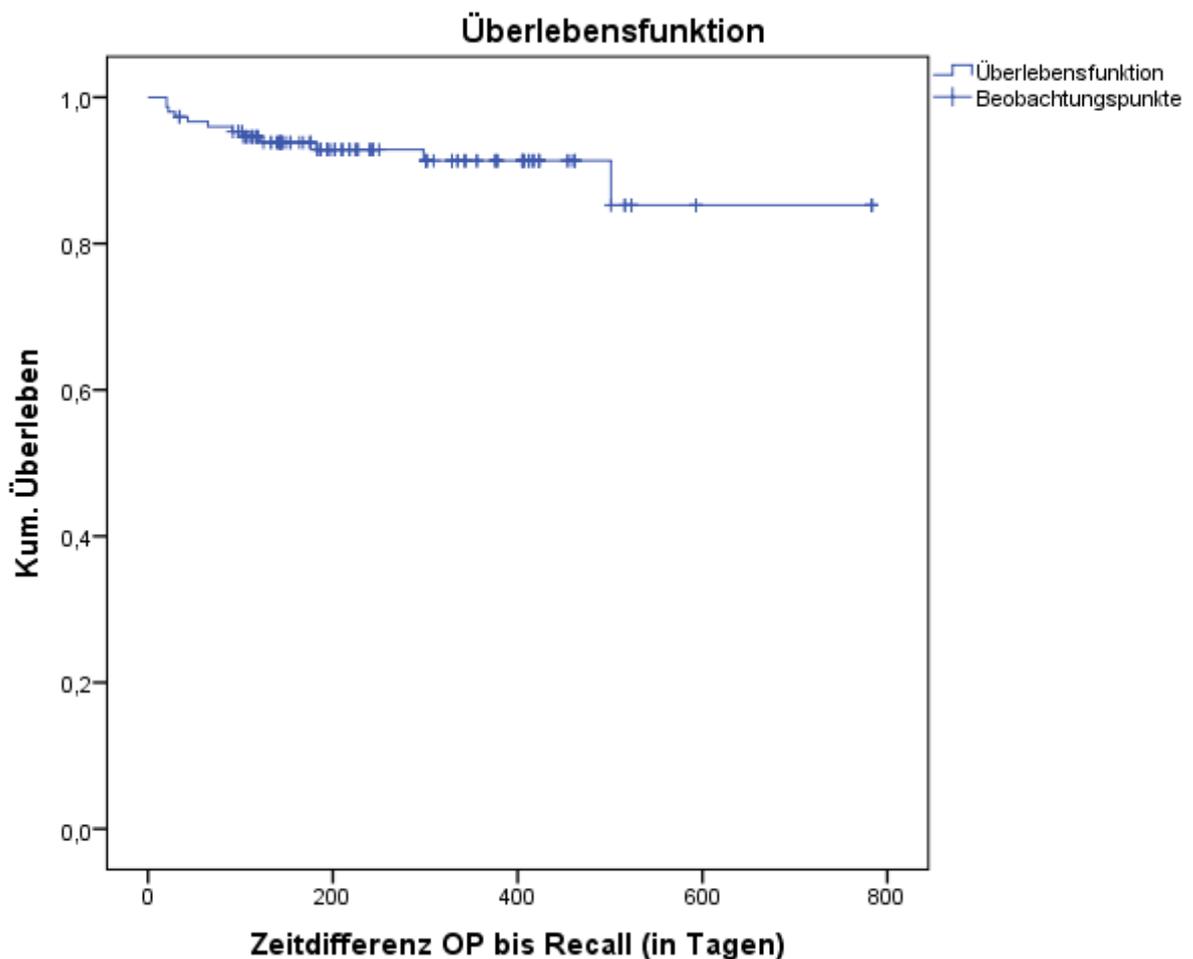
67 Diagramm 8: Boxplot OHIP-Fragebogen Ergebnisse\*

*\*Der Balken stellt die mittleren 50% dar und der schwarze Balken den Median. Ausreißer werden als kleine Kreise dargestellt und sind Werte, die zwischen dem 1,5fachen und 3fachen vom 25%-Perzentil nach unten oder vom 75%-Perzentil nach oben abweichen. Extreme Werte werden als kleine Kreise dargestellt und ihr Abstand vom 25 beziehungsweise 75%-Perzentil beträgt mehr als das Dreifache der Boxhöhe.*

### 4.3 Überlebensstatistik

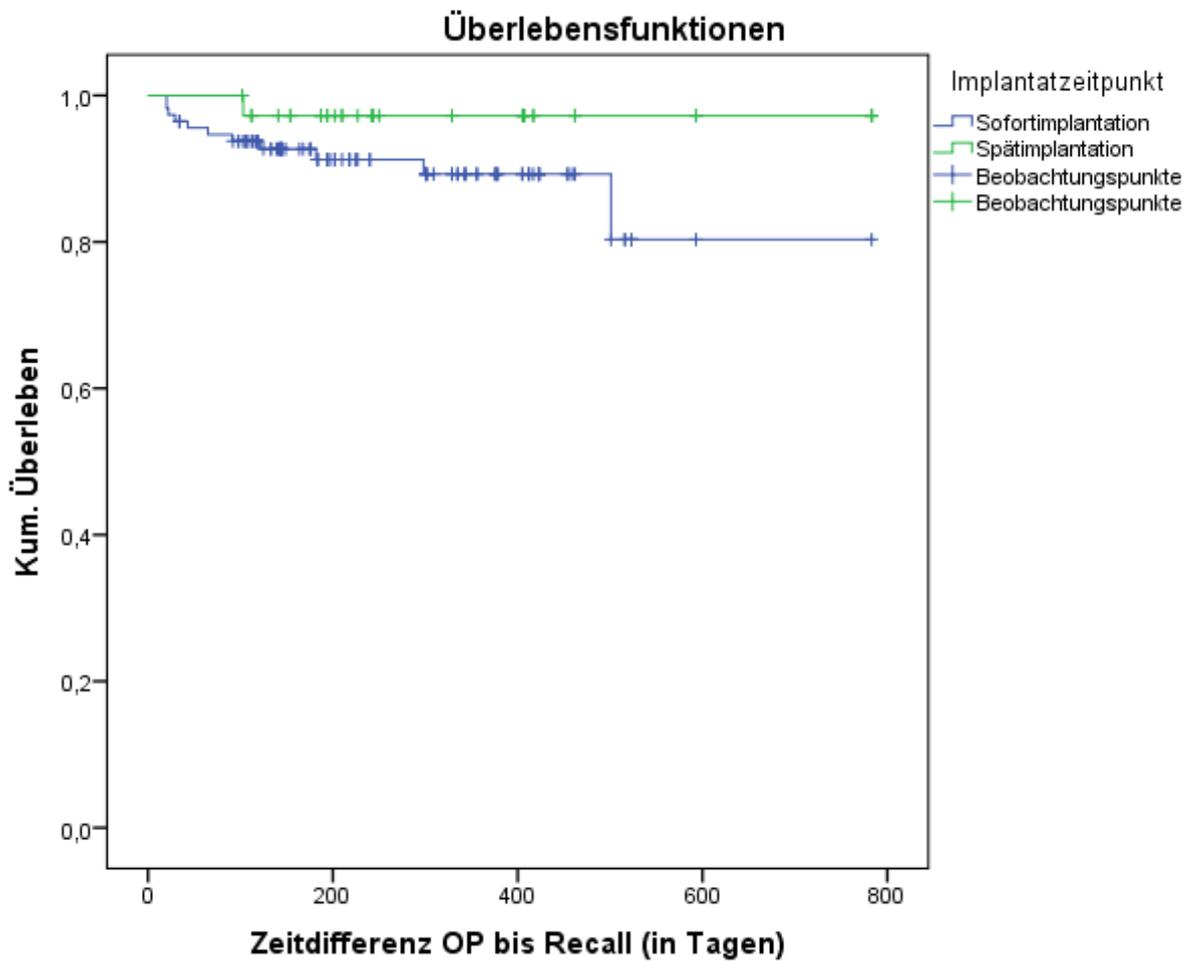
Zur Beurteilung der Verweilwahrscheinlichkeit der Implantate erfolgte eine Analyse der Überlebensfunktion nach Kaplan und Meier (Kaplan und Meier, 1958).

Bezogen auf das Gesamtkollektiv wurden 12 Implantate im Untersuchungszeitraum entfernt. Dies ergibt eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 92% nach 25,7 Monaten (783 Tage; siehe Diagramm 9).



**Diagramm 9: Darstellung der Überlebensfunktion des Gesamtkollektivs**

Bei Betrachtung der Überlebensfunktion in Abhängigkeit des Implantatzeitpunkts wird für Sofortimplantate eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 90,3% bei 11 Explantationen deutlich und für Spätimplantate eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 97,3% bei einer Explantation nach 25,7 Monaten (783 Tage; siehe Diagramm 10).



**Diagramm 10:** Darstellung der Überlebensfunktion in Abhängigkeit des Implantatzeitpunkts

Die Betrachtung der Überlebensfunktion in Abhängigkeit von der provisorischen Belastungsart zeigt eine Verweilwahrscheinlichkeit von 93,5% für sofortversorgte Implantate (7 Explantationen) nach 19,5 Monaten (593 Tage) und von 86,5% für Implantate ohne Sofortversorgung (5 Explantationen) nach 25,7 Monaten (783 Tage; Diagramm 11).

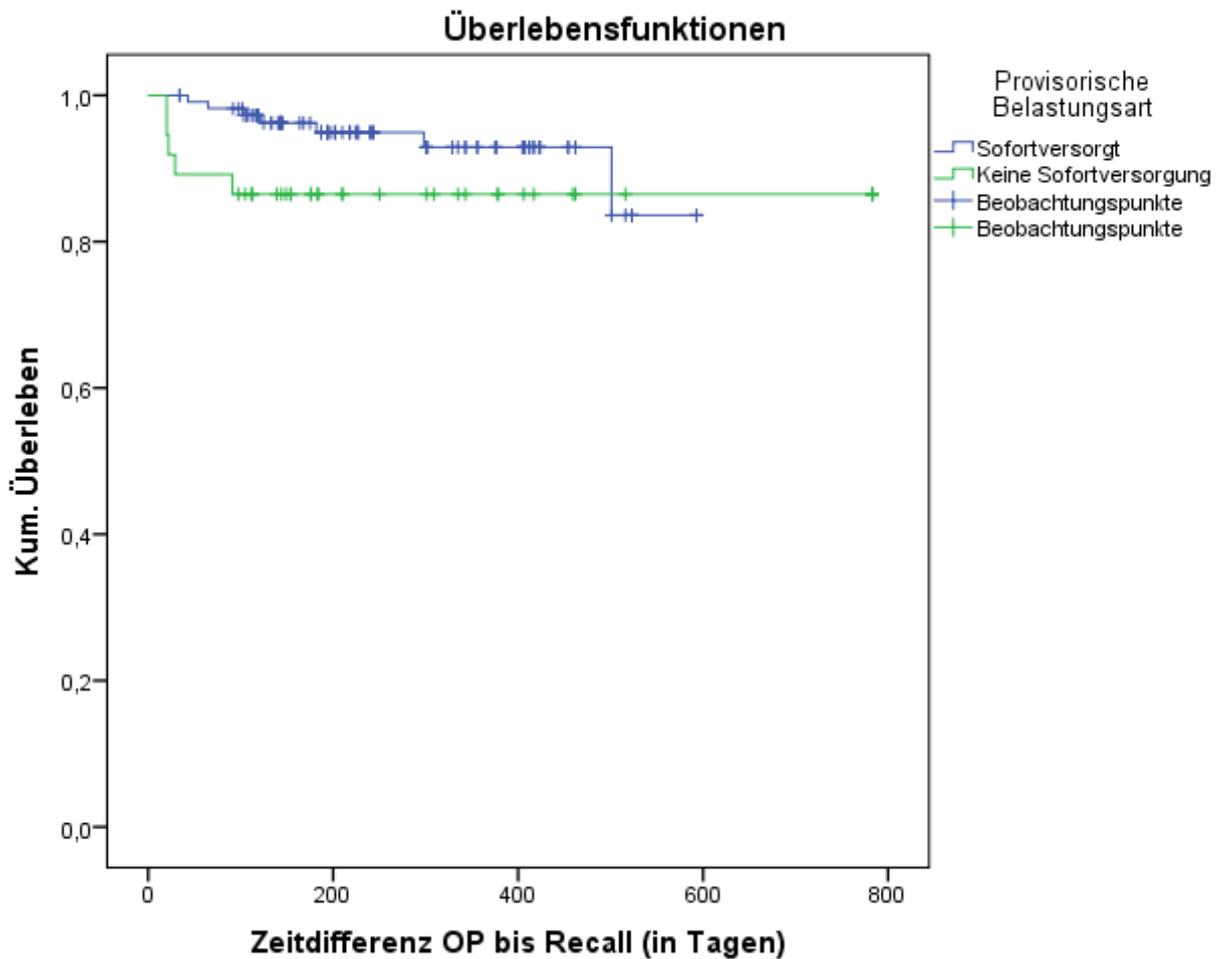


Diagramm 11: Darstellung der Überlebensfunktion in Abhängigkeit des Belastungszeitpunkts

#### 4.4 Verluste

Bei 150 Implantaten wurden bis zum Ende des Untersuchungszeitraums insgesamt 12 Implantate (8%) in 11 Patienten (21,57%) explantiert.

Die Zeit bis zum Implantatverlust lag im Mittel bei 125 Tagen bezogen auf 12 Implantate (siehe Tabelle 15 und Diagramm 12). Die Zeit bis zum Implantatverlust in Bezug auf 11 Patienten lag im Mittel bei 135 Tagen (Diagramm 13).

Nach 20 Tagen wurden die ersten beiden Implantate in einem Patienten explantiert und nach 501 Tagen ging das letzte Implantat verloren (Tabelle 15).

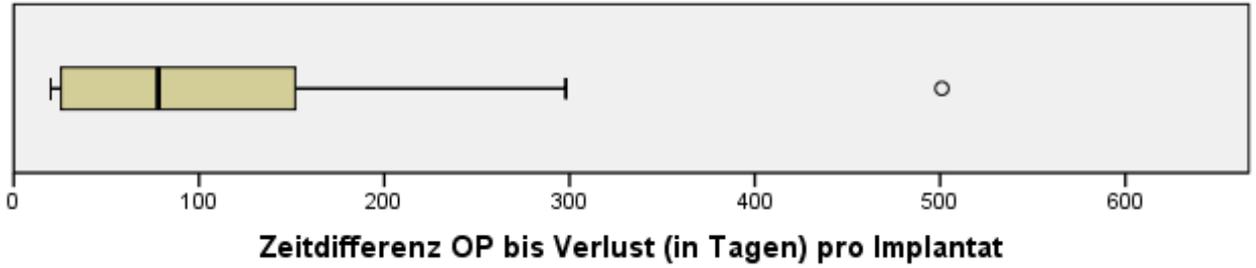


Diagramm 12: Boxplot Zeitdifferenz bis Verlust bezogen auf Implantate

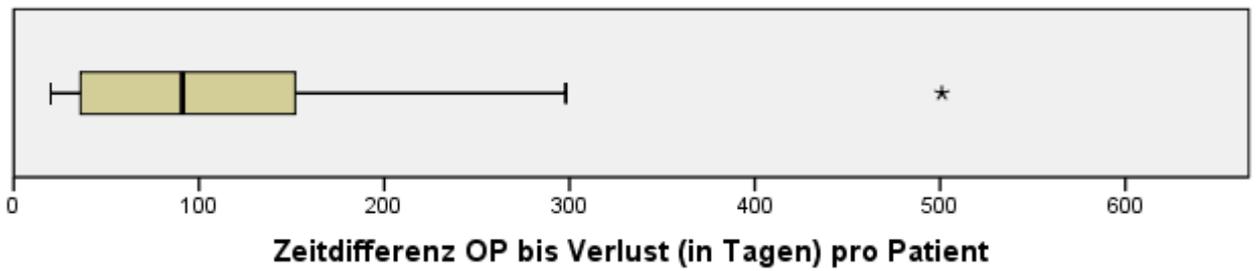


Diagramm 13: Boxplot Zeitdifferenz bis Verlust bezogen auf Patienten

Zeitdifferenz bis Verlust

		Häufigkeit
Tage	20	2
	22	1
	29	1
	43	1
	65	1
	91	1
	103	1
	122	1
	182	1
	298	1
	501	1
	Gesamtsumme	12

Tabelle 15: Übersicht der Zeitpunkte einzelnen Implantatverluste

#### 4.4.1 Verlustanalyse

Es gingen 11 Sofortimplantate (91,67%) und 1 Spätimplantat (8,33%) verloren. Bei Betrachtung der Verluste in Abhängigkeit des Implantatdesigns fällt auf, dass 10 Implantate des Typs Dynamic Thread (83,33%) und 2 Implantate des Typs Root Design (16,67%) verloren gingen.

Weiterhin erfolgte eine Verlustanalyse anhand der Implantatparameter (siehe Tabelle 16).

Implantattyp und -breite		Verlust und Implantatlängen								
		Überlebende Implantate				Verlust				
		8	11	14	Total	8	11	14	Total	
ATZ RD	3,7			5	5				0	
	3,8			1	1				0	
	4,4	2	9	22	33		1		1	
	5,4	2	8	21	31	1			1	
ATZ DT	3,8		3	6	9				0	
	4,6		5	7	12			1	1	
TZP DT Monkey 1.1	3,8			10	10			2	2	
	4,6		6	11	17			5	5	
TZP DT 2.0	3,8	1	3	1	5				0	
	4,6	1	9	4	14		2		2	
TZP DT N (Narrow)	3,2		1		1				0	
Gesamtsumme			6	44	88	138	1	3	8	12

**Tabelle 16: Verlustanalyse**

#### 4.5 Erfolgsstatistik

Unter Berücksichtigung der in dieser Studie herangezogenen Erfolgseinteilung nach Misch et al. liegt der Implantaterfolg (Implant Quality Scale Group I, Success) aller Implantate ohne Dropouts zum Zeitpunkt des letzten Recalls bei n=132 Implantaten (88%) und n=35 Patienten (68,6%) (Misch et al., 2008). In die Implant Quality Scale Group II (Satisfactory survival) fallen zum Zeitpunkt des letzten Recalls n=5 Implantate (3,3%) und n=4 Patienten (7,8%). In die Implant Quality Scale Group III (Compromised survival) fällt 1 Implantat (0,7%)

in einem Patienten (2%) und in die Implant Quality Scale Group IV (Failure) fallen 12 verloren gegangene Implantate (8,0%) in n=11 Patienten (21,6%).

In dieser Studie werden die Gruppen III und IV als Misserfolg gewertet. Demnach liegt der Misserfolg auf Implantatebene zum Zeitpunkt des letzten Recalls mit n=13 Implantaten bei 8,7% und die Erfolgsrate mit n=137 Implantaten bei 91,3% (siehe Tabelle 17). Auf Patientenebene liegt der Misserfolg mit 12 Patienten bei 23,5% und die Erfolgsrate mit 39 Patienten bei 76,5%.

**Erfolgskriterium > 2 auf Implantatebene**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozent	Kumulative Prozente
Gültig	Erfolg	137	91,3	91,3	91,3
	Misserfolg	13	8,7	8,7	100,0
	Gesamtsumme	150	100,0	100,0	

**Tabelle 17: Misserfolgsrate auf Implantatebene**

Bei Betrachtung des Erfolgs unter Berücksichtigung der Belastungsart fällt ein sofortbelastetes Implantat (1 Patient) in die Gruppe III und sieben (6 Patienten) in die Gruppe IV. Bei den Spätbelasteten Implantaten fallen unter Berücksichtigung des Misserfolgs 5 Implantate (5 Patienten) in die Gruppe IV. Bei Betrachtung des Erfolgs unter Berücksichtigung des Implantatzeitpunkts fällt je ein Spätimplantat in die Gruppen III (1 Patient) und IV (1 Patient). Von den Sofortimplantaten fallen unter Berücksichtigung des Misserfolgs 11 Implantate (10 Patienten) in die Gruppe IV (siehe Tabellen 18 und 19).

– Ergebnisse –

		Erfolg pro Patient letztes Recall				
		Implant Quality Scale Group I, Success	Implant Quality Scale Group II, Satisfactory survival	Implant Quality Scale Group III, Compromised survival	Implant Quality Scale Group IV, Failure	Gesamt
		Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Implantatzeitpunkt	Sofortimplantation	31 (60,8%)	3 (5,9%)	1 (2%)	10 (19,6%)	42 (88,3%)
	Spätimplantation	4 (7,8%)	1 (2%)	0 (0%)	1 (2%)	9 (11,8%)
	Gesamt	35 (68,6%)	4 (7,8%)	1 (2%)	11 (21,6%)	51 (100%)
Provisorische Belastungsart	Teilbelastet	24 (47,1%)	2 (3,9%)	1 (2%)	6 (11,8%)	33 (64,7%)
	keine Belastung	11 (21,6%)	2 (3,9%)	0 (0%)	5 (9,8%)	18 (35,3%)
	Gesamt	35 (68,6%)	4 (7,8%)	1 (2%)	11 (21,6%)	51 (100%)

**Tabelle 18: Erfolgsanalyse auf Patientenebene**

– Ergebnisse –

		Erfolg pro Implantat letztes Recall				
		Implant Quality Scale Group I (Success)	Implant Quality Scale Group II (Satisfactory survival)	Implant Quality Scale Group III (Compromised survival)	Implant Quality Scale Group IV (Failure)	Gesamt
		Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Implantatzeitpunkt	Sofortimplantation	98 (65,3%)	4 (2,7%)	0 (0%)	11 (7,3%)	113 (75,3%)
	Spätimplantation	34 (22,7%)	1 (0,7%)	1 (0,7%)	1 (0,7%)	37 (24,7%)
	Gesamt	132 (88%)	5 (3,3%)	1 (0,7%)	12 (8,0%)	150 (100%)
Provisorische Belastungsart	Teilbelastet	103 (68,7%)	2 (1,3%)	1 (0,7%)	7 (4,7%)	113 (75,3%)
	keine Belastung	29 (19,3%)	3 (2,0%)	0 (0%)	5 (3,3%)	37 (24,7%)
	Gesamt	132 (88%)	5 (3,3%)	1 (0,7%)	12 (8%)	150 (100%)

**Tabelle 19: Erfolgsanalyse auf Implantatebene**

#### 4.6 Signifikanztests

Die Einflüsse des Implantationszeitpunkts (Hypothese 1), des Versorgungszeitpunkts (Hypothese 2), des Implantatdesigns (Hypothese 3), der Implantatparameter (Hypothese 4) und der Implantatregion (Hypothese 5) auf das gemittelte periimplantäre radiologische Knochenniveau wurden auf ihre Signifikanz untersucht. Des Weiteren wurden die Einflüsse des Implantatzeitpunkts, der provisorischen Belastungsart und der Gewindeform auf den Implantaterfolg auf ihre Signifikanz untersucht. Zur Bestimmung der Signifikanz wurde ein Likelihood ratio Test angewendet, in dem sich gemischte Modelle mit Messwiederholung auf bestimmte Restriktionen hin überprüfen lassen.

##### 4.6.1 Einfluss auf das periimplantäre Knochenniveau

Für den Implantatzeitpunkt ( $p=0,225$ ), die provisorische Belastungsart ( $p=0,192$ ), das Implantatdesign ( $p=0,322$ ), die Implantatlänge (11mm:  $p=0,217$ ; 14mm:  $p=0,862$ ), die Implantatbreite ( $p=0,419$ ) ergeben sich keine statistisch signifikanten Einflüsse auf das gemittelte periimplantäre radiologische Knochenniveau.

Ein statistisch signifikanter Einfluss auf das periimplantäre radiologische Knochenniveau ergibt sich für die gruppierten Recallzeiträume von 1/2-1 Jahr ( $p=0,023$ ) und >1 Jahr ( $p=0,011$ ) im Vergleich zum Zeitraum von 0-1/2 Jahr nach Implantation. Zur Überprüfung des Einflusses der Implantatregion auf das periimplantäre radiologische Knochenniveau erfolgte eine Kovarianzanalyse. Es ergab sich ein statistisch signifikanter Einfluss mit einer Zunahme des periimplantären radiologischen Knochenabbaus von 0,09 mm je weiter distal die Region liegt ( $p=0,043$ ; siehe Tabelle 20 und Diagramme 5-7).

Knochendifferenz gemittelt	Coef.	Std. Err.	z	p> z	95% Conf. Interval	
Recallzeiträume gruppiert (vgl. mit 0-1/2 Jahr)						
1/2-1 Jahr	-0,12	0,05	-2,27	<b>0,023</b>	-0,22	-0,02
>1 Jahr	-0,16	0,06	-2,54	<b>0,011</b>	-0,28	-0,04
Implantatzeitpunkt (vgl. mit Sofortimplantation)						
Spätimplantation	-0,21	0,17	-1,21	<b>0,225</b>	-0,55	0,13
Prov. Belastungsart (vgl. mit Sofortversorgung)						
Keine Sofortbelastung	0,24	0,18	1,31	<b>0,192</b>	-0,12	0,59
Gewindeform (vgl. mit Root Design)						
Dynamic Thread	-0,2	0,2	-0,99	<b>0,322</b>	-0,6	0,2
Region (linear modelliert)	-0,09	0,05	-2,03	<b>0,043</b>	-0,18	0,0
Breite	0,13	0,16	0,81	<b>0,419</b>	-0,19	0,45

**Tabelle 20: Detaildarstellung der Signifikanztests**

Weiterhin erfolgte ein paarweiser Vergleich der jeweiligen Einflussparameter auf das periimplantäre radiologische Knochenniveau, der ergab, dass zwischen den Implantatlängen 14 mm vs. 11 mm ein schwach signifikanter Unterschied vorliegt ( $p=0,046$ ), der sich nicht als klinisch relevant herausstellt. Es wurden sämtliche Implantatlängen paarweise miteinander verglichen. Dies bedeutet, dass Implantate mit der Länge 14 mm mehr Knochenabbau aufweisen als Implantate der Länge 11 mm.

#### 4.6.2 Einfluss auf den Implantaterfolg

Die Signifikanztests zur Überprüfung der genannten Parameter auf den Implantaterfolg ergaben für den Implantatzeitpunkt ( $p=0,17$ ) und die provisorische Belastungsart ( $p=0,705$ ) keinen statistisch signifikanten Einfluss. Für das Implantatdesign (die Gewindeform) ergibt sich ein statistisch signifikanter Einfluss mit einem p-Wert von 0,021 und einer Odds Ratio von 6,64. Dies bedeutet ein mehr als sechsmal höheres Risiko für den Implantatmisserfolg der Gewindeform Dynamic Thread.

## 5 Diskussion

In dieser Studie wurde einerseits der Einfluss intrinsischer wie extrinsischer Faktoren auf spät- und sofortbelastete Sofort- und Spätimplantate des SDS-Keramikimplantatsystems untersucht. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede auf das periimplantäre radiologische Knochenniveau für den Implantatzeitpunkt, die provisorische Belastungsart, das Implantatdesign sowie die Implantatbreite. Ein signifikanter Einfluss ergab sich lediglich bei den Implantatlängen 14mm verglichen mit 11mm.

Der Knochenabbau der gruppierten Recallzeiträume von ½-1 Jahr und >1 Jahr ist im Vergleich zum ersten halben Jahr statistisch signifikant geringer.

Nach rund 26 Monaten maximaler Nachbeobachtungszeit ergibt sich eine Überlebensrate von 92% und eine Erfolgsrate von 91,3%.

Für den Implantatzeitpunkt und die provisorische Belastungsart ergibt sich kein statistisch signifikanter Einfluss auf den Implantaterfolg. Ein statistisch signifikanter Einfluss ergibt sich für die Gewindeform „Dynamic Thread“.

Der mittlere Pink Esthetic Score lag bei 12,14 (1. Messung) und 12,3 (2. Messung) Punkten.

### 5.1 Limitationen

In dieser multizentrischen Studie wurden die Daten von Patienten aus drei verschiedenen Behandlungszentren untersucht. Die Anfertigung der auszumessenden Röntgenaufnahmen und Fotos fand zu unregelmäßigen Zeitpunkten statt und bei 24 Patienten (47%) fand lediglich ein Recall statt.

Aus den Daten dieser Aufnahmen wurden drei Recallgruppen gebildet mit Halbjahreszeiträumen ab Implantation, die aufschlussreichere Aussagen über den Verlauf des Knochenniveaus erlauben (siehe Abbildungen 5 und 6).

Das letzte Recall fand im Mittel nach 268,58 Tagen statt (n=150), wobei im Zeitraum nach über einem Jahr noch 14 Patienten mit 45 Implantaten vorstellig waren. Eine zuverlässige Aussage über die statistische Signifikanz des Langzeiterfolgs ist dementsprechend nicht möglich. Dennoch ist die Qualität der Daten als hoch einzuschätzen, da nach Kenntnis des Verfassers dieser Monografie bis zu diesem Zeitpunkt keine vergleichbare Studie bekannt ist und

andere Publikationen mit Keramikimplantaten deutlich geringere Fallzahlen vorweisen. Darüber hinaus werden bis zu einem Zeitraum von über einem Jahr bereits aussagekräftige Ergebnisse deutlich, da bis zu diesem Zeitpunkt das Bone Remodelling bereits zum Großteil stattgefunden hat und danach in der Regel stagniert. Des Weiteren ist bei den in dieser Studie integrierten Fällen eine Einhaltung des chirurgischen, sofortbelastungs- und prothetischen Protokolls nach Herstellerangaben sichergestellt und gewährleistet dementsprechend eine hohe Aussagekraft. Diesbezüglich muss jedoch berücksichtigt werden, dass In dieser Studie Herr Doktor Karl Ulrich Volz maßgeblich an der Durchführung des chirurgischen Protokolls sowie des Sofortbelastungsprotokolls und prothetischen Protokolls der retrospektiv untersuchten Fälle beteiligt war. Da Herr Doktor Volz Entwickler des SDS-Keramikimplantatsystems ist, handelt es sich hierbei um eine Limitation dieser Studie.

Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, ist es möglich, dass viele Implantate sowohl nach erfolgreicher problemloser als auch nach problematischer Einheilung mit erhöhtem Knochenverlust, Mukositis, Periimplantitis etc. nicht weiter nachuntersucht werden konnten und dementsprechend keine Röntgenbilder und Fotos mehr angefertigt wurden und der reale mittlere Knochenabbau nicht bekannt ist. Bei 58 Patienten konnten von 7 Patienten (12,1%) keine Verlaufsdaten für das Knochenlevel und das Gingivaniveau ermittelt werden. Daher wurden die Daten dieser Patienten aus dem Studienteil zur Bestimmung des röntgenologischen Knochniveaus und Pink Esthetic Scores ausgeschlossen. Drei dieser Patienten sind nicht mehr erschienen und bei vier von ihnen lag kein Röntgenbild oder Foto der Situation im Verlauf vor. Bei allen genannten Fällen konnten die entsprechenden Implantate sowohl bei unproblematischer als auch bei problematischer Einheilung nicht weiter nachuntersucht werden. Insofern ist es möglich, dass das ermittelte Ergebnis bei unproblematischer Einheilung negativer ausfällt als das tatsächliche Ergebnis unter Berücksichtigung dieser Dropouts. Gegenteiliges gilt entsprechend für eine problematische Einheilung. Insbesondere bei Betrachtung der Ergebnisse der Patientenbefragung muss

diese Tatsache berücksichtigt werden, da hier eine Befragung aller Patienten vorgenommen wurde und das Ergebnis dieser Studienteils entsprechend positiv oder negativ abweichen kann.

Eine weitere Limitation dieser Studie ist darin begründet, dass bis zum Abschluss der Studie 26,7% aller Implantate noch nicht definitiv belastet sind.

Darüber hinaus stellt die Messung dreidimensionaler Strukturen auf zweidimensionalen Röntgenbildern, wie in dieser Studie durchgeführt, eine Limitation dar, da es sich insbesondere bei der Panoramaschichtaufnahme um eine lineare Verwischungstomografie handelt, die in der Ebene der scharfen Darstellung alle Strukturen überlagert abbildet. In Bezug auf die Messung des periimplantären Knochenniveaus um Implantate bedeutet dies, dass lediglich das mesiale und distale Knochenniveau abgebildet wird und das bukkale sowie orale Knochenniveau durch das strahlendichte Implantat überlagert wird. Eine Beurteilung dieses Knochenniveaus ist dementsprechend nicht möglich. Außerdem besteht bei Panoramaschichtaufnahmen durch die jeweils geringfügig abweichende Positionierung des Patienten nach der Frankfurter Horizontalen eine weitere Ungenauigkeit, da sich bei jeder neuen Aufnahme die Position des Patienten minimal ändern kann und somit eine abweichende Darstellung der anatomischen Strukturen auf dem Sensor/Film entsteht.

Die fehlende Möglichkeit der Beurteilung der vestibulären und oralen Knochenlamelle muss bei der Bewertung der Sofortimplantation berücksichtigt werden, da insbesondere die vestibuläre Knochenlamelle nach Zahnextraktion starken Resorptionen unterliegt, welche durch ein Implantat nicht aufgehalten werden (Schropp et al., 2003, Botticelli et al., 2004, Araujo et al., 2005). Darüber hinaus stellt ebenfalls die exakte Erkennbarkeit eines immer gleichen Referenzpunkts eine Möglichkeit für einen Messfehler dar, wenn dieser geringfügig abweicht (siehe Abbildung 8).

Dennoch hat sich dieses Verfahren bereits seit vielen Jahren für die Messung des gemittelten periimplantären Knochenniveaus bewährt und es wurde in einer Studie von Gómez-Román et al. eine hinreichende Messgenauigkeit von 1 mm als realisierbar erachtet (Gómez-Román et al., 1996, Misch et al., 2008). In dieser Studie wurde eine Messgenauigkeit von 0,5 mm zu Grunde gelegt.

## 5.2 Belastungsprotokoll

In Anlehnung an die Definitionen der Belastungsprotokolle von Weber et al. wurden die Belastungszeitpunkte auf der fünften ITI Konsensus-Konferenz wie folgt definiert (Weber et al., 2009, Gallucci et al., 2014):

1. Konventionelle Belastung nach mehr als 2 Monaten nach Implantation
2. Frühe Belastung nach 1 Woche bis zu 2 Monaten nach Implantation
3. Sofortbelastung/-versorgung früher als 1 Woche nach Implantation.

Frühere Statements der dritten und vierten ITI Konsensus-Konferenz berichteten bereits, dass die Belastungsprotokolle der konventionellen Belastung als auch der frühen Belastung gut etabliert seien und als standardisiert betrachtet werden könnten (Cochran et al., 2004, Weber et al., 2009).

In dieser Studie wurden die Empfehlungen der fünften ITI Konsensus-Konferenz bezüglich der Belastungsprotokolle umgesetzt und es erfolgte eine Auswahl des Patientenkollektivs anhand der Ein- und Ausschlusskriterien (Kapitel 3). Sofortversorgungen erfolgten unmittelbar nach Implantation bis maximal 24 Stunden postoperativ und konventionell belastete Implantate wurden nach einer Einheitszeit von mindestens drei Monaten prothetisch belastet.

Das herstellerepezifische Sofortbelastungsprotokoll sieht aus Gründen der Rotationstabilität und zur Minimierung von Mikrobewegungen für die Sofortversorgung von Einzelimplantaten die Verblockung sowohl mesial als auch distal vor (SDS-SwissDentalSolutions, 2015a). Zwei Implantate in Reihe wurden auf mindestens einer Seite adhäsiv verblockt. Drei oder mehr Implantate in Reihe wurden ohne Verblockung versorgt. Weiterhin wurde darauf geachtet, dass jegliche Friktion zwischen Langzeitprovisorium (LZP) und Implantatabutment reduziert wurde und die Langzeitprovisorien in statischer und dynamischer Nonokklusion oder Gruppenführung im zahnlosen Kiefer

vorliegen. Darüber hinaus wurden die Patienten instruiert, ausschließlich weiche Nahrung im Bereich des Langzeitprovisoriums zu sich zu nehmen, nicht darauf zu kauen und in der Front nicht abzubeißen.

Ein Statement der dritten ITI-Konsensus-Konferenz bezieht sich auf Publikationen, die bei insgesamt 72 sofortversorgten Sofortimplantaten eine Erfolgsrate von 100% aufweisen (Wohrle, 1998, Hui et al., 2001, Glauser et al., 2003, Malo et al., 2003). Die genannten Autoren berichten von vergleichbaren Strategien zur Erzielung hoher Erfolgsraten. Sie bevorzugten Implantate mit Optimierungen im Makrodesign wie tiefe Gewindegänge, um hohe Werte des Bone Implant Contacts zu realisieren. Darüber hinaus wurden optimierte Bohrprotokolle gefordert mit selbstschneidenden Gewinden und unterdimensionierter Implantatbettauflbereitung. Außerdem sollten okklusale Kontakte bei Sofortversorgung vermieden werden.

Auch das in dieser Studie verwendete Keramikimplantatsystem weist eine Oberfläche auf, die den genannten Forderungen entspricht. Es weist Gewindegänge auf, welche insbesondere bei den Dynamic Thread Implantaten über eine 2,5 fache Gewindetiefe verfügen. Des Weiteren sieht das herstellerspezifische Bohrprotokoll in Abhängigkeit der Knochenklasse angepasste Variationen vor, um eine hohe Primärstabilität erzeugen zu können (siehe Kapitel 3). Die okklusalen Kontakte wurden ebenfalls reduziert.

In der vorliegenden Studie machen die sofortversorgten Sofortimplantate mit n=87 (58%) mehr als die Hälfte aller Implantate aus. Sofortversorgte Sofortimplantate können sich neben einer verbesserten Ästhetik auch vorteilhaft bezüglich des Knochenabbaus und des Weichgewebsverhaltens auswirken (Degidi et al., 2003, De Bruyn et al., 2013).

Ein direkter Vergleich zwischen konventionell belasteten und sofortversorgten Implantaten ist, insbesondere aufgrund der jeweils individuellen Patientensituation und Selektion durch den Behandler, nicht immer möglich und sollte bei der Bewertung dieser Studie berücksichtigt werden.

### 5.3 Knochenabbau

Die Differenz der gemittelten periimplantären Knochenhöhe beträgt im Mittel -0,6 mm für Sofortimplantate und -0,7 mm für Spätimplantate zum Zeitpunkt des letzten Recalls im Vergleich mit der Knochenhöhe postoperativ (Tabelle 9, Diagramme 5-7). Statistisch unterscheiden sich diese Werte jedoch nicht signifikant ( $p=0,225$ , CI 95%).

Der geringfügig höhere Wert bei Spätimplantaten kann durch die geringere Fallzahl von Spätimplantaten mit dadurch bedingter höherer Varianz bedingt sein. Ein weiterer Grund sind in der Regel Messfehler, die darin begründet sind, dass von zweidimensionalen Röntgenaufnahmen Rückschlüsse auf dreidimensionale Strukturen gezogen werden. Hinzu kommt, dass sich die vierte ITI Consensus Conference in einem Statement von 2009 auf Publikationen beruft, die belegen, dass Implantate, welche in Extraktionsalveolen platziert werden, die Knochenresorption und das Knochenremodelling nach Zahnextraktion nicht pauschal aufhalten (Araujo et al., 2005, Araújo et al., 2006). Davon abgesehen fällt der gemittelte Knochenabbau geringfügig aus und ist vergleichbar zu den Ergebnissen anderer Studien über sofortbelastete Keramikimplantate und Titanimplantate (Östman et al., 2007, Kohal et al., 2009a).

Kohal et al. untersuchten in ihrer prospektiven 5 Jahres Kohortenstudie die Überlebensrate und das Bone remodelling von 20 einteiligen ATZ Keramikimplantaten nach Spätimplantation nach einem Jahr (Kohal et al., 2009a). Die definitive prothetische Versorgung erfolgte 4 bis 8 Monate nach Implantatinsertion. Nach einem Jahr ergab sich eine Überlebensrate von 90% bei vier explantierten Implantaten. Der mittlere Knochenabbau nach einem Jahr lag bei 0,88 mm. Verglichen mit der vorliegenden Studie fällt der Knochenabbau in der Studie von Kohal et al. größer aus, was jedoch auf die geringe Fallzahl zurückzuführen sein kann. Starke Unterschiede bezüglich des Knochenabbaus sind nicht festzustellen, wobei jedoch ebenfalls die Überlebens- (92%) und Erfolgsrate (91,3%) nach maximalem Beobachtungszeitraum höher liegen. Dies kann auf eine höhere Fallzahl mit geringerer Varianz der vorliegenden Studie zurückzuführen sein.

Östman et al. untersuchten in einer prospektiven Studie das Outcome von 115 sofortversorgten einteiligen Titanimplantaten verglichen mit 380 sofortversorgten zweiteiligen Implantaten über einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten (Östman et al., 2007). Bei allen Implantaten handelt es sich um Spätimplantate. Nach einem Jahr ergab sich für einteilige Implantate eine Verlustrate von 5,2% und für zweiteilige Implantate von 1,3%. Der Knochenabbau an einteiligen Implantaten betrug durchschnittlich 2,1 mm und für zweiteilige Implantate 0,8 mm. Die von Östman et al. ermittelten Ergebnisse sind nicht kongruent zu den Ergebnissen in dieser Studie. Der marginale Knochenabbau fällt insgesamt in dieser Studie geringfügiger aus und es wurde kein signifikanter Einfluss des Implantatdesigns auf den marginalen Knochenabbau festgestellt, obwohl in dieser Studie überwiegend einteilige Keramikimplantate inseriert wurden. Ein Vergleich zwischen beiden Studien ist allerdings auch aufgrund der unterschiedlichen Implantatmaterialien nur sehr eingeschränkt möglich.

Darüber hinaus ergab sich neben dem Implantatzeitpunkt auch für die provisorische Belastungsart ( $p=0,192$ ), das Implantatdesign ( $p=0,322$ ) und die Implantatbreite ( $p=0,419$ ) kein statistisch signifikanter Einfluss auf das gemittelte periimplantäre radiologische Knochenniveau.

Ein statistisch signifikanter Einfluss auf das periimplantäre radiologische Knochenniveau ergibt sich für die gruppierten Recallzeiträume von 1/2-1 Jahr ( $p=0,023$ ) und  $>1$  Jahr ( $p=0,011$ ) im Vergleich zum Zeitraum von 0-1/2 Jahr nach Implantation (Tabelle 20 und Diagramme 5-7).

Dies bedeutet, dass der periimplantäre radiologische Knochenabbau im ersten halben Jahr stärker ausfällt als im darauffolgenden Zeitraum, was ebenfalls durch andere Publikationen bestätigt wird (Borgonovo et al., 2012, Borgonovo et al., 2013).

Borgonovo et al. untersuchten in einer Studie die Überlebens- und Erfolgsraten von einteiligen Keramikimplantaten aus Zirkoniumdioxid über einen Zeitraum von mindestens 12 bis maximal 48 Monaten (Borgonovo et al., 2012). Insgesamt acht zahnlose Patienten erhielten 29 Implantate. Es ergab sich eine Überlebens- und Erfolgsrate von 100% und der Knochenabbau nach 6 Monaten

fiel mit 1,4mm stärker aus als im übrigen Zeitraum und deckt sich mit den Resultaten der vorliegenden Studie. Nach vier Jahren belief sich das Knochenniveau auf 1,2mm, was sogar auf eine Knochenremodellierung hindeuten könnte.

In einer weiteren Studie untersuchten Borgonovo et al. die Überlebens- und Erfolgsrate von 35 sofortversorgten einteiligen Keramikimplantaten aus Zirkoniumdioxid sowie deren marginalen Knochenabbau (Borgonovo et al., 2013). Nach 48 Monaten ergab sich sowohl für die Überlebens- als auch Erfolgsrate 100%. Der Knochenabbau nach 48 Monaten betrug im Mittel 1,6 mm, wobei nach 6 Monaten bereits 1,4 mm Knochenabbau zu verzeichnen war. Insgesamt fiel der marginale Knochenabbau im Oberkiefer etwas stärker aus als im Unterkiefer. Der Knochenabbau in der Region des ersten Molaren fiel stärker aus als in anderen Regionen, dieser Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant. Verglichen mit der durchgeführten Studie kann der stärkere Knochenabbau im ersten halben Jahr nach Implantation bestätigt werden. In der zitierten Studie wurde kein signifikanter Einfluss der Implantatregion auf den periimplantären Knochenabbau festgestellt. In dieser Studie wurde jedoch festgestellt, dass der marginale Knochenabbau jeweils um 0,09 mm zunimmt, je weiter distal die Implantate platziert wurden. Im Unterschied zu Borgonovo et al. war die Implantatregion ein statistisch signifikanter Faktor für das periimplantäre radiologische Knochenniveau ( $p=0,043$ ; linear modelliert; siehe Tabelle 20 und Diagramme 5-7).

Monteiro et al. fordern für vorhersagbare Langzeitergebnisse bei posterioren Implantaten eine sorgfältige Planung (Monteiro et al., 2015). So können geringere Knochendichten im Seitenzahnbereich aller vier Quadranten eine Ursache sein für einen erhöhten Knochenabbau (Sogo et al., 2012). In diesem Zusammenhang spielen auch okklusale Faktoren im Seitenzahnbereich eine Rolle, da insbesondere im Kaukraftzentrum die größten axialen und paraxialen Belastungen auftreten.

Ein weiterer Aspekt, der eine Rolle spielt, ist die potentiell eingeschränktere Mundhygiene im Seitenzahnbereich verglichen mit dem anterioren Gebiss.

#### 5.4 Erfolgsrate

In der Literatur sind verschiedene Erfolgseinteilungen für dentale Implantate formuliert worden (Schnitman und Shulman, 1979, Albrektsson et al., 1986, Smith und Zarb, 1989, Albrektsson und Zarb, 1998). Obwohl die Einteilung von Albrektsson et al. den Knochenabbau im ersten Jahr unberücksichtigt lässt, gilt diese als gebräuchlichste (Albrektsson et al., 1986). Häufig wird als Erfolgskriterium die Überlebensrate herangezogen, wobei im Vordergrund steht, ob sich das entsprechende Implantat noch in der Mundhöhle befindet oder nicht (ten Bruggenkate et al., 1990). Kritikern zu Folge werden Kriterien wie Schmerzen oder entzündliche Prozesse sowie die Patientenzufriedenheit nicht berücksichtigt und ein Implantat, welches aufgrund der genannten Faktoren eigentlich entfernt werden müsste wird fälschlicherweise als Erfolg gewertet (Misch et al., 2008).

In dieser Studie wurde die Erfolgseinteilung der Pisa Consensus Conference herangezogen, welche für die Formulierung „früher Implantaterfolg“ ideale klinische Konditionen und eine mindestens 12 monatige prothetische Belastung fordert (Misch et al., 2008). Es ergibt sich eine Erfolgsrate von 91,3% und Überlebenswahrscheinlichkeit von 92% nach 25,7 Monaten. Von 13 als Misserfolg gewerteten Implantaten sind 12 verloren gegangen und lediglich 1 sofortversorgtes Spätimplantat überlebte kompromittiert (Tabelle 19).

In dieser Studie wurden die Recallzeitpunkte in drei Zeiträume in Halbjahresabständen eingeteilt. Im Zeitraum von über einem Jahr wurden in dieser Studie 14 Patienten mit 45 Implantaten zu 65 Recalls vorgestellt.

Das bedeutet, dass lediglich knapp ein Drittel der in dieser Studie erfassten Implantate eine Beurteilung nach der Einteilung der Pisa Consensus Conference zulässt und dies bei der Bewertung der ermittelten Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Allerdings spielt bei einer derartigen Beurteilung auch eine Rolle, dass Patienten, die keine Probleme an Ihrem Implantat verspüren, oft keine Notwendigkeit für ein Recall sehen. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass die meisten Implantate noch in der Mundhöhle sind. Davon abgesehen finden Implantatverluste häufig während der kritischen

Einheilphase statt, was sich auf die vorliegende Studie übertragen lässt, da in den ersten 103 Tagen 8 Implantate verloren gingen.

Zwar gingen insgesamt 11 Sofortimplantate und nur 1 Spätimplantat verloren, es ergab sich jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Gründe für die höheren Verluste an Sofortimplantaten können zum einen die zu erwartende geringere Primärstabilität oder die verminderte Implantat-Knochenanlagefläche von Sofortimplantaten in Extraktionsalveolen sein.

Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse wird deutlich, dass 10 Implantate des Typs „Dynamic Thread“ und lediglich 2 des Typs „Root Design“ verloren gegangen sind. Somit besteht ein sechs Mal höheres Verlustrisiko der Gewindeform Dynamic Thread verglichen mit dem Gewinde des Root Designs sowie ein statistisch signifikanter Einfluss mit einem p-Wert von 0,021 auf den Implantaterfolg. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass die Gewindeform Dynamic Thread für Knochenklasse D3 und D4 zugelassen ist und somit auch in weniger kompakten Knochen gesetzt wurde und die RD-Implantate mit Knochenklasse D2 lediglich für Knochen mit einem höheren Kompaktanteil zugelassen ist und in diesen gesetzt wurden. Gestützt würde diese These durch eine retrospektive Analyse von Holahan et al. mit 2867 Titanimplantaten, welche den Zusammenhang von Knochenqualität und Überlebensrate untersuchte (Holahan et al., 2011). Für die Beurteilung der Knochenqualität wurde die WHO Osteoporosis Diagnosis Classification zugrunde gelegt. Es ergab sich eine signifikant höhere Verlustrate für Implantate, welche in „schlechter“ Knochenqualität platziert wurden (88,4% nach einem Jahr, 82,5% nach fünf Jahren). Für Implantate, welche in „guter“ Knochenqualität platziert wurden ergaben sich hingegen 97,3% nach einem Jahr und 95% nach fünf Jahren.

Weiterhin konnte eine Studie von Anner et al. einen Einfluss von Implantatparametern wie Länge und Breite auf die Überlebensrate nicht belegen (Anner et al., 2005). In der zitierten Studie wurde der Einfluss von insgesamt 45 längenreduzierten 6mm-Implantaten auf die Überlebensrate

untersucht und es ergab sich nach circa 24 Monaten Beobachtungszeitraum eine Überlebensrate von 100%.

Die Betrachtung der Überlebensfunktion in Abhängigkeit von der provisorischen Belastungsart zeigt eine Verweilwahrscheinlichkeit von 93,5% für sofortversorgte Implantate (7 Explantationen) nach 19,5 Monaten (593 Tage) und von 86,5% für Implantate ohne Sofortversorgung (5 Explantationen) nach 25,7 Monaten (783 Tage; Diagramm 12). Die explantierten konventionell belasteten Implantate wurden wahrscheinlich aufgrund zu geringer Primärstabilität nicht sofortversorgt. Bedingt durch das Implantatdesign insbesondere der einteiligen Implantate können Belastungen des Abutments nicht immer vermieden werden, was in Mikrotraumen resultieren kann. Während der Einheilphase sind Mikrotraumen von über 150 µm zu vermeiden (Szmukler-Moncler et al., 2000). Da es bei einer hohen Primärstabilität zu geringeren Mikrobewegungen im Gegensatz zu großen Mikrobewegungen bei geringer Primärstabilität kommt, kann die Kombination aus geringer Primärstabilität und verfrühter Belastung eine Erklärung für diese Verluste sein (Lambrich und Iglhaut, 2008). Dies würde belegen, dass bei zu geringer Primärstabilität die Überlebenswahrscheinlichkeit so drastisch sinkt, dass auch eine „fehlende Belastung“ keine sichere Osseointegration bedeuten muss, da die Überlebensraten beider Belastungsarten nach Literaturrecherche keinen Einfluss auf die Implantatüberlebensrate haben. Dies bestätigt sich in einer Publikation von Muelas-Jiménez et al., die belegt, dass unterschiedliche Belastungszeitpunkte keinen Einfluss auf die Überlebensrate von 164 Titanimplantaten hatten (Muelas-Jimenez et al., 2015). Variablen wie Implantatanzahl, Knochenqualität und Art der prothetischen Versorgung (Krone, Brücke, Prothese) dagegen hatten einen signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate.

Da es sich in dieser Studie um eine retrospektive Untersuchung von vorhandenen Daten handelt, konnten Parameter wie Mobilität, Sondierungstiefe und die Sulkusfließrate nicht einheitlich mit erfasst werden. Laut Misch et al. handelt es sich jedoch insbesondere bei der Sondierungstiefe um einen

subjektiven Parameter mit geringem diagnostischen Wert, welcher lediglich in Verbindung mit weiteren Indizes wie Exsudationsrate oder prothetischer Überlastung einen Rückschluss auf den Implantaterfolg zulässt (Misch et al., 2008). Weiterhin sollten diese Indizes lediglich bei vorliegender Indikation untersucht werden. Die routinemäßig durchzuführende Methode zur Evaluierung des periimplantären Knochenabbaus ist die Bestimmung von Veränderungen anhand von Röntgenbildern in definierten Abständen (Tyndall et al., 2012).

Bei vielen der vorhandenen Publikationen über Zirkoniumdioxidimplantate handelt es sich um Kurzzeituntersuchungen mit unterschiedlichen Erfolgskriterien und Behandlungsprotokollen, insbesondere bezüglich Implantations- und Belastungszeitpunkt (Mellinghoff, 2006, Oliva et al., 2007, Lambrich und Iglhaut, 2008, Kohal et al., 2009a, Oliva et al., 2010, Borgonovo et al., 2012, Borgonovo et al., 2013, Gahlert et al., 2013, Brull et al., 2014, Spies et al., 2016). Diese Tatsache macht es schwierig die Ergebnisse der vorliegenden Studie in den wissenschaftlichen Kontext einzuordnen.

Nur wenige Studien führten eine radiologische Erfassung des periimplantären Knochens durch, um zwischen Überlebensrate und Erfolgsrate zu unterscheiden:

Brüll et al. behandelten 74 Patienten mit 121 Implantaten aus Zirkoniumdioxid (66 zweiteilige und 55 einteilige Implantate)(Brull et al., 2014). 3 Implantate gingen in einem Zeitraum bis 18,4 Monate verloren und es wurde eine kumulative Überlebensrate von 96,5% errechnet. Der durchschnittliche Knochenverlust betrug 0,1 mm nach 3 Jahren. Es fand ein konventionelles Belastungsprotokoll ohne Sofortversorgung statt. Sofortimplantate wurden in die Studie integriert.

Spies et al. publizierten 2016 Ergebnisse aus einer prospektiven Kohortenstudie mit 27 Alumina-toughened Zirconia (ATZ) Implantaten in 27 Patienten mit Sofortversorgung (Spies et al., 2016). Nach einem Jahr ergab sich eine Überlebensrate von 88,9% bei drei Verlusten und einem mittleren Knochenverlust von 0,77 mm.

In einer früheren Studie setzten Kohal et al. bereits 20 Einzelzahnimplantate (ebenfalls aus ATZ) mit Sofortversorgung in 20 Patienten und untersuchten neben klinischen Parametern das periimplantäre Knochenniveau anhand von unmittelbar postoperativ und beim 1-Jahres-Follow-up angefertigten Röntgenbildern (Kohal et al., 2009a). Es ergab sich eine Überlebensrate von 90% nach einem Jahr sowie ein durchschnittlicher periimplantärer Knochenabbau von 0,88 mm. Beiden Studien gemein ist eine sehr kleine Fallzahl, die möglicherweise nicht repräsentative Überlebensraten bedingt. Außerdem wurden keine Sofortimplantate berücksichtigt. Dennoch sind die gefundenen marginalen Knochenverluste mit den Ergebnissen dieser Studie vergleichbar.

Borgonovo et al. untersuchten 29 Zirkoniumdioxidimplantate in 8 Patienten in einem Zeitraum von mindestens 12 Monaten bis zu 48 Monaten (Borgonovo et al., 2012). Alle Implantate wurden sofortversorgt und erhielten nach einer Einheilzeit von 6 Monaten die definitive prothetische Versorgung. Es ergab sich eine Überlebensrate von 100% sowie ein durchschnittlicher marginaler Knochenverlust von 1,2 mm nach 4 Jahren. Der durchschnittliche Gesamtknochenverlust nach 4 Jahren betrug demnach 1,2 mm. Verglichen mit der vorliegenden Studie wurde ein geringerer Knochenverlust über die gesamte Dauer der Untersuchung festgestellt. Andererseits fällt die Überlebensrate höher aus, was jedoch darauf zurückzuführen sein könnte, dass Borgonovo et al. keine Sofortimplantate in ihre Studie integrierten.

Eine weitere Studie von Borgonovo et al. untersuchte 28 einteilige sofortversorgte Keramikimplantate aus Zirkoniumdioxid (Borgonovo et al., 2013). Der durchschnittliche radiologische periimplantäre Knochenverlust betrug nach 48 Monaten 1,6 mm und es ergab sich auch hier eine Überlebens- und Erfolgsrate von 100%. Auch in dieser Studie fällt der Knochenverlust innerhalb der ersten 6 Monate nach Implantatinsertion mit 1,4 mm stärker aus als in der darauffolgenden Phase. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie.

Mellinghoff publizierte 2006 eine retrospektive klinische Studie mit 189 Keramikimplantaten aus Zirkoniumdioxid in 71 Patienten. Nach einem Jahr ergab sich Überlebensrate von 93%. Von neun Verlusten gingen analog zu den vorliegenden Ergebnissen acht Implantate in der Einheilphase verloren (Mellinghoff, 2006). Über Umbauvorgänge des periimplantären Knochenniveaus wurde nicht berichtet.

In zwei weiteren Studien untersuchten Oliva et al. die Erfolgsrate von 100 Zirkoniumdioxidimplantaten mit zwei unterschiedlichen Oberflächen in 36 Patienten und Lambrich & Iglhaut die Überlebensraten von 127 Zirkoniumdioxidimplantaten verglichen mit 234 Titanimplantaten in insgesamt 124 Patienten (Oliva et al., 2007, Lambrich und Iglhaut, 2008). Nach einem Jahr ergab sich bei Oliva et al. eine Erfolgsrate von 98% und bei Lambrich & Iglhaut eine Überlebensrate von 98,4% (Maxilla) und 97,2% (Mandibula) für Titanimplantate und 84,4% (Maxilla) und 98,4% (Mandibula) für Zirkoniumdioxidimplantate. In diesen beiden Studien wurden ebenfalls keine marginalen röntgenologischen Parameter erfasst.

In der bereits zitierten Studie Untersuchung von Östman et al. wurden 115 sofortversorgte einteilige Titanimplantate mit 380 sofortversorgten zweiteiligen Titanimplantaten verglichen und es zeigte sich ein erhöhter radiologischer Knochenabbau um einteilige Titanimplantate von 2,1 mm nach einem Jahr als um zweiteilige (0,8mm) Implantate (Östman et al., 2007). Es ergab sich außerdem eine Erfolgsrate von 72,2% für einteilige und 91,6% für zweiteilige Titanimplantate. Die durch den höheren marginalen Knochenabbau bedingte geringere Erfolgsrate von einteiligen Titanimplantaten lässt sich laut Auffassung der Autoren nur eingeschränkt begründen. Zum einen wurde ein Zusammenhang mit einer zu geringen Insertionstiefe der einteiligen Implantate hergestellt, die nur geringfügig von den Herstellerangaben abweicht. Andererseits wurde eine potenzielle Kontamination der Oxidschicht bei Herstellung der provisorischen Versorgung vermutet, wobei die genauen Gründe letztendlich ungeklärt blieben, da laut Herstellerangaben das entsprechende einteilige Implantat entwickelt wurde, um marginalen

Knochenabbau insbesondere durch Kontamination oder Unterschreitung der biologischen Breite zu vermindern.

In der vorliegenden Studie wurden lediglich 21 zweiteilige Keramikimplantate gesetzt und somit deutlich mehr einteilige Keramikimplantate. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit einer insgesamt höheren Erfolgsrate sowie einem geringeren Knochenabbau stehen im Gegensatz zu den Ergebnissen der Studie von Östman et al. und lassen keinen Rückschluss von Titanimplantaten auf Zirkoniumdioxidimplantate zu.

Einteilige Implantate begünstigen einen geringeren marginalen Knochenabbau aufgrund des fehlenden Implantat-Abutment-Spalt und der damit verbundenen geringeren bakteriellen Kontamination (Borgonovo et al., 2012). Demnach sind die gefundenen Ergebnisse über Implantate aus Zirkoniumdioxid vielversprechend, da diese bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt von vielen Implantatherstellern lediglich als einteilige Implantate erhältlich sind. Weiterhin konnte in der vorliegenden Studie kein statistisch signifikanter Einfluss des Implantatdesigns auf den periimplantären Knochenverlust festgestellt werden.

Barone et al. untersuchten in einer prospektiven Kohortenstudie die Erfolgsrate sowie das Knochenniveau und Weichgewebsverhalten von 37 sofortversorgten Sofortimplantaten aus Titan (Barone et al., 2016). Die kumulative Überlebensrate nach 7 Jahren ergab eine Erfolgsrate von 94,6% und einen durchschnittlichen Knochenverlust von 1,6 mm nach 7 Jahren. Der Pink Esthetic Score ergab nach 5 Jahren einen Durchschnitt von 8,14 und nach 7 Jahren von 7,71. Da es sich um eine Studie mit Titanimplantaten handelt, ist ein direkter Vergleich zur vorliegenden Studie schwierig, zudem sind Untersuchungszeitraum und Fallanzahl deutlich geringer. Dennoch zeigt sich in der vorliegenden Studie für Sofortimplantate eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 90,3% und für Spätimplantate eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 97,3% nach 25,7 Monaten. Demnach ist die Überlebensrate der Sofortimplantate geringer einzuordnen, allerdings ist in der vorliegenden Studie eine deutlich höhere Anzahl an Sofortimplantaten berücksichtigt worden und die Studie von Barone et al. kann bedingt durch zufällig erzeugte Ergebnisse aufgrund der kleinen Fallzahl ein besseres Ergebnis erzielt haben.

Raes et al. untersuchten in einer 2013 publizierten prospektiven Studie das Outcome von zweiteiligen sofortversorgten Einzelzahnimplantaten aus Titan in der anterioren Maxilla (Raes et al., 2013). Untersucht wurden sowohl 23 Spätimplantate, 16 Sofortimplantate als auch 9 Implantate mit gleichzeitiger Guided Bone Regeneration (GBR). Nach einem Jahr post-OP wurde ein durchschnittlicher marginaler Knochenzuwachs von 0,65 mm festgestellt. Für Sofortimplantate ergab sich mit 1,05 mm der größte Zuwachs. Knochenverlust wurde für Spätimplantate gefunden (-0,2 mm). Nach 52 Wochen ergab sich für 25% aller Implantate ein PES von  $\geq 12$  und diese wurden nach den Kriterien von Cosyn et al. als „perfekt“ eingestuft (Cosyn et al., 2011). 10% wurden mit einem PES von  $\leq 7$  als Misserfolg gewertet. Für Sofortimplantate lag der Durchschnitt bei 10,33 und für Spätimplantate bei 10,35. Dies verdeutlicht, dass mit Sofortimplantaten vergleichbare ästhetische Ergebnisse erzielt werden können wie mit Spätimplantaten, was die Ergebnisse der vorliegenden Studie in den Kontext einordnen lässt. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass es sich bei Raes et al. um Titanimplantate handelte.

Vergleichbare Ergebnisse wie in der vorliegenden Studie, insbesondere für sofortversorgte Spätimplantate aus Zirkoniumdioxid, ergaben sich in einer Studie von Payer et al. (Payer et al., 2013). Diese untersuchten das Knochenniveau und Weichgewebsverhalten an 20 sofortversorgten Spätimplantaten aus Zirkoniumdioxid und fanden nach 24 Monaten eine Erfolgs- und Überlebensrate von 95%, was mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie für sofortversorgte Spätimplantate übereinstimmt (siehe oben). Es wurde ein signifikant stärkerer Knochenverlust von 1 mm im ersten Jahr nach Implantation festgestellt, wobei der weitere Knochenverlust nach 24 Monaten mit zusätzlichen 0,3 mm nicht mehr signifikant war. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, wobei im ersten halben Jahr ein signifikant stärkerer Knochenabbau stattfand und der sich anschließende nicht mehr signifikant ausfiel. Weiterhin wurde zu Beginn ein PES von 8.13 (Baseline) erhoben, welcher sich nach 24 Monaten auf 10 verbesserte. Dies zeigt, dass sich insbesondere das ästhetische Ergebnis an Implantaten im Verlauf sogar verbessern kann. Dies

lässt sich auch an einer prospektiven Studie von Cosyn et al. belegen, in der 3 Monate nach Implantatinsertion ein Durchschnitt des PES von 10,67 vorlag, nach 6 Monaten von 11,67 und nach 12 Monaten von 12,15 (Cosyn et al., 2013). In der zitierten Studie wurde in 22 Patienten das Weichgewebsverhalten von 22 Sofortimplantaten in der ästhetischen Zone (15-25) untersucht. Insgesamt ging über einen Zeitraum von 12 Monaten ein Implantat in den ersten zwei Wochen nach Implantation verloren.

#### 5.4.1 Pink Esthetic Score

Der Pink Esthetic Score ist laut Furhauser et al. reproduzierbar und zeichnet sich durch geringe Standardabweichungen aus (Furhauser et al., 2005). Die Messungen des Pink Esthetic Scores ergaben in der vorliegenden Studie zum Zeitpunkt der prothetischen Restauration im Vergleich zum wissenschaftlichen Kontext hohe Werte von 12,14 zum Zeitpunkt der ersten Messung und 12,3 zum Zeitpunkt der zweiten Messung. Da es sich um eine retrospektive Untersuchung handelt und vorhandene Daten ausgewertet wurden, war es nicht möglich, eine Bewertung im weiteren Verlauf nach prothetischer Belastung vorzunehmen. Die größten Weichgewebsveränderungen finden nach Khzam et al. nach Sofortimplantation im Zeitraum zwischen Implantatinsertion und prothetischer Belastung statt (Khzam et al., 2015). Innerhalb des ersten Jahres des Follow-ups konnte in dieser Studie wie auch in der oben erwähnten Studie von Cosyn et al. sogar ein Zuwachs an Gingiva beobachtet werden (Cosyn et al., 2013).

Eine weitere Studie von Cosyn et al. legte Erfolgskriterien für sofortversorgte Sofortimplantate in der Oberkieferfront in Abhängigkeit des Ergebnisses des Pink Esthetic Scores fest (Cosyn et al., 2011). Ein Ergebnis von  $\leq 7$  Punkte wurde als Misserfolg und ein Ergebnis von  $\geq 12$  Punkte als Erfolg gewertet. Fünf vergleichbare Studien mit sofortversorgten Sofortimplantaten ergaben nach den Erfolgskriterien von Cosyn et al. eine Misserfolgsrate von 11% (PES  $\leq 7$ ), was jedoch lediglich auf den Studien von Cosyn et al. und Raes et al. basierte (Cosyn et al., 2011, Noelken et al., 2011, Cosyn et al., 2013, Raes et al., 2013, Cardaropoli et al., 2015).

Verglichen mit den in der Literatur beschriebenen Ergebnissen sind demnach in der vorliegenden Studie nur 2,3 % der bewerteten Fälle als Misserfolg zu werten. Da laut der zitierten Studien nach Osseointegration ein Zuwachs an Gingiva und sogar eine weitere Erhöhung des PES möglich ist, ist das ermittelte Ergebnis aus ästhetischer Sicht trotz des kurzen Beobachtungszeitraums als Erfolg zu werten, obgleich es diesbezüglich weiterer Langzeituntersuchungen bedarf.

In der Literatur wird üblicherweise ein Wert für das Cronbachs Alpha von 0,7 als Schwellenwert angegeben, um von einer intern konsistenten Skala auszugehen (Schmitt, 1996). Einheitliche Angaben diesbezüglich gibt es nicht (Krüger et al., 2014). Werte  $< 0,5$  sind inakzeptabel und zeugen von keiner internen Konsistenz. Niedrige Werte sind in der vorliegenden Studie insbesondere bei den Punkten Alveolarfortsatzrückgang (0,493), Weichgewebfarbe (-0,420) und Weichgewebstextur (0,082) bei der Untersuchung der Intraobserver-Übereinstimmung aufgetreten. Die Gründe hierfür können darin bestehen, dass die Motivation der bewertenden Zahnärzte bei der zweiten Bewertung nicht mehr wie bei der ersten Bewertung gegeben war und die Punktvergabe willkürlicher stattfand. Da die Reliabilität der Intraobserver-Übereinstimmung bis auf die Weichgewebstextur hohe Ergebnisse des Cronbachs alpha erzielte, könnte die Ursache für die geringere interne Konsistenz insbesondere bezüglich dieses Parameters daran liegen, dass die Textur auf Fotografien nicht eindeutig zu beurteilen ist, obwohl alle Zahnärzte jeweils dieselben Fotografien erhielten. In der Beschreibung des PES von Furhauser et al. ist außerdem keine konkrete Beschreibung der einzelnen Qualitäten vorhanden. Dementsprechend ist es ebenfalls möglich, dass die geringe interne Konsistenz der Weichgewebstextur darauf zurück zu führen ist, dass bei den Untersuchern Unwissenheit über den Begriff herrschte.

Eine Literaturrecherche mit den Stichpunkten „Reliability Pink Esthetic Score“ und „Cronbachs alpha Pink Esthetic Score“ ergaben lediglich eine Studie, die bezogen auf den PES das Cronbachs alpha angewendet hat (Burgueno-Barris et al., 2016). Diese Studie hat das Cronbachs alpha allerdings angewendet, um die interne Konsistenz einer Messung des PES verglichen zu einer

Referenzmessung von lediglich drei Fällen zu bestimmen. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie ist dementsprechend nicht möglich und somit fällt eine Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext schwer, was bei der Bewertung dieser Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

#### 5.4.2 OHIP

Im prospektiven Studienteil wurde die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität anhand eines modifizierten OHIP Edent Fragebogens erfasst. Nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand ist in bislang keiner anderen Studie mit Implantaten aus Zirkoniumdioxid die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität anhand eines OHIP-Fragebogens erfasst worden.

In der vorliegenden Studie ergibt sich ein Durchschnittswert von 0,54 Punkten für die Patientenbefragung (Antwort Nie=0). Verglichen mit anderen Publikationen deutet dieser Wert darauf hin, dass Keramikimplantate vergleichbare Ergebnisse aufweisen können wie Titanimplantate. Raes et al. untersuchten in einer Kohortenstudie anhand eines OHIP Fragebogens die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität an 46 Patienten mit Spätimplantaten verglichen zu 50 Patienten mit Sofortimplantaten (Raes et al., 2012). Alle Implantate wurden sofortversorgt. Die Befragungen fanden zur Baseline (vor Implantation), nach 1 Monat, 6 und 12 Monaten statt. In der genannten Studie wurde der sogenannte OHIP-14 Fragebogen angewendet und es wurde festgestellt, dass der durchschnittliche OHIP Score zwischen beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede aufwies.

Nach 12 Monaten ergibt sich für beide Gruppen zusammen ein Durchschnitt von über 4,8 Punkten wenn 5 die Antwort „Nie“ lautet.

Verglichen mit der vorliegenden Studie in der 0 die Antwort „Nie“ lautet und sich ein Durchschnitt von 0,54 Punkten ergibt sind die Ergebnisse vergleichbar.

Weitere Studien kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass Sofortimplantation und Spätimplantation sowie Sofort- als auch Spätbelastung bezüglich der Patientenzufriedenheit mit dem OHIP-Fragebogen gleiche Ergebnisse liefern (Schropp et al., 2004, Cannizzaro et al., 2008, Schropp und Isidor, 2008, Felice et al., 2011, Cannizzaro et al., 2012). Dennoch muss bei der Bewertung dieses

Ergebnisses die Rücklaufquote von n=22 (53,7%) Fragebögen berücksichtigt werden, was lediglich etwas mehr als der Hälfte der befragten Personen entspricht.

### 5.5 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen keine signifikanten Einflüsse des Implantatzeitpunkts, der Belastungsart, des Implantatdesigns, der Implantatlänge sowie der Implantatbreite auf das gemittelte periimplantäre radiologische Knochenniveau. Statistisch signifikant ist jedoch der zunehmende Knochenabbau je weiter distal die Implantate im Kiefer gesetzt werden. Keine statistisch signifikanten Einflüsse auf den Implantaterfolg ergaben sich durch den Implantatzeitpunkt und die provisorische Belastungsart. Für das Implantatdesign (die Gewindeform) ergibt sich ein sechsmal höheres Risiko für den Implantatmisserfolg bei Verwendung der Gewindeform Dynamic Thread.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Limitationen und Einschränkungen der Studie können Keramikimplantate unabhängig von ihrem Implantationszeitpunkt und ihrer Belastungsart ähnliche Ergebnisse bezüglich marginalem röntgenologischen Knochenabbau, Verlustrate und Patientenzufriedenheit verglichen mit Titanimplantaten erzielen. Insbesondere in der ästhetischen Zone können Implantate aus Zirkoniumdioxid aufgrund ihres hohen ästhetischen Potentials eine Alternative zu herkömmlichen Titanimplantaten darstellen. Aufgrund der vergleichsweise großen Fallzahl dieser Studie lässt sich schlussfolgern, dass Keramikimplantate für die untersuchten Behandlungsmaßnahmen (Sofortimplantation und Sofortversorgung) geeignet sind.

Um nachhaltig verlässliche Aussagen machen zu können bedarf es allerdings weiterer kontrollierter Langzeituntersuchungen.

## 6 Abstract

### Zusammenfassung

Das Ziel dieser Dissertation war die Untersuchung des Outcomes von Sofortimplantaten eines Keramikimplantatsystems (Swiss Dental Solutions) nach Sofort- und Spätbelastung im Ober- und Unterkiefer und deren Osseointegration. Die Sicherheit und Erfolgsrate bezüglich periimplantärem Knochenverlauf und Weichgewebsverhalten dieser Vorgehensweise wurden in Bezug auf patientenbezogene und prothetische Faktoren bestimmt und die Patientenzufriedenheit über einen Fragebogen ermittelt.

In die Studie wurden die von Juni 2013 bis Juni 2015 in der Zahnärztlichen Tagesklinik Dr. Scholz (ehem. Dr. Volz und Dr. Scholz), Konstanz, Zahnarztpraxis Dr. Steinbach & Kollegen, Stuttgart und Paracelsus Klinik Lustmühle, CH-Teufen behandelten Patienten mit Sofort- und Spätimplantaten und Sofort- und konventioneller Versorgung eingeschlossen.

Nach 783 Tagen maximaler Beobachtungszeit ergab sich eine Überlebensrate von 92% und eine Erfolgsrate von 91,3%.

Der Knochenverlust über den gesamten Untersuchungszeitraum betrug im Mittel -0,58 mm für Sofortimplantate und -0,73 mm für Spätimplantate. Ein statistisch signifikanter Einfluss von Belastungsart und Implantatzeitpunkt auf den Implantaterfolg und den periimplantären radiologischen Knochenverlust wurde nicht gefunden.

Der mittlere Pink Esthetic Score lag für die Sofortimplantate bei 12,14 und 12,3 Punkten und für den OHIP Fragebogen ergab sich eine Rücklaufquote von n=22 (53,7%) mit einem Durchschnitt von 0,54 Punkten.

Die Überlebenswahrscheinlichkeit für Sofortimplantate in dieser Studie betrug nach rund 26 Monaten 90,3% und für Spätimplantate 97,3%. In Abhängigkeit von der Belastungsart ergab sich eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 93,5% für sofortversorgte Implantate nach rund 20 Monaten und von 86,5% für Implantate ohne Sofortversorgung nach rund 26 Monaten.

Unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien konnte gezeigt werden, dass Zirkonimplantate nach strenger Indikationsstellung für die Sofortimplantation und Sofortversorgung geeignet sind.

## Summary

The aim of this study was the investigation of the outcome of immediate implants of a ceramic implant system (Swiss Dental Solutions) after immediate and conventional loading in the upper and lower jaw and their osseointegration. The success rate with regard to peri-implant bone height and soft tissue behavior of this procedure were determined with regard to patient-related and prosthetic factors. Additionally patient satisfaction was determined by a questionnaire (OHIP).

The study included patients treated from June 2013 to June 2015 in the dental practices of Dr. Scholz (former Dr. Volz and Dr. Scholz), Konstanz, Dr. Steinbach & colleagues, Stuttgart and Paracelsus Klinik Lustmühle, CH-Teufen with immediate and late implants and immediate and conventional loading. After 783 days of maximum observation time survival rate was 92% and a success rate 91.3%. Bone loss over the entire study period was -0.58 mm for immediate implants and -0.73 mm for late implants. A statistically significant influence of type of loading and time point of placement on the implant success and the peri-implant radiological bone loss was not found. The mean pink esthetic score for the immediate implants was 12.14 and 12.3 points, and for the OHIP questionnaire the response rate was n = 22 (53.7%) with an average of 0.54 points. The survival probability for immediate implants in this study was 90.3% after about 26 months and 97.3% for late implants. Depending on the type of loading, a survival probability of 93.5% for implants with immediate loading after approximately 20 months and of 86.5% for implants without immediate loading after 26 months was found. Taking into account the inclusion criteria dental zirconia implants are suitable for immediate implantation and immediate loading after a strict indication.

## 7 Anhang

### 7.1 Beispiel für Pink Esthetic Score Fragebogen

Fall 1:

Implantat Regio 43, Bild oben vorher, Bild unten nach Implantation mit Suprakonstruktion.



Score 0, 1 oder 2

Implantat Nr.	Mesiale Papille	Distale Papille	Höhe der marginalen Gingiva	Weichgewebskontur	Alveolarfortsatz	Weichgewebsfarbe	Weichgewebstextur
1							

## 7.2 OHIP Fragebogen

Teilnehmer-Nr.: \_\_\_\_\_

Bitte machen Sie Angaben zu Studienrelevanten Parametern:

Rauchen Sie? Ja  Nein   
 Wenn ja, wieviele Zigaretten/Tag: \_\_\_\_; Seit wievielen Jahren: \_\_\_\_

Knirschen Sie? Ja  Nein

Haben Sie jemals Bisphosphonate genommen? Ja  Nein   
 Wenn ja, vor wievielen Jahren: \_\_\_\_; Wie lange: \_\_\_\_

Leiden Sie unter Osteoporose? Ja  Nein

Leiden Sie unter Diabetes Mellitus? Ja  Nein

Welche Medikamente nehmen Sie? Bitte Bezeichnung und Dosierung angeben:

- 
- 
- 
- 
- 
- 

Haben Sie Allergien oder Medikamentenunverträglichkeiten? Wenn ja: wogegen?

- 
- 

Bitte teilen Sie uns durch die Beantwortung der folgenden Fragen mit, wie zufrieden Sie mit dem Zustand Ihrer Zähne seit endgültiger implantatprothetischer Versorgung waren.

Seit implantatprothetischer Versorgung:		Antwort					
		Immer	sehr oft	oft	ab und zu	kaum	nie
1	Haben Sie aufgrund von Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder auch anderer Probleme in der Mundhöhle Schwierigkeiten beim Kauen bestimmter Nahrungsmittel gehabt?	5	4	3	2	1	0
2	Haben sich des Öfteren Speisereste zwischen Ihren Zähnen bzw. unter dem endgültigen Zahnersatz angesammelt?	5	4	3	2	1	0
3	Hatten Sie das Gefühl, dass Ihr Zahnersatz nicht richtig passt?	5	4	3	2	1	0
4	Haben Sie unter Schmerzen in der Mundhöhle gelitten?	5	4	3	2	1	0
5	War es für Sie unangenehm wegen Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder anderer Probleme in der Mundhöhle bestimmte Nahrungsmittel zu essen?	5	4	3	2	1	0
6	Hatten Sie wunde Stellen im Mund?	5	4	3	2	1	0
7	War Ihnen Ihr Zahnersatz unangenehm?	5	4	3	2	1	0
8	Haben Ihre Probleme mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder andere Probleme in der Mundhöhle Sie beunruhigt?	5	4	3	2	1	0
9	Haben Sie aufgrund des Zustandes Ihrer Zähne, des Zahnersatzes oder Ihrer Mundhöhle unsicher gefühlt?	5	4	3	2	1	0

		immer	Sehr oft	oft	ab und zu	kaum	nie
10	Haben Sie es aufgrund von Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder anderer Probleme in der Mundhöhle vermieden einige Nahrungsmittel zu essen?	5	4	3	2	1	0
11	Haben Ihre Probleme mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder andere Probleme in der Mundhöhle Ihre Ernährungsgewohnheiten ungünstig beeinflusst?	5	4	3	2	1	0
12	War es Ihnen unmöglich mit Ihrem Zahnersatz zu essen?	5	4	3	2	1	0
13	Mussten Sie Ihre Mahlzeiten wegen Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder durch andere Probleme in der Mundhöhle unterbrechen?	5	4	3	2	1	0
14	Haben Sie sich über Probleme mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder andere Probleme in der Mundhöhle geärgert?	5	4	3	2	1	0
15	Waren Sie aufgrund von Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder durch andere Probleme in der Mundhöhle jemals ein wenig verlegen?	5	4	3	2	1	0
16	Haben sie wegen Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder anderer Probleme in der Mundhöhle darauf verzichtet auszugehen?	5	4	3	2	1	0
17	Waren Sie aufgrund von Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder wegen anderer Probleme in der Mundhöhle weniger tolerant gegenüber Ihrem Partner oder Ihrer Familie?	5	4	3	2	1	0
18	Waren Sie wegen Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder anderer Probleme in der Mundhöhle leicht reizbar im Umgang mit anderen Menschen?	5	4	3	2	1	0
19	Waren Sie aufgrund von Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder durch andere Probleme in der Mundhöhle nicht in der Lage die Gesellschaft anderer Menschen zu genießen?	5	4	3	2	1	0
20	Hatten Sie das Gefühl, dass aufgrund von Problemen mit den Zähnen, dem Zahnersatz oder anderen Problemen in der Mundhöhle Ihr Leben insgesamt weniger befriedigend war?	5	4	3	2	1	0

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: SDS-Implantat- und Gewindetypen; links SDS 1.1 DT Design, Mitte SDS 1.0 ATZ RD Design, rechts SDS 2.0 DT Design .....	24
Abbildung 2: Längenbestimmung SDS 1.0 RD (ATZ), Länge 11 mm.....	25
Abbildung 3: Längenbestimmung SDS 2.0 DT, Länge 11 mm .....	25
Abbildung 4: Bohrprotokoll DT Knochen Klasse I.....	38
Abbildung 5: Bohrprotokoll DT Knochen Klasse III-IV .....	39
Abbildung 6: Längenbestimmung SDS 1.0 RD (ATZ), Länge 11 mm, Referenzpunkt ist die Linie mit einem Abstand von 5,9 mm zum Implantatkopf .....	43
Abbildung 7: Längenbestimmung SDS 2.0 DT, Länge 11 mm, Referenzpunkt ist die Linie mit 11 mm Abstand zur Implantatspitze.....	44
Abbildung 8: Bestimmung der Knochenhöhe .....	45

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifizierung der Knochenqualität (Misch, 1990) .....	22
Tabelle 2: Sofortversorgungsprotokoll nach SDS – Swiss Dental Solutions (SDS-SwissDentalSolutions, 2015b) .....	27
Tabelle 3: Success Scale for Dental Implants der Pisa Consensus Conference, Italy 2007 (Misch et al., 2008) .....	46
Tabelle 4: Erhebung des Pink Esthetic Scores (Furhauser et al., 2005) .....	48
Tabelle 5: Verteilung der Implantatlängen und -breiten .....	53
Tabelle 6: Kreuztabelle über das Verhältnis von Sofortversorgung zum Implantatzeitpunkt.....	54
Tabelle 7: Implantatanzahl pro Implantatregion.....	56
Tabelle 8: Implantatanzahl pro Patient .....	58
Tabelle 9: Differenz Knochenhöhe zum Zeitpunkt letztes Recall verglichen mit unmittelbar postoperativem Kontrollbild .....	61
Tabelle 10: Pink Esthetic Scores zu den Zeitpunkten der Messungen .....	63
Tabelle 11: Häufigkeiten von 0, 1 und 2 Punkten .....	64
Tabelle 12: Reliabilität der Intraobserver-Übereinstimmung.....	65
Tabelle 13: Reliabilität der Interobserver-Übereinstimmung.....	65
Tabelle 14: Auswertungsübersicht des OHIP-Fragebogens.....	66
Tabelle 15: Übersicht der Zeitpunkte einzelnen Implantatverluste .....	72
Tabelle 16: Verlustanalyse .....	73
Tabelle 17: Misserfolgsrate auf Implantatebene.....	74

– Tabellenverzeichnis –

Tabelle 18: Erfolgsanalyse auf Patientenebene .....	75
Tabelle 19: Erfolgsanalyse auf Implantatebene.....	76
Tabelle 20: Detailedarstellung der Signifikanztests .....	78

## 10 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Häufigkeiten der verschiedenen Implantattypen .....	53
Diagramm 2: Verteilung der Implantationsregion nach Oberkiefer und Unterkiefer .....	55
Diagramm 3: Implantatanzahl nach anterior/posterior .....	57
Diagramm 4: Patientenalter als Histogramm .....	59
Diagramm 5: Darstellung des gemittelten periimplantären radiologischen Knochenniveaus in Abhängigkeit von Implantatzeitpunkt und provisorischer Belastungsart.....	61
Diagramm 6: Darstellung des gemittelten periimplantären radiologischen Knochenniveaus in Abhängigkeit von Implantatdesign und –länge .....	62
Diagramm 7: Lineare Darstellung der Difference from Baseline des gemittelten periimplantären radiologischen Knochenniveaus nach Regionen nach Kovarianzanalyse .....	62
Diagramm 8: Boxplot OHIP-Fragebogen Ergebnisse* .....	67
Diagramm 9: Darstellung der Überlebensfunktion des Gesamtkollektivs .....	69
Diagramm 10: Darstellung der Überlebensfunktion in Abhängigkeit des Implantatzeitpunkts.....	70
Diagramm 11: Darstellung der Überlebensfunktion in Abhängigkeit des Belastungszeitpunkts.....	71
Diagramm 12: Boxplot Zeitdifferenz bis Verlust bezogen auf Implantate .....	72
Diagramm 13: Boxplot Zeitdifferenz bis Verlust bezogen auf Patienten.....	72

## 11 Literaturverzeichnis

1. Abrahamsson, I., Berglundh, T., Linder, E., Lang, N. P. & Lindhe, J. 2004. Early bone formation adjacent to rough and turned endosseous implant surfaces. An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res*, 15: 381-92.
2. Abron, A., Hopfensperger, M., Thompson, J. & Cooper, L. F. 2001. Evaluation of a predictive model for implant surface topography effects on early osseointegration in the rat tibia model. *J Prosthet Dent*, 85: 40-6.
3. Akagawa, Y. & Abe, Y. 2003. Titanium: the ultimate solution or an evolutionary step? *Int J Prosthodont*, 16 Suppl: 28-9; discussion 47-51.
4. Akagawa, Y., Hosokawa, R., Sato, Y. & Kamayama, K. 1998. Comparison between freestanding and tooth-connected partially stabilized zirconia implants after two years' function in monkeys: a clinical and histologic study. *J Prosthet Dent*, 80: 551-8.
5. Akagawa, Y., Ichikawa, Y., Nikai, H. & Tsuru, H. 1993. Interface histology of unloaded and early loaded partially stabilized zirconia endosseous implant in initial bone healing. *J Prosthet Dent*, 69: 599-604.
6. Albrektsson, T., Gottlow, J., Meirelles, L., Östman, P. O., Rocci, A. & Sennerby, L. 2007. Survival of NobelDirect implants: an analysis of 550 consecutively placed implants at 18 different clinical centers. *Clinical implant dentistry and related research*, 9: 65-70.
7. Albrektsson, T., Zarb, G., Worthington, P. & Eriksson, A. R. 1986. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1: 11-25.
8. Albrektsson, T. & Zarb, G. A. 1998. Determinants of correct clinical reporting. *Int J Prosthodont*, 11: 517-21.
9. Alsabeeha, N. H., Payne, A. G. & Swain, M. V. 2009. Attachment systems for mandibular two-implant overdentures: a review of in vitro investigations on retention and wear features. *Int J Prosthodont*, 22: 429-40.
10. Anitua, E., Orive, G. & Andia, I. 2006. Wachstumsfaktorenreiches Plasma (PRGF) zur schnelleren Knochen- und Weichgeweberegeneration in Extraktionsalveolen.
11. Anner, R., Better, H. & Chaushu, G. 2005. The clinical effectiveness of 6 mm diameter implants. *J Periodontol*, 76: 1013-5.

12. Araujo, M. G. & Lindhe, J. 2005. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol*, 32: 212-8.
13. Araujo, M. G., Sukekava, F., Wennstrom, J. L. & Lindhe, J. 2005. Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: an experimental study in the dog. *J Clin Periodontol*, 32: 645-52.
14. Araújo, M. G., Wennström, J. L. & Lindhe, J. 2006. Modeling of the buccal and lingual bone walls of fresh extraction sites following implant installation. *Clinical oral implants research*, 17: 606-614.
15. Avila, G., Galindo, P., Rios, H. & Wang, H. L. 2007. Immediate implant loading: current status from available literature. *Implant Dent*, 16: 235-45.
16. Balshi, T. J. & Wolfinger, G. J. 1997. Immediate loading of Branemark implants in edentulous mandibles: a preliminary report. *Implant Dent*, 6: 83-8.
17. Barone, A., Marconcini, S., Giammarinaro, E., Mijiritsky, E., Gelpi, F. & Covani, U. 2016. Clinical Outcomes of Implants Placed in Extraction Sockets and Immediately Restored: A 7-Year Single-Cohort Prospective Study. *Clin Implant Dent Relat Res*.
18. Bianco, P. D., Ducheyne, P. & Cuckler, J. M. 1996. Local accumulation of titanium released from a titanium implant in the absence of wear. *J Biomed Mater Res*, 31: 227-34.
19. Borgonovo, A., Censi, R., Dolci, M., Vavassori, V., Bianchi, A. & Maiorana, C. 2011. Use of endosseous one-piece yttrium-stabilized zirconia dental implants in premolar region: a two-year clinical preliminary report. *Minerva Stomatol*, 60: 229-41.
20. Borgonovo, A. E., Censi, R., Vavassori, V., Dolci, M., Calvo-Guirado, J. L., Delgado Ruiz, R. A. & Maiorana, C. 2013. Evaluation of the success criteria for zirconia dental implants: a four-year clinical and radiological study. *Int J Dent*, 2013: 463073.
21. Borgonovo, A. E., Fabbri, A., Vavassori, V., Censi, R. & Maiorana, C. 2012. Multiple teeth replacement with endosseous one-piece yttrium-stabilized zirconia dental implants. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 17: e981-7.
22. Bornstein, M. M., Lussi, A., Schmid, B., Belser, U. C. & Buser, D. 2003. Early loading of nonsubmerged titanium implants with a sandblasted and acid-etched (SLA) surface: 3-year results of a prospective study in partially edentulous patients. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 18: 659-66.

23. Botticelli, D., Berglundh, T. & Lindhe, J. 2004. Hard-tissue alterations following immediate implant placement in extraction sites. *J Clin Periodontol*, 31: 820-8.
24. Branemark, P. I. 1983. Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent*, 50: 399-410.
25. Branemark, P. I., Hansson, B. O., Adell, R., Breine, U., Lindstrom, J., Hallen, O. & Ohman, A. 1977. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl*, 16: 1-132.
26. Brull, F., Van Winkelhoff, A. J. & Cune, M. S. 2014. Zirconia dental implants: a clinical, radiographic, and microbiologic evaluation up to 3 years. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29: 914-20.
27. Brune, D. 1986. Metal release from dental biomaterials. *Biomaterials*, 7: 163-75.
28. Brunski, J. B. 1992. Biomechanical factors affecting the bone-dental implant interface. *Clin Mater*, 10: 153-201.
29. Burgueno-Barris, G., Cortes-Acha, B., Figueiredo, R. & Valmaseda-Castellon, E. 2016. Aesthetic perception of single implants placed in the anterior zone. A cross-sectional study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 21: e488-493.
30. Buser, D., Nydegger, T., Oxland, T., Cochran, D. L., Schenk, R. K., Hirt, H. P., Snetivy, D. & Nolte, L. P. 1999. Interface shear strength of titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: a biomechanical study in the maxilla of miniature pigs. *J Biomed Mater Res*, 45: 75-83.
31. Buser, D., Schenk, R. K., Steinemann, S., Fiorellini, J. P., Fox, C. H. & Stich, H. 1991. Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs. *J Biomed Mater Res*, 25: 889-902.
32. Buser, D., Von Arx, T., Ten Bruggenkate, C. & Weingart, D. 2000. Basic surgical principles with ITI implants  
Note. *Clinical Oral Implants Research*, 11: 59-68.
33. Buser, D., Weber, H. P. & Lang, N. P. 1990. Tissue integration of non-submerged implants. 1-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants. *Clin Oral Implants Res*, 1: 33-40.
34. Calandriello, R., Tomatis, M. & Rangert, B. 2003. Immediate functional loading of Branemark System implants with enhanced initial stability: a

- prospective 1- to 2-year clinical and radiographic study. *Clin Implant Dent Relat Res*, 5 Suppl 1: 10-20.
35. Camargo, P. M., Lekovic, V., Weinlaender, M., Klokkevold, P. R., Kenney, E. B., Dimitrijevic, B., Nedic, M., Jancovic, S. & Orsini, M. 2000. Influence of bioactive glass on changes in alveolar process dimensions after exodontia. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 90: 581-6.
36. Cannizzaro, G., Felice, P., Leone, M., Ferri, V., Viola, P. & Esposito, M. 2012. Immediate versus early loading of 6.5 mm-long flapless-placed single implants: a 4-year after loading report of a split-mouth randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol*, 5: 111-21.
37. Cannizzaro, G., Leone, M., Torchio, C., Viola, P. & Esposito, M. 2008. Immediate versus early loading of 7-mm-long flapless-placed single implants: a split-mouth randomised controlled clinical trial. *Eur J Oral Implantol*, 1: 277-92.
38. Cardaropoli, D., Tamagnone, L., Roffredo, A. & Gaveglione, L. 2015. Soft tissue contour changes at immediate postextraction single-tooth implants with immediate restoration: a 12-month prospective cohort study. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 35: 191-8.
39. Carrillo De Albornoz, A., Vignoletti, F., Ferrantino, L., Cardenas, E., De Sanctis, M. & Sanz, M. 2014. A randomized trial on the aesthetic outcomes of implant-supported restorations with zirconia or titanium abutments. *J Clin Periodontol*, 41: 1161-9.
40. Chen, S. T., Beagle, J., Jensen, S. S., Chiapasco, M. & Darby, I. 2009. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding surgical techniques. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 24 Suppl: 272-8.
41. Chen, S. T. & Buser, D. 2009. Clinical and esthetic outcomes of implants placed in postextraction sites. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 24 Suppl: 186-217.
42. Chrcanovic, B. R., Albrektsson, T. & Wennerberg, A. 2015. Dental implants inserted in fresh extraction sockets versus healed sites: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 43: 16-41.
43. Christel, P. S. 1989. Zirconia: the second generation of ceramics for total hip replacement. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst*, 49: 170-7.
44. Cochran, D. L., Morton, D. & Weber, H.-P. 2003. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols for endosseous dental implants. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 19: 109-113.

45. Cochran, D. L., Morton, D. & Weber, H. P. 2004. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols for endosseous dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 19 Suppl: 109-13.
46. Cochran, D. L., Schenk, R. K., Lussi, A., Higginbottom, F. L. & Buser, D. 1998. Bone response to unloaded and loaded titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: a histometric study in the canine mandible. *J Biomed Mater Res*, 40: 1-11.
47. Cosyn, J., De Bruyn, H. & Cleymaet, R. 2013. Soft tissue preservation and pink aesthetics around single immediate implant restorations: a 1-year prospective study. *Clin Implant Dent Relat Res*, 15: 847-57.
48. Cosyn, J., Eghbali, A., De Bruyn, H., Collys, K., Cleymaet, R. & De Rouck, T. 2011. Immediate single-tooth implants in the anterior maxilla: 3-year results of a case series on hard and soft tissue response and aesthetics. *J Clin Periodontol*, 38: 746-53.
49. Covani, U., Bortolaia, C., Barone, A. & Sbordone, L. 2004. Bucco-lingual crestal bone changes after immediate and delayed implant placement. *J Periodontol*, 75: 1605-12.
50. Covani, U., Chiappe, G., Bosco, M., Orlando, B., Quaranta, A. & Barone, A. 2012. A 10-year evaluation of implants placed in fresh extraction sockets: a prospective cohort study. *J Periodontol*, 83: 1226-34.
51. Covani, U., Cornelini, R. & Barone, A. 2003. Bucco-lingual bone remodeling around implants placed into immediate extraction sockets: a case series. *J Periodontol*, 74: 268-73.
52. Cramer Von Clausbruch, S. 2003. Zirkon und Zirkonium. *Dent Lab*, 51: 1137-1142.
53. Dard, M., Kuehne, S., Obrecht, M., Grandin, M., Helfenstein, J. & Pippenger, B. E. 2016. Integrative Performance Analysis of a Novel Bone Level Tapered Implant. *Adv Dent Res*, 28: 28-33.
54. Davies, J. E. 1998. Mechanisms of endosseous integration. *Int J Prosthodont*, 11: 391-401.
55. Davies, J. E. 2003. Understanding peri-implant endosseous healing. *J Dent Educ*, 67: 932-49.
56. De Bruyn, H., Raes, F., Cooper, L. F., Reside, G., Garriga, J. S., Tarrida, L. G., Wiltfang, J. & Kern, M. 2013. Three-years clinical outcome of immediate provisionalization of single Osseospeed() implants in extraction sockets and healed ridges. *Clin Oral Implants Res*, 24: 217-23.

57. De Bruyn, H., Raes, S., Östman, P.-O. & Cosyn, J. 2014. Immediate loading in partially and completely edentulous jaws: a review of the literature with clinical guidelines. *Periodontology 2000*, 66: 153-187.
58. Degidi, M., Artese, L., Scarano, A., Perrotti, V., Gehrke, P. & Piattelli, A. 2006. Inflammatory Infiltrate, Microvessel Density, Nitric Oxide Synthase Expression, Vascular Endothelial Growth Factor Expression, and Proliferative Activity in Peri-Implant Soft Tissues Around Titanium and Zirconium Oxide Healing Caps. *Journal of Periodontology*, 77: 73-80.
59. Degidi, M., Petrone, G., Lezzi, G. & Piattelli, A. 2003. Histologic evaluation of 2 human immediately loaded and 1 titanium implants inserted in the posterior mandible and submerged retrieved after 6 months. *J Oral Implantol*, 29: 223-9.
60. Degidi, M. & Piattelli, A. 2005. Comparative analysis study of 702 dental implants subjected to immediate functional loading and immediate nonfunctional loading to traditional healing periods with a follow-up of up to 24 months. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 20: 99-107.
61. Degidi, M., Piattelli, A., Shibli, J. A., Perrotti, V. & Lezzi, G. 2009. Bone formation around immediately loaded and submerged dental implants with a modified sandblasted and acid-etched surface after 4 and 8 weeks: a human histologic and histomorphometric analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 24: 896-901.
62. Depprich, R., Naujoks, C., Ommerborn, M., Schwarz, F., Kübler, N. R. & Handschel, J. 2014. Current Findings Regarding Zirconia Implants. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 16: 124-137.
63. Donati, M., Botticelli, D., La Scala, V., Tomasi, C. & Berglundh, T. 2013. Effect of immediate functional loading on osseointegration of implants used for single tooth replacement. A human histological study. *Clin Oral Implants Res*, 24: 738-45.
64. Ebell, M. H., Siwek, J., Weiss, B. D., Woolf, S. H., Susman, J., Ewigman, B. & Bowman, M. 2004. Strength of recommendation taxonomy (SORT): a patient-centered approach to grading evidence in the medical literature. *Am Fam Physician*, 69: 548-56.
65. Esposito, M., Grusovin, M. G., Achille, H., Coulthard, P. & Worthington, H. V. 2009. Interventions for replacing missing teeth: different times for loading dental implants. *Cochrane Database Syst Rev*: Cd003878.
66. Esposito, M., Grusovin, M. G., Polyzos, I. P., Felice, P. & Worthington, H. V. 2010. Timing of implant placement after tooth extraction: immediate,

- immediate-delayed or delayed implants? A Cochrane systematic review. *Eur J Oral Implantol*, 3: 189-205.
67. Esposito, M. A., Koukouloupoulou, A., Coulthard, P. & Worthington, H. V. 2006. Interventions for replacing missing teeth: dental implants in fresh extraction sockets (immediate, immediate-delayed and delayed implants). *Cochrane Database Syst Rev*: Cd005968.
68. Evans, A. G. & Cannon, R. M. 1986. Toughening of brittle solids by martensitic transformations. *Acta Metall*, 34: 761-800.
69. Felice, P., Soardi, E., Piattelli, M., Pistilli, R., Jacotti, M. & Esposito, M. 2011. Immediate non-occlusal loading of immediate post-extractive versus delayed placement of single implants in preserved sockets of the anterior maxilla: 4-month post-loading results from a pragmatic multicentre randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol*, 4: 329-344.
70. Foitzik, C. 1995. *ITI - Das Dental Implantat System*, Schlütersche Verlagsanstalt.
71. Frisken, K. W., Dandie, G. W., Lugowski, S. & Jordan, G. 2002. A study of titanium release into body organs following the insertion of single threaded screw implants into the mandibles of sheep. *Aust Dent J*, 47: 214-7.
72. Furhauser, R., Florescu, D., Benesch, T., Haas, R., Mailath, G. & Watzek, G. 2005. Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clin Oral Implants Res*, 16: 639-44.
73. Gahlert, M., Burtscher, D., Pfundstein, G., Grunert, I., Kniha, H. & Roehling, S. 2013. Dental zirconia implants up to three years in function: a retrospective clinical study and evaluation of prosthetic restorations and failures. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 28: 896-904.
74. Gahlert, M., Roehling, S., Sprecher, C. M., Kniha, H., Milz, S. & Bormann, K. 2012. In vivo performance of zirconia and titanium implants: a histomorphometric study in mini pig maxillae. *Clin Oral Implants Res*, 23: 281-6.
75. Gahlert, M., Rohling, S., Wieland, M., Eichhorn, S., Kuchenhoff, H. & Kniha, H. 2010. A comparison study of the osseointegration of zirconia and titanium dental implants. A biomechanical evaluation in the maxilla of pigs. *Clin Implant Dent Relat Res*, 12: 297-305.
76. Gahlert, M., Rohling, S., Wieland, M., Sprecher, C. M., Kniha, H. & Milz, S. 2009. Osseointegration of zirconia and titanium dental implants: a histological and histomorphometrical study in the maxilla of pigs. *Clin Oral Implants Res*, 20: 1247-53.

77. Gallucci, G. O., Benic, G. I., Eckert, S. E., Papaspyridakos, P., Schimmel, M., Schrott, A. & Weber, H. P. 2014. Consensus statements and clinical recommendations for implant loading protocols. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29 Suppl: 287-90.
78. Ganeles, J. & Wismeijer, D. 2004. Early and immediately restored and loaded dental implants for single-tooth and partial-arch applications. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 19 Suppl: 92-102.
79. Gehrke, S. A., Perez-Albacete Martinez, C., Piattelli, A., Shibli, J. A., Markovic, A. & Calvo Guirado, J. L. 2016. The influence of three different apical implant designs at stability and osseointegration process: experimental study in rabbits. *Clin Oral Implants Res*.
80. Glauser, R., Lundgren, A. K., Gottlow, J., Sennerby, L., Portmann, M., Ruhstaller, P. & Hammerle, C. H. 2003. Immediate occlusal loading of Branemark TiUnite implants placed predominantly in soft bone: 1-year results of a prospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res*, 5 Suppl 1: 47-56.
81. Gómez-Román, G., D'hoedt, B., Axmann, D. & Schulte, W. 1996. Visual-metric measurement of periimplant bone defects on radiographs. *Z Zahnärztl Implantol*, 12: 104-109.
82. Gutwald, R., Gellrich, N.-C. & Schmelzeisen, R. 2010. *Einführung in die zahnärztliche Chirurgie und Implantologie*, Köln, Deutscher Zahnärzte Verlag.
83. Hammerle, C. H., Chen, S. T. & Wilson, T. G., Jr. 2004. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding the placement of implants in extraction sockets. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 19 Suppl: 26-8.
84. Heuer, A. H., Lange, F. F., Swain, M. V. & Evans, A. G. 2000. Transformation toughening: an overview. *J Am Ceram Soc*, 83: 461-487.
85. Holahan, C. M., Wiens, J. L., Weaver, A., Assad, D. & Koka, S. 2011. Relationship between systemic bone mineral density and local bone quality as effectors of dental implant survival. *Clin Implant Dent Relat Res*, 13: 29-33.
86. Hui, E., Chow, J., Li, D., Liu, J., Wat, P. & Law, H. 2001. Immediate provisional for single-tooth implant replacement with Branemark system: preliminary report. *Clin Implant Dent Relat Res*, 3: 79-86.
87. Iasella, J. M., Greenwell, H., Miller, R. L., Hill, M., Drisko, C., Bohra, A. A. & Scheetz, J. P. 2003. Ridge preservation with freeze-dried bone allograft

- and a collagen membrane compared to extraction alone for implant site development: a clinical and histologic study in humans. *J Periodontol*, 74: 990-9.
88. Imd Labor Berlin Potsdam. 2017. Lymphozytentransformationstest (LTT): IMD Institut für medizinische Diagnostik, Labor. Berlin [Online im Internet]: <http://www.imd-berlin.de/spezielle-kompetenzen/zahnmedizin/allergien-und-unvertraeglichkeiten/lymphozytentransformationstest-ltt.html> [Stand 15:15 Uhr, 03.09. 2017].
89. Ivanoff, C. J., Hallgren, C., Widmark, G., Sennerby, L. & Wennerberg, A. 2001. Histologic evaluation of the bone integration of TiO(2) blasted and turned titanium microimplants in humans. *Clin Oral Implants Res*, 12: 128-34.
90. Jacobi-Gresser, E., Huesker, K. & Schütt, S. 2013. Genetic and immunological markers predict titanium implant failure: a retrospective study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 42: 537-543.
91. Kaplan, E. L. & Meier, P. 1958. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American statistical association*, 53 (282): 457-481.
92. Kappert, H. & Eichner, K. 2008. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 2 Werkstoffe unter klinischen Aspekten-6. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
93. Khzam, N., Arora, H., Kim, P., Fisher, A., Mattheos, N. & Ivanovski, S. 2015. Systematic Review of Soft Tissue Alterations and Esthetic Outcomes Following Immediate Implant Placement and Restoration of Single Implants in the Anterior Maxilla. *J Periodontol*, 86: 1321-30.
94. Kim, H. Y., Shin, S. W. & Lee, J. Y. 2014. Standardizing the evaluation criteria on treatment outcomes of mandibular implant overdentures: a systematic review. *J Adv Prosthodont*, 6: 325-32.
95. Kohal, R. 2013. Was wissen wir über Implantate aus Zirkonoxid keramik? Eine kurze Übersicht mit Fallbeispielen. *Implantologie 2014;22(1):9–36*.
96. Kohal, R., Bernhart, J. & Sperlich, M. 2009a. Clinical evaluation of an alumina-toughened zirconia oral implant: 1-year follow-up. *Clin Oral implants Res*, 20: 333-9.
97. Kohal, R. J., Wolkewitz, M., Hinze, M., Han, J. S., Bachle, M. & Butz, F. 2009b. Biomechanical and histological behavior of zirconia implants: an experiment in the rat. *Clin Oral Implants Res*, 20: 333-9.

98. Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. 2014. Überprüfung der Konsistenz von Itemgruppen mit Cronbachs alpha. *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*: 439.
99. Lambrich, M. & Iglhaut, G. 2008. Vergleich der Überlebensrate von Zirkondioxid- und Titanimplantaten. *Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie*, 24: 182-191.
100. Lang, N. P., Tonetti, M. S., Suvan, J. E., Pierre Bernard, J., Botticelli, D., Fourmouis, I., Hallund, M., Jung, R., Laurell, L., Salvi, G. E., Shafer, D. & Weber, H. P. 2007. Immediate implant placement with transmucosal healing in areas of aesthetic priority. A multicentre randomized-controlled clinical trial I. Surgical outcomes. *Clin Oral Implants Res*, 18: 188-96.
101. Ledermann, D. 1983. [6-year clinical trial with titanium plasma-coated ITI (Internationales Team für Implantologie) screw implants in the mandibular interforaminal region]. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd*, 93: 1070-89.
102. Lee, J.-Y., Kim, S.-G., Moon, S.-Y., Lim, S.-C., Ong, J. L. & Lee, K.-M. 2009. A short-term study on immediate functional loading and immediate nonfunctional loading implant in dogs: Histomorphometric evaluation of bone reaction. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 107: 519-524.
103. Liñares, A., Grize, L., Muñoz, F., Pippenger, B. E., Dard, M., Domken, O. & Blanco-Carrión, J. 2016. Histological assessment of hard and soft tissues surrounding a novel ceramic implant: a pilot study in the minipig. *Journal of Clinical Periodontology*: n/a-n/a.
104. Lops, D., Bressan, E., Chiapasco, M., Rossi, A. & Romeo, E. 2013. Zirconia and titanium implant abutments for single-tooth implant prostheses after 5 years of function in posterior regions. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 28: 281-7.
105. Malo, P., Friberg, B., Polizzi, G., Gualini, F., Vighagen, T. & Rangert, B. 2003. Immediate and early function of Branemark System implants placed in the esthetic zone: a 1-year prospective clinical multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res*, 5 Suppl 1: 37-46.
106. Marco, F., Milena, F., Gianluca, G. & Vittoria, O. 2005. Peri-implant osteogenesis in health and osteoporosis. *Micron*, 36: 630-644.
107. Marković, A., Calvo-Guirado, J. L., Lazić, Z., Gómez-Moreno, G., Calasan, D., Guardia, J., Čolic, S., Aguilar-Salvatierra, A., Gačić, B., Delgado-Ruiz, R., Janjić, B. & Mišić, T. 2013. Evaluation of Primary Stability of

- Self-Tapping and Non-Self-Tapping Dental Implants. A 12-Week Clinical Study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 15: 341-349.
108. Martin, W. C., Pollini, A. & Morton, D. 2014. The influence of restorative procedures on esthetic outcomes in implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29 Suppl: 142-54.
109. Martini, D., Fini, M., Franchi, M., Pasquale, V. D., Bacchelli, B., Gamberini, M., Tinti, A., Taddei, P., Giavaresi, G., Ottani, V., Raspanti, M., Guizzardi, S. & Ruggeri, A. 2003. Detachment of titanium and fluorohydroxyapatite particles in unloaded endosseous implants. *Biomaterials*, 24: 1309-16.
110. Mellinghoff, J. 2006. Erste klinische Ergebnisse zu dentalen Schraubenimplantaten aus Zirkonoxid. *ZZI Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie*, 22.
111. Mendonca, G., Mendonca, D. B., Aragao, F. J. & Cooper, L. F. 2008. Advancing dental implant surface technology--from micron- to nanotopography. *Biomaterials*, 29: 3822-35.
112. Misch, C. E. 1990. Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive bone loading. *Int J Oral Implantol*, 6: 23-31.
113. Misch, C. E., Perel, M. L., Wang, H. L., Sammartino, G., Galindo-Moreno, P., Trisi, P., Steigmann, M., Rebaudi, A., Palti, A., Pikos, M. A., Schwartz-Arad, D., Choukroun, J., Gutierrez-Perez, J. L., Marenzi, G. & Valavanis, D. K. 2008. Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference. *Implant Dent*, 17: 5-15.
114. Monteiro, D. R., Silva, E. V., Pellizzer, E. P., Filho, O. M. & Goiato, M. C. 2015. Posterior partially edentulous jaws, planning a rehabilitation with dental implants. *World J Clin Cases*, 3: 65-76.
115. Morton, D., Chen, S. T., Martin, W. C., Levine, R. A. & Buser, D. 2014. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding optimizing esthetic outcomes in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29 Suppl: 216-20.
116. Muelas-Jimenez, M. I., Olmedo-Gaya, M. V., Manzano-Moreno, F. J., Reyes-Botella, C. & Vallecillo-Capilla, M. 2015. Long-Term Survival of Dental Implants with Different Prosthetic Loading Times in Healthy Patients: A 5-Year Retrospective Clinical Study. *J Prosthodont*.
117. Nentwig, G. H. 2004. Ankylos implant system: concept and clinical application. *J Oral Implantol*, 30: 171-7.

118. Nielsen, R. 1996. Zirconium and zirconium compounds *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
119. Noelken, R., Kunkel, M. & Wagner, W. 2011. Immediate implant placement and provisionalization after long-axis root fracture and complete loss of the facial bony lamella. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 31: 175-83.
120. O'sullivan, D., Sennerby, L. & Meredith, N. 2004. Influence of implant taper on the primary and secondary stability of osseointegrated titanium implants. *Clinical Oral Implants Research*, 15: 474-480.
121. Okabe, E., Ishihara, Y., Kikuchi, T., Izawa, A., Kobayashi, S., Goto, H., Kamiya, Y., Sasaki, K., Ban, S., Noguchi, T., Kawai, T. & Mitani, A. 2015. Adhesion Properties of Human Oral Epithelial-Derived Cells to Zirconia. *Clin Implant Dent Relat Res*.
122. Oliva, J., Oliva, X. & Oliva, J. D. 2007. One-year follow-up of first consecutive 100 zirconia dental implants in humans: a comparison of 2 different rough surfaces. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 22.
123. Oliva, J., Oliva, X. & Oliva, J. D. 2010. Five-year success rate of 831 consecutively placed Zirconia dental implants in humans: a comparison of three different rough surfaces. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 25: 336-44.
124. Östman, P.-O., Hellman, M., Albrektsson, T. & Sennerby, L. 2007. Direct loading of Nobel Direct® and Nobel Perfect® one-piece implants: a 1-year prospective clinical and radiographic study. *Clinical Oral Implants Research*, 18: 409-418.
125. Payer, M., Arnetzl, V., Kirmeier, R., Koller, M., Arnetzl, G. & Jakse, N. 2013. Immediate provisional restoration of single-piece zirconia implants: a prospective case series – results after 24 months of clinical function. *Clinical Oral Implants Research*, 24: 569-575.
126. Payer, M., Heschl, A., Koller, M., Arnetzl, G., Lorenzoni, M. & Jakse, N. 2015. All-ceramic restoration of zirconia two-piece implants--a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res*, 26: 371-6.
127. Polizzi, G., Grunder, U., Goene, R., Hatano, N., Henry, P., Jackson, W. J., Kawamura, K., Renouard, F., Rosenberg, R., Triplett, G., Werbitz, M. & Lithner, B. 2000. Immediate and delayed implant placement into extraction sockets: a 5-year report. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2: 93-9.
128. Raes, F., Cooper, L. F., Tarrida, L. G., Vandromme, H. & De Bruyn, H. 2012. A case-control study assessing oral-health-related quality of life

after immediately loaded single implants in healed alveolar ridges or extraction sockets. *Clin Oral Implants Res*, 23: 602-8.

129. Raes, F., Cosyn, J. & De Bruyn, H. 2013. Clinical, aesthetic, and patient-related outcome of immediately loaded single implants in the anterior maxilla: a prospective study in extraction sockets, healed ridges, and grafted sites. *Clin Implant Dent Relat Res*, 15: 819-35.
130. Raigrodski, A. J. 2004. Contemporary all-ceramic fixed partial dentures: a review. *Dent Clin North Am*, 48: viii, 531-44.
131. Reclaru, L. & Meyer, J. M. 1994. Study of corrosion between a titanium implant and dental alloys. *J Dent*, 22: 159-68.
132. Rieger, W., Köbel, S. & Weber, W. 2007. Herstellung und Bearbeitung von Zirkonoxid-Keramiken für dentale Anwendungen. *DIGITAL\_DENTAL.NEWS*, Sonderdruck aus Ausgaben Mai und Juni 2007: 1-12.
133. Rocci, A., Martignoni, M., Burgos, P. M., Gottlow, J. & Sennerby, L. 2003a. Histology of retrieved immediately and early loaded oxidized implants: light microscopic observations after 5 to 9 months of loading in the posterior mandible. *Clin Implant Dent Relat Res*, 5 Suppl 1: 88-98.
134. Rocci, A., Martignoni, M. & Gottlow, J. 2003b. Immediate loading of Branemark System TiUnite and machined-surface implants in the posterior mandible: a randomized open-ended clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res*, 5 Suppl 1: 57-63.
135. Romanos, G. E., Ciornei, G., Jucan, A., Malmstrom, H. & Gupta, B. 2014. In vitro assessment of primary stability of Straumann(R) implant designs. *Clin Implant Dent Relat Res*, 16: 89-95.
136. Romanos, G. E., Toh, C. G., Siar, C. H. & Swaminathan, D. 2002. Histologic and histomorphometric evaluation of peri-implant bone subjected to immediate loading: an experimental study with *Macaca fascicularis*. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 17: 44-51.
137. Sailer, I., Zembic, A., Jung, R. E., Siegenthaler, D., Holderegger, C. & Hammerle, C. H. 2009. Randomized controlled clinical trial of customized zirconia and titanium implant abutments for canine and posterior single-tooth implant reconstructions: preliminary results at 1 year of function. *Clin Oral Implants Res*, 20: 219-25.
138. Salama, H., Rose, L. F., Salama, M. & Betts, N. J. 1995. Immediate loading of bilaterally splinted titanium root-form implants in fixed prosthodontics--a technique reexamined: two case reports. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 15: 344-61.

139. Sanz-Sanchez, I., Sanz-Martin, I., Figuero, E. & Sanz, M. 2014. Clinical efficacy of immediate implant loading protocols compared to conventional loading depending on the type of the restoration: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*.
140. Saulacic, N., Erdosi, R., Bosshardt, D. D., Gruber, R. & Buser, D. 2014. Acid and alkaline etching of sandblasted zirconia implants: a histomorphometric study in miniature pigs. *Clin Implant Dent Relat Res*, 16: 313-22.
141. Scarano, A., Piattelli, M., Caputi, S., Favero, G. A. & Piattelli, A. 2004. Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: an in vivo human study. *J Periodontol*, 75: 292-6.
142. Schliephake, H., Hefti, T., Schlottig, F., Gedet, P. & Staedt, H. 2010. Mechanical anchorage and peri-implant bone formation of surface-modified zirconia in minipigs. *J Clin Periodontol*, 37: 818-28.
143. Schliephake, H., Neukam, F. W. & Urban, R. 1989. Titanbelastung parenchymatöser Organe nach Insertion von Titanschraubenimplantaten. *Z Zahnärztl Implantol*, 5: 180-184.
144. Schmitt, N. 1996. Uses and abuses of coefficient alpha. *Psychological Assessment*, 8(4): 350-353.
145. Schnitman, P. A. & Shulman, L. B. 1979. Recommendations of the consensus development conference on dental implants. *J Am Dent Assoc*, 98: 373-7.
146. Schropp, L. & Isidor, F. 2008. Clinical outcome and patient satisfaction following full-flap elevation for early and delayed placement of single-tooth implants: a 5-year randomized study. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 23: 733-43.
147. Schropp, L., Isidor, F., Kostopoulos, L. & Wenzel, A. 2004. Patient experience of, and satisfaction with, delayed-immediate vs. delayed single-tooth implant placement. *Clin Oral Implants Res*, 15: 498-503.
148. Schropp, L., Wenzel, A., Kostopoulos, L. & Karring, T. 2003. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 23: 313-23.
149. Schulte, W. & Heimke, G. 1976. [The Tubinger immediate implant]. *Quintessenz*, 27: 17 - 23.

150. Schweiger 2004. Zirkoniumoxid-Hochfeste und bruchzähe Strukturkeramik. *Aesthetische Zahnmedizin* 5, 5: 248-257.
151. Schwenzer, N. & Ehrenfeld, M. 2009. *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Zahnärztliche Chirurgie*, Thieme.
152. Sds-Swissdentalsolutions 2015a. Das SCC-Short Cut Concept nach Dr. Volz.
153. Sds-Swissdentalsolutions 2015b. Planungshilfe optimale Implantatauswahl.
154. Sds-Swissdentalsolutions 2015c. Prothetikhandbuch.
155. Sds-Swissdentalsolutions 2016. SDS - Produktkatalog und Handbuch 2016.
156. Sennerby, L., Pagliani, L., Petersson, A., Verrocchi, D., Volpe, S. & Andersson, P. 2015. Two different implant designs and impact of related drilling protocols on primary stability in different bone densities: an in vitro comparison study. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 30: 564-8.
157. Sennerby, L., Rocci, A., Becker, W., Jonsson, L., Johansson, L.-Å. & Albrektsson, T. 2008. Short-term clinical results of Nobel Direct implants: a retrospective multicentre analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 19: 219-226.
158. Setzer, B., Bächle, M., Metzger, M. C. & Kohal, R. J. 2009. The gene-expression and phenotypic response of hFOB 1.19 osteoblasts to surface-modified titanium and zirconia. *Biomaterials*, 30: 979-990.
159. Sharawy, M., Misch, C. E., Weller, N. & Tehemar, S. 2002. Heat generation during implant drilling: The significance of motor speed. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60: 1160-1169.
160. Sicilia, A., Cuesta, S., Coma, G., Arregui, I., Guisasola, C., Ruiz, E. & Maestro, A. 2008. Titanium allergy in dental implant patients: a clinical study on 1500 consecutive patients. *Clin Oral Implants Res*, 19: 823-35.
161. Slagter, K. W., Den Hartog, L., Bakker, N. A., Vissink, A., Meijer, H. J. & Raghoobar, G. M. 2014. Immediate placement of dental implants in the esthetic zone: a systematic review and pooled analysis. *J Periodontol*, 85: e241-50.
162. Smith, D. C., Lugowski, S., Mchugh, A., Deporter, D., Watson, P. A. & Chipman, M. 1997. Systemic metal ion levels in dental implant patients. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 12: 828-34.

163. Smith, D. E. & Zarb, G. A. 1989. Criteria for success of osseointegrated endosseous implants. *J Prosthet Dent*, 62: 567-72.
164. Sogo, M., Ikebe, K., Yang, T.-C., Wada, M. & Maeda, Y. 2012. Assessment of Bone Density in the Posterior Maxilla Based on Hounsfield Units to Enhance the Initial Stability of Implants. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14: e183-e187.
165. Spies, B. C., Balmer, M., Patzelt, S. B., Vach, K. & Kohal, R. J. 2015. Clinical and Patient-reported Outcomes of a Zirconia Oral Implant: Three-year Results of a Prospective Cohort Investigation. *J Dent Res*, 94: 1385-91.
166. Spies, B. C., Sperlich, M., Fleiner, J., Stampf, S. & Kohal, R. J. 2016. Alumina reinforced zirconia implants: 1-year results from a prospective cohort investigation. *Clin Oral Implants Res*, 27: 481-90.
167. Sterner, T., Schütze, N., Saxler, G., Jakob, F. & Rader, C. 2004. [Effects of clinically relevant alumina ceramic, zirconia ceramic and titanium particles of different sizes and concentrations on TNF-alpha release in a human macrophage cell line]. *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering*, 49: 340-344.
168. Summers, R. B. 1994. A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique. *Compendium*, 15: 152, 154-6, 158 passim; quiz 162.
169. Szmukler-Moncler, S., Piattelli, A., Favero, G. A. & Dubruille, J. H. 2000. Considerations preliminary to the application of early and immediate loading protocols in dental implantology. *Clin Oral Implants Res*, 11: 12-25.
170. Tarnow, D. P., Emtiaz, S. & Classi, A. 1997. Immediate loading of threaded implants at stage 1 surgery in edentulous arches: ten consecutive case reports with 1- to 5-year data. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 12: 319-24.
171. Ten Bruggenkate, C. M., Van Der Kwast, W. A. & Oosterbeek, H. S. 1990. Success criteria in oral implantology. A review of the literature. *Int J Oral Implantol*, 7: 45-51.
172. Tettamanti, S., Millen, C., Gavric, J., Buser, D., Belser, U. C., Bragger, U. & Wittneben, J. G. 2015. Esthetic Evaluation of Implant Crowns and Peri-Implant Soft Tissue in the Anterior Maxilla: Comparison and Reproducibility of Three Different Indices. *Clin Implant Dent Relat Res*.

173. Textor, M., Sittig, C., Frauchiger, V., Tosatti, S. & Brunette, D. M. 2001. Properties and biological significance of natural oxide films on titanium and its alloys. *Titanium in medicine*. Springer.
174. Thoma, D. S., Haas, R., Tutak, M., Garcia, A., Schincaglia, G. P. & Hammerle, C. H. 2015. Randomized controlled multicentre study comparing short dental implants (6 mm) versus longer dental implants (11-15 mm) in combination with sinus floor elevation procedures. Part 1: demographics and patient-reported outcomes at 1 year of loading. *J Clin Periodontol*, 42: 72-80.
175. Toumelin-Chemla, F., Rouelle, F. & Burdairon, G. 1996. Corrosive properties of fluoride-containing odontologic gels against titanium. *J Dent*, 24: 109-15.
176. Tyndall, D. A., Price, J. B., Tetradis, S., Ganz, S. D., Hildebolt, C. & Scarfe, W. C. 2012. Position statement of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology on selection criteria for the use of radiology in dental implantology with emphasis on cone beam computed tomography. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 113: 817-826.
177. Weber, H. P., Morton, D., Gallucci, G. O., Rocuzzo, M., Cordaro, L. & Grutter, L. 2009. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 24 Suppl: 180-3.
178. Weber, W., Rieger, W., Clausen, J. & Schmotzer, H. 2001. Zirconia-Alumina: An Alternative Bearing for Hip Arthroplasty. Proc. of the 13th Int. Symposium on Ceramics in Medicine. *Key Engineering Materials*: 192-195.
179. Weingart, D., Steinemann, S., Schilli, W., Strub, J. R., Hellerich, U., Assenmacher, J. & Simpson, J. 1994. Titanium deposition in regional lymph nodes after insertion of titanium screw implants in maxillofacial region. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 23: 450-2.
180. Weng, D. 2014. Zirkonoxid und periimplantäres Weichgewebe - Eine klinische Beobachtung. *Implantologie 2014;22(1):65–70*.
181. Wennerberg, A. & Albrektsson, T. 2000. Suggested guidelines for the topographic evaluation of implant surfaces. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 15: 331-44.
182. Wieland, M., Sittig, C., Brunette, D., Textor, M. & Spencer, N. 2000. Measurement and evaluation of the chemical composition and topography of titanium implant surfaces. *Bone engineering*, 1: 163-182.

183. Wilson Jr, T. G. & Weber, H. P. 1993. Classification of and Therapy for Areas of Deficient Bony Housing Prior to Dental Implant Placement. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 13.
184. Witkowski, S. 2006. High Tech Biokeramiken für die Zukunft. *Quintessenz Zahntechnik* 1/2006, S. 66-76.
185. Wittneben, J. G., Buser, D., Belser, U. C. & Bragger, U. 2013. Peri-implant soft tissue conditioning with provisional restorations in the esthetic zone: the dynamic compression technique. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 33: 447-55.
186. Wohrle, P. S. 1998. Single-tooth replacement in the aesthetic zone with immediate provisionalization: fourteen consecutive case reports. *Pract Periodontics Aesthet Dent*, 10: 1107-14; quiz 1116.
187. Zembic, A., Sailer, I., Jung, R. E. & Hammerle, C. H. 2009. Randomized-controlled clinical trial of customized zirconia and titanium implant abutments for single-tooth implants in canine and posterior regions: 3-year results. *Clin Oral Implants Res*, 20: 802-8.

## 12 Danksagung

Mein Dank richtet sich an Herrn Prof. Dr. Dr. Ralf Smeets für die Überlassung des Promotionsthemas und die Möglichkeit diese Dissertation in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf zu verfassen.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Dr. Anders Henningsen für die hervorragende, beispiellose Unterstützung und sein Engagement bei der Durchführung dieser Arbeit. Für die statistische Auswertung bedanke ich mich bei Frau Susanne Sehner.

Des Weiteren gilt Herrn Dr. Karl Ulrich Volz ein besonderer Dank für die Möglichkeit der Untersuchung des von ihm entwickelten Implantatsystems, den zahlreichen Möglichkeiten der Hospitation und den fachlichen Rat.

Ein herzliches Dankeschön richtet sich an die behandelnden Zahnärzte sowie das Personal der Tagesklinik Konstanz, der Zahnarztpraxis Dr. Steinbach & Kollegen und der Paracelsus Klinik Lustmühle AG für die Bereitstellung der Patientendaten und die freundliche Unterstützung bei der Durchführung dieser Studie.

Bei meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Frau Gabriele Eichler-Neuhöffer und Herrn Dr. Udo Neuhöffer, bedanke ich mich für die bedingungslose Unterstützung und Motivation zur Durchführung dieser Dissertation. Auch meinen Freunden, insbesondere Frau Nicola Juranek, gilt ein großer Dank für die Geduld und den Zuspruch während der Erstellung dieser Arbeit.

### **13 Lebenslauf**

Lebenslauf aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht enthalten.

#### **14 Eidesstattliche Versicherung**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: .....