

**Diplomarbeit**

**Erfolgsraten nach Zahntransplantation  
Eine retrospektive Studie**

eingereicht von

**Andrea Regoje**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der Zahnheilkunde**

**(Dr. med. dent.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt am

**Department für Zahnärztliche Chirurgie und Röntgenologie der  
Universitätsklinik für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde**

unter der Anleitung von

Sen. Scientist Dr. med. dent. Angelika Wildburger

Graz, am 20.08.2014

### *Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am 20.08.2014*

*Andrea Regoje eh*

## Danksagungen

Für die freundliche Überlassung und Anregung zur Bearbeitung dieses Themas sowie die Betreuung während dieser Arbeit möchte ich mich herzlichst bei Univ.-Prof. DDr. Norbert Jakse bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Dr. Angelika Wildburger für Ihre wertvollen Instruktionen sowie ihre freundschaftliche und geduldige Hilfsbereitschaft im Zuge der Betreuung dieser Arbeit.

Insbesondere danke ich meinen Eltern Dobrila und Djordje für die moralische Unterstützung während meines Studiums und bei der Fertigstellung dieser Arbeit sowie für die finanzielle Ermöglichung meiner Ausbildung.

Weiteres möchte ich mich bei meinem Bruder Nikola und meinem Freund Gert bedanken, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und mir zur Seite gestanden sind.

## Zusammenfassung

*Ziel:* Das Ziel dieser Studie war es, die Überlebens- und Erfolgsraten transplantierte Zahnkeime zu untersuchen sowie klinische Parameter, welche die Erfolgsrate einer Zahnkeimtransplantation beeinflussen, zu identifizieren.

*Material und Methode:* In die vorliegende retrospektive Studie konnten 28 transplantierte Zahnkeime (9 Molaren, 17 Prämolaren, 2 Eckzähne) eingeschlossen werden. Das Studienkollektiv wurde aus 69 Zahnkeimen und Zähnen (23 Molaren, 41 Prämolaren, 5 Eckzähne), die im Zeitraum von Januar 2002 bis Dezember 2012 am Department für Zahnärztliche Chirurgie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz von sieben Oralchirurgen transplantiert wurden, rekrutiert. Klinische (Sensibilität, Sondierungstiefen, Blutung auf Sondierung, Mobilität) und radiologische (Pulpenkavum, Parodontalspalt, Fortschreiten des Wurzelwachstums, Existenz endodontischer Behandlungen, apikaler Aufhellungen sowie von Wurzelresorptionen und Ankylosen) Parameter wurden erhoben. Die Spenderregion, das Wurzelwachstumsstadium zum Transplantationszeitpunkt sowie eine prä- oder postoperative kieferorthopädische Behandlung wurden aus den Operationsprotokollen eruiert. Als Erfolg wurden Zahnkeime gewertet, die vital und in situ waren, eine physiologische Mobilität aufwiesen, deren Sondierungstiefen nicht höher als 3 mm waren und die radiologisch keine Zeichen einer Pathologie zeigten. Klinisch signifikante Zusammenhänge mit dem Erfolg einer Zahnkeimtransplantation wurden für die Spenderregion, das Wurzelwachstum zum Zeitpunkt der Transplantation und für eine prä- oder postoperativ durchgeführte kieferorthopädische Behandlung untersucht. Die Berechnung einer statistischen Signifikanz erfolgte mit Exaktem Test nach Fischer.

*Resultate:* Bei einem mittleren Beobachtungszeitraum von 6,2 Jahren ( $\pm 3,8$  Jahre) lag die kumulative Überlebensrate der transplantierten Zahnkeime bei 79% und die Erfolgsrate bei 71%. Sechs Zähne (4 Molaren, 2 Prämolaren) mussten extrahiert werden. Ein Zahn wies eine pariapikale Parodontitis und ein Zahn eine Ankylose auf. Für Molaren ergaben sich eine Überlebensrate von 56% und eine Erfolgsrate von 33%. Prämolaren zeigten Überlebens- und Erfolgsraten von 88%, bei Eckzähnen lag die Überlebens- und Erfolgsrate bei 100%. Eine statistisch signifikante Korrelation zur Erfolgsrate zeigten die Spenderregion ( $p = 0,008$ )

sowie prä- oder postoperativ durchgeführte kieferorthopädische Behandlungen ( $p = 0,001$ ;  $p < 0,0001$ ).

*Konklusion:* Die Zahnkeimtransplantation bietet eine vorhersagbare Therapievariante zum Ersatz nicht angelegter oder verloren gegangener Zähne. Transplantierte Prämolaren scheinen in Hinsicht auf das Überleben und den Erfolg transplantierten Molaren überlegen zu sein. Die Planung und Behandlung sollte interdisziplinär unter Beteiligung eines Kieferorthopäden und eines Oralchirurgen erfolgen.

## **Abstract**

*Objectives:* The objectives of this study were to investigate the survival rate and the success rate of autotransplanted tooth germs and to identify clinical parameters affecting the success rate of tooth germ autotransplantation.

*Study Design:* Twenty-eight transplanted teeth (nine molars, seventeen premolars, two canines) were included in this study. The study was conducted using a sample of sixty-nine tooth germs and teeth (twenty-three molars, forty-one premolars, five canines), which were autotransplanted by seven oral surgeons between January 2002 and December 2012 at the Department for Oral Surgery at the Dental School at the Medical University of Graz. Clinical parameters (sensitivity, periodontal pocket depths bleeding on probing, mobility) and radiological parameters (pulp chamber, periodontal space, continued root development, presence of endodontic treatment, root resorption or ankylosis) were assessed. Donor teeth regions, root developments at the time of transplantation and pre- or post-surgical orthodontic treatments were determined from clinical records. The success criteria were: vital tooth in situ; presence of physiological tooth mobility; periodontal pocket depths less than 3 mm; and no radiological signs of pathologies. The correlation to the success rate after tooth germ transplantation was calculated for donor teeth regions, root developments at the time of transplantation and pre- or post surgical orthodontic treatments. Correlations were calculated using the Fisher-Yates test.

*Results:* Over a mean observation period of 6.2 years ( $\pm 3.8$  years), the cumulative survival rate was 79% and the success rate was 71%. Six teeth had to be extracted (four molars, two premolars). One tooth presented signs of periapical inflammation, and one tooth demonstrated signs of ankylosis. For molars, the survival rate was 56%, and the success rate was 33%. Premolars showed survival and success rates of 88%, and canines showed survival and success rates of 100%. Statistically significant correlations with success rates were shown for donor teeth regions ( $p = 0.008$ ), both for pre- and post-surgically orthodontic treatments ( $p = 0,001$ ;  $p < 0,0001$ ).

*Conclusion:* Autotransplantation of teeth is a predictable treatment option for the replacement of congenitally missing or lost teeth. With respect to success of tooth germ transplantation, premolar transplantation seems to be more successful than molar transplantation. It is suggested that planning and treatment be interdisciplinary involving both an orthodontist and an oral surgeon.

# Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Danksagungen</b> .....   | <b>ii</b>  |
| <b>Zusammenfassung</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>Abstract</b> .....   | <b>iv</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b> .....                                       | <b>v</b>   |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> .....                                    | <b>ix</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis</b> .....                                      | <b>xi</b>  |
| <b>1 Einleitung</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>2 Zielsetzung</b> .....  | <b>4</b>   |
| <b>3 Theoretische Grundlagen</b> .....                                | <b>5</b>   |
| 3.1 Historischer Überblick .....                                      | 5          |
| 3.2 Definition .....  | 6          |
| 3.3 Nomenklatur .....   | 6          |
| 3.4 Indikationen .....  | 8          |
| 3.5 Kontraindikationen .....  | 9          |
| 3.6 Anamnese und Diagnostik .....                                     | 9          |
| 3.6.1 Medizinisch relevante Risikofaktoren .....                      | 9          |
| 3.6.2 Klinische Befunderhebung.....                                   | 10         |
| 3.6.3 Radiologische Befunderhebung .....                              | 10         |
| 3.7 Transplantationszeitpunkt .....                                   | 10         |
| 3.8 Operative Vorgehensweise .....                                    | 12         |
| 3.8.1 Transplantatentnahme .....                                      | 12         |
| 3.8.2 Konditionierung des Transplantatbetts und Transplantation ..... | 13         |
| 3.8.3 Extraorale Lagerung.....  | 14         |
| 3.8.4 Schienung des transplantierten Zahnes .....                     | 14         |
| 3.8.5 Postoperative Nachsorge.....                                    | 15         |
| 3.9 Regeneration .....  | 15         |
| 3.9.1 Parodontale Regeneration .....                                  | 15         |
| 3.9.2 Regeneration des Pulpengewebes .....                            | 17         |
| 3.9.3 Regeneration des Alveolarknochens .....                         | 20         |
| 3.10 Komplikationen.....  | 20         |
| 3.10.1 Oberflächenresorption.....                                     | 21         |
| 3.10.2 Entzündliche Resorption .....                                  | 21         |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.10.3   | Ersatzresorption (Ankylose) .....  | 22        |
| <b>4</b> | <b>Fallbericht .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>5</b> | <b>Material und Methoden.....</b>  | <b>31</b> |
| 5.1      | Ethikkommission .....  | 31        |
| 5.2      | Studiendesign .....  | 31        |
| 5.3      | Patientenkollektiv .....   | 31        |
| 5.3.1    | Einschlusskriterien .....  | 31        |
| 5.3.2    | Ausschlusskriterien .....  | 32        |
| 5.4      | Untersuchungsprotokoll .....   | 32        |
| 5.4.1    | Klinische Befunderhebung.....  | 32        |
| 5.4.2    | Radiologische Befunderhebung .....   | 34        |
| 5.5      | Erfolgsparameter .....   | 35        |
| 5.6      | Statistische Auswertung.....   | 35        |
| <b>6</b> | <b>Ergebnisse .....</b>  | <b>37</b> |
| 6.1      | Anzahl der Studienteilnehmer.....  | 37        |
| 6.2      | Beobachtungszeitraum .....   | 37        |
| 6.3      | Indikationsstellung.....   | 38        |
| 6.4      | Überlebensrate .....   | 39        |
| 6.5      | Erfolgsrate .....  | 39        |
| 6.6      | Klinische und radiologische Parameter nach Zahntransplantation .....                       | 40        |
| 6.6.1    | Vitalität (Sensibilität, Pulpaobliteration, Fortschreiten des Wurzelwachstums) .....       | 40        |
| 6.6.2    | Mobilität, Parodontalspalt.....  | 41        |
| 6.6.3    | Sondierungstiefen, Blutung auf Sondierung.....   | 42        |
| 6.6.4    | Wurzelresorption, Ankylose, apikale Aufhellung .....                                       | 42        |
| 6.6.5    | Okklusion .....  | 42        |
| 6.7      | Einfluss relevanter klinischer und röntgenologischer Parameter auf die<br>Erfolgsrate..... | 44        |
| 6.7.1    | Spenderregion .....  | 44        |
| 6.7.2    | Stadium des Wurzelwachstums .....  | 44        |
| 6.7.3    | Prä- und postoperative kieferorthopädische Behandlung .....                                | 46        |
| <b>7</b> | <b>Diskussion .....</b>  | <b>48</b> |
| 7.1      | Überlebens- und Erfolgsraten .....   | 48        |
| 7.2      | Spenderregion .....  | 50        |
| 7.3      | Wurzelwachstum.....  | 50        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 7.4       | Kieferorthopädie .....                                  | 51        |
| <b>8</b>  | <b>Konklusion</b> .....                                 | <b>55</b> |
| <b>9</b>  | <b>Literaturverzeichnis</b> .....                       | <b>56</b> |
| <b>10</b> | <b>Anhang</b> .....                                     | <b>63</b> |
| 10.1      | Patienten Information und Einverständniserklärung ..... | 63        |
| 10.2      | Klinischer und radiologischer Untersuchungsbogen .....  | 66        |
|           | <b>Lebenslauf</b> .....                                 | <b>67</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1:  | Vorhersagbarkeit des Wurzelwachstums, der parodontalen Heilung und der pulpalen Heilung    | 11 |
| Abbildung 2:  | Schematische Darstellung der parodontalen Heilung nach Zahntransplantation.                | 17 |
| Abbildung 3:  | Revaskularisation eines transplantierten Zahnes  | 19 |
| Abbildung 4:  | Schematische Darstellung Oberflächenresorption, entzündlichen Resorption, Ersatzresorption | 23 |
| Abbildung 5:  | OPG, radiologische Ausgangssituation   | 24 |
| Abbildung 6:  | Klinische Ausgangssituation  | 25 |
| Abbildung 7:  | Marginale Schnittführung   | 25 |
| Abbildung 8:  | Extraktion des Milchzahnes 83  | 25 |
| Abbildung 9:  | Sicht auf die Extraktionsalveole   | 26 |
| Abbildung 10: | Erweiterung des Transplantatbettes   | 26 |
| Abbildung 11: | Entnahme des Zahnes 15   | 27 |
| Abbildung 12: | Spenderzahn 15   | 27 |
| Abbildung 13: | Transplantation des Zahnes 15 in die neu aufbereitete Alveole                              | 28 |
| Abbildung 14: | Wundverschluss mit Einzelknopfnähten   | 28 |
| Abbildung 15: | Semirigide Schienung mit Twist Flex-Draht  | 28 |
| Abbildung 16: | OPG postoperativ   | 29 |
| Abbildung 17: | Postoperatives Röntgen zwei Monate nach Transplantation                                    | 29 |
| Abbildung 18: | Postoperatives Röntgen sieben Monate nach Transplantation                                  | 30 |
| Abbildung 19: | Balkendiagramm zum Beobachtungszeitraum.   | 38 |
| Abbildung 20: | Indikationen für die Zahntransplantation.  | 38 |
| Abbildung 21: | Überlebensrate der 28 transplantierten Zähne über 11 Jahre                                 | 39 |
| Abbildung 22: | Balkendiagramm zur Darstellung der Vitalitätsparameter                                     | 41 |
| Abbildung 23: | Balkendiagramm zu Mobilität und Parodontalspalt  | 41 |

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Abbildung 24: | Balkendiagramm zu ST und BOP  | 42 |
| Abbildung 25: | Erfolgsraten in Abhängigkeit von der Spenderregion  | 44 |
| Abbildung 26: | Wurzelwachstumsstadien zum Transplantationszeitpunkt  | 45 |
| Abbildung 27: | Erfolgs- und Misserfolgsraten in Abhängigkeit von Spenderregion<br>und Wurzelwachstum   | 46 |
| Abbildung 28: | Erfolgsraten der transplantierten Zähne in Abhängigkeit von einer<br>prä- oder postoperativ durchgeführten kieferorthopädischen<br>Behandlung | 47 |

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Gegenüberstellung Zahntransplantation und Implantation .....  | 2  |
| Tabelle 2: Erfolgsfaktoren für eine Zahntransplantation .....  | 3  |
| Tabelle 3: Arten von Transplantationen .....   | 7  |
| Tabelle 4: Einteilung autogener Zahntransplantationen .....  | 8  |
| Tabelle 5: Indikationen zur Zahntransplantation .....  | 9  |
| Tabelle 6: Entwicklungsstadien nach Moorees .....  | 11 |
| Tabelle 7: Beziehung zwischen Lockerungsgrad nach Miller und den<br>Periotestwerten .....  | 33 |
| Tabelle 8: Überblick über die transplantierten Zähne mit Misserfolg.....   | 40 |
| Tabelle 9: Überblick über klinische und röntgenologische Parameter der<br>transplantierten Zähne unter Berücksichtigung der Art des<br>Spenderzahnes. .... | 43 |
| Tabelle 10: Erfolgs- und Misserfolgsraten in Abhängigkeit von Spenderregion und<br>Wurzelwachstum .....  | 45 |
| Tabelle 11: Erfolgsraten der transplantierten Zähne in Abhängigkeit von<br>einerperioperativ durchgeführten kieferorthopädischen Behandlung                | 47 |
| Tabelle 12: Langzeitergebnisse nach Zahntransplantation .....  | 48 |

# 1 Einleitung

In der modernen Zahnmedizin gibt es verschiedene Möglichkeiten des Zahnersatzes. Zahnlücken können mit auf dentalen Implantaten abgestützten prothetischen Versorgungungen, festsitzenden zahnetragenden Brückenversorgungungen, abnehmbaren prothetischen Rehabilitationen, kieferorthopädischem Lückenschluss oder durch die Transplantation eines Zahnes behandelt werden (Roden und Yanosky 2013).

Ein frühzeitiger Zahnverlust bei Kinder und Jugendlichen stellt für den Zahnarzt eine besondere Herausforderung dar. Bei diesen Patienten, deren faziales und alveoläres Wachstum noch nicht abgeschlossen ist, sind festsitzende und abnehmbare prothetische Versorgungungen sowie dentale Implantate kontraindiziert. In Zusammenhang mit abnehmbaren und festsitzenden prothetischen Versorgungungen entwickelt sich an der Stelle der Zahnlücke immer ein knöcherner Defekt, da die das Wachstum des Alveolarknochens stimulierende Funktion des Zahnes fehlt (Roden und Yanosky 2013). Eine abnehmbare prothetische Versorgung sollte bei Kindern und Jugendlichen, deren soziale Entwicklung im Gange ist, vermieden werden. Diese Versorgungungen müssen infolge des Wachstums regelmäßig angepasst werden. Die Größe der Pulpenkammer bei Kindern und Jugendlichen limitiert die Präparation eines Pfeilerzahnes für einen festsitzenden Zahnersatz (Zachrisson et al. 2004, Park et al. 2012).

Prothetische Versorgungungen auf osseointegrierten Implantaten sollten erst nach Abschluss des fazialen und alveolären Wachstums angefertigt werden. Vor Abschluss des Gesichtswachstums resultiert diese Behandlung oft in nicht zufriedenstellenden ästhetischen und funktionellen Ergebnissen (Roden und Yanosky 2013). Nach einer Implantatinsertion, kommt es immer zum Verlust des interdentalen Knochens und damit zu einem flachen Gingivaverlauf mit dem Fehlen einer interdentalen Papille (Zachrisson et al. 2004).

Ein kieferorthopädischer Lückenschluss führt oft zu schlechten ästhetischen Ergebnissen und ist als ein funktioneller Kompromiss anzusehen. Anstatt einen Zahn wirklich zu ersetzen, maskiert diese Therapievariante den Defekt. Die gingivale Kontur des Zahnes unterscheidet sich meistens vom kontralateralen Zahn derselben Region. Funktionell resultiert eine Gruppenführung auf der behandelten Seite (Roden und Yanosky 2013).

Die Zahntransplantation stellt eine physiologische Alternative zur Versorgung einer Zahnlücke bei Kindern und Jugendlichen dar und ist die einzige Möglichkeit, einen verloren gegangenen Zahn durch einen anderen vitalen Zahn zu ersetzen (Behrens et al. 2006, Lon et al. 2009, Park et al. 2012, Roden und Yanosky 2013). Sie erlaubt ein normales Kiefer- und Gesichtswachstum und stabilisiert durch die physiologische Stimulation des Knochenwachstums durch das parodontale Ligament das Volumen des Alveolarknochens. Auf Grund der Vitalerhaltung der parodontalen Gewebe bleibt die propriozeptive Funktion erhalten und orthodontische Bewegungen werden toleriert (Cardona et al. 2012, Nimčenko et al. 2013, Roden 2013). Zusätzlich ermöglicht die Zahntransplantation eine natürliche Ästhetik. Eine Studie an 45 transplantierten Prämolaren zeigte eine normale oder hyperplastische interdental Papille mesial und distal der transplantierten Zähne (Czochrowska et al. 2000). Im Falle eines Misserfolges einer Zahntransplantation ist später ein ausreichendes Knochenangebot für eine Implantatinserion vorhanden (Czochrowska et al. 2000). Tabelle 1 zeigt die Vorteile eines Zahntransplantats gegenüber einem Implantat.

| Transplantat                                     | Implantat  |
|--|--|
| biologischer Ersatz (durch einen vitalen Zahn)   | künstlicher Ersatz                               |
| fördert die Bildung des Alveolarknochens         | benötigt Alveolarknochen                         |
| normales parodontales Ligament                   | osseointegriert (ankylosiert)                    |
| kieferorthopädische Bewegungen möglich           | kieferorthopädische Bewegungen nicht möglich     |
| weiteres Wachstum synchron mit den Nachbarzähnen | keine weiteres Wachstum, bleibt in Infraposition |
| Normale interdental Papille                      | häufig interdental Rezessionen                   |

Tabelle 1: Gegenüberstellung Zahntransplantation und Implantation

In der Literatur werden für die Zahntransplantation Überlebensraten von 84% bis 100% und Erfolgsraten von 68% bis 98% angegeben (Czochrowska et al. 2002, Jonsson 2004, Kallu et al. 2005, Kvint et al. 2010, Sugai et al. 2010, Park et al. 2012, Mendoza-Mendoza et al. 2012, Laureys et al. 2013, Plakwicz et al. 2013). Mehrere Autoren haben verschiedene Erfolgsfaktoren für die Zahntransplantation definiert (Tabelle 2).

- 
- richtige Indikationsstellung
  - optimale Mitarbeit und Mundhygiene des Patienten
  - präzise Planung
  - Stadium der Wurzelentwicklung
  - adäquates Empfängerbett (Knochenangebot, interdentale Breite, entzündungsfrei)
  - atraumatische Extraktion des Transplantats
  - möglichst kurze extraorale Lagerung
  - Vermeidung okklusaler Kontakte in der Einheilphase
  - flexible Schienung
- 

Tabelle 2: Erfolgsfaktoren für eine Zahntransplantation (Schulze–Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003, Reich 2008, Park et al. 2012, Cho et al. 2013, Harrer-Bantleon und Jakse 2014)

## **2 Zielsetzung**

Das Ziel dieser retrospektiven Studie ist es, zu überprüfen, wie hoch die Überlebens- und Erfolgsraten von Zahnkeimen und Zähnen sind, die am Department für Zahnärztliche Chirurgie und Röntgenologie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde im Zeitraum von 2002 bis 2012 transplantiert wurden.

## **3 Theoretische Grundlagen**

### **3.1 Historischer Überblick**

Die Zahntransplantation ist wahrscheinlich so alt wie die Zahnheilkunde selbst. Sie wurde bereits von den alten Ägyptern durchgeführt, welche ihre Zähne bei Bedarf den Pharaonen zur Verfügung stellen mussten. Der Literatur zur Folge wurden Zähne in China bereits 2000 Jahre v. Chr., in Europa erstmalig von den Griechen und Römern transplantiert (Cohen et al. 1995, Lang et al. 2003, Eskici 2003, Strbac et al. 2008). Zu dieser Zeit wurden ausschließlich allogene Zahntransplantationen durchgeführt, wobei als Spender Besiegte, Tote, Sklaven oder Arme dienten. Die Empfänger entstammten meist der gehobenen Schicht (Strbac et al 2008). Erste schriftliche Anhaltspunkte über die Zahntransplantation findet man im Werk „Opera chirurgica“ des berühmten Pariser Barbier-Chirurgen Ambroise Paré aus dem Jahr 1594, in dem er beschreibt, wie einer Prinzessin ein Zahn entfernt wurde und dieser sofort durch einen Zahn eines ihrer Kammermädchen ersetzt wurde (Eskici 2003, Kreutzer 2013).

1728 berichtete Pierre Fauchard in seinem Buch „Le chirurgien dentiste“ von einer Zahntransplantation, bei der er einem französischen Offizier einen kariös zerstörten Eckzahn entfernte und diesen durch einen Eckzahn eines untergebenen Soldaten ersetzte. Der Zahn soll sechs Jahre im Mund des Patienten überlebt haben (Kreutzer 2013).

Es war der erste authentische Fallbericht einer allogenen Zahntransplantation (Lang et al. 2003, Eskici 2003). Ausführliche Beschreibungen von Zahntransplantationen findet man in den Werken „Natural history of the human teeth“ (1771) und „A practical treatise on the diseases of the teeth“ (1776) von John Hunter, der als Begründer der Wissenschaft der Replantation und Transplantation von Zähnen angesehen wird (Strbac et al. 2008, Eskici 2003).

In den Dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts hat die Zahntransplantation durch intensive Experimente und klinische Arbeiten an Bedeutung gewonnen. 1934 wurden von Heinrich Hammer erstmals histologische Untersuchungen zur Heilung transplanterter Zähne durchgeführt (Hammer 1934). 1939 untersuchte Hammer die histologischen Vorgänge bei der Transplantation nach Vernichtung der Wurzelhaut. Er zeigte erstmalig, dass es bei vollständigem Erhalt des Desmodonts zur Einheilung des Transplantats unter Ausbildung einer

physiologisch und histologisch dem gesunden Zahn vergleichbaren parodontalen Verankerung kommt. Ist das Desmodont jedoch zerstört, heilt das Transplantat knöchern ein und wird resorbiert (Lang et al. 2003, Hammer 1939).

### **3.2 Definition**

Das Wort Transplantation hat seinen Ursprung im Lateinischen („trans“, „plantare“) und bedeutet wörtlich übersetzt „Überpflanzen“.

Transplantation ist im Allgemeinen eine operative Verpflanzung eines Gewebes oder eines Organs von einer Stelle an eine andere. In der klinischen Zahnheilkunde bedeutet sie im engeren Sinne die Verpflanzung eines Zahnes oder Zahnkeimes in eine neu geschaffene Alveole im Kieferknochen (Eskici 1995, Eskici 1997, Eskici 2003, Lang et al. 2003, Strbac et al. 2008).

### **3.3 Nomenklatur**

Basierend auf der Transplantationsimmunologie und in Abhängigkeit von Spender und Empfänger wird heute zwischen autogener, isogener, allogener und xenogener Transplantation unterschieden (Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003, Eskici 2003, Strbac et al. 2008) (Tabelle 3).

|   |   |
|---|---|
| Autogene Transplantation bzw.<br>Autotransplantation<br>(alte Bez.: autologe Transplantation)                                 | Transplantation innerhalb eines Individuums<br>Bsp.: ein Weisheitszahn wird an die Stelle des<br>ersten Molaren transplantiert  |
| Isogene Transplantation bzw.<br>Isotransplantation<br>(alte Bez.: isologe Transplantation)                                    | Transplantation zwischen genetisch<br>identischen Individuen<br>Bsp.: Transplantation bei eineiigen Zwillingen  |
| Allogene Transplantation bzw.<br>Allotransplantation<br>(alte Bez.: homologe Transplantation<br>bzw. Homotransplantation)     | Transplantation auf ein genetisch<br>unterschiedliches Individuum derselben Art<br>Bsp.: ein Zahn wird von einem Patienten zu<br>einem anderen Patienten transplantiert |
| Xenogene Transplantation bzw.<br>Xenotransplantation<br>(alte Bez.: heterologe Transplantation<br>bzw. Heterotransplantation) | Artfremde Transplantation, wobei Spender<br>und Empfänger verschiedene Spezies<br>darstellen<br>Bsp.: Transplantation eines menschlichen<br>Zahnes in ein Tier          |

Tabelle 3: Arten von Transplantationen (Kirschner et al. 2002, Lang et al. 2003)

Die allogene Zahntransplantation spielt heute keine Rolle mehr, da sie meist mit Misserfolgen aufgrund einer Wurzelresorption verbunden ist. Eine Studie, die an Affen durchgeführt wurde, zeigte, dass allogene Transplantate immer eine entzündliche Wurzelresorption zeigten. Der Versuch der Vermeidung einer entzündlichen Wurzelresorption durch eine endodontische Behandlung war erfolgreich, allerdings zeigten diese endodontisch behandelten allogenen Transplantate in der Folge immer eine Ankylose (Schwartz und Andreasen 2002).

In der modernen Zahnheilkunde ist nur die autogene Zahntransplantation von Bedeutung. Sie wird entsprechend des Vitalitätszustandes von Desmodont und Pulpa sowie des Entwicklungsgrades eines Zahnes in drei Arten unterteilt (Kirschner et al. 2002, Lang et al. 2003) (Tabelle 4).

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Autoplastische Transplantation      | Transplantation wurzelunreifer Zähne<br>Pulpa- und Desmodontvitalität erhaltbar<br>Durchmesser Foramen apicale > 1,3mm |
| Auto-alloplastische Transplantation | Transplantation wurzelreifer Zähne<br>Desmodontvitalität erhaltbar<br>Endodontische Behandlung erforderlich            |
| Alloplastische Transplantation      | Transplantation wurzelreifer Zähne<br>Pulpa- und Desmodonttote Zähne<br>Endodontische Behandlung erforderlich          |

Tabelle 4: Einteilung autogener Zahntransplantationen (nach Lang et al. 2003 )

### **3.4 Indikationen**

Die Indikation für eine Zahntransplantation wird meist auf Grund von Nichtanlagen und frühzeitigem Verlust mehrerer Zähne gestellt. Nicht angelegte mandibuläre zweite Prämolaren sowie traumatisch verloren gegangene Schneidezähne des Oberkiefers können auf natürliche Weise durch ein Transplantat ersetzt werden. Die Zahntransplantation bietet die Möglichkeit, verlagerte und retinierte Zähne, deren kieferorthopädische Einreihung nicht erwünscht oder möglich ist, chirurgisch an ihre anatomisch korrekte Position zu verpflanzen (Schatz et al. 1994, Kirschner 2002, Lang et al. 2003, Zachrisson et al. 2004, Kallu et al. 2005, Strbac et al. 2008, Filippi 2008, Nimčenko et al. 2013, Harrer-Bantleon und Jakse 2014). Prämolarentransplantate bieten sich als Ersatz für Schneidezähne, Prämolaren oder Molaren an. Fehlende Prämolaren oder Molaren können durch Transplantation von Weisheitszähnen ersetzt werden (Strbac et al. 2008, Laureys et al. 2013). Tabelle 5 gibt einen Überblick über die verschiedenen Indikationen zur Zahntransplantation.

- 
- Frühzeitiger Zahnverlust durch Karies oder Parodontitis apicalis
  - Zahnverlust durch Trauma
  - Nichtanlagen mehrerer Zähnen
  - Nichtanlagen von mandibulären zweiten Prämolaren
  - Durchbruchstörungen der Eckzähne
  - Nicht erfolgreiche Freilegung und Anschlingung eines retinierten Zahnes
- 

Tabelle 5: Indikationen zur Zahntransplantation (Lang et al. 2003, Filippi 2008)

### **3.5 Kontraindikationen**

Eine fortgeschrittene Parodontitis stellt grundsätzlich eine Kontraindikation für eine Zahntransplantation dar. Lokale parodontale Entzündungen in den Spender- und Empfängerregionen sind als temporäre Kontraindikationen anzusehen (Lang et al. 2003, Strbac et al. 2008, Filippi 2008).

### **3.6 Anamnese und Diagnostik**

Die präoperative Diagnostik sollte, wie bei jedem anderen oralchirurgischen Eingriff auch, aus der Erhebung allgemeinmedizinischer und zahnmedizinischer Risikofaktoren bestehen (Strbac et al. 2008).

Die präoperative Planung beinhaltet klinische, radiologische, und im Einzelfall modellbasierte Analysen des Transplantats und Transplantatlagers (Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003, Eskici 2003, Filippi 2008, Strbac et al. 2008, Harre-Bantleon und Jakse 2014).

#### **3.6.1 Medizinisch relevante Risikofaktoren**

Da es sich bei der Zahntransplantation um einen elektiven Eingriff handelt, sollte der Patient unter keinen schweren Allgemeinerkrankungen leiden. Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen Patienten, die eine erhöhte Blutungsneigung oder ein erhöhtes postoperatives Infektionsrisiko aufweisen. Zu nennen sind unter anderem Hämophilie und andere Störungen der Hämostase, schlecht eingestellter Diabetes mellitus sowie Erkrankungen mit Endokarditisrisiko (Lang et al. 2003).

### **3.6.2 Klinische Befunderhebung**

Die intraorale Diagnostik umfasst die Erkennung kariöser Läsionen sowie parodontaler Entzündungen. Diese sollten vor der Transplantation saniert werden.

Am Transplantatlager lässt sich klinisch das Knochenangebot und Weichgewebsangebot beurteilen. Die Breite der Zahnlücke kann vermessen werden, um ausreichende Platzverhältnisse an der Empfängerstelle zur Aufnahme des Transplantates zu verifizieren (Lang et al. 2003, Filippi 2008, Strbac et al. 2008).

### **3.6.3 Radiologische Befunderhebung**

An der präoperativ angefertigten Panoramaschichtaufnahme lässt sich ein geeigneter Spenderzahn identifizieren und dessen Entwicklungsstadium abschätzen (Lang et al. 2003, Filippi 2008, Strbac et al. 2008).

Eine dreidimensionale radiologische Untersuchung mittels Computertomographie ermöglicht zusätzlich die exakte Darstellung der Wurzelanatomie und Wurzelkonfiguration des zu transplantierenden Zahnes und der Knochenmorphologie an der Empfängerstelle (Thomas et al.1998, Strbac et al. 2008, Harrer-Bantleon und Jakse 2014).

## **3.7 *Transplantationszeitpunkt***

Der optimale Transplantationszeitpunkt liegt vor, wenn die Wurzelbildung des zu transplantierenden Zahnes zur Hälfte bis zur Gänze bei weit offenem Foramen apikale abgeschlossen ist. Dies entspricht den Wurzelwachstumsstadien zwei bis vier nach Moorees (Andreasen et al. 1990 a-d, Muchitsch et al. 1991, Andreasen 1993, Eskici 2003, Park et al. 2012, Mendoza-Mendoza 2012, Denys et al. 2013, Schütz et al. 2013, Roden 2013). In Tabelle 6 ist die Einteilung der Wurzelwachstumsstadien nach Moorees beschrieben.

|           |   |
|-----------|---|
| Stadium 0 | Kronenbildung fast abgeschlossen<br>Es folgt initiale Wurzelbildung |
| Stadium 1 | Wurzelbildung zu $\frac{1}{4}$ abgeschlossen                        |
| Stadium 2 | Wurzelbildung bis zur Hälfte abgeschlossen                          |
| Stadium 3 | Bildung der Wurzel zu $\frac{3}{4}$ abgeschlossen                   |
| Stadium 4 | vollständige Wurzelbildung mit weit offenem Foramen apicale         |
| Stadium 5 | halbgeschlossenes Foramen apicale                                   |
| Stadium 6 | Foramen apicale fast komplett geschlossen                           |

Tabelle 6: Entwicklungsstadien nach Moorees (Strbac et al. 2008)

Eine zu früh durchgeführte Transplantation (Moorees-Stadien 0 und 1) kann zu einer Beeinträchtigung des Wurzelwachstums führen, welche ein ungünstiges Kronen-Wurzel-Verhältnis zur Folge haben kann (Eskici 2003, Kallu et al. 2005, Schütz et al. 2013). Auch das Risiko späterer Schmelzdefekte ist bei einer zu früh durchgeführten Transplantation erhöht (Eskici 2003). Eine zu spät durchgeführte Transplantation kann die pulpale Heilung beeinträchtigen (Kirschner et al. 2002). Abbildung 1 zeigt die Vorhersagbarkeit des Wurzelwachstums, der parodontalen Heilung ohne Wurzelresorptionen und der pulpalen Heilung in Abhängigkeit vom Wurzelwachstumsstadium zum Zeitpunkt der Transplantation. Die Resultate basieren auf einer Langzeituntersuchung von 370 autotransplantierten Prämolaren (Andreasen 1990 a-d).

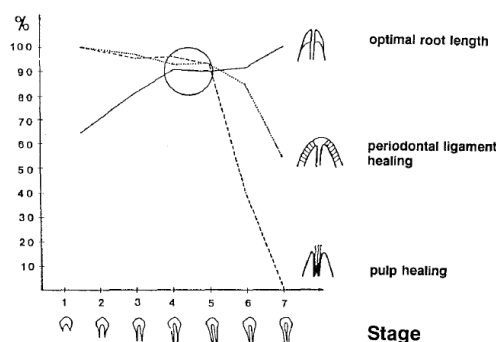


Abbildung 1: Vorhersagbarkeit des Wurzelwachstums, der parodontalen Heilung und der pulpalen Heilung in Abhängigkeit vom Wurzelwachstumsstadium zum Zeitpunkt der Transplantation (nach Andreasen 1990 a-d)

### **3.8 Operative Vorgehensweise**

Bei der Zahntransplantation unterscheidet man zwischen einzeitigem und zweizeitigem Vorgehen. Bei der einzeitigen Transplantation erfolgt die Konditionierung des Transplantatbetts, die Transplantatentnahme als auch die Transplantation in derselben Operation (Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003). Die zweizeitige Transplantation setzt sich aus zwei Operationen zusammen (Nethander et al. 1995, Tsukiboshi 2002). In der ersten Operation wird ein Transplantatbett geschaffen, das etwa 2 mm größer als der geschätzte Spenderzahn sein soll (Nethander et al. 1995). Zwei Wochen später, wenn die Knochenkavität mit neuem Bindegewebe ausgefüllt ist, wird in einer zweiten Operation der Spenderzahn entnommen und transplantiert (Nethander et al. 1995). Nethander et al. und Tsukiboshi empfehlen angesichts einer besseren Blutversorgung durch in das Granulationsgewebe einsprossende Kapillaren das zweizeitige Vorgehen (Nethander et al. 1995, Tsukiboshi 2002).

Das zweizeitige Vorgehen wird von vielen Autoren wegen des erforderlichen zweiten operativen Eingriffs abgelehnt (Lee et al. 2001, Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Eskici 2003, Lang et al. 2003).

#### **3.8.1 Transplantatentnahme**

Ist die Transplantation eines Zahnkeims oder eines retinierten Zahnes vorgesehen, wird der Knochen über der Zahnkrone bis zur größten Zirkumferenz mit chirurgischen Knochenfräsen abgetragen, wobei auf die größtmögliche Schonung des Zahnsäckchens und des Desmodonts zu achten ist (Eskici 2003, Filippi 2009). Die Piezochirurgie bietet die Möglichkeit einer noch gewebeschonenderen Osteotomie, da bei diesem Verfahren das Zahnsäckchen nicht verletzt wird (Lang et al. 2003, Filippi 2009, Koszowski et al. 2013).

Nach der Freilegung des Zahnkeims oder Zahnes kann dieser nach vorsichtiger Mobilisation gewebeschonend entnommen werden (Czochrowska et al. 2002, Schulze–Mosgau und Neukam 2002, Eskici 2003, Lang et al. 2003).

Soll hingegen ein durchgebrochener Zahn transplantiert werden, unterscheidet sich die Transplantatentnahme im Wesentlichen dadurch, dass das zervikale Parodont mit dem Skalpell scharf durchtrennt wird (Andreasen 1993, Filippi 2009), um die parodontalen Strukturen und die zirkulären Ligamente weitgehend zu erhalten (Nethander 1998, Clokie et al. 2001, Tsukiboshi 2002, Lang et al.

2003, Filippi 2009). Im Anschluss wird der Zahn unter Anwendung vorsichtiger Dislokations- oder Rotationsbewegungen entnommen.

Im Zuge der Transplantatentnahme ist auf eine größtmögliche Schonung der Wurzelhaut und des Zahnsäckchens zu achten. Jede Schädigung des Desmodonts an der Wurzeloberfläche verschlechtert die Prognose der Transplantation und begünstigt das Auftreten von Ankylosen oder Resorptionen (Schulze–Mosgau und Neukam 2002, Eskici 2003, Filippi 2009).

Daher sollten durchgebrochene einwurzelige Zähne nie mit kippenden Bewegungen oder Hebeln, sondern nur mit der Extraktionszange, vorzugsweise durch Rotationsbewegungen entfernt werden (Filippi 2009).

### **3.8.2 Konditionierung des Transplantatbetts und Transplantation**

Die Konditionierung des Transplantatlagers hat das Ziel einer wurzelkonformen Aufbereitung des Transplantatbettes in einem zahnlosen Kieferabschnitt oder nach schonender Zahnentfernung unter Erhalt der Alveole (Schulze–Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003). Befindet sich in der Empfängerregion ein persistierender Milchzahn oder nicht erhaltungswürdiger bleibender Zahn, sollte dieser unter Schonung des Saumepithels und der vestibulären und oralen Alveolenwände extrahiert werden. Nach Möglichkeit sollte ein Aufklappen vermieden werden (Schulze–Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003, Filippi 2009). Auf eine gründliche Entfernung des Entzündungsgewebes im Bereich der Alveole sollte geachtet werden (Schulze–Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003, Filippi 2009, Harrer-Bantleon und Jakse 2014).

Die Präparation des Transplantatbettes sollte mit scharfen chirurgischen Fräsen unter ständiger Kühlung mit physiologischer Kochsalzlösung erfolgen (Filippi 2009). Für eine wurzelkonforme Aufbereitung des Transplantatlagers können Implanationsinstrumentarien verwendet werden (Filippi 2009, Harrer-Bantleon und Jakse 2014). Das neu geschaffene Alveolenfach sollte so dimensioniert sein, dass zwischen Alveolenwand und Wurzeloberfläche 0,5 bis maximal 1 mm und zwischen Alveolenboden und Wurzelspitze etwa 2 bis 3 mm Freiraum vorhanden ist, um eine drucklose Einpassung des Zahnes in das Empfängerbett zu gewährleisten (Schulze–Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003, Eskici 2003, Filippi 2009, Harrer-Bantleon und Jakse 2014). Mit einer präoperativen dreidimensionalen Planung mittels digitaler Volumetomographie oder

Computertomographie wird die Herstellung eines Duplikates des zu transplantierenden Zahnkeims oder Zahnes ermöglicht, welches während des chirurgischen Eingriffs als Schablone zur Kontrolle der wurzelkonformen Aufbereitung des Transplantatbettes dient. Auf diese Weise entfällt die Einprobe des zu transplantierenden Zahnes im Empfängerbett und die extraorale Verweilzeit des Transplantats wird verkürzt (Lee et al. 2001, Keightley et al. 2010).

Nach adäquater Erweiterung der Empfängeralveole wird der zu transplantierende Zahn in diese in direktem Kontakt zum Antagonisten oder in minimaler Infraposition inseriert, da okklusale Reize in Kombination mit einer mobilen Schienung die parodontale Heilung fördern (Filippi 2009).

### **3.8.3 Extraorale Lagerung**

Als geeignete extraorale Lagermedien werden die physiologische Kochsalzlösung (Eskici 2003, Lang et al. 2003, Strbac et al. 2008, Filippi 2008) oder eine Nährlösung (Dentosafe<sup>®</sup>) (Kirschner et al. 2002, Lang et al. 2003, Pohl et al. 2005, Schütz et al. 2013, Harrer-Bantleon und Jakse 2014) angesehen. Alternativ kann der Zahn auch in der Spenderalveole gelagert werden (Harrer-Bantleon und Jakse 2014).

Eine adäquate extraorale Lagerung ist von äußerster Wichtigkeit für die weitere Transplantateinheilung, da parodontale Zellen empfindlich auf Veränderungen des pH-Wertes und osmotischen Druck sowie auf Austrocknung reagieren (Kirschner et al. 2002). Daher sollte die extraorale Verweilzeit eines Zahnes so kurz wie möglich gehalten werden (Andreasen 1990 a-d, Park et al. 2012).

### **3.8.4 Schienung des transplantierten Zahnes**

Ein transplantierte Zahn Bedarf einer Fixation. Die Schienung hat Einfluss auf die Regeneration der Pulpa und des Parodonts. Eine starre Schienung erhöht das Risiko einer Ankylose und hat negativen Einfluss auf die Revaskularisation der Pulpa (Lang et al.2003, Filippi 2008). Die postoperative Fixation eines transplantierten Zahnes erfolgt bei ausreichender Primärstabilität mittels Nahtfixierung für 7 Tage und bei nicht ausreichender intraoraler Stabilität des Zahnes mit einer Draht-Komposit-Schiene für 4 Wochen (Bauss et al. 2002). Alternativ werden elastische Fixierungen mittels Kreuznaht und mit einer Draht-

Komposit-Schienung kombiniert (Harrer-Bantleon und Jakse 2014).

### **3.8.5 Postoperative Nachsorge**

Die postoperative Nachsorge umfasst die Nahtentfernung etwa 7-10 Tage nach der Transplantation sowie die Entfernung einer Schienung, falls diese durchgeführt wurde.

Regelmäßige klinische und röntgenologische Kontrolluntersuchungen nach Zahntransplantationen sollten in engmaschigen Intervallen erfolgen. Eskici empfiehlt im ersten halben Jahr monatliche Kontrollen, gefolgt von dreimonatlichen und halbjährlichen Untersuchungen. Ab dem dritten postoperativen Jahr werden nur noch jährliche Kontrollen durchgeführt. So können der Heilungsverlauf kontrolliert und mögliche Komplikationen frühzeitig erkannt werden (Eskici 2003, Filippi 2008).

## **3.9 *Regeneration***

Bei den Heilungsvorgängen nach einer Zahntransplantation wird zwischen der Heilung des parodontalen Ligaments, der Pulpa sowie des Knochens unterschieden. Den kritischen Faktor für das Überleben eines transplantierten Zahnes stellt die Heilung des parodontalen Ligaments dar.

### **3.9.1 Parodontale Regeneration**

Unter dem Begriff Parodontium werden Wurzelzement, Alveolarknochen, Desmodont, und die Gingiva zusammengefasst. Wurzelzement, Desmodont und Alveolarknochen bilden eine entwicklungsgeschichtliche, strukturelle und funktionelle Einheit. In ihrer Gesamtheit erfüllen das Wurzelzement, der Alveolarknochen, das Desmodont, und die Gingiva mehrere Funktionen. Sie verankern den einzelnen Zahn in seiner knöchernen Alveole und fassen die Zähne eines Kiefers zu einer Zahnreihe zusammen. Sie passen sich funktionellen und topographischen Veränderungen an, ermöglichen Zahnstellungsänderungen und können traumatische Schädigungen reparieren (Schroeder 2000).

Der Parodontalspalt ist ein enger von zwei Hartgeweben weitgehend begrenzter Raum in dem sich das desmodontale Gewebe befindet (Schroeder 2000). Das Desmodont besteht aus einer Vielzahl an Zellen (Fibroblasten, Zemento- und

Osteoprogenitorzellen, Zementoblasten, Osteoblasten und Osteoklasten und Epithelzellen), Bindegewebsfasern (kollagene Faserbündel), Blutgefäßen- und Nervenbündeln (Schroeder 2000). Die Sharpey'schen Fasern stellen die Verbindung zwischen Wurzelzement und Alveolarwand her. In ihrem Verlauf vom Wurzelzement zur Alveolenwand zweigen sich die Fasern auf und verbinden sich mit den benachbarten Fasern und bilden somit ein Fasernetzwerk (Schultze-Mosgau und Neukam 2002).

Im Zuge der Transplantatentnahme kommt es zu einer vollständigen Durchtrennung des parodontalen Ligaments sowie der parodontalen Gefäß- und Nervenversorgung (Schultze-Mosgau und Neukam 2002).

Die Heilungskapazität des Parodonts wird von der Anzahl und Vitalität parodontaler Fibroblasten an der Wurzeloberfläche und undifferenzierter mesenchymaler Progenitorzellen bestimmt (Tsukiboshi et al. 2002, Schulze-Mosgau & Neukam 2002).

Die parodontale Heilung beginnt sofort nach der Transplantation mit der Bildung eines Blutkoagulums zwischen Alveolarknochen und Wurzeloberfläche. Dieses Koagulum wird bis zum vierten postoperativen Tag vollständig durch aus der Spongiosa des Alveolarknochens aussprossendes Granulationsgewebe ersetzt (Schultze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007). Innerhalb der ersten Woche kommt es zu einer Wiederanhaftung des Saumepithels und Vereinigung der gingivalen Fasern (Andreasen 2007, Filippi 2009). Die Wiederherstellung dieses gingivalen Attachments ist von klinischer Bedeutung, da diese Strukturen die Funktion einer Barriere gegen eine bakterielle Invasion des Parodontalspalts darstellen, und somit eine ungestörte Heilung der darunter liegenden Gewebe ermöglicht (Andreasen 1993, Andreasen 2007). Zwei Wochen nach der Zahntransplantation kommt es zur initialen Ausbildung von neuen parodontalen Fasern zwischen Wurzelzement und Alveolarknochen (Schultze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007). Drei bis vier Wochen nach Transplantation hat sich eine neue Alveole einschließlich neuer Sharpey'scher Fasern gebildet (Andreasen 1993). Behrens postuliert, dass der transplantierte Zahn ab diesem Zeitpunkt klinisch fest und kaustabil eingehellt ist (Behrens et al. 2006). Nach acht Wochen ist die parodontale Heilung in der Regel abgeschlossen (Schultze-Mosgau und Neukam 2002). Nach 3 Monaten hat der parodontale Gefäßplexus seine regelmäßige Ausbildung erreicht und die Innervation des Parodonts ist

wiederhergestellt (Andreasen 1993). Abbildung 2 zeigt ein Schema der Heilung des parodontalen Ligaments nach Zahntransplantation.

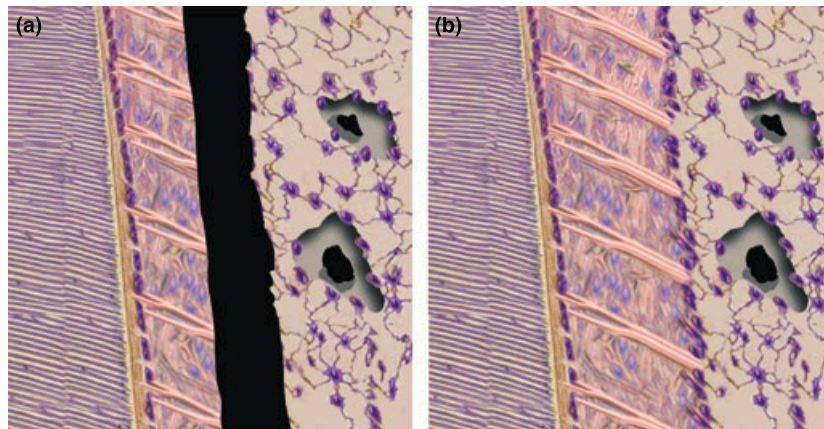


Abbildung 2: Schematische Darstellung der parodontalen Heilung nach Zahntransplantation. (a) Verlust des knochenseitigen parodontalen Ligaments (diese Situation ist typisch nach Konditionierung eines Transplantatbettes) (b) Heilung des gesamten parodontalen Ligaments (nach Andreasen 2012)

Nach Abschluss der parodontalen Heilung ist röntgenologisch ein durchgehender Parodontalspalt ohne Anzeichen einer Wurzelresorption und das Vorhandensein einer Lamina dura erkennbar (Andreasen 1993, Cohen et al. 1995, Thomas et al. 1998, Mendes u. Roche 2004, Andreasen 2007, Filippi 2009, Waikakul et al. 2011). Klinisch zeigt der transplantierte Zahn eine physiologische Mobilität und einen unauffälligen Perkussionston (Andreasen 2007).

### 3.9.2 Regeneration des Pulpengewebes

Die Pulpa ist ein lockeres, stark vaskularisiertes und innerviertes spezialisiertes Bindegewebe. Sie besteht aus verschiedenen Zellen (Odontoblasten, Fibroblasten, undifferenzierte mesenchymalen Zellen und Abwehrzellen), einer intrazellulären Grundsubstanz mit retikulären und kollagenen Faserbündeln sowie aus Gefäßen und Nerven. Die Blutgefäße und Nervenfasern treten durch das Foramen apicale in die Pulpenkammer ein. Über zahlreiche kleine, die Wurzel durchziehende Seitenkanäle steht die Pulpa in direkter Verbindung mit dem Desmodont. Die Pulpa besitzt vielseitige Funktionen. Sie ist verantwortlich für die Ernährung und Vitalerhaltung der pulpalen Zellen und Innervation des

Zahnes. Die pulpalen Nervenendigungen können einen auf das Dentin und die Pulpa einwirkenden Druck sowie chemische und thermische Reize registrieren (Schroeder 2000).

Im Zuge der Transplantatentnahme kommt es zu einer vollständigen Durchtrennung des pulpalen Gewebes und des Gefäß- und Nervenbündels nahe des Foramen apicale. Die daraus resultierende Unterbrechung der Blutversorgung und der nervalen Innervation führt zu einer Degeneration der Pulpazellen (Andreasen 1993, Schultze-Mosgau und Neukam 2002, Werder et al. 2011). Die pulpale Regenerationskapazität und Revaskularisation ist abhängig vom Wurzelwachstumsstadium und dem Durchmesser des Foramen apicale (Tsukiboshi 2002). Bei Zähnen mit unvollständigem Wurzelwachstum kann eine vollständige Revaskularisation der Pulpa erwartet werden (Andreasen 1993, Tsukiboshi 2002, Schultze-Mosgau und Neukam 2002, Filippi 2009).

Die Regeneration der Pulpa kann in drei Phasen unterteilt werden (Schultze-Mosgau und Neukam 2002). In der ersten Phase, die am dritten Tag beginnt, kommt es zu einer aseptischen Nekrose des avaskulären Pulpengewebes (Schultze-Mosgau und Neukam 2002), welche das größte Ausmaß im koronalen Anteil der Pulpa zeigt (Andreasen 2007). Gleichzeitig können von apikal erste in das Pulpenkavum einwachsende neue Blutgefäße nachgewiesen werden (Lee et al. 2012). An der Grenze zwischen vitalem und nekrotischem Gewebe können typische zelluläre Entzündungskomponenten, wie neutrophile Granulozyten und Erythrozyten, nachgewiesen werden (Andreasen 2007, Lee et al. 2012). Die an der Grenze von Dentin und Schmelz liegenden Odontoblasten sind meist degeneriert (Lee et al. 2012). Ab dem vierten Tag beginnt die zweite Phase der Regeneration, die durch die Migration undifferenzierter mesenchymaler Zellen über das Foramen apicale in das Pulpenkavum und einen sukzessiven Ersatz des nekrotischen Gewebes durch neues vaskularisiertes Pulpengewebe von apikal nach koronal gekennzeichnet ist (Schultze-Mosgau und Neukam 2002). Undifferenzierte mesenchymale Zellendifferenzieren zu Odontoblasten-ähnlichen Zellen (Tsukiboshi 2002). Diese sekundären Odontoblasten formieren sich an der Grenze zwischen Dentin und Pulpa (Lee et al. 2012). Nach 10 Tagen können Blutgefäße in der apikalen Hälfte der Pulpa nachgewiesen werden. Die Bildung von Tertiärdentin durch die sekundären Odontoblasten beginnt am 17. Tag nach der Transplantation (Andreasen 2007). Strukturell ist das Tertiärdentin ein

Osteodentin, welches keine Dentinkanälchen enthält und Zelleinschlüsse aufweist (Schultze-Mosgau und Neukam 2002). Nach 1 Monat zeigt sich eine Regeneration der pulpalen Nervenfasern (Andreasen 2007). In der dritte Phase, vier bis fünf Wochen nach der Transplantation, ist die Revaskularisation abgeschlossen und die Pulpenkammer vollständig von neugebildeten vaskulären Pulpengewebe ausgefüllt (Andreasen 1993, Schultze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007, Lee 2012).

Die Hartgewebsbildung durch die sekundären Odontoblasten führt zu einer Obliteration des Pulpenkavums, welche röntgenologisch innerhalb von fünf bis neun Monaten nach der Zahntransplantation sichtbar wird (Schultze-Mosgau und Neukam 2002). Die Pulpaobliteration ist als ein Zeichen einer vitalen Pulpa zu deuten (Filippi 2009).

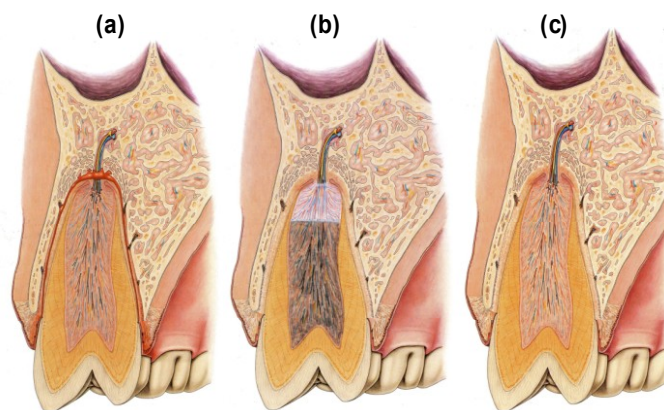


Abbildung 3: Revaskularisation eines replantierten Zahnes mit offenem Foramen apikale. (a) Zustand unmittelbar nach Replantation, (b) Zustand nach vier Tagen, (c) Zustand nach vier Wochen (aus Andreasen 1993)

Bei Zähnen mit abgeschlossenem Wurzelwachstum und eingengtem Foramen apikale bleibt die Revaskularisation der Pulpa unvollständig und endet 1-2 mm koronal des Foramen apikale in der nekrotischen Pulpa. Ohne bakterielle Kontamination kann die aseptische Nekrose der Pulpa Monate bis Jahre klinisch unauffällig bestehen bleiben, wobei ein permanentes Infektionsrisikos vorhanden ist. Die aseptische Nekrose der Pulpa ist lediglich indirekt röntgenologisch an der fehlenden Pulpaobliteration zu erkennen (Schultze-Mosgau und Neukam 2002). Aus diesem Grund empfehlen die meisten Autoren drei bis vier Wochen nach Transplantation eines Zahnes mit abgeschlossenem Wurzelwachstum und

eingengtem Foramen apicale eine endodontische Behandlung (Andreasen 1993, Tsukiboshi et al. 2002, Schultze-Mosgau und Neukam 2002, Lang et al. 2003, Filippi 2009).

### **3.9.3 Regeneration des Alveolarknochens**

Auf Grund der Ausschachtung einer neuen Alveole im Zuge der Transplantatbettpräparation fehlt eine die Alveole auskleidende knöcherne Lamina dura und die desmodontale Auskleidung des Transplantatlagers (Schultze-Mosgau und Neukam 2002).

Im Zuge der Konditionierung des Transplantatlagers stellt die Eröffnung der Markräume eine der wichtigsten Voraussetzungen für die knöcherne Heilung des Alveolarknochens nach der Zahntransplantation da. Die in den Markräumen und Haverschen Kanälen des Alveolarknochens liegenden Osteoblasten generieren über die Bildung von Osteoid neuen Knochen. An den benachbarten Stellen kommt es durch mehrkörnige Osteoklasten zum Knochenabbau. Durch diese parallel ablaufenden Auf- und Abbauprozesse entsteht eine neue Alveolenwand mit Anhaftung eines neugebildeten Parodonts.

Zwei bis drei Monate nach der Zahntransplantation lässt sich dies an einer röntgenologisch sichtbaren Lamina dura erkennen. 12 bis 16 Wochen nach der Transplantation entspricht der neu gebildete Knochen normalem Knochengewebe (Waikakul et al. 2011).

### **3.10 Komplikationen**

Resorptionen und Ankylose stellen die häufigsten Komplikationen bei der Zahntransplantation dar (Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Eskici 2003, Filippi 2008, Strbac et al. 2008, Harrer-Bantleon und Jakse 2014).

Resorptionen und Ankylosen sind zu erwarten, wenn es im Zuge des chirurgischen Eingriffs zur Schädigung der Wurzeloberfläche kommt.

Kallu gibt in seiner Arbeit, in der 273 transplantierte Zähne über einen mittleren Zeitraum von 3,8 Jahren beobachtet wurden, eine Häufigkeit von 21,3% für Wurzelresorptionen sowie 13,6% für Ankylosen an (Kallu et al. 2005). Abbildung 4 zeigt eine schematische Darstellung der Oberflächenresorption, entzündlichen Resorption und Ersatzresorption.

### **3.10.1 Oberflächenresorption**

Als Ursache einer Oberflächenresorption wird die Verletzung des Desmodonts und des Zements ohne Eröffnung der Dentintubuli angesehen (Schulze-Mosgau und Neukam 2002). Histologisch zeigen sich oberflächliche Resorptionslakunen an der Wurzeloberfläche (Andreasen 2007). Eine Heilung kann durch Regeneration aus dem angrenzenden vitalen Desmodont erfolgen. Nachdem das nekrotische Desmodont und Zement abgebaut wurden, kann die Resorptionslakune durch neu gebildeten Zement aufgefüllt werden (Schulze-Mosgau und Neukam 2002).

Röntgenologisch werden Oberflächenresorptionen auf Grund ihrer kleinen Größe nur selten diagnostiziert. Fortgeschrittene Resorptionen können ein bis drei Wochen nach Transplantation am Röntgen als flache Kavitäten sichtbar werden (Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007). Die Oberflächenresorption ist selbstlimitierend und heilt spontan aus. Deshalb ist auch keine Therapie erforderlich. Nach Ausheilung erscheint am Röntgen ein physiologischer Parodontalspalt (Schulze-Mosgau und Neukam 2002).

### **3.10.2 Entzündliche Resorption**

Die entzündliche Resorption entsteht nach Verletzung des Desmodonts und Zements, wenn gleichzeitig Dentintubuli freiliegen und eine Pulpanekrose besteht. Über die Dentintubuli besteht eine Verbindung zwischen der Resorptionszone und dem infizierten Pulpenkavum (Schulze-Mosgau und Neukam 2002). Die Bakterien, deren Produkte sowie Abbauprodukte des nekrotischen Gewebes können über die Dentinkanälchen aus dem Pulparaum in das Desmodont diffundieren und in großen Teilen des parodontalen Ligaments eine entzündliche Reaktion auslösen (Baumann und Beer 1997). Histologisch zeigen sich schüsselförmige Resorptionslakunen im Wurzelzement und Dentin in Kombination mit entzündlichen Veränderungen der parodontalen Gewebe. Im parodontalen Entzündungsinfiltrat können Lymphozyten, Plasmazellen und polymorphkernige Leukozyten nachgewiesen werden. An der Wurzeloberfläche zeigen sich Osteoklasten, die sich für die Wurzelresorption verantwortlich zeigen (Andreasen 2007). Zusätzlich kommt es auch immer zu einer Resorption des angrenzenden Alveolarknochens (Baumann und Beer 1997).

Röntgenologisch zeigen entzündliche Wurzelresorptionen schüsselförmige Defekte entlang der Wurzeloberfläche und im benachbarten Knochen. Die ersten radiologischen Zeichen einer entzündlichen Wurzelresorption zeigen sich zwei bis drei Wochen nach Beginn der entzündlichen Reaktion und werden meist im zervikalen Wurzel Drittel diagnostiziert (Baumann und Beer 1997, Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007).

Klinisch zeigen sich eine Zahnlockerung sowie eine Extrusion des betroffenen Zahnes. Der Zahn ist Perkussionsempfindlich und weist einen dunklen Perkussionsschall auf (Andreasen 2007). Der Sensibilitätstest fällt auf Grund der Pulpanekrose negativ aus (Baumann und Beer 1997).

Entzündliche Wurzelresorptionen treten üblicherweise ein bis zwei Monate nach einer Zahntransplantation auf (Paulsen und Andreasen 1998).

Die Therapie der entzündlichen Wurzelresorption stellt eine endodontische Behandlung mit sorgfältigster mechanischer Reinigung und chemischer Desinfektion des Pulpakanals dar (Baumann und Beer 1997, Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007). Die Therapie sollte sofort nach der Diagnosestellung beginnen, da eine entzündliche Wurzelresorption mit 0,1 mm pro Tag voranschreiten kann und unbehandelt zum Zahnverlust führt (Schulze-Mosgau und Neukam 2002).

### **3.10.3 Ersatzresorption (Ankylose)**

Eine Ersatzresorption entsteht, wenn nach einer Verletzung des parodontalen Ligaments Zellen mit osteogenem Potential in Kontakt mit der Wurzeloberfläche kommen. Die Kontaktaufnahme von Knochen und Wurzeloberfläche wird als Ankylose bezeichnet (Baumann und Beer 1997, Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Kirschner 2002, Andreasen 2007). Histologisch zeigt sich eine Fusion des Alveolarknochens mit der Wurzeloberfläche (Andreasen 2007). Mit Fortschreiten der Ankylose wird die gesamte Wurzel resorbiert und durch Knochen ersetzt (Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007).

Röntgenologisch zeigen sich eine Aufhebung des Parodontalspalts und ein kontinuierlicher Ersatz der Wurzelsubstanz durch Knochen (Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007). Sechs Wochen nach dem Auftreten einer Ankylose kann diese am Röntgen festgestellt werden (Schulze-Mosgau und Neukam 2002).

Klinisch ist ein ankylosierter Zahn unbeweglich und zeigt einen metallischen Perkussionston. Wenn die Ankylose bei Jugendlichen, deren alveoläres Wachstum noch nicht abgeschlossen ist, auftritt, wird das vertikale alveoläre Wachstum gehemmt und der Zahn nimmt eine Infraposition ein (Baumann und Beer 1997, Schulze-Mosgau und Neukam 2002, Andreasen 2007).

Ersatzresorptionen können üblicherweise 6 Wochen nach einer Zahntransplantation auftreten (Paulsen und Andreasen 1998).

Eine kausale Therapie einer Ersatzresorption oder Ankylose existiert nicht (Schulze-Mosgau und Neukam 2002).

Filippi empfiehlt bei Kindern zwischen dem 12. und 14. Lebensjahr die Entfernung des ankylosierten Zahnes mit anschließender Transplantation eines geeigneten Spenderzahnes. Bei älteren Jugendlichen sollte die Dekoronation eines ankylosierten Zahnes durchgeführt werden (Filippi 2012).

Dabei wird die Krone des ankylosierten Zahnes nach vorheriger Abhebung eines Mukoperiostlappens apikal der Schmelz-Zement-Grenze abgetrennt und die Wurzel in situ belassen. Der Inhalt des Wurzelkanals – Wurzelkanalfüllmaterialien oder Entzündungsgewebe – wird vollständig entfernt. Wichtig ist dabei, dass der entstandene Hohlraum vollgeblutet wird (Filippi 2012). Die Wurzel stabilisiert den Knochen in weiterer Folge gegen eine Atrophie und wird vollständig durch Knochen ersetzt. Der Nutzen dieses Vorgehens liegt im Erhalt des Knochenvolumens. Spätere aufwendige Augmentationsmethoden auf Grund eines insuffizienten Knochenangebots im Zuge einer implantologischen Versorgung können auf diese Weise vermieden werden (Diaz et al. 2007, Cohenca und Stabholz 2007, Lin et al. 2013, Malmgren 2013).

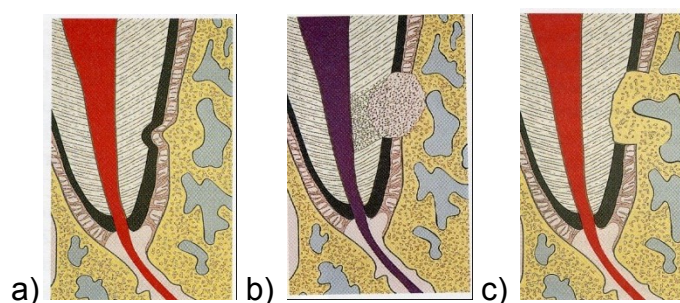


Abbildung 4: Schematische Darstellung der a) Oberflächenresorption b) entzündlichen Resorption und c) Ersatzresorption (Kirschner et al. 2002)

## 4 Fallbericht

Der Fallbericht zeigt eine Zahntransplantation, die am Department für Zahnärztliche Chirurgie und Röntgenologie der Univ. Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz von Univ.- Prof. DDr. Norbert Jakse durchgeführt wurde. Die Fotodokumentation wurde freundlicherweise von Univ.- Prof. DDr. Norbert Jakse zur Verfügung gestellt.

Die röntgenologische und klinische Ausgangssituation einer 12-jährigen Patientin mit Nichtanlagen der Zähne 35, 43 und 45 ist in den Abbildungen 5 und 6 wiedergegeben. In regio 43 zeigt sich ein persistierender Milchzahn. Geplant wurden die Extraktion des Milchzahnes 83 sowie die Transplantation des Zahnes 15 an die Stelle 43. Eine kieferorthopädische Behandlung wurde bereits präoperativ begonnen.



Abbildung 5: OPG, radiologische Ausgangssituation, persistierender Milchzahn 83 sowie Nichtanlage des Zahnes 43



Abbildung 6: Klinische Ausgangssituation

Die Abbildungen 7 bis 15 zeigen schrittweise das operative Vorgehen.

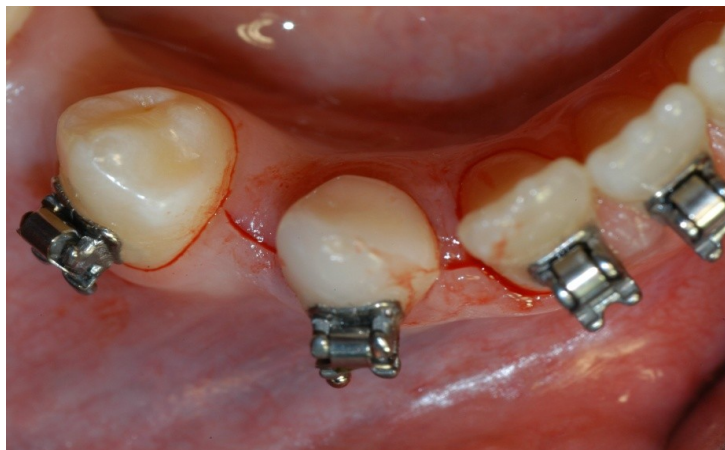


Abbildung 7: Marginale Schnitfführung

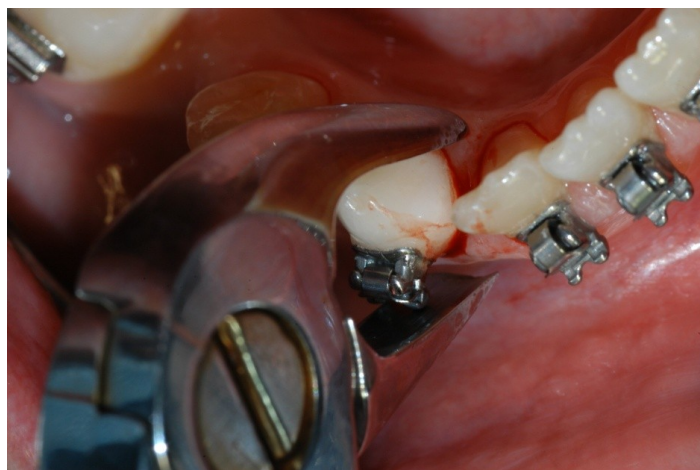


Abbildung 8: Extraktion des Milchzahnes 83

Nach Abheben eines Mukoperiostlappens zeigt sich die Extraktionsalveole mit erhaltener bukkaler und lingualer Knochenlamelle.

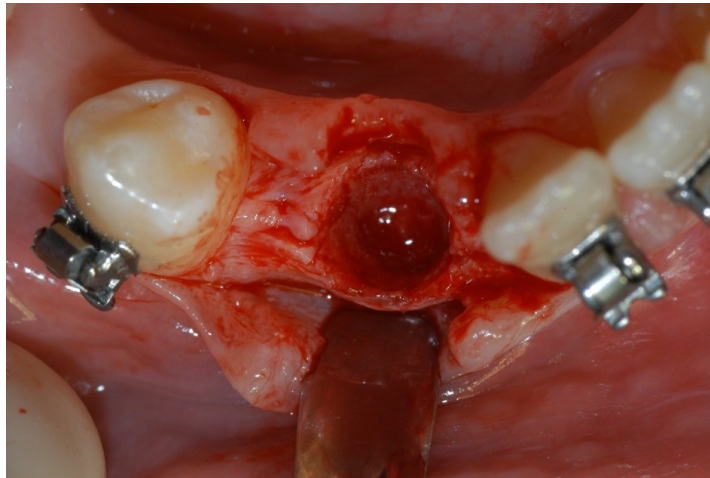


Abbildung 9: Sicht auf die Extraktionsalveole

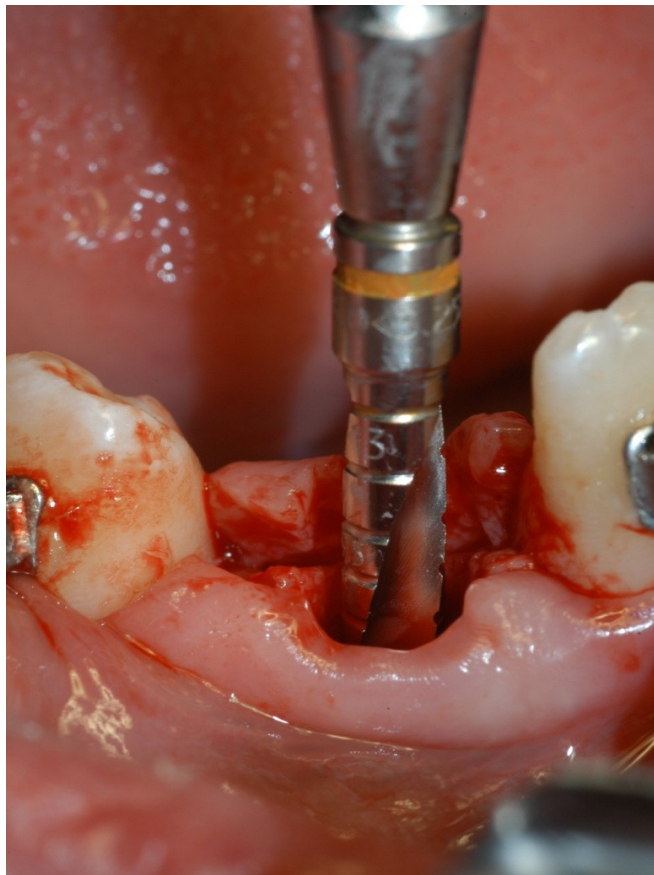


Abbildung 10: Erweiterung des Transplantatbettes mit Frialit-Implantationsbohrern (Dentsply Implants)

Nach der Präparation des Transplantatlagers erfolgte die vorsichtige Entnahme des Zahnes 15.



Abbildung 11: Entnahme des Zahnes 15



Abbildung 12: Am Spenderzahn 15 ist die unversehrte Wurzeloberfläche erkennbar



Abbildung 13: Vorsichtiges Einbringen des Zahnes 15 in die neu aufbereitete Alveole

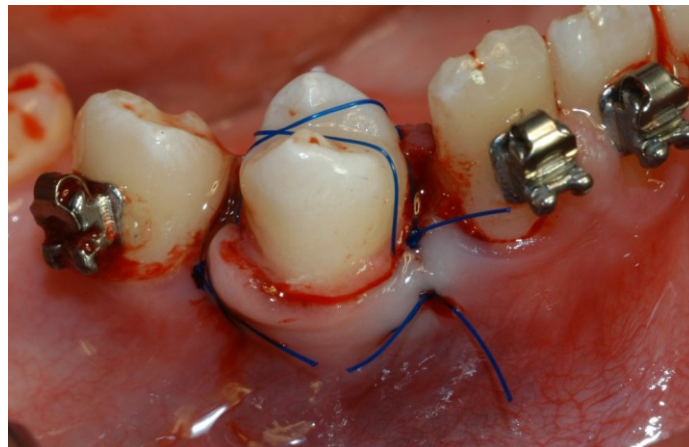


Abbildung 14: Wundverschluss mit Einzelknopfnähten, Stabilisierung des Transplantates mit einer Kreuznaht

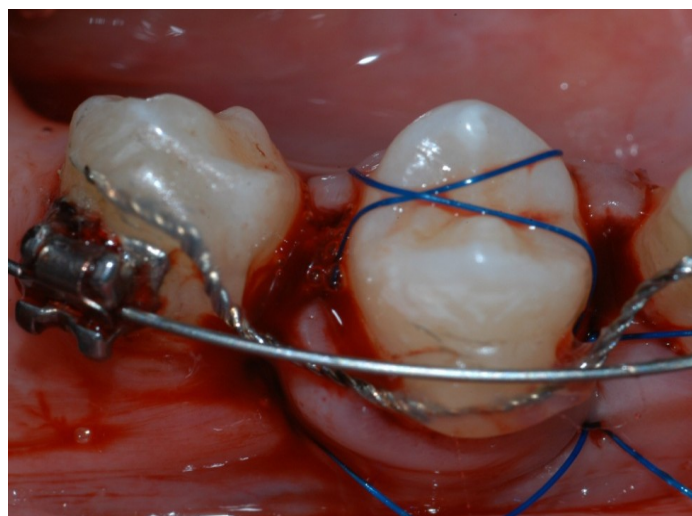


Abbildung 15: Semirigide Schienung mit Twist Flex-Draht

Die Abbildungen 16 bis 18 zeigen postoperative röntgenologische Untersuchungen des transplantierten Zahnes.



Abbildung 16: OPG postoperativ, am transplantierten Zahn erkennt man das nicht abgeschlossene Längenwachstum der Wurzel sowie das weit offene Foramen apicale



Abbildung 17: Postoperatives Röntgen zwei Monate nach Transplantation



Abbildung 18: Postoperatives Röntgen sieben Monate nach Transplantation, man erkennt eine beginnende Pulpenobliteration, die Knochenneubildung um die Zahnwurzel sowie eine die Alveole auskleidende Lamina dura

## **5 Material und Methoden**

### **5.1 Ethikkommission**

An die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz wurde ein Antrag für die Durchführung der Studie gestellt und von derselben genehmigt (EK-Nummer 25-587 ex 12/13).

### **5.2 Studiendesign**

Bei dieser Studie handelt es sich um eine monozentrische retrospektive klinische Untersuchung.

### **5.3 Patientenkollektiv**

Das Patientenkollektiv für diese Studie wurde aus den Operationsprotokollen des Departments für Zahnärztliche Chirurgie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz eruiert und telefonisch kontaktiert. Bei der telefonischen Kontaktaufnahme wurden die Patienten über die Teilnahme an der Studie, den zeitlichen Aufwand sowie ihren Nutzen aufgeklärt. Der Nutzen für den Patienten lag in der Früherkennung eventueller Pathologien sowie in der Einleitung einer notwendigen Therapie. Gaben diese ihr mündliches Einverständnis wurde ein Termin für eine Kontrolluntersuchung vereinbart.

Vor der Durchführung der Kontrolluntersuchung wurden die Patienten erneut über die Studienteilnahme, den genauen Untersuchungsablauf sowie die Datenanonymisierung aufgeklärt. Die Patienten oder im Falle minderjähriger Patienten ein Erziehungsberechtigter mussten eine schriftliche Einverständniserklärung zur Studienteilnahme unterzeichnen.

#### **5.3.1 Einschlusskriterien**

In die Studie eingeschlossen wurden alle Patienten, bei denen im Zeitraum von Januar 2002 bis Dezember 2012 am Department für Zahnärztliche Chirurgie und Röntgenologie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz eine Zahntransplantation durchgeführt wurde und die mit der Teilnahme an dieser Studie einverstanden waren.

### **5.3.2 Ausschlusskriterien**

Von der Studienteilnahme ausgeschlossen wurden alle Patienten mit fehlender Kooperation, fehlender Einverständniserklärung für die Teilnahme an der Studie und schwangere Patientinnen.

## **5.4 Untersuchungsprotokoll**

Die Nachuntersuchung der transplantierten Zähne umfasste die Erhebung klinischer und radiologischer Befunde, die auf einem Untersuchungsblatt dokumentiert wurden.

### **5.4.1 Klinische Befunderhebung**

Die klinische Untersuchung umfasste die Erhebung von Sensibilität, Sondierungstiefe, Bleeding on Probing, Mobilität, Karies und Okklusion des transplantierten Zahnes.

- **Sensibilität**

Die Sensibilität wurde durch Anwendung eines Kältereizes mit Kohlendioxid beurteilt und mit den Nachbarzähnen verglichen.

(Beurteilung: Zahn reagiert positiv auf den Kältereiz; Zahn reagiert verzögert auf den Kältereiz; Zahn reagiert stark verzögert auf den Kältereiz, Zahn reagiert nicht auf den Kältereiz).

- **Sondierungstiefen**

Die Messung der Sondierungstiefen erfolgte als Sechspunktmessung (mesiobukkal, bukkal, distobukkal, distooral, oral, mesiooral) mit einer Parodontalsonde (CP 12 Hu-Friedy, Chicago, IL, USA)

(Beurteilung: Sondierungstiefen bis 3 mm wurden als physiologisch betrachtet; Sondierungstiefen über 3 mm galten als pathologisch (Nethander 1994, Behrens et al. 2006)).

Die Sondierungstiefe ist die Distanz vom Gingivarand zum Taschenfundus.

- **Bleeding on Probing**

Der Parameter Bleeding on Probing gibt Aufschluss über Zeichen einer Inflammation der Gingiva (Lang 1990). Die Erhebung erfolgte mit einer Parodontalsonde (CP 12 Hu-Friedy, Chicago, IL, USA).

(Beurteilung: Bleeding on Probing negativ; Bleeding on Probing positiv).

- **Mobilität**

Die Mobilität wurde mit dem Periotest-Gerät (Periotest classic, Medizintechnik Gulden, Deutschland) gemessen. Hohe Periotestwerte korrelieren mit einer erhöhten Zahnbeweglichkeit. Tab. 7 zeigt die Beziehung zwischen Lockerungsgrad nach Miller und den Periotestwerten.

|  | Lockerungsgrad<br>nach Miller | Periotest-Wert |
|--|-------------------------------|----------------|
| klinisch fester Zahn                         | 0                             | -8 bis +9      |
| fühlbare Beweglichkeit                       | 1                             | +10 bis +19    |
| sichtbare Beweglichkeit                      | 2                             | +20 bis +29    |
| Beweglichkeit auf Lippen- und<br>Zungendruck | 3                             | +30 bis +50    |

Tabelle 7: Beziehung zwischen Lockerungsgrad nach Miller und den Periotestwerten (Schulte et al. 1983)

(Beurteilung: physiologische Mobilität; pathologische Mobilität)

- **Karies**

Das Vorhandensein einer Karies wurde klinisch und radiologisch beurteilt.

- **Okklusion**

Die Okklusion wurde mit einer Shimstock-Folie (Hanel Shimstock-Folie 8 µ, Coltène-Whaledent, Langenau, Deutschland) beurteilt. (Beurteilung: Zahn in Okklusion; Zahn in Infraokklusion)

#### **5.4.2 Radiologische Befunderhebung**

Ein Kleinbildröntgen der transplantierten Zähne wurde in Rechtwinkeltechnik unter Anwendung einer Rechtwinkelhalterung und eines Intraoralsensors (Heliodent Plus Sidexis Intraoral Sensor, Sirona, Bensheim, Deutschland; Röntgenspannung 60 kV, Belichtungszeit 0,6 Sekunden im Frontzahnbereich, Belichtungszeit 0,8 Sekunden im Seitenzahnbereich) angefertigt. Die röntgenologische Auswertung der digitalen Kleinbildröntgen erfolgte mit der Software Sidexis XG (Sidexis, Sirona, Bensheim, Deutschland).

Die im Zuge der Untersuchung angefertigten Kleinbildröntgen wurden mit den postoperativ angefertigten Röntgenbildern verglichen.

Die radiologische Befunderhebung umfasste die Beurteilung von Pulpenkavum, Parodontalspalt, Wurzelwachstum, endodontische Behandlung, apikale Aufhellung, Wurzelresorption oder Ankylose.

- **Pulpenkavum**

Röntgenologisch wurde beurteilt, ob es zu einer Pulpaobliteration gekommen ist. (Beurteilung: Pulpa obliteriert; Pulpa teilobliteriert, Pulpenkavum unverändert)

- **Parodontalspalt**

Es wurde beurteilt, ob am Röntgen ein durchgehender Parodontalspalt sichtbar ist. (Beurteilung: Parodontalspalt nicht sichtbar; Parodontalspalt kaum sichtbar; Parodontalspalt normal; Parodontalspalt erweitert)

- **Wurzelwachstum**

Röntgenologisch wurde das Wurzelwachstumsstadium vor der Transplantation erhoben (Wurzelwachstum zur Hälfte abgeschlossen; Wurzelwachstum zu drei Viertel abgeschlossen; Wurzelwachstum abgeschlossen mit breit offenem Foramen apikale; Einteilung nach Moorres et al. 1963). Zusätzlich wurde beurteilt, ob ein weiteres Wurzelwachstum nach Transplantation stattgefunden hat.

- **Endodontische Behandlung**

Ebenfalls wurden endodontische Behandlungen nach einer Transplantation dokumentiert.

(Beurteilung: endodontische Behandlung vorhanden; endodontische Behandlung nicht vorhanden)

- **Apikale Aufhellung, Wurzelresorption oder Ankylose**

Röntgenologisch wurden die transplantierten Zähne auf das Vorhandensein apikaler Aufhellungen untersucht. (Beurteilung: apikale Aufhellung vorhanden; apikale Aufhellung nicht vorhanden)

- **Wurzelresorptionen**

Es erfolgte der radiologische Nachweis von Wurzelresorptionen der transplantierten Zähne. (Beurteilung: Wurzelresorption vorhanden; Wurzelresorption nicht vorhanden)

- **Ankylosen**

Neben dem Periotest wurde eine Ankylose der transplantierten Zähne auch röntgenologisch untersucht (Beurteilung: Ankylose vorhanden; Ankylose nicht vorhanden)

## **5.5 Erfolgsparemeter**

Als Hauptparameter wurden die Überlebensrate und die Erfolgsrate der transplantierten Zähne unterschieden. Die Überlebensrate gibt die Anzahl der Zähne, die zum Zeitpunkt der Untersuchung noch in situ waren, wieder.

Als Erfolg wurde definiert, wenn das Transplantat vital und in situ war, eine normale physiologische Mobilität aufwies, die Sondierungstiefe maximal 3mm betrug und keine radiologischen Zeichen einer Ankylose, Wurzelresorption oder apikalen Aufhellung vorhanden waren.

Ein Zahn der diese Parameter nicht erfüllte, wurde als Misserfolg gewertet.

## **5.6 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der klinischen und radiologischen Befunde erfolgte mittels deskriptiver Statistik mit SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Der Exakte Test nach Fischer wurde eingesetzt, um signifikante Zusammenhänge hinsichtlich der Erfolgsrate in Abhängigkeit von Spenderzahn,

Wurzelwachstum und prä- und postoperativer kieferorthopädischer Behandlung darzustellen. Das Signifikanzniveau lag bei  $p = 0,05$ .

Microsoft Excel wurde für die Erstellung der Diagramme verwendet.

## **6 Ergebnisse**

### **6.1 Anzahl der Studienteilnehmer**

Am Department für Zahnärztliche Chirurgie und Röntgenologie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde Graz wurden im Zeitraum von Januar 2002 bis Dezember 2012 69 (23 Molaren , 41 Prämolaren, 5 Eckzähne) Zahntransplantationen bei 62 Patienten (41 weiblich, 21 männlich) von sieben Oralchirurgen durchgeführt. Bei 10% (7 Patienten) wurden zwei Zähne transplantiert.

Aufgrund fehlender oder falscher Kontaktdaten konnten 36% (25 Patienten) nicht kontaktiert werden. 10% (7 Patienten) wollten auf Grund des weit entfernten Wohnortes nicht zur Untersuchung kommen, 7% (5 Patienten) zeigten kein Interesse an der Studienteilnahme. Die Drop Out - Rate betrug 54% (37 Patienten).

In die Studie eingeschlossen wurden 36% (25 Patienten). Das untersuchte Patientenkollektiv bestand aus 17 Frauen (68%) und 8 Männern (32%), bei welchen 28 Zähne transplantiert wurden. In 11% der Fälle (3 Patienten) wurden zwei Zähne transplantiert. Die 28 transplantierten Zähne setzten sich aus 9 Molaren, 17 Prämolaren und 2 Eckzähnen zusammen. Das mittlere Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Transplantation betrug 13,7 Jahre (Range 10,3 Jahre –21,8 Jahre,  $\pm$  3,3 Jahre). Zum Zeitpunkt der Untersuchung betrug das mittlere Alter des Patientenkollektivs 19,3 Jahre.

### **6.2 Beobachtungszeitraum**

Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich vom Tag der Zahntransplantation bis zur letzten Kontrolluntersuchung oder bis zum Tag, an dem das Transplantat entfernt wurde. Der mittlere Beobachtungszeitraum der transplantierten Zähne betrug 6,2 Jahre (Range 0,9 Jahre – 12,1 Jahre;  $\pm$  3,8 Jahre). In 21% der Fälle (sechs Zähne) kam es zu einem Transplantatverlust vor dem Nachuntersuchungszeitpunkt. Abb. 19 gibt einen Überblick über die verschiedenen Beobachtungszeiten.

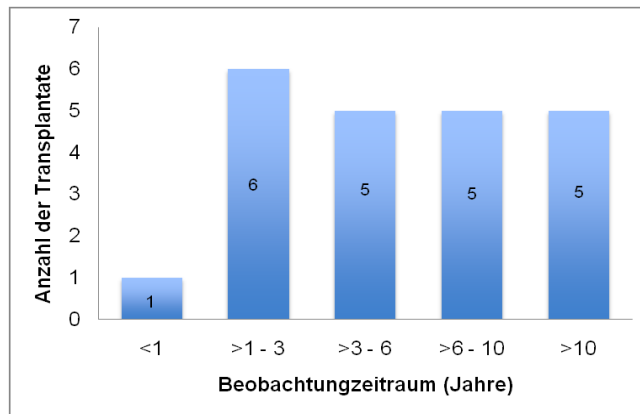


Abbildung 19: Balkendiagramm zum Beobachtungszeitraum. Die Zahlen innerhalb der Balken geben die Anzahl der Transplantate, die im definierten Zeitraum nachuntersucht wurden, an

### 6.3 Indikationsstellung

Die Indikationen für die Transplantation wurden in 57% der Fälle (16/28) aufgrund von Nichtanlagen, in 21% der Fälle (6/28) aufgrund von frühzeitigem Zahnverlust durch Karies, in 4% der Fälle (1/28) aufgrund eines durch eine Wurzelresorption verursachten Zahnverlustes und in 7% der Fälle (2/28) aufgrund eines frühzeitigen Zahnverlusts durch Trauma gestellt.

11% der Fälle, waren dystopisch angelegte Zähne (3 Zähne), die an ihre anatomisch richtige Stelle transplantiert wurden. Abb. 20 gibt einen Überblick über die verschiedenen Indikationen zur Zahntransplantation.

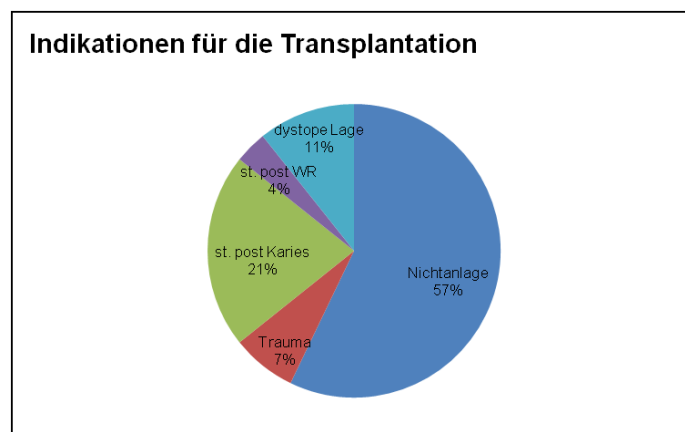


Abbildung 20: Indikationen für die Zahntransplantation. Die Zahlen innerhalb der Segmente geben die prozentuelle Verteilung der Indikationen wieder

## 6.4 Überlebensrate

Die kumulative Überlebensrate der transplantierten Zähne lag bei 79%. 21% (6/28) wurden vor dem Nachuntersuchungszeitpunkt extrahiert. Die extrahierten Zähne waren im Durchschnitt 5,7 Jahre in situ (Range 1 Jahr – 11,3 Jahre  $\pm$  3,7 Jahre). Abb. 21 zeigt die Überlebensrate der 28 transplantierten Zähne über 11 Jahre.

Für die transplantierten Molaren zeigte sich eine Überlebensrate von 56% (5/9) für die Prämolaren von 88% (15/17) und für die Eckzähne von 100% (2).

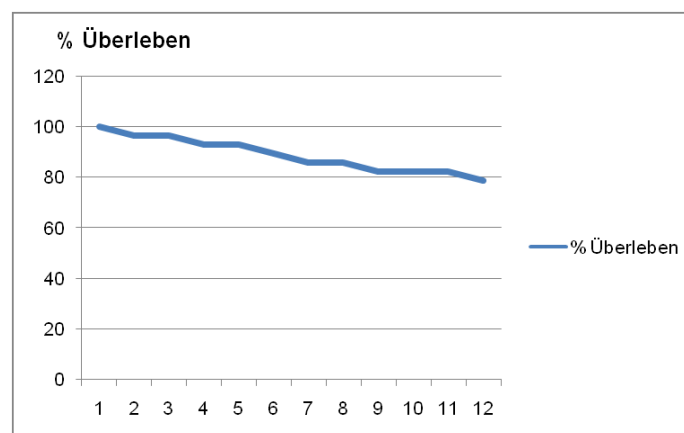


Abbildung 21: Überlebensrate der 28 transplantierten Zähne über 11 Jahre

## 6.5 Erfolgsrate

Entsprechend der oben definierten Erfolgskriterien lag die kumulative Erfolgsrate bei 71% (20/28). Die Erfolgsrate lag bei den Molaren bei 33%, bei den Prämolaren bei 88% und bei den Eckzähnen bei 100%. Entsprechend der oben definierten Erfolgskriterien ergibt sich eine Misserfolgsrate von 29% (8/28). Diese lässt sich weiter unterteilen in: 21% (6/28) Zahnverlust, 4% (1/28) Ankylose, 4% (1/28 Zähnen) apikale Parodontitis. Tabelle 8 gibt einen genauen Überblick über die Zähne, die als Misserfolg gewertet wurden.

| Misserfolgs<br>Nummer | Entnahmeregion →<br>Transplantatregion | Beobachtungs-<br>zeitraum<br>(in Monaten) | Ursache des Misserfolges |
|-----------------------|--|---|--------------------------|
| 1                     | 28 → 26                                | 11  | Ankylose                 |
| 2                     | 28 → 35                                | 12  | Verlust                  |
| 3                     | 24 → 45                                | 30  | Verlust                  |
| 4                     | 38 → 36                                | 59  | Verlust                  |
| 5                     | 44 → 13                                | 77  | Verlust                  |
| 6                     | 38 → 36                                | 93  | Verlust                  |
| 7                     | 38 → 46                                | 153                                       | Verlust                  |
| 8                     | 48 → 46                                | 140                                       | apikale Parodontitis     |

Tabelle 8: Überblick über die transplantierten Zähne mit Misserfolg

## **6.6 Klinische und radiologische Parameter nach Zahntransplantation**

### **6.6.1 Vitalität (Sensibilität, Pulpaobliteration, Fortschreiten des Wurzelwachstums)**

Zähne, die positiv auf den Sensibilitätstest reagierten, röntgenologisch eine Pulpaobliteration (vollständig oder teilweise) sowie ein Fortschreiten des Wurzelwachstums erwiesen, wurden als vitale Zähne betrachtet.

91% der Zahntransplantate (20/22), die zum Zeitpunkt der Untersuchung in situ waren, reagierten positiv auf den Sensibilitätstest. Alle Transplantate zeigten im Röntgen eine Pulpenobliteration. 68% der transplantierten Zähne zeigten eine vollständige Obliteration des Pulpenkavums, 32% eine Teilobliteration. Bei 91% der transplantierten Zähnen (20/22) konnte ein Fortschreiten des Wurzelwachstums nachgewiesen werden. Abbildung 22 gibt einen Überblick, wie hoch der Anteil der Zähne ist, die die Vitalitätsparameter erfüllten. 9% der Zähne (2/22) zeigten keine Reaktion auf den Sensibilitätstest.

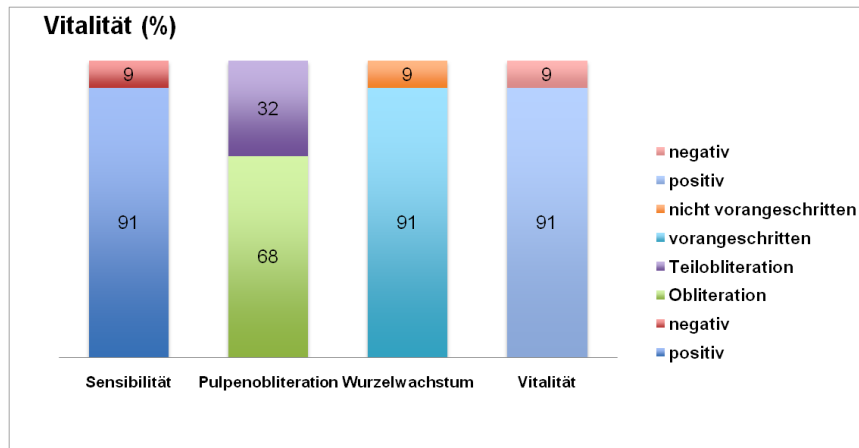


Abbildung 22: Balkendiagramm zur Darstellung der Vitalitätsparameter

### 6.6.2 Mobilität, Parodontalspalt

91% der transplantierte Zähne (20/22) wiesen eine physiologische Mobilität (Periotestwerte -3 bis 9) auf. 9% der transplantierten Zähne (2/22) wiesen pathologische Mobilitätswerte (5% (1/22) Ankylose; 5 % (1/22) Lockerung) auf. Röntgenologisch zeigte sich bei 77% (17/22) ein durchgehender Parodontalspalt, bei 18% (4/22) war der Parodontalspalt diskontinuierlich sichtbar und in 5% (1/22) konnte der Parodontalspalt nicht nachverfolgt werden. Abbildung 23 gibt eine Übersicht über die Mobilität und den Parodontalspalt.

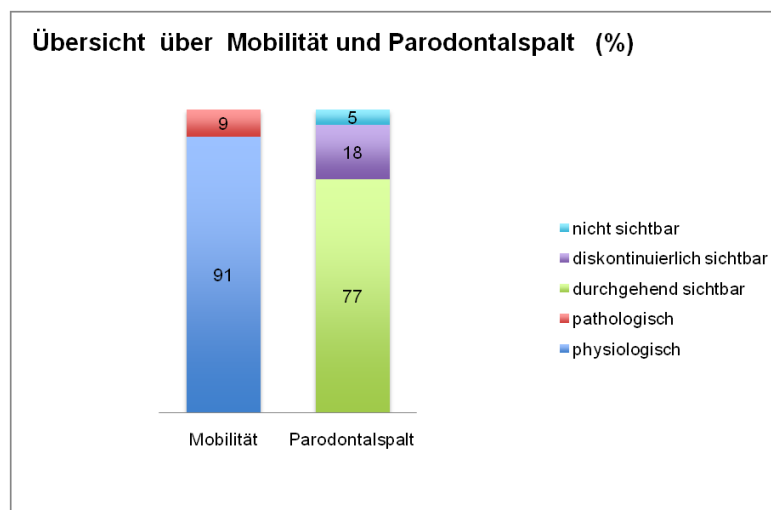


Abbildung 23: Balkendiagramm zu Mobilität und Parodontalspalt der transplantierten Zähne

### 6.6.3 Sondierungstiefen, Blutung auf Sondierung

95% transplantierte Zähne (21/22) wiesen Sondierungstiefen von unter 3 mm auf. Nur 5% (1/22) wies pathologische Sondierungstiefen von über 3 mm auf. Eine Blutung auf Sondierung konnte bei 68% transplantierten Zähnen (15/22) ausgelöst werden. 32% (7/22) wiesen keine Blutung auf Sondierung auf. Abbildung 24 gibt einen Überblick über die parodontalen Parameter Sondierungstiefen und BOP der transplantierten Zähne.

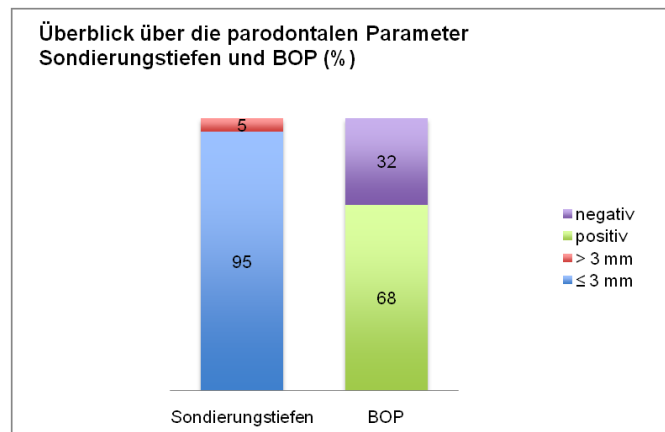


Abbildung 24: Balkendiagramm zu Sondierungstiefen und Blutung auf Sondierung

### 6.6.4 Wurzelresorption, Ankylose, apikale Aufhellung

4% der transplantierten Zähnen (1/28) wiesen eine Ankylose auf sowie 4% (1/28) eine apikale Aufhellung.

### 6.6.5 Okklusion

86% transplantierte Zähne (19/22) standen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in Okklusion. 14% Zähne (3/22) wiesen eine Infraokklusion auf.

| Art      | N  | Vitalität | Mobilität | ST | BOP - | Wurzel-<br>wachstum | apikale<br>Aufhellung | Ankylose | Resorption | Verlust |
|----------|----|-----------|-----------|----|-------|---------------------|-----------------------|----------|------------|---------|
| Gesamt   | 28 | 20        | 20        | 21 | 7     | 20                  | 1                     | 1        | 0          | 6       |
| Molar    | 9  | 3         | 3         | 4  | 2     | 3                   | 1                     | 1        | 0          | 4       |
| Prämolar | 17 | 15        | 15        | 15 | 4     | 15                  | 0                     | 0        | 0          | 2       |
| Eckzahn  | 2  | 2         | 2         | 2  | 1     | 2                   | 0                     | 0        | 0          | 0       |

Tabelle 9: Überblick über klinische und röntgenologische Parameter der transplantierten Zähne unter Berücksichtigung der Art des Spenderzahnes.

N = Anzahl der Transplantate; Vitalität = positive Sensibilität, Pulpenobliteration, fortgeschrittenes Wurzelwachstum;

Mobilität = physiologische Mobilität (Periotestwert -3 bis +9); BOP - = keine Blutung auf Sondierung; ST = Sondierungstiefe < 3 mm; Wurzelwachstum = Voranschreiten des Wurzelwachstums;

apikale Aufhellung = Auftreten einer apikalen Aufhellung; Ankylose = Auftreten einer Ankylose; Resorption = Auftreten einer Resorption; Verlust = extrahierter Zahn

## 6.7 Einfluss relevanter klinischer und röntgenologischer Parameter auf die Erfolgsrate

### 6.7.1 Spenderregion

Die Betrachtung der gesamten Studienpopulation ergab eine Überlebensrate von 79% und eine Erfolgsrate von 71%. Um einen Einfluss der Spenderregion auf die Erfolgsrate zu untersuchen, wurde diese für Molaren, Prämolaren und Eckzähne getrennt ausgewertet. Die Erfolgsrate bei 9 Molaren lag bei 33%, bei 17 Prämolaren bei 88% und bei 2 Eckzähnen bei 100%.

Die Prämolaren hatten im Vergleich zu den Molaren statistisch signifikant höhere Erfolgsraten ( $p = 0,008$ ). Für die Eckzähne wurde aufgrund der geringen Fallzahl kein Korrelationstest durchgeführt. Abbildung 25 gibt die Erfolgsraten in Abhängigkeit von der Spenderregion an.

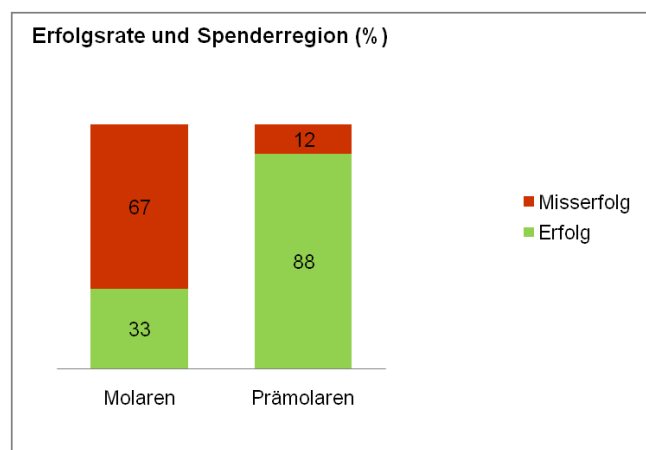


Abbildung 25: Erfolgsraten in Abhängigkeit von der Spenderregion

### 6.7.2 Stadium des Wurzelwachstums

Zum Zeitpunkt der Transplantation war das Wurzelwachstum bei 25% der Zähne (7/28) zur Hälfte und bei 43% der Zähnen (12/28) zu drei Vierteln abgeschlossen. Bei 32% der Zähne (9/28) war das Längenwachstum der Wurzel abgeschlossen und das Foramen apicale weit offen. Abbildung 26 zeigt die Wurzelwachstumsstadien zum Transplantationszeitpunkt.

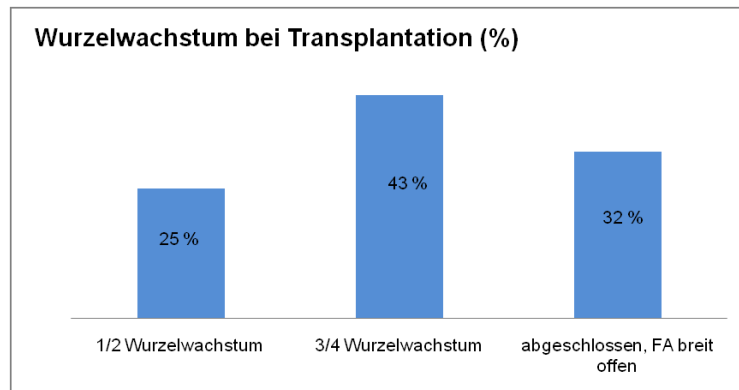


Abbildung 26: Wurzelwachstumsstadien zum Transplantationszeitpunkt

Die Erfolgsrate der transplantierten Zähne wurde in Abhängigkeit vom Wurzelwachstumsstadium zum Zeitpunkt der Transplantation untersucht. Bei einem zur Hälfte abgeschlossenen Wurzelwachstum betrug die Erfolgsrate 43%. Transplantate, deren Wachstum zu drei Viertel abgeschlossen war, zeigten eine Erfolgsrate von 75%. Zähne mit abgeschlossenem Längenwachstum der Wurzel bei weit offenem Foramen apicale wiesen eine Erfolgsrate von 89% auf. Transplantate mit einem zu drei Vierteln abgeschlossenem Längenwachstum sowie solche mit abgeschlossenem Wurzelwachstum mit weit offenem Foramen apicale zeigten höhere Erfolgsraten als Zähne mit einem zur Hälfte abgeschlossenem Wurzelwachstum. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Wurzelwachstum und Erfolgsrate konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Die Erfolgs- und Misserfolgsraten in Abhängigkeit von Spenderregion und Wurzelwachstum zeigt Tabelle 10 und Abbildung 26.

| Wurzelwachstum bei Transplantation | Gesamt  |            | Molaren  |            | Prämolaren |            |
|------------------------------------|---------|------------|----------|------------|------------|------------|
|                                    | Erfolg  | Misserfolg | Erfolg   | Misserfolg | Erfolg     | Misserfolg |
| 1/2 Wurzelwachstum                 | 3 (43%) | 4 (57%)    | 2 (40%)  | 3 (60%)    | 1 (50%)    | 1 (50%)    |
| 3/4 Wurzelwachstum                 | 9 (75%) | 3 (25%)    | 0 (0%)   | 3 (100%)   | 8 (100%)   | 0 (0%)     |
| abgeschlossen, FA breit offen      | 8 (89%) | 1 (11%)    | 1 (100%) | 0 (0%)     | 6 (86%)    | 1 (14%)    |

Tabelle 10: Erfolgs- und Misserfolgsraten in Abhängigkeit von Spenderregion und Wurzelwachstum

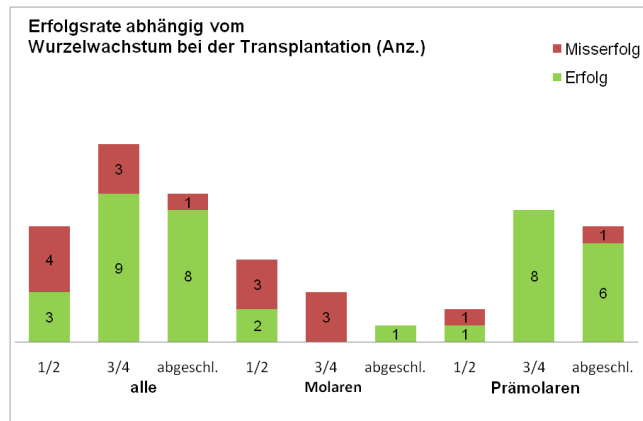


Abbildung 27: Erfolgs- und Misserfolgsraten in Abhängigkeit von Spenderregion und Wurzelwachstum

### 6.7.3 Prä- und postoperative kieferorthopädische Behandlung

Der Einfluss einer prä- und postoperativen kieferorthopädischen Behandlung auf die Erfolgsraten transplanteder Zähne wurde untersucht. Während transplantierte Zähne, die präoperativ kieferorthopädisch behandelt wurden, eine Erfolgsrate von 100% aufwiesen, lag die Erfolgsrate für Zähne ohne präoperative kieferorthopädische Behandlung nur bei 38%. Eine postoperative kieferorthopädische Behandlung transplanteder Zähne führte zu einer Erfolgsrate von 94%, bei Ausbleiben einer postoperativen kieferorthopädischen Behandlung verringerte sich die Erfolgsrate auf 22%. Die kieferorthopädische Behandlung transplanteder Zähne hatte, unabhängig ob prä- oder postoperativ durchgeführt, statistisch signifikant höhere Erfolgsraten einer Zahntransplantation zur Folge (präoperative Kieferorthopädie  $p = 0,001$ ; postoperative Kieferorthopädie  $p < 0,001$ ). Tabelle 11 und Abbildung 28 zeigen die Erfolgsraten der transplantierten Zähne in Abhängigkeit von einer prä- oder postoperativ durchgeführten kieferorthopädischen Behandlung.

| präoperative | gesamt    |            | Molaren |            | Prämolaren |            |
|--------------|-----------|------------|---------|------------|------------|------------|
| KFO          | Erfolg    | Misserfolg | Erfolg  | Misserfolg | Erfolg     | Misserfolg |
| ja           | 13 (100%) | 0 (0%)     | 1       | 0          | 12         | 0          |
| nein         | 5 (38%)   | 8 (62%)    | 2       | 6          | 3          | 2          |

| postoperative | gesamt   |            | Molaren |            | Prämolaren |            |
|---------------|----------|------------|---------|------------|------------|------------|
| KFO           | Erfolg   | Misserfolg | Erfolg  | Misserfolg | Erfolg     | Misserfolg |
| ja            | 16 (94%) | 1 (6%)     | 2       | 0          | 14         | 0          |
| nein          | 2 (22%)  | 7 (78%)    | 1       | 6          | 1          | 2          |

Tabelle 11: Erfolgsraten der transplantierten Zähne in Abhängigkeit von einer prä- oder postoperativ durchgeführten kieferorthopädischen Behandlung

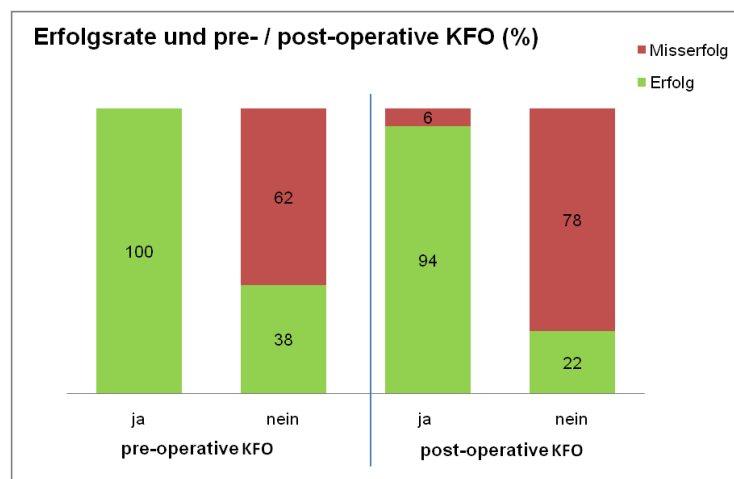


Abbildung 28: Erfolgsraten der transplantierten Zähne in Abhängigkeit von einer prä- oder postoperativ durchgeführten kieferorthopädischen Behandlung

## 7 Diskussion

### 7.1 Überlebens- und Erfolgsraten

Diese retrospektive Nachuntersuchung von 28 Zähnen ergab eine kumulative Überlebensrate von 79% sowie eine Erfolgsrate von 71% über einen mittleren Beobachtungszeitraum von 6,2 Jahren. Die Überlebens- und Erfolgsraten sind geringfügig niedriger als die von früher veröffentlichten Studien von Czochrowska et al. (2002), Jonsson und Sigurdsson (2004), Kallu et al. (2005), Kvint et al. (2010), Sugai et al. 2010, Park et al. (2012), Mendoza-Mendoza et al. (2012), Laureys et al. (2013) und Plakwicz et al. (2013). Tabelle 12 gibt einen Überblick über verschiedene Studien, welche die Erfolgs- und Überlebensraten von transplantierten Zähnen untersuchten.

| Studie                         | n<br>Zähne | Beobachtungszeitraum<br>(Jahre) | Überlebensrate<br>(%) | Erfolgsrate<br>(%) |
|--------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Czochrowska et al. 2002        | 33         | 26,4                            | 90                    | 79                 |
| Jonsson (2004)                 | 40         | 2,5 – 22,3                      | 97,5                  | 92,5               |
| Kallu et al. 2005              | 273        | 7,5                             | 88                    | 68                 |
| Tanaka et al. 2008             | 28         | 4                               | 100                   | 100                |
| Reich 2008                     | 44         | 1,5                             | k.a.                  | 95,5               |
| Kvint et al. 2010              | 269        | 4,8                             | 88,4                  | 81,3               |
| Mendoza-Mendoza et al.<br>2012 | 12         | 14                              | k.a.                  | 83,4               |
| Plakwicz et al. 2013           | 23         | 3                               | 100                   | 91,3               |
| Kreutzer 2013                  | 72         | 1,9                             | 86,1                  | 54,2               |

Tabelle 12: Langzeitergebnisse nach Zahntransplantation

Ein Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Studien ist aufgrund des variablen methodischen Aufbaus aber nur schwer möglich. Eine klare Unterscheidung zwischen Erfolgsrate und Überlebensrate fehlt in einigen Studien. Auch werden in den Studien unterschiedliche Erfolgsparameter angewandt.

Czochrowska et al. untersuchten 33 transplantierte Zähne über einen mittleren Beobachtungszeitraum von 26,4 Jahren und verzeichneten eine Überlebensrate von 90% und eine Erfolgsrate von 79% (Czochrowska et al. 2002). Eine retrospektive Studie, die 273 transplantierte Zähne über einen mittleren Zeitraum von 7,5 Jahren untersuchte, ergab eine Überlebensrate von 88% und eine Erfolgsrate von 68% (Kallu et al. 2005). Eine weitere retrospektive Studie an 269 Zähnen über einen Beobachtungszeitraum von 4,8 Jahren ergab eine Überlebensrate von 88,4% und Erfolgsrate von 81,3% (Kvint et al. 2010).

Die genaue Ursache für die niedrigere Überlebensrate in dieser Studie ist nicht eruierbar. Ein Grund könnte in der hohen Drop Out Rate liegen.

Die Patienten wurden im Zuge der telefonischen Kontaktaufnahme zwar nicht dezidiert nach einem möglichen Verlust des transplantierten Zahnes befragt, drei Patienten gaben diesen jedoch von sich aus an. Die Patienten, die an einer Studienteilnahme nicht interessiert waren, berichteten telefonisch über keine Zahnverluste. Während die drei Patienten, die den Zahnverlust angaben, in die Studie eingeschlossen wurden, konnten Patienten mit fehlendem Interesse an der Studie aufgrund fehlender Untersuchungsparameter nicht eingeschlossen werden. Dieser Umstand könnte die Überlebens- und Erfolgsrate zusätzlich negativ beeinflussen.

In unserem Studienkollektiv mussten 6 Zähne vor der Nachuntersuchung extrahiert werden. Drei Zähne mussten aufgrund einer Wurzelresorption entfernt werden. Bei drei Zähnen ist die genaue Ursache für den Verlust des transplantierten Zahnes nicht bekannt, da die Extraktion von einem auswärtigen Zahnarzt durchgeführt wurde. Die Patienten gaben jedoch an, dass vor der Extraktion des transplantierten Zahnes eine Wurzelbehandlung durchgeführt wurde, obwohl dieser subjektiv beschwerdefrei war. Im Anschluss an die Wurzelbehandlung traten Fistelungen auf. Möglicherweise war eine Wurzelkanalbehandlung dieser Zähne gar nicht notwendig, wurde aber von Zahnärzten, die mit der Heilung eines transplantierten Zahnes nicht vertraut sind, begonnen. Solch ein iatrogen verursachter Zahnverlust wurde auch in einer früheren Studie angegeben (Jonsson und Sigurdsson 2004). Als Zeichen für vitales pulpaes Gewebe werden eine Pulpenobliteration und ein fortgesetztes Wurzelwachstum angesehen. Sensibilitätstests sind bei obliterierten oder verengten Pulpen nicht aussagekräftig (Filippi 2009). Negative Ergebnisse des

Sensibilitätstests mit Kohlesäureschnee dürfen bei transplantierten Zähnen daher keine Indikation für eine endodontische Behandlung sein. Da bei obliterierten Zähnen das Auffinden des Wurzelkanals erschwert ist, ist auch das Risiko einer Wurzelkanalperforation im Zuge der endodontischen Behandlung erhöht. Die Annahme, dass der Verlust dieser drei Zähne iatrogen verursacht ist, ist jedoch rein spekulativ, könnte aber auch die im Vergleich zu früheren Studien niedrigere Überlebensrate erklären.

## **7.2 Spenderregion**

Bei getrennter Betrachtung der transplantierten Zähne nach ihrer Spenderregion ergaben sich unterschiedliche Erfolgsraten. Bei den Molaren lag die Erfolgsrate bei 33%, bei den Prämolaren bei 88% und bei den Eckzähnen bei 100%.

Auf die Erfolgsrate der Eckzähne wird im Folgenden aufgrund der niedrigen Fallzahl von zwei nicht eingegangen.

Auch andere Studien zeigten höhere Erfolgsraten für autotransplantierte Prämolaren. Kallu et al. zeigten in ihrer Arbeit Erfolgsraten von 86,8% für Prämolaren, 71,1% für Molaren und 51% für Eckzähne (Kallu et al. 2005). In der Studie von Kvint et al. wurden Erfolgsraten von 89% für Prämolaren, von 75% für Molaren und von 82% für Eckzähne angegeben (Kvint et al. 2010).

Der Grund für diese Ergebnisse kann in der unterschiedlichen Wurzelanatomie und in der chirurgischen Zugänglichkeit liegen (Kallu et al. 2005, Kvint et al. 2010). Bei einwurzeligen Zähnen mit einer geraden Wurzel ist die Entnahme des Spenderzahnes unkompliziert und nur eine geringe Schädigung der parodontalen Gewebe zu erwarten. Bei mehrwurzeligen Zähnen und bei einem schwierigen chirurgischen Zugang ist während der Transplantatentnahme mit einer stärker ausgeprägten Schädigung des Desmodonts zu rechnen. Diese Schädigung begünstigt das Auftreten von Ankylosen und Resorptionen (Tsukiboshi et al. 2002).

## **7.3 Wurzelwachstum**

In dieser Studie zeigten Zähne, deren Wachstum zu drei Vierteln abgeschlossen war sowie Zähne mit abgeschlossenem Längenwachstum der Wurzel bei weit offenem Foramen apicale höhere Erfolgsraten als Zähne, deren Wurzeln nur zur Hälfte ausgebildet waren.

Die meisten Autoren empfehlen eine Zahntransplantation wenn das Wurzelwachstum zur Hälfte bis zu drei Vierteln abgeschlossen ist (Lang et al. 2003, Jonsson und Sigurdsson 2004, Mendes und Rocha 2004, Kallu et al. 2005, Lon et al. 2009, Mendoza-Mendoza et al. 2012, Denys et al. 2013, Nimčenko et al. 2013). Einige Autoren weiten den Transplantationszeitpunkt bis zu einem abgeschlossenem Längenwachstum der Wurzel bei weit offenem Foramen apicale aus (Andreasen 1993, Strbac et al. 2008). Bei Zutreffen dieser Kriterien ist eine Revaskularisation der Pulpa zu erwarten.

Bei abgeschlossenem Wurzelwachstum mit einem Durchmesser des Foramen apicale von unter einem Millimeter empfehlen die meisten Autoren eine routinemäßige Wurzelbehandlung des transplantierten Zahnes nach drei bis vier Wochen (Andreasen 1990 a-d, Kirschner et al. 2002, Tsukiboshi 2002, Lang et al. 2003, Mendes und Rocha 2004, Filippi 2009, Cohen et al. 2013). Eskici empfiehlt eine endodontische Behandlung erst bei Auftreten klinischer und radiologischer Symptome (Eskici 2003).

Kallu untersuchte in seiner Studie an 273 transplantierten Zähnen über einen mittleren Beobachtungszeitraum von 3,8 Jahren die Häufigkeit von Ankylosen und Resorptionen in Abhängigkeit vom Wurzelwachstum. Ankylosen traten bei 10,3% der Zahnkeime und bei 35,9% der Zähne mit vollständig abgeschlossenem Wurzelwachstum auf. Resorptionen traten bei 41% der transplantierten Zähne, aber nur bei 18,8% der Zahnkeime auf. Zahnkeime mit einem Wurzelwachstum zwischen der Hälfte und drei Vierteln zeigten in Hinblick auf Ankylosen (9%) und Resorptionen (15,7%) die besten Ergebnisse. Gleichzeitig zeigt ein weiter fortgeschrittenes Wurzelwachstum zum Zeitpunkt der Transplantation ein günstigeres Kronen-Wurzel-Verhältnis nach Abschluss des Wurzelwachstums eines transplantierten Zahnes (Kallu et al. 2005).

In dieser Studie ist die Häufigkeit von Ankylosen (4%) und Resorptionen (11%) die zu einem Zahnverlust führten, geringer als in der Vergleichsstudie von Kallu. Dies kann daran liegen, dass in dieser Studie die Ursache des Verlustes von drei Zähnen leider unbekannt ist.

#### **7.4 Kieferorthopädie**

Zähne, die präoperativ einer kieferorthopädischen Behandlung unterzogen wurden, zeigten eine Erfolgsrate von 100%. Ohne präoperative

kieferorthopädische Behandlung reduzierte sich die Erfolgsrate auf 38%. Alle Zähne, die einer postoperativen kieferorthopädischen Behandlung unterzogen wurden, konnten als Erfolg (94%) gewertet werden. Ohne postoperative orthodontische Behandlung reduzierte sich der Erfolg auf 22%. Eine kieferorthopädische Behandlung, ob prä- oder postoperativ durchgeführt, führte zu einer signifikanten Verbesserung der Erfolgsrate der Zahntransplantation.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen einer aktuellen Arbeit aus dem Jahre 2013, die höhere Erfolgsraten und weniger Ankylosen bei Anwendung kieferorthopädischer Kräfte ergab (Denys et al. 2013).

Durch Anwendung präoperativer kieferorthopädischer Kräfte auf den Spenderzahn kommt es zu einer Verbreiterung des Parodontalspalts, wodurch die Entnahme des Spenderzahnes erleichtert wird (Oshimi 1993, Qu et al. 2001, Suzaki et al. 2008, Cho et al. 2013). Dadurch verringert sich das Risiko einer Wurzelresorption nach der Zahntransplantation (Suzaki et al. 2008). Eine Tierstudie die an Ratten durchgeführt wurde, ergab, dass die Anwendung geringer orthodontischer Kräfte an Molaren für sieben Tage zu einer signifikanten Verbreiterung des parodontalen Ligaments führte (Suzaki et al. 2008).

Mehrere Studien haben die Auswirkungen mechanischer Kräfte nach einer Zahntransplantation auf den transplantierten Zahn untersucht. Eine Studie, die an Ratten durchgeführt wurde, ergab, dass transplantierte Zähne, die sofort nach der Transplantation okklusale Kontakte ausgesetzt wurden, zwei Wochen nach der Transplantation histologisch keine Anzeichen einer Ankylose, aber ein breiteres parodontales Ligament sowie Zeichen einer Wurzelresorption zeigten. Demgegenüber zeigten Zähne ohne okklusale Kontakte keine Wurzelresorptionen, dafür aber Zeichen einer Ankylose. Okklusale Kontakte führten zu einer höheren proliferativen Aktivität parodontaler Zellen. Eine kurze nichtfunktionelle Heilungsphase von 1 Woche mit anschließender funktioneller Belastung reduzierte in dieser Tierstudie das Auftreten von Ankylosen und Wurzelresorptionen (Mine et al. 2005). Okklusale Stimuli induzieren die Proliferation der parodontalen Zellen an replantierten Rattenzähnen über eine erhöhte Expression von Insulin-like Growth Factor-1 (IGF-1) und Insulin-like Growth Factor-1 Rezeptoren (Termsuknirandorn et al. 2008). Eine weitere Tierstudie, die an Hunden durchgeführt wurde, zeigte, dass orthodontische Krafteinwirkungen auf transplantierte Zähne das Risiko einer Ankylose signifikant

verringern. Eine sofortige Einleitung einer kieferorthopädischen Behandlung führte allerdings auch zu einem signifikant häufigeren Auftreten einer Wurzelresorption. Daher sollte dem transplantierten Zahn eine kurze Ruheperiode zur initialen parodontalen Heilung gegeben werden (Yang et al. 2012).

Eine klinische Studie an Prämolaren zeigte ein eingeschränktes Wurzelwachstum und eine geringfügige Oberflächenresorption nach kieferorthopädischen Rotationsbewegungen. Die Einschränkung des Wurzelwachstums um 1,2 mm war allerdings von geringer klinischer Bedeutung. Die Autoren empfehlen rotatorische Bewegungen des transplantierten Zahnes nach Abschluss der parodontalen Heilung und vor der totalen Pulpenobliteration, also 3-6 Monate nach der Transplantation (Paulsen et al. 1995). Bauss kam in seiner Studie zum Ergebnis, dass bei Anwendung rotatorischer Bewegungen nur bei mehrwurzeligen Zähnen ein eingeschränktes Wurzelwachstum stattgefunden hat, wobei dieses mit einem Ausmaß von unter 1 mm von geringer klinischer Bedeutung war. Im Gegensatz dazu hatten Rotationsbewegungen keinen Einfluss auf das Wurzelwachstum einwurzeliger Zähne. Extrusionsbewegungen hatten keine Auswirkungen auf das Wurzelwachstum ein- oder mehrwurzeliger Zähne (Bauss et al. 2004a). Kieferorthopädische Extrusionsbewegungen 3-6 Monate nach einer Zahntransplantation haben keinen negativen Einfluss auf die pulpare und parodontale Gesundheit des transplantierten Zahnes. Rotationsbewegungen bei einwurzeligen Zähnen stellen keine Gefahr für den Erfolg eines Transplantates dar, sehr wohl aber bei mehrwurzeligen Zähnen (Bauss et al. 2004b).

Aus oben genannten Studien lässt sich ableiten, dass eine kieferorthopädische Behandlung so bald als möglich nach einer Transplantation eingeleitet werden soll, um die Gefahr einer Ankylose zu verringern. Gleichzeitig muss eine ausreichende nichtfunktionelle initiale Heilungsphase abgewartet werden, um Wurzelresorptionen zu vermeiden. Studien zum optimalen Zeitpunkt für die Einleitung einer postchirurgischen kieferorthopädischen Behandlung beim Menschen konnten leider nicht gefunden werden. Es wäre wünschenswert, dieser Frage in zukünftigen Studien nachzugehen.

Außerdem sollte bedacht werden, dass die Positionierung des Transplantates bei Molarentransplantationen von großer Bedeutung ist. Während Prämolaren meist

ohne Risiko eines Misserfolges in allen Richtungen kieferorthopädisch behandelt werden können, ist dies bei Molaren nur für Bewegungen in vertikaler Richtung sowie für geringgradige Bewegungen in bukkoraler und mesiodistaler Richtung zutreffend.

## 8 Konklusion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studien zeigen, dass die Zahnkeimtransplantation bei Kinder und Jugendlichen eine vorhersagbare Therapievariante zum Ersatz nicht angelegter oder verloren gegangener Zähne darstellt. Die aktuelle Studie untermauert, dass dies vor allem für die Transplantation von Prämolaren- und Eckzahnkeimen gilt. Eine perioperative kieferorthopädische Behandlung beeinflusste die Erfolgsrate positiv. Das Wurzelwachstum zum Zeitpunkt der Transplantation schien den Erfolg einer Zahntransplantation zu beeinflussen, wobei kein statistisch signifikantes Niveau erreicht wurde. Zähne mit einem mindestens zu drei Vierteln abgeschlossenem Längenwachstum der Zahnwurzel bei weit offenem Foramen apicale zeigten höhere Erfolgsraten als Zähne mit einem nur zur Hälfte abgeschlossenem Wurzelwachstum.

Zusammenfassend soll erwähnt werden, dass das Wurzelwachstum zum Zeitpunkt der Transplantation, die Spenderregion, eine perioperativ durchgeführte kieferorthopädische Behandlung, das schonende operative Vorgehen sowie die postoperative Fixation als wesentliche Einflussfaktoren für die Überlebens- und Erfolgsrate autotransplantierte Zähne angesehen werden können.

Die Planung und Durchführung einer Zahntransplantation sollte immer interdisziplinär unter Beteiligung eines Kieferorthopäden und eines Oralchirurgen erfolgen.

## 9 Literaturverzeichnis

Andreasen JO, Paulsen HU, Yu Z. Along-term study of 370 autotransplanted premolars: part I – surgical procedures and standardized techniques for monitoring healing. Eur J Orthod 1990a; 12: 3-13

Andreasen JO, Paulsen HU, Yu Z, Schwartz O. A long-term study of 370 autotransplanted premolars: part II – tooth survival and pulp healing subsequent to transplantation. Eur J Orthod 1990b; 12: 14-24

Andreasen JO, Paulsen HU, Yu Z, Schwartz O. A long-term study of 370 autotransplanted premolars: part III – periodontal healing subsequent to transplantation. Eur J Orthod 1990c; 12: 25-37

Andreasen JO, Paulsen HU, Yu Z, Bayer T. A long-term study of 370 autotransplanted premolars: part IV – root development subsequent to transplantation. Eur J Orthod 1990d;12: 38-50

Andreasen JO: Atlas of replantation and transplantation of teeth. Mediglobe SA, Fribourg,1992

Andreasen JO. Farbatlas der Replantation und Transplantation von Zähnen. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 112-221, 1993

Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L: Textbook and color atlas of traumatic injuries of the teeth.4<sup>th</sup> Edition. Blackwell Munksgaard, Copenhagen, 2007

Andreasen JO. Pulp and periodontal tissue repair – regeneration or tissue metaplasia after dental trauma. A review. Dent Traumatol 2012; 28: 19-24

Baumann M, Beer R. Farbatlanten der Zahnmedizin: Endodontologie. Thieme Verlag, 1997

Bauss O, Schilke R, Fenske C, Engelke W, Kiliardis S. Autotransplantation of immature third molars: influence of different splinting methods and fixation periods. Dent Traumatol 2002; 18: 322-328

Bauss O, Schwestka-Polly R, Hoy L, Kiliardis S. Influence of orthodontic movement on root length of autotransplanted immature third molars. Eur J Oral Sci 2004a; 112: 12-18

Bauss O, Schwestka-Polly R, Kiliaridis S. Influence of orthodontic derotation and extrusion on pulpal and periodontal condition of autotransplanted immature third molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004b; 125: 488-496

Behrens E, Meiners P, Terheyden H, Wiltfang J. Langzeiterfolg der Zahntransplantation als Alternative zum Zahnimplantat. *Implantologie* 2006; 14 (1): 53-63

Cardona JLM, Caldera MM, Vera J. Autotransplantation of premolar: A long-term follow up. *J Endod* 2012; 38: 1149-1152

Cho JH, Hwang HS, Chang HS, Hwang YC. Application of orthodontic forces prior to autotransplantation – case report. *International Endodontic Journal* 2013; 46, 187-194

Clokic C M, Yau D M, Chano L: Autogenous tooth transplantation: an alternative to dental implant placement? *J Can Dent Assoc* 2001; 67: 92-96

Cohen A S, Shen T C, Pogrel M A: Transplanting teeth successfully: autografts and allografts that work. *J Am Dent Assoc* 1995; 126: 481 – 485

Cohenca N, Stabholz A. Decoronation – a conservative method to treat ankylosed teeth for preservation of alveolar ridge prior to permanent prosthetic reconstruction: literature review and case presentation. *Dent Traumatol* 2007; 23: 87-94

Czochrowska EM, Stenvik A, Album B, Zachrisson BU. Autotransplantation of premolar to replace maxillary incisors: a comparison with natural incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 118: 592-600

Czochrowska EM, Stenvik A, Bjercke B, Zachrisson BU. Outcome of tooth transplantation: survival and success rates 17-41 years post treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 121: 110-119

Czochrowska EM, Stenvik A, Zachrisson BU. The esthetic outcome of autotransplanted premolars replacing maxillary incisors. *Dent Traumatol* 2002; 18: 237-245

Denys D, Shahbazian M, Jacobs R, Laenen A, Wyatt J, Vinckier F, Willems G. Importance of root development in autotransplantations: a retrospective study of

137 teeth with a follow-up period varying from 1 week to 14 years. Eur J Orthodont 2013; 35: 680-688

Diaz JA, Sandoval HP, Pineda P, Junod PA. Conservative treatment of an Ankylosed tooth after delayed replantation: a case report. Dent Traumatol 2007; 23: 313-317

Eskici A: Transplantation von Zähnen. In: Schroll K. und Watzek G. Zahnärztliche Chirurgie. Verlag Wilhelm Maudrich. Wien-München-Bern: 295-308, 1997

Eskici A: Reimplantation und Transplantation von Zähnen. Praxis der Zahnheilkunde. Urban & Fischer, München; 232-254, 2003

Filippi A. Zahntransplantation. Quintessenz 2008; 59: 497-504

Filippi A: Zahntransplantation. Biologischer Zahnersatz für Kinder, Jugendliche und manche Erwachsene. 1.Aufl., Quintessenz, Berlin, 2009

Filippi A. Die Dekoronation ankylosierter Zähne. Eine Option zum Erhalt des Alveolarknochens. Endodontie 2012; 21(1): 9-12

Hammer H. Der histologische Vorgang bei der Zahntransplantation. Dtsch Kieferchir 1934, 1: 79

Hammer H. Der histologische Vorgang bei der Zahntransplantation nach Vernichten der Wurzelhaut. Dtsch Zahn Mund Kieferheilk 1939; 4: 179-184

Harrer-Bantleon E, Jakse N. Autotransplantation von Zahnkeimen. Stomatologie 2014; 3: 86-89

Jonsson T, Sigurdsson TJ: Autotransplantation of premolars to premolar sites. A long-term follow-up study of 40 consecutive patients. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2004; 125: 668-675

Kallu R, Vinckier F, Politis C, Mwalili S, Willems G. Tooth transplantations: a descriptive retrospective study. Int J Oral Maxillofac Surg 2005; 34: 745-755

Keightley AJ, Cross DL, McKerlie RA, Brocklebank L. Autotransplantation of an immature premolar, with the aid of cone beam CT and computer-aided prototyping: a case report. Dent Traumatol 2010; 26: 195-199

Kirschner H, Filippi A, Pohl Y, Ebeleseder K: Unfallverletzungen der Zähne. Schlütersche, Hannover, 2002

- Koszowski R, Morawiec T, Bubilek-Bogacz A. Use of the Piezosurgery Technique for cutting bones in the autotransplantation of unerupted third molars. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2013; 33(4):477-481
- Kreutzer JV. Autogene Zahntransplantation als Einzelzahnersatz – Eine retrospektive Studie zur klinischen und röntgenologischen Erfolgsrate. Dissertation, Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München, 2013
- Kvint S, Lindsten R, Magnusson A et al. Autotransplantation of teeth in 215 patients. *Angle Orthod* 2010; 80(3): 448-451
- Lang NP, Adler R, Joss A, Nyman S. Absence of bleeding on probing – an indicator of periodontal stability. *J Clin Periodontol* 1990; 17: 714-721
- Lang B, Pohl Y, Filippi A. Transplantation von Zähnen. *Schweiz Monatssch Zahnmed* 2003; 113: 1179-1192
- Laureys WGM, Cuvelier CA, Dermaut LR, De Pauw GAM. The Critical Apical Diameter to Obtain Regeneration of the Pulp Tissue after Tooth Transplantation, Replantation, or Regenerative Endodontic Treatment. *J Endod* 2013; 39: 759-763
- Lee SJ, Jung IY, Lee CY, Choi SY, Kum KY. Clinical application of computer-aided rapid prototyping for tooth transplantation. *Dent Traumatol* 2001; 17: 114-119
- Lee Y, Go EJ, Jung HS, Kim E, Jung IY, Lee SJ. Immunohistochemical analysis of pulpal regeneration by nestin expression in replanted teeth. *Int Endodont J* 2012; 45: 652-659
- Lin S, Schwarz-Arad D, Ashkenazi M. Alveolar Bone Width Preservation after Decoronation of Ankylosed Anterior Incisors. *J Endod* 2013; 39: 1542-1544
- Lon LFS, Cerci BB, Baboni FB, Maruo H, Guariza-Filho O, Tanaka OM. Root formation of an autotransplanted teeth. *Dent Traumatol* 2009; 25: 341–345
- Malmgren B. Ridge Preservation / Decoronation. *J Endod* 2013; 39: S67-S72
- Mendes RA, Rocha G: Mandibular third molar autotransplantation - literature review with clinical cases. *J Can Dent Assoc* 2004; 70: 761-766
- Mendoza-Mendoza A, Solano-Reina E, Iglesias-Linares A, Garcia-Godoy F, Abalos C. Retrospective long-term evaluation of autotransplantation of premolars

to the central incisor region. *International Endodontic Journal* 2012; 45, 88-97

Mine K, Kanno Z, Muramoto T, Soma K. Occlusal Forces Promote Periodontal Healing of Transplanted Teeth and Prevent Dentoalveolar Ankylosis: An Experimental Study in Rats. *Angle Orthod* 2005; 75(4): 637-644

Moorees C, Fanning E, Hunt E: Age variation of formation stages of ten permanent teeth. *J Dent Res* 1963; 42: 1490-1497

Muchitsch AP, Droschl H, Eskici A, Bantleon HP, Weiland F, Thom M. Das Zahntransplantat in der kieferorthopädischen Behandlungsplanung. *Fortschr Kieferorthop* 1991; 52(3):170-5

Nethander G. Periodontal conditions of teeth autogenously transplanted by a two-stage technique. *J Periodontal Res* 1994; 29: 250-258

Nethander G. Autogenous free tooth transplantation by the two-stage operation technique. An analysis of treatment factors. *Acta Odontol Scand* 1998; 56: 110-115

Nimčenko T, Omerca G, Varinauskas V, Bramanti E, Signorino F, Calcium M. Tooth auto-transplantation as an alternative treatment option: A literature review. *Dent Res J* 2013; 10: 1-6

Oshimi H. "Nemawashi Jiggling" and "Gingival Muffler" in autogenous tooth transplantation. *Nippon Dental Review* 1993; 607: 65-74

Park JH, Tai K, Yuasa K and Hayashi D. Multiple congenitally missing teeth treated with autotransplantation and orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 14: 641-651

Paulsen HU, Andreasen JO, Schwartz O. Pulp and periodontal healing, root development and root resorption subsequent to transplantation and orthodontic rotation: A long-term study of autotransplanted premolars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 108: 630-640

Paulsen HU, Andreasen JO. Eruption of premolars subsequent to autotransplantation. A longitudinal radiographic study. *Eur J Orthod* 1998; 20: 45-55

Plakwicz P, Wojtowicz A, Czochrowska EM. Survival and success rates of autotransplanted premolars: a prospective study of the protocol for developing

teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 229-237

Pohl Y, Filippi A, Kirschner H: Results after replantation of avulsed permanent teeth. II. Periodontal healing and the role of physiologic storage and antiresorptive-regenerative therapy. *Dent Traumatol* 2005; 21: 93–101

Qu H, Saito S, Morohashi T, Ohmae M, Seki K, Yamada S, et al. Effects of pre-transplantable jiggling force on root resorption of the experimental autotransplanted of teeth in vivo. *Orthodontic Waves* 2001; 60: 213-233

Reich PP. Autogenous transplantation of maxillary and mandibular molars. *J Oral Maxillofac Surg* 2008; 66: 2314-2317

Roden RD, Yanosky MR. Autotransplantation: The vital option for replacement of missing anterior teeth in developing dentition. *Semin Orthod* 2013; 19: 13-23

Schatz JP, Joho JP: Indications of autotransplantation of teeth in orthodontic problem cases. *Am J Orthod Dento facial Orthop* 1994; 106: 351-357

Schroeder HE. *Orale Strukturbiologie*. Thieme, Stuttgart, 2000

Schulte W, d'Hoedt B, Lukas D, Mühlbrandt L, Scholz F, Bretsch J, Frey D, Gudat H, König M, Markl M. Periotest – neues Messverfahren der Funktion des Parodontiums. *Zahnärztl Mitt* 1983; 73:1229-1230, 1233-1236, 1239-1240

Schulte W. Was leistet das Periotestverfahren heute? *Dtsch Zahnärztl Z* 1985;40:705-706

Schulze–Mosgau S, Neukam F W. Intentionelle Replantation, therapeutische Zahnluxation, Zahntransplantation. In: *Zahnärztliche Chirurgie*. Hrsg.: Reichart PA, Hausamen JE, Becker J, Neukam FW, Schliephake H, Schmelzeisen R. Quintessenz, Berlin, 263-290

Schütz S, Beck I, Kühl S, Filippi A. Results after wisdom tooth transplantation. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2013; 123: 303–308

Schwartz O, Andreasen JO. Allo- and autotransplantation of mature teeth in monkeys: a sequential time-related histoquantitative study of periodontal and pulpal healing. *Dent Traumatol* 2002; 18: 246-261

Strbac GD, Gruber R, Zechner W, Fürst G, Watzek G. Autotransplantation von Zähnen. *Inf Orthod Kieferorthop* 2008; 40: 213-219

- Sugai T, Yoshizawa M, Kobayashi T, Ono K, Takagi R, Kitamura N, Okiji T, Saito C: Clinical study on prognostic factors for autotransplantation of teeth with complete root formation. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2010; 39: 1193–1203
- Suzaki Y, Matsumoto Y, Kanno Z, Soma K. Preapplication of Orthodontic Forces to the Donor Teeth Affects Periodontal Healing of Transplanted Teeth. *Angle Orthod* 2008; 78: 495-501
- Tanaka T, Deguchi T, Kageyama T, Kanomi R, Inoue M, Foong KW. Autotransplantation of 28 premolar donor teeth in 24 orthodontic patients. *Angle Orthod* 2008; 78 (1): 12-19
- Termsuknirandorn S, Hosomichi J, Soma K. Occlusal stimuli influence on the expression of IGF-1 and the IGF-1 receptor in the rat periodontal ligament. *Angle Orthod* 2008; 78: 610-616
- Thomas S, Turner SR, Sandy JR. Autotransplantation of teeth: is there a role? *Br J Orthod* 1998; 25(4):275-82
- Tsukiboshi M. Autotransplantation of teeth: requirements for predictable success. *Dent Traumatol* 2002;18:157-180
- Waikakul A, Punwutikorn J, Kasetsuwan J, Korsuwannawong S. Alveolar bone changes in autogenous tooth transplantation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011; 111: 1-7
- Werder P, Von Arx T, Chappuis V. Treatment outcome of 42 replanted permanent incisors with a median follow-up of 2.8 years. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2011; 121: 312–320
- Yang Y, Bai Y, Li S, Li J, Gao W, Ru N. Effect of Early Orthodontic Force on Periodontal Healing After Autotransplantation of Permanent Incisors in Beagle Dogs. *J Periodontol* 2012; 83: 235-241
- Zachrisson BU, Stevnik A, Haanaes HR. Management of missing maxillary anterior teeth with emphasis on autotransplantation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004; 126: 284-288

# 10 Anhang

## 10.1 Patienten Information und Einverständniserklärung

< Erfolgsraten nach Zahntransplantation >

Version 1.2. vom 02.12. 2013

### PatientInneninformation<sup>1</sup> und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der klinischen Studie

#### Erfolgsraten nach Zahntransplantation

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer!

Wir laden Sie ein an der oben genannten klinischen Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen ärztlichen Gespräch.

**Ihre Teilnahme an dieser klinischen Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Ihre medizinische Betreuung.**

Klinische Studien sind notwendig, um verlässliche neue medizinische Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung einer klinischen Studie ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser klinischen Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch mit Ihrem Arzt sorgfältig durch und zögern Sie nicht Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der klinischen Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer an dieser klinischen Studie im Klaren sind.

Zu dieser klinischen Studie, sowie zur Patienteninformation und Einwilligungserklärung wurde von der zuständigen Ethikkommission eine befürwortende Stellungnahme abgegeben.

#### **1. Was ist der Zweck der klinischen Studie?**

Der Zweck dieser retrospektiven klinischen Studie ist es zu überprüfen, wie hoch die Erfolgsraten von Zahntransplantation, die am Departement für Zahnärztliche Chirurgie und Röntgenologie durchgeführt wurden, sind.

#### **2. Wie läuft die klinische Studie ab?**

Die Nachuntersuchung wird am Departement für Zahnärztliche Chirurgie und Radiologie durchgeführt.

Die Einladung zur klinischen Nachuntersuchung erfolgt aus Studiengründen.

Im Rahmen einer Kontrolluntersuchung werden klinische und radiologische Parameter erhoben. Dabei erfolgt die Erhebung der Vitalität des transplantierten Zahnes sowie die

<sup>1</sup> Wegen der besseren Lesbarkeit wird im weiteren Text zum Teil auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Personenbegriffe verzichtet. Gemeint und angesprochen sind – sofern zutreffend – immer beide Geschlechter.

Untersuchung des Zahnhalteapparates (Sondierungstiefe mittels zahnärztlicher Sonde) und der Festigkeit des Zahnes (Periotest). Mittels Kleinbildröntgen erfolgt die Beurteilung des Zahnhalteapparates, sowie der Ausschluss von entzündlichen Veränderungen der Zahnwurzel.

Folgende Maßnahmen werden ausschließlich aus Studiengründen durchgeführt:

Die Studie wird im Rahmen einer Routinekontrolle durchgeführt.

Es entstehen dadurch keine zusätzlichen Belastungen.

### **3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Klinischen Studie?**

Wahrscheinlich entsteht für Sie kein Nutzen aus der Teilnahme an der klinischen Studie. Es ist aber möglich, dass durch Ihre Teilnahme im Zuge der Nachkontrolle klinisch noch nicht symptomatisch gewordene Veränderungen am Zahn oder Zahnhalteapparat diagnostiziert werden und somit frühzeitig eine notwendige Behandlung eingeleitet werden kann.

Ausdrücklich wird darauf hingewiesen, dass für Ihre Teilnahme an der klinischen Studie keine finanzielle Entschädigung vorgesehen ist.

### **4. Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?**

Ihre Teilnahme an dieser retrospektiven Studie ist mit keinerlei Risiken verbunden!

### **5. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser klinischen Studie gesammelten Daten verwendet?**

Sofern gesetzlich nicht etwas anderes vorgesehen ist, haben nur die Studienärzte und deren Mitarbeiter Zugang zu den vertraulichen Daten, in denen Sie namentlich genannt werden. Diese Personen unterliegen der Schweigepflicht.

Die Weitergabe der Daten erfolgt ausschließlich zu statistischen Zwecken und Sie werden ausnahmslos nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser klinischen Studie werden Sie nicht namentlich genannt.

### **6. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen**

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser klinischen Studie stehen Ihnen Ihr Studienarzt und seine Mitarbeiter gern zur Verfügung. Auch Fragen, die Ihre Rechte als Patient und Teilnehmer an dieser klinischen Studie betreffen, werden Ihnen gerne beantwortet.

Name der Kontaktperson: Andrea Regoje

Erreichbar unter: 0316 / 385 83281

Name der Kontaktperson: Dr. med dent Angelika Wildburger

Erreichbar unter: 0316 / 385 83281

Name der Kontaktperson: Univ. Prof. DDr. Norbert Jakse

Erreichbar unter: 0316 / 385 83281

## 7. Einwilligungserklärung

Name des Patienten in Druckbuchstaben: .....

Geb.Datum: ..... Code: .....

Ich erkläre mich bereit, an der klinischen Studie Erfolgsraten nach Zahntransplantation – eine retrospektive Studie teilzunehmen.

Ich bin von Frau Andrea Regoje ausführlich und verständlich über den Studienablauf, mögliche Belastungen und Risiken, sowie über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Studie, sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Patientenaufklärung und Einwilligungserklärung, die insgesamt 3 Seiten umfasst, gelesen. Aufgetretene Fragen wurden mir vom Studienarzt verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde den ärztlichen Anordnungen, die für die Durchführung der klinischen Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile für meine weitere medizinische Betreuung entstehen.

Ich wurde darüber informiert, dass mir für die im Rahmen der klinischen Studie durchgeführten Untersuchungen keine Kosten entstehen, dass ich gleichzeitig aber auch keine finanzielle Entschädigung für die Teilnahme an der Studie erhalte.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser klinischen Studie ermittelten Daten aufgezeichnet werden. Um die Richtigkeit der Datenaufzeichnung zu überprüfen, dürfen Beauftragte beim Studienarzt Einblick in meine personenbezogenen Krankheitsdaten nehmen.

Die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes in der geltenden Fassung werden eingehalten.

Eine Kopie dieser Patienteninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt beim Studienarzt.

.....  
(Datum und Unterschrift des Patienten)

.....  
(Datum, Name und Unterschrift des verantwortlichen Arztes)

***(Der Patient erhält eine unterschriebene Kopie der Patienteninformation und Einwilligungserklärung, das Original verbleibt im Studienordner des Studienarztes)***

## 10.2 Klinischer und radiologischer Untersuchungsbogen

# Untersuchungsblatt – Pat.-ID: Zahn(keim)transplantation

Entnahme-Region / Transplantatbett Region Datum der Transplantation

Alter des Patienten zum Zeitpunkt der Transplantation:

Alter des Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung:

- Zahnkeim
- Zahn mit abgeschlossenem Wurzelwachstum

Wurzelwachstumsstadium bei Transplantation:

- 1/2
- 3/4
- abgeschlossen, FA breit offen

### Gründe der Zahntransplantation:

- Nichtanlage
- St. p. Trauma
- St. p. Karies
- St. p. parodontale Erkrankung
- St. p. Wurzelresorption
- dystopische Lage

**Okklusion:**  in okklusion  
 infraokklusion

**KFO:** pre TX  ja  nein  
post TX  ja  nein  
 laufend

### Klinisch/radiologische Untersuchung:

Zahn in-situ  ja  nein

Wenn nein, Grund und Zeitpunkt der Extraktion:

Sensibilität  normal  verzögert  stark verzögert  keine

Karies  ja  nein

BOP  ja  nein

Sondierungstiefe mb mm; b mm; md mm; ob mm; o mm; od mm

Periotest – Wert Tx-Zahn: Nachbarzahn:

Pulpakavum  Obliteriert  teiloblietiert  unverändert

Parospalt  kaum sichtbar  normal  nicht sichtbar  erweitert

Endodontische Behandlung  ja  nein

Apikale Aufhellung  ja  nein

Wurzelresorption  ja  nein

Ankylose  ja  nein

Datum der Untersuchung:

## Lebenslauf

Name: Andrea Regoje  
Geburtsdatum: 08. August 1985  
Geburtsort: Sarajevo (Bosnien und Herzegowina)

### Ausbildung:

1992 – 1993 1. Klasse Grundschule in Nova Pazova (Serbien)  
1993 – 1996 2. bis 4. Klasse Grundschule in Trebur (Deutschland)  
1996 – 1998 5. und 6. Klasse am Mittelstufengymnasium in Groß-Gerau  
(Deutschland)  
1998 – 2000 7. und 8. Klasse Grundschule in Belgrad (Serbien)  
2000 – 2004 Besuch des Gymnasiums „Vaso Palagic“ in Brcko (Bosnien und  
Herzegowina)  
Matura mit sehr gutem Erfolg  
2004 - 2014 Studium der Zahnmedizin an der Medizinischen Universität Graz