

# Transplantation von Zähnen

Björn Lang<sup>1</sup>, Yango Pohl<sup>2</sup>, Andreas Filippi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Zahnärztliche Chirurgie, -Radiologie, Mund- und Kieferheilkunde, Zentrum für Zahnmedizin, Universität Basel

<sup>2</sup> Poliklinik für Chirurgische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universität Bonn

Schlüsselwörter: Zahntransplantation, autologe, Prämolaren, Eckzähne, Milcheckzähne

Korrespondenzadresse:

Priv.-Doz. Dr. Andreas Filippi

Zentrum für Zahnmedizin der Universität Basel

Klinik für Zahnärztliche Chirurgie, -Radiologie, Mund- und Kieferheilkunde

Hebelstrasse 3

CH-4056 Basel

Tel. 061/267 26 09

Fax 061/267 07 86

E-Mail: andreas.filippi@unibas.ch

(Texte français voir page 1193)

## Einleitung

Bei Nichtanlage oder vorzeitigem Verlust bleibender Zähne durch Trauma oder als Folge von Karies oder Parodontitis stehen heute unterschiedliche Behandlungskonzepte zur Verfügung: der kieferorthopädische Lückenschluss, eine prothetische Restauration (Adhäsivbrücke, konventionelle VMK-Brücke, Implantat) oder – alternativ – eine Zahntransplantation. In Skandinavien werden Zahntransplantationen schon seit Jahrzehnten in grosser Zahl und mit grossem Erfolg durchgeführt, vor allem bei Kindern und Jugendlichen vor Abschluss des Wachstums. Heute existieren gute wissenschaftliche Informationen über die biologischen Abläufe nach Zahnplantation (Revaskularisierung, parodontale Heilung); die jeweiligen Risikofaktoren für den

Zahntransplantationen bieten die Möglichkeit, verloren gegangene oder fehlende Zähne auf biologische Weise zu ersetzen. Auf Grund ihrer hohen Erfolgsraten sind sie vor allem in den skandinavischen Ländern eine häufig bevorzugte Alternative zu kieferorthopädischen oder prothetischen Behandlungen – insbesondere nach unfallbedingtem Zahnverlust bei Kindern und Jugendlichen. Der Behandlungserfolg wird durch eine entsprechende Indikationsstellung und eine gute präoperative Planung gewährleistet. Von entscheidender Bedeutung für die Regeneration von Pulpa und Parodont sind eine gewebe-schonende Transplantatentnahme und eine entsprechende Konditionierung des Plantatbetts. Auch die Art und Dauer der Schienung haben Einfluss auf den Therapieerfolg. Die Erfolgsraten liegen in Abhängigkeit von der chirurgischen Technik und dem transplantierten Zahn zwischen 78% und 96%. Die Erfolgskriterien einer Transplantation sind klinisch und radiologisch definiert. Die Indikation zur Transplantation wird aus kieferorthopädischer, endodontischer, traumatologischer, parodontologischer und kariologischer Sicht gestellt. Der vorliegende Beitrag bietet eine Übersicht über die Literatur und zeigt aktuelle Techniken der Plantation.

Misserfolg (Pulpanekrose, infektionsbedingte Wurzelresorption, Ankylose) sind bekannt und bedingt beeinflussbar.

## Geschichtlicher Hintergrund

Die Zahntransplantation ist so alt wie die Zahnheilkunde selbst. Sie wurde bereits von den alten Ägyptern, später auch von den Etruskern, den Griechen und den Römern durchgeführt (COHEN et al. 1995, ESKICI 2003). Basierend auf wissenschaftlichen Publikationen lässt sich die Zahntransplantation bis ins 16. Jahrhundert zurückverfolgen (PAPE & HEISS 1976). Erste schriftliche Anhaltspunkte finden sich im Jahr 1594 (PARE 1594). 1687 wurden



Oben: Situation unmittelbar nach Transplantation Zahn 63 in regio 11.  
En haut: Situation clinique immédiatement après la transplantation de la 63 en lieu et place de la 11.

Unten: Situation 2 Wochen nach Transplantation und Schienung.  
En bas: Situation clinique 2 semaines après la transplantation; le greffon 63 est stabilisé par une attelle.

detaillierte Ausführungen zur heteroplastischen Zahntransplantation (von Tier zu Mensch) gemacht (ALLEN 1687). Der erste authentische Fallbericht einer homoplastischen Zahntransplantation (von Mensch zu Mensch) wurde 1728 durch *Pierre Fauchard* verfasst (FAUCHARD 1728). Ende des 18. Jahrhunderts finden sich dann auch ausführliche Berichte durch *John Hunter* (HUNTER 1771). In den dreissiger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts wurde die Heilung transplantierte Zähne auch erstmals histologisch untersucht (AXHAUSEN 1937, HAMMER 1937). Es wurde gezeigt, dass es bei vollständigem Erhalt des Desmodonts zu einer Einheilung des Transplantats unter Ausbildung einer physiologisch und histologisch dem gesunden Zahn vergleichbaren Verankerung kommt. Ist das Desmodont jedoch zerstört, heilt das Transplantat knöchern ein und wird resorbiert (HAMMER 1937).

## Definition

Die Zahntransplantation ist eine Verpflanzung von Zähnen bzw. Zahnkeimen in ein an anderer Stelle des Alveolarfortsatzes geschaffenes Zahnbett oder in die Alveole eines zuvor entfernten Zahnes (ESKICI 2003). Transplantatlager und Wurzelform des Transplantats sind nicht formkongruent. Basierend auf der Transplantationsimmunologie und in Abhängigkeit vom Transplantationsort (Empfänger) sowie von der Entnahmeregion (Spender) wird heute zwischen autogener, isogener, allogener und xenogener Transplantation unterschieden (SCHULTZE-MOSGAU & NEUKAM 2002, ESKICI 2003) (Tab. I):

Tab. I Arten von Transplantationen

<b>Autogene Transplantation</b>	Plantation innerhalb eines Individuums
<b>Allogene Transplantation</b>	Plantation auf ein genetisch unterschiedliches Individuum derselben Art
<b>Isogene Transplantation</b>	Plantation zwischen genetisch identischen Individuen
<b>Xenogene Transplantation</b>	Artfremde Plantation, wobei Empfänger und Spender aus verschiedenen Spezies stammen

Nur die autogene Zahntransplantation ist heute ein fester Bestandteil der Zahnmedizin. Sie wird entsprechend dem Vitalitätszustand von Desmodont und Pulpa in drei Arten unterteilt (KIRSCHNER et al. 2002) (Tab. II):

Tab. II Einteilung autogener Zahntransplantationen

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

## Indikation

Die Indikation zur Transplantation wird aus kieferorthopädischen, endodontischen, traumatologischen, parodontologischen und kariologischen Gründen gestellt (LEFFINGWELL 1980, HENRICHVARK & NEUKAM 1987, KAHNBERG 1987, TEGSJO et al. 1987, RAHM 1987, NEUKAM & GIROD 1988, HERNANDEZ & CUES-

TAS-CARNERO 1988, SCHWARTZ & ANDREASEN 1988, JOHO & SCHATZ 1990, OIKARINEN 1990, SCHWARTZ et al. 1990, KRISTERSON & LAGERSTROM 1991, HÜRZELER & QUINONES 1993, SCHULTZE-MOSGAU et al. 1993 u. 1994, SCHATZ & JOHO 1994, HÖLTJE & SCHEUER 1995, KIRSCHNER et al. 2002) (Tab. III).

Tab. III Indikationen zur Zahntransplantation

- Früher Zahnverlust durch Karies oder Parodontitis apicalis
- Zahnverlust nach Trauma im Wachstumsalter
- Nichtanlage von Zähnen
- Durchbruchsstörung der Eckzähne
- Infektionsbedingte externe Wurzelresorption, Ankylose im wachsenden Kiefer
- Lokalisierte juvenile Parodontitis
- Nicht erfolgreiche Freilegung und Anschlingung eines retinierten Zahnes

## Medizinische und zahnmedizinische Voraussetzungen

Wie für jeden oralchirurgischen Eingriff gelten auch bei der Transplantation von Zähnen allgemeinmedizinische Voraussetzungen, die zu beachten sind. Grundsätzlich sollten keine schweren Allgemeinerkrankungen vorliegen. Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen Erkrankungen, die mit erhöhter Blutungsneigung oder höherem postoperativem Infektionsrisiko verbunden sind. Zu nennen sind unter anderem Hämophilie und andere Störungen der Hämostase, schlecht eingestellter Diabetes mellitus sowie Erkrankungen mit Endokarditisrisiko (RAHN 1987, CLOKIE et al. 2001). Der Patient sollte vor einer Transplantation konservierend und parodontal saniert sein. Fortgeschrittene Parodontitis marginalis (grundsätzlich) und Entzündungen in Spender- und Empfängerregion (temporär) sprechen gegen eine Transplantation. Bei Kindern und Jugendlichen müssen ausserdem die Eltern mit der Behandlung einverstanden sein.

## Präoperative Diagnostik

Die präoperative Planung beinhaltet klinische, radiologische und im Einzelfall modellbasierte Analysen von Transplantatlager und Transplantat. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Therapie sind die Mitarbeit des Patienten, ein geeigneter Zeitpunkt für die Transplantation, Auswahl eines in Grösse und Form geeigneten Transplantats, günstige Kieferrelationsverhältnisse, ausreichende Platzverhältnisse des Transplantatlagers in allen Dimensionen sowie ein gutes Weichteilangebot (NORTHWAY 1980, KELLER & SITZMANN 1987, RAHN 1987, NEUKAM 1988, MENG et al. 1990, CLOKIE et al. 2001, SCHULTZE-MOSGAU & NEUKAM 2002, ESKICI 2003). Im Falle mangelnden Platzangebots für das Transplantat kann eine initiale kieferorthopädische Therapie diskutiert werden. Ist dies nicht möglich oder nicht erwünscht, kann auch die proximale Oberfläche des Transplantats bzw. der Nachbarzähne um bis zu 0,5 mm reduziert werden, ohne dass Dentin freigelegt wird (ANDREASEN 1993). Die Transplantation kann prinzipiell einzeitig oder zweizeitig erfolgen. Bei einzeitiger Verpflanzung erfolgen die Konditionierung des Transplantatbetts, die Entnahme des Plantats und die Plantation in der gleichen Operation (FELDMANN 1985). Bei der zweizeitigen Technik wird zunächst das Transplantatbett geschaffen; einige Tage später wird dann transplantiert (KHOURY 1984a, STROBL et al. 1995, NETHANDER 1998, TSUKIBOSHI 2002). Der Vorteil dieser

Technik wird in der Bildung von Granulationsgewebe durch einsprossende Kapillaren gesehen, welche die Revaskularisierung der Pulpa begünstigen sollen. Nachteilig hingegen ist der erforderliche zweite Eingriff (SCHULTZE-MOSGAU & NEUKAM 2002).

### Konditionierung des Transplantatbetts

Ziel dieses Teils der Operation ist es, ein relativ passgenaues Transplantatbett in einem zahnlosen Kieferabschnitt oder nach schonender Zahnentfernung unter Erhalt der Alveole zu schaffen. Muss zuerst ein Zahn entfernt werden, sollte dies durch vorsichtige Dislokations- oder Rotationsbewegungen geschehen, so dass das Saumepithel und die Alveolarwand weitgehend erhalten bleiben. Nach Möglichkeit sollte eine Aufklappung vermieden werden. Vorhandenes apikales infiziertes Granulationsgewebe muss sorgfältig entfernt werden (NORTHWAY 1980, NEUKAM 1988, COHEN et al. 1995). Das Transplantatbett sollte so beschaffen sein, dass zwischen neu geschaffener Alveolenwand und Wurzeloberfläche etwa 0,5 mm und zwischen Alveolenboden und Wurzelspitze etwa 2–3 mm Freiraum entsteht (FELDMANN 1985, ESKICI 1987a–d, SCHULTZE-MOSGAU & NEUKAM 2002).

### Transplantatentnahme

Ist die Transplantation eines Zahnkeims oder eines retinierten Zahnes vorgesehen, wird der Knochen über der Zahnkrone unter grösstmöglicher Schonung des Zahnsäckchens und des Desmodonts bis zur grössten Zirkumferenz abgetragen (NEUKAM 1988). Auf diese Weise kann der Zahnkeim nach vorsichtiger Mobilisation gewebeschonend entnommen werden (FELDMANN 1985, CZOCHROWSKA et al. 2002a, SCHULTZE-MOSGAU & NEUKAM 2002, ESKICI 2003). Neuerdings besteht auch die Möglichkeit, durch Osteotomie mit Ultraschalltechnik das Transplantat noch gewebeschonender zu entnehmen, da bei diesem Verfahren das Zahnsäckchen nicht verletzt wird. In jedem Fall sollte die Wurzeloberfläche möglichst nicht tangiert werden: Parodontale Defekte verschlechtern die Prognose der Transplantation deutlich (NEUKAM et al. 1987, NEUKAM et al. 1988). Soll hingegen ein durchgebrochener Zahn transplantiert werden, unterscheidet sich die Transplantatentnahme im Wesentlichen dadurch, dass das zervikale Parodont mittels Skalpell durchtrennt wird (ANDREASEN 1993), um die parodontalen Strukturen und die zirkulären Ligamente weitgehend zu erhalten (HOLTJE & SCHEUER 1995, NETHANDER 1998, CLOKIE et al. 2001, TSUKIBOSHI 2002).

### Zeitpunkt der Transplantation

Der Zeitpunkt der Transplantation richtet sich nach dem Zeitpunkt der Erstkonsultation, dem Patientenalter (chronologisch/dental), der Indikation sowie der Kooperationsbereitschaft von Patient und Eltern. Bei der Transplantation von Zahnkeimen hat der Zeitpunkt der Transplantation Einfluss auf die spätere Entwicklung des Zahnes (ESKICI 2003). Bei einer zu frühen Transplantation, bei der noch keine Wurzelbildung stattgefunden hat, ist das Risiko späterer Schmelzdefekte (SLAGSVOLD & BJERCKE 1974, 1978a) und einer verminderten Wurzelbildung gross (ESKICI 1987a–d). Zahnkeime sollten idealerweise bei einem Wurzelwachstumsstadium 1 bis 3 nach *Moorees* transplantiert werden; radiologisch sollte mindestens der Ansatz einer Wurzelbildung nachweisbar sein (MOOREES et al. 1963, HENRICHVARK



Abb. 1 Stadien der Wurzelbildung nach Moorees (MOOREES et al. 1963)

Fig. 1 Les six stades de la formation radicaire selon Moorees (MOOREES et coll. 1963).

& NEUKAM 1987, SCHULTZE-MOSGAU & NEUKAM 2002) (Abb. 1). Bei einem Wurzelwachstumsstadium 4 bis 6 nach *Moorees* wird von einer Zahntransplantation mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum gesprochen. Bei der Wahl des Transplantationszeitpunkts muss zwischen der Überlebensrate des Transplantats sowie der Regeneration von Pulpa und Parodont unterschieden werden. Während die Überlebensrate nicht wesentlich von den unterschiedlichen Stadien der Wurzelbildung abhängt, zeigt die Wundheilung von Pulpa und Parodont eine Abhängigkeit von diesen Stadien (ANDREASEN 1993). In Anbetracht dieser Erkenntnisse haben sich prognostisch am günstigsten Transplantationen von Zähnen der Stadien 4 bis 6 erwiesen (Abb. 1) (HENRICHVARK & NEUKAM 1987), was etwa einer 75%igen bis vollständigen Wurzellänge entspricht (ANDREASEN 1993).

### Parodontale Aspekte

Für eine erfolgreiche Transplantation ist ein zellphysiologisches Lagerungsmedium für die temporäre extraorale Aufbewahrung von entscheidender Bedeutung. Es ist wichtig, dass der Stoffwechsel der Zellen auf der Wurzeloberfläche des Transplantats (Parodontalfibroblasten, Zementoblasten) optimal aufrechterhalten wird, um einer drohenden Ankylose und damit einem Misserfolg vorzubeugen. Hierfür wird entweder Ringerlactatlösung unter Zusatz eines Antibiotikums (100 ml Ringerlösung + 25 000 IE Bacitracin oder Neomycinsulfat) (ESKICI 2003) oder die Zahnrettungsbox Dentosafe® (Medice, Iserlohn, Deutschland) mit ihrem optimierten Zellnährmedium empfohlen (KIRSCHNER et al. 2002). Durch eine zusätzliche kurze Lagerung über 5 Minuten in einer Tetryzylinlösung kann die Wahrscheinlichkeit einer Revaskularisierung der Pulpa erhöht werden (YANPISSET & TROPE 2000).

### Endodontische Aspekte

Das Risiko einer Pulpanekrose ist sehr eng mit dem Stadium der Wurzelbildung verknüpft (ANDREASEN et al. 1990b). Daher richtet sich die Indikation zur endodontischen Therapie nach der Wurzelreife zum Zeitpunkt der Transplantation (KIRSCHNER et al. 2002). Zähne mit weitgehend oder vollständig abgeschlossenem Wurzelwachstum haben nach Transplantation ein hohes Pulpanekrosrisiko (ANDREASEN et al. 1990d). Eine endodonti-

sche Behandlung ist erforderlich (SCHWARTZ et al. 1985, AKIYAMA et al. 1998), um infektionsbedingte externe Wurzelresorptionen mit drohendem Zahnverlust zu vermeiden (MARTIN 1983, SCHWARTZ & ANDREASEN 1988). Eine Revaskularisation der Pulpa ist nur bei weit offenem Foramen apicale realistisch möglich (ANDERSON et al. 1968, SKOGLUND et al. 1978, SKOGLUND et al. 1981, KVINNSLAND & HEYERAAS 1990, ANDREASEN et al. 1990b, ANDREASEN 1993, WATERHOUSE et al. 1999). Daher kann in diesen Fällen (Durchmesser >1,3 mm) auf eine endodontische Vorbehandlung zunächst verzichtet werden (KHOURY 1984a, ANDREASEN et al. 1990b, KIRSCHNER et al. 2002).

Ist eine endodontische Behandlung erforderlich, kann diese bereits während der Transplantation (HAMMER 1950) mittels extraoraler Wurzelspitzenresektion und retrograder Stiftinsertion erfolgen (KIRSCHNER et al. 2002). Auf diese Weise können endodontische Komplikationen sicher ausgeschlossen werden (NAUMANN et al. 2003). Es muss jedoch sichergestellt werden, dass es zu keiner zusätzlichen mechanischen (Zangenberührung) oder chemischen (Lagerungsmedium, Spülflüssigkeit) Verletzung der Wurzeloberfläche kommt, was die Prognose der Transplantation deutlich verschlechtern würde (RAHN 1987, WATERHOUSE et al. 1999).

In der Literatur gehen die Meinungen über eine endodontische Behandlung des Transplantats auseinander. Während einige Autoren eine routinemässige Wurzelkanalbehandlung zur Prophylaxe vor infektionsbedingten Wurzelresorptionen nach Pulpanekrose durchführen (HESLOP 1967, HOVINGA 1967, MOSS 1968, AZAZ et al. 1978, SAGNE et al. 1986, ELIASSON et al. 1988, WATERHOUSE et al. 1999, KIRSCHNER et al. 2002), wird von anderen Autoren eine endodontische Therapie erst dann durchgeführt, wenn klinisch und radiologisch Symptome auftreten (MÜLLER 1964, KHOURY 1984a und b, ESKICI 2003).

## Schienung

Die Schienung hat Einfluss auf die Regeneration von Pulpa und Parodont. Eine zu starre Immobilisierung verbessert die parodontale Heilung nicht, sondern erhöht das Ankyloserisiko (ANDREASEN 1975, ANDREASEN 1981, MORRIS et al. 1981, NASJLETI et al. 1982, BAUSS et al. 2002). Ebenso hat eine starre Schienung negativen Einfluss auf eine mögliche Revaskularisation der Pulpa (KRISTERSON & ANDREASEN 1983). Es wird davon ausgegangen, dass begrenzte Bewegungen die Revaskularisierung fördern sowie das Risiko einer Ankylose reduzieren (BLOMLÖF et al. 1983).

Wird nach Transplantation eine weitgehende Primärstabilität erreicht, erfolgt die Fixation durch Gingivahaltenähte oder ok-

klusal überkreuzte Nähte (HERMANDEZ 1988, HARTMANN 1989). Ist hingegen keine ausreichende intraoperative Stabilität zu erreichen, wird das Transplantat wie nach Zahntrauma mobil geschient (SCHULTZE-MOSGAU et al. 1993, KIRSCHNER et al. 2002), wodurch eine Reduktion der erhöhten Zahnbeweglichkeit auf physiologische Werte erreicht wird. Die Schienung erfolgt entsprechend der klinischen Situation für 2 bis 4 Wochen (AKIYAMA et al. 1998, KIRSCHNER et al. 2002). Hierfür etabliert hat sich die TTS®-Schiene (Medartis, Basel): Sie garantiert eine ausreichende Festigkeit und gleichzeitig eine physiologische Beweglichkeit des Zahnes bei minimalen Klebeflächen (VON ARX et al. 2001a und b, KIRSCHNER et al. 2002). Zusätzlich kann eine optimale Mundhygiene – auch des Transplantats – vom ersten postoperativen Tag an durchgeführt werden (FILIPPI et al. 2002).

## Erfolgskriterien

Als Kriterien für den Erfolg einer Transplantation werden klinische und radiologische Parameter herangezogen (ANDREASEN et al. 1990a, b und d, SCHULTZE-MOSGAU et al. 1993, STROBL et al. 1995) (Tab. IV).

## Restaurative Versorgung

Besonders nach Transplantation in andere Kieferabschnitte sind spätere Restaurationen erforderlich, um ästhetisch und funktionell akzeptable Ergebnisse zu erzielen. Zähne im Oberkieferfrontzahnbereich stehen hier im Vordergrund. Voraussetzung vor Restauration ist, dass der Status der Pulpa bekannt ist. Besonderes Augenmerk gilt einer möglichen Obliteration der Pulpa. Diese kann in der Regel drei bis sechs Monate nach Transplantation diagnostiziert werden (FILIPPI et al. 2001). Eine Präparation, welche Dentin freilegt, kann durch eine bakterielle Invasion in die Dentinkanälchen sekundär zu Pulpanekrose und Parodontitis apicalis führen (KRISTERSON 1985). Die labiale Gingiva am Transplantat muss vor allem in ihrem Verlauf, aber möglichst auch in Farbe und Textur der des kontralateralen Zahnes entsprechen. Ist dies nicht der Fall, sollte eine Asymmetrie durch parodontalchirurgische Eingriffe korrigiert werden. Der Restaurationsrand sollte supragingival liegen und keine Undichtigkeit aufweisen (ANDREASEN 1993). Gegebenenfalls kann durch eine Rotation des Transplantats um 90° oder 180° die Ausgangssituation für spätere prothetische Rekonstruktionen verbessert werden (CZOCHROWSKA et al. 2002b). Als Rekonstruktionsmöglichkeiten stehen der Kompositaufbau, die Krone und das Veneer entsprechend ihren prothetischen Indikationen zur Verfügung. Die Veneertechnik zeigt insbesondere bei transplantierten Prämolaren im Frontzahnbereich die besten ästhetischen Resultate (SCHULTZE-MOSGAU et al. 1996).

## Postoperative Empfehlungen

Grundsätzlich empfiehlt es sich, dem Patienten für etwa 5 Tage ein Antiphlogistikum zu verschreiben. Nach der Operation sollte eine Kälteapplikation erfolgen, um dem auftretenden postoperativen Ödem entgegenzuwirken (ESKICI 2003). Eine systemische Antibiotikagabe ist grundsätzlich nicht erforderlich. Es konnte gezeigt werden, dass eine peri- bzw. postoperative Antibiotikagabe keinen signifikanten Einfluss auf das Operationsergebnis hat (HENRICHVARK & NEUKAM 1987). Die Patienten sollten von Anfang an eine adäquate Mundhygiene durchführen. Bei Verdacht auf grössere Schädigung der Wurzeloberfläche während der Zahnentfernung empfiehlt sich eine systemische

Tab. IV Erfolgskriterien einer Zahntransplantation

- Mobilität: klinischer Lockerungsgrad 0 bis 1; Periotest® (Gulden, Bensheim) 0 bis 20
- Taschentiefe: nicht mehr als 3 mm
- Radiologische Ausbildung eines Parodontalspalts mit angrenzender Lamina dura
- Sulkus-Fluid-Fliess-Rate: SFFR (Periotrontest®, Siemens, Deutschland) < 40 (LANGE & TOPOLL 1979)
- Erreichen der Okklusionsebene und kaufunktionelle Belastbarkeit
- Keine apikale Osteolyse
- Fortschritt des Wurzelwachstums
- Keine Resorptionserscheinungen
- Erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung (falls erforderlich)

Antibiotikagabe (Doxozyklin/Tetrazyklin aufgrund der antire-sorptiven Eigenschaften) sowie die intraoperative Applikation von Emdogain® (Biora, Malmö, Schweden), um das Risiko einer Ankylose zu reduzieren (FILIPPI et al. 2000, KIRSCHNER et al. 2002). Es schliessen sich engmaschige Kontrollen vor allem bei Transplantationen wurzelunreifer Zähnen an. Dies bedeutet im ersten Jahr monatlich bis vierteljährlich. Ab dem zweiten Jahr finden die Kontrollen dann jährlich statt.

### Weisheitszahntransplantation

Die Weisheitszahntransplantation hat ihren Ursprung in den USA in den sechziger Jahren (APFEL 1950, MILLER 1951). Die Transplantatentnahme erfolgt entsprechend der Vorgehensweise zur operativen Weisheitszahnentfernung, wobei dies unter grösstmöglicher Schonung des Zahnes und des Desmodonts zu geschehen hat (FELDMANN 1985). Zähne mit  $\frac{2}{3}$  bis  $\frac{3}{4}$  Wurzellänge sind besonders geeignet. Bei oberen Weisheitszähnen sollte die Okklusalfäche im Bereich des Zahnhalses des zweiten Molaren liegen, damit das Transplantat gewebeschonend entnommen werden kann (ANDREASEN 1993). Ein impaktiertes Transplantat mit vollständiger Wurzelbildung ist wegen eines hohen Ankyloserisikos ungeeignet. Zum Ersatz eines unteren Molaren stehen in der Regel untere dritte Molaren der ipsilateralen oder kontralateralen Seite (nach Rotation um  $180^\circ$ ) zur Verfügung. Alternativ können obere dritte Molaren transplantiert werden. Soll hingegen ein oberer Molar ersetzt werden, kommen grundsätzlich nur obere dritte Molaren in Frage (Abb. 2–6).

### Prämolarentransplantation

Die Prämolarentransplantation wurde vor etwa 30 Jahren inau-guriert (SLAGSVOLD 1970, SLAGSVOLD & BJERCKE 1974, SLAGSVOLD & BJERCKE 1978a und b). Sie ist einerseits von Bedeutung, weil bei etwa 6–10% aller Menschen eine Nichtanlage von Prämo-laren zu beobachten ist. Andererseits ist sie bei entsprechender Voraussetzung und richtiger Indikationsstellung eine wichtige Alternative zur prothetischen, kieferorthopädischen oder im-plantologischen Behandlung im Frontzahnbereich, besonders wenn man die Zunahme von Zahnunfällen und den dadurch bedingten Verlust der Frontzähne im Wachstumsalter betrachtet (ANDREASEN 1993, KIRSCHNER et al. 2002, SCHULTZE-MOSGAU et al. 1996). Grundsätzlich sollten nur Zähne mit  $\frac{3}{4}$  oder vollständi-g ausgebildeter Wurzellänge, aber noch weit offenem Fora-

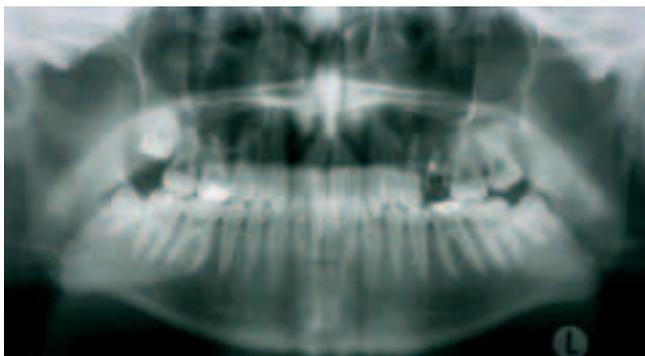


Abb. 2 Nicht erhaltungswürdiger Zahn 26 sowie retinierter und verlagertes wurzelunreifer Zahn 18 (Transplantat)

Fig. 2 Destruction massive de la 26 et présence d'une 18 incluse ectopique à formation radiculaire incomplète (greffon prospectif).



Abb. 3 Gewebeschonende operative Entfernung Zahn 18 unter Erhalt von Anteilen des Zahnsäckchens

Fig. 3 Prélèvement chirurgical de la 18, ménageant les tissus et préservant en partie le sac folliculaire.



Abb. 4 Transplantation Zahn 18 in regio 26 und Fixation mittels Haltenähten

Fig. 4 Transplantation de la 18 dans la région de la 26; le greffon est fixé en place par des points de suture croisés.

men apicale zur Transplantation herangezogen werden, damit es möglichst zur Regeneration von Parodont und Pulpa (hier meist Ersatzgewebsbildung) kommt (ANDREASEN 1993). Bei ge-



Abb. 5 Unauffällige radiologische Situation 6 Monate nach Transplantation

Fig. 5 Situation radiologique sans particularités 6 mois après la transplantation.



Abb. 6 Klinische Situation nach Transplantation

Fig. 6 Situation clinique après la transplantation.

schlossenem Foramen apicale ist eine Wurzelkanalbehandlung intraoperativ oder kurz danach indiziert (Abb. 7–13). Erste obere Prämolaren sollten aufgrund ihrer Wurzelanatomie in der Regel nicht verwendet werden.

### Eckzahntransplantation

Bedingt durch die Durchbruchreihenfolge der Zähne im Oberkiefer führt ein Platzmangel zur Retention der Eckzähne (ANDREASEN 1993). 0,8–2,4% der Gesamtbevölkerung sind davon betroffen (TRÄNKMANN 1973). Reicht das Platzangebot für eine Eckzahntransplantation nicht aus, kann eine kieferorthopädische Verbreiterung des Transplantatbettes diskutiert werden (ESKICI 2003). Ist eine Revaskularisation der Pulpa nicht zu erwarten, muss eine endodontische Therapie durchgeführt werden. Ein Transplantat mit vollständiger Wurzelbildung, aber noch weitem Foramen apicale ist in der Regel am besten geeignet (FORSEL & OKSALA 1986). Der insgesamt sehr geringe therapeutische Dauererfolg nach Eckzahntransplantation ist auf eine fehlende Passgenauigkeit des angelegten Transplantatlagers sowie das Knochendefizit nach Entfernung des verlagerten Zahnes zurückzuführen. Ebenso kommt es nach Transplan-



Abb. 7 Radiologische Situation nach Trauma Zahn 11 mit fortschrittlicher Ersatzgewebsresorption bei einem 12-jährigen Patienten

Fig. 7 Situation radiologique après lésion traumatique de la 11 chez un patient âgé de 12 ans; à noter la résorption et l'interposition de tissus de réparation dans la partie moyenne de la racine.



Abb. 8 Klinisch deutlich progrediente Infraposition Zahn 11 durch die externe Wurzelresorption

Fig. 8 Décalage vertical important en raison de la résorption radiculaire externe.

tation wurzelreifer Zähne häufig zu Wurzelresorptionen und Ankylosen durch die vergleichsweise traumatische Entfernung palatinal verlagelter Eckzähne (KIRSCHNER 1996). Daher wird heute das Transplantieren retinierter Eckzähne nicht mehr empfohlen, sondern der kieferorthopädischen Einordnung der Vorzug gegeben (FILIPPI et al. 1993).



Abb. 9 Ausgeprägte Resorptionslakunen am entfernten Zahn 11  
Fig. 9 Des lacunes de résorption marquées sont visibles sur la 11 avulsée.

### Milcheckzahntransplantation

Im Gegensatz zur Transplantation bleibender Eckzähne ist die Milcheckzahntransplantation eine vergleichsweise neue Alternative. Nach unfallbedingtem Zahnverlust bei Kindern können die Zähne auch dann auf biologische Weise ersetzt werden, wenn die bleibenden Prämolaren noch nicht durchgebrochen sind (etwa vor dem 9. Lebensjahr). Voraussetzung ist, dass noch etwa 70% der Milcheckzahnwurzel erhalten sind (KIRSCHNER et al. 2002). Bei diesem Verfahren ist immer eine Wurzelkanalbehandlung erforderlich, die aufgrund des Alters der Patienten und der begonnenen physiologischen Wurzelresorption grundsätzlich extraoral mittels retrograder Stiftinsertion erfolgen sollte (POHL et al. 2001) (Abb. 14–20). Derzeit fehlen noch klinische Langzeitstudien dieser Transplantate. Erste Ergebnisse sind jedoch viel versprechend (POHL et al. 2001). Die Milcheckzahntransplantation scheint eine hervorragende Möglichkeit zu sein, einen verloren gegangenen Frontzahn zumindestens temporär zu ersetzen, das umgebende Hart- und Weichgewebe zu erhalten und den Fortschritt des Kieferwachstums zu gewährleisten.

### Erfolgsraten

Bei den Ergebnissen nach Transplantation muss zwischen Zähnen mit abgeschlossenem oder nicht abgeschlossenem Wurzel-



Abb. 10 Gewebeschonende Entfernung Zahn 45  
Fig. 10 Prélèvement ménageant les tissus de la 45 à transplanter.

wachstum unterschieden werden. Insgesamt scheint für Zähne mit nicht vollständig abgeschlossenem Wurzelwachstum die Überlebensrate deutlich höher zu sein (HENRICHVARK & NEUKAM 1987). In der Literatur findet man Überlebensraten in Abhängigkeit vom Beobachtungszeitraum und vom transplantierten Zahn zwischen 78% bis 96% (SCHULTZE-MOSGAU & NEUKAM 2002). Ebenso muss bei der Erfolgsbeurteilung zwischen der Heilung von Pulpa und Parodont unterschieden werden (ANDREASEN 1993), die in Abhängigkeit vom Operationsverfahren stark variieren können. Daher ist ein Vergleich der Erfolgsraten in der Literatur nur bedingt möglich. In den Tabellen V, VI und VII sind die Ergebnisse der wichtigsten Studien nach Transplantation von dritten Molaren, Prämolaren und Eckzähnen zusammengefasst.

### Schlussfolgerung

Die Transplantation von Zähnen hat heute in der Zahnmedizin ihren festen Stellenwert als Alternative zu prothetischen, kieferorthopädischen oder implantologischen Versorgungen bei einem grossen Indikationsspektrum. Die Ergebnisse der Zahntransplantation konnten mit zunehmender operativer Erfah-

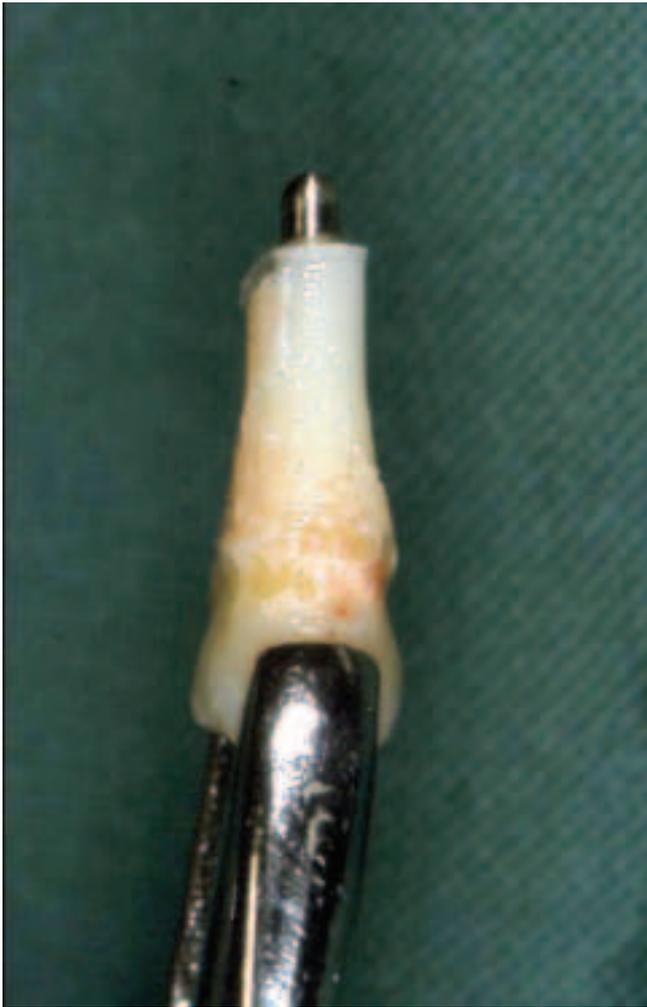


Abb. 11 Extraorale retrograde Insertion eines Titanstifts als endodontische Therapie

Fig. 11 Insertion rétrograde hors bouche d'un tenon en titane à titre de traitement endodontique.



Abb. 12 Okklusale Ansicht nach Transplantation und Schienung Zahn 45 in regio 11

Fig. 12 Vue occlusale après transplantation de la 45 en lieu et place de la 11; le greffon est stabilisé par une attelle.

zung und vor allem einer konsequenten Indikationsstellung für eine endodontische Therapie deutlich verbessert werden. Während sich die Prämolaren- und Molarentransplantationen gut



Abb. 13 Radiologische Situation unmittelbar nach Transplantation

Fig. 13 Situation radiologique immédiatement après la transplantation.

bewährt haben, muss die Transplantation bleibender Eckzähne heute sehr zurückhaltend betrachtet werden. Bei Kindern scheint die Milcheckzahntransplantation als Frontzahnersatz nach Trauma eine viel versprechende Möglichkeit darzustellen (POHL et al. 2001).

Grundsätzlich muss darauf hingewiesen werden, dass der Erfolg einer Transplantation von einigen prä-, intra- und postoperativen Faktoren abhängig ist. Dies sind insbesondere eine kritische Indikationsstellung, eine gewebeschonende Operationstechnik (Schonung des Parodonts) und keine unphysiologische Belastung des Transplantats während der Einheilphase (ESKICI 2003). Unter Betrachtung der Erfolgsraten können Zahntransplantationen das zahnärztliche Behandlungsspektrum deutlich erweitern.

### Abstract

Tooth transplantations provide the option of replacing lost or missing teeth in a biological fashion. On account of their high success rates and primarily in Scandinavian countries, they are a popular alternative to orthodontic or prosthetic treatment – particularly in case of children or young people losing teeth in accidents. Success of the treatment is ensured by corresponding diagnosis and good preoperative planning. Tissue-conserving transplant collection and the corresponding conditioning of the transplant bed are of decisive importance for the regeneration of



Abb. 14 Unfallbedingte Längsfraktur Zahn 11 bei einem 8-jährigen Patienten

Fig. 14 Fracture longitudinale de la 11 suite à un accident chez un patient âgé de 8 ans.



Abb. 15 Gewebeschonende Entfernung des Milcheckzahns 63

Fig. 15 Prélèvement ménageant les tissus de la canine de lait 63.

the pulp and the periodontium. The success of the therapy is also influenced by the type and duration of splinting. Depending on the surgical technique and the transplanted tooth, the success rates are between 78% and 96%. The success criteria of a transplantation are defined clinically and radiologically.

The diagnosis for transplantation is made from an orthodontic, endodontic, traumatologic, periodontologic and cariologic perspective. The present article provides an overview of literature and shows current plantation techniques.

**Key words:** Tooth transplantation, autologous, premolars, canines, primary canines.

### Verdankung

Der Dank der Autoren gilt *Frau Dr. Jeannine Arrigoni*, Klinik für Zahnärztliche Chirurgie, -Radiologie, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Basel für die Durchführung der abgebildeten Weisheitszahntransplantation, *Frau Dr. Beatrix Leuenberger*, Klinik für Zahnärztliche Prothetik der Universität Bern für die abgebildete Rekonstruktion des transplantierten Milcheckzahns sowie *Frau Dr. Cornelia Weber*, Arbeitskreis Jugendzahnpflege, Frankfurt/Main, für ihre Unterstützung bei der Fertigstellung des Manuskripts.

### Literatur

- AHLBERG K, BYSTEDT H, ELIASSON S, ODENRICK L: Long-term evaluation of autotransplanted maxillary canines with completed root formation. *Acta Odontol Scand* 41: 23–31 (1983)
- AKIYAMA Y, FUKUDA H, HASHIMOTO K: A clinical and radiographic study of 25 autotransplanted third molars. *J Oral Rehabil* 25: 640–664 (1998)
- ALLEN C H: The operator for the teeth, Dublin 1687, zit. nach einem Nachdruck; *Dawsons of Pall Mall*, London, pp 10–12 (1969)
- ALTONEN M, HAAVIKKO K, MALMSTROM M: Evaluation of autotransplantations of completely developed maxillary canines. *Int J Oral Surg* 7: 434–441 (1978)
- ANDERSON A W, SHARAV Y, MASSLER M: Reparative dentine formation and pulp morphology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 26: 837–847 (1968)
- ANDREASEN J O, HJÖRTING-HANSEN E, JOLST O: A clinical and radiographic study of 76 autotransplanted third molars. *Scand J Dent Res* 78: 512–523 (1970)
- ANDREASEN J O, PAULSEN H U, YU Z, AHLQUIST R, BAYER T, SCHWARTZ O: A long-term study of 370 autotransplanted premolars. Part I. Surgical procedures and standardized techniques for monitoring healing. *Eur J Orthod* 12: 3–13 (1990a)



Abb. 16 Retrograde Stiftinsertion als endodontische Therapie und zur Verlagerung des Drehpunktes nach apikal

Fig. 16 Insertion rétrograde hors bouche d'un tenon en titane à titre de traitement endodontique; le dépassement du tenon sert en outre à déplacer le centre de rotation (hypomochlion) en direction apicale.



Abb. 18 Situation 2 Wochen nach Transplantation und Schienung

Fig. 18 Situation clinique 2 semaines après la transplantation; le greffon 63 est stabilisé par une attelle.



Abb. 19 Rekonstruktion eines transplantierten Milchzahns 53 in regio 11 mit Komposit und Säureätz-Technik (vestibuläre Ansicht)

Fig. 19 Reconstitution par technique adhésive et composite d'une canine de lait (53) transplantée en lieu et place de la 11 (vue vestibulaire).



Abb. 17 Situation unmittelbar nach Transplantation Zahn 63 in regio 11

Fig. 17 Situation clinique immédiatement après la transplantation de la 63 en lieu et place de la 11.



Abb. 20 Rekonstruktion eines transplantierten Milchzahns 53 in regio 11 mit Komposit und Säureätz-Technik (palatinale Ansicht)

Fig. 20 Reconstitution par technique adhésive et composite d'une canine de lait (53) transplantée en lieu et place de la 11 (vue palatine).

ANDREASEN J O, PAULSEN H U, YU Z, AHLQUIST R, BAYER T, SCHWARTZ O: A long-term study of 370 autotransplanted pre-

molars. Part II. Surgical procedures and standardized techniques for monitoring healing. Eur J Orthod 12: 14-24 (1990b)

Tab. V Langzeitergebnisse nach Transplantation dritter Molaren (U = unvollständig, V = vollständig, k.A. = keine Angaben)

Studie	n Zähne	Kontrollzeitraum (Jahre)	Stadium der Wurzelbildung	Überlebensrate der Zähne (in % der Zähne)	Heilung des Parodonts (in % der Zähne)
NORDENRAM 1963	61	0,5–7	U	79	85
GALANTER & MINAMI 1968	31	1–10	U	74	94
ANDREASEN et al. 1970	18	0,7–6	U	95	94
SINGH & DUDANI 1970	25	0,4	U	76	84
HOVINGA 1986	16	2–10	U	100	100
NETHANDER et al. 1988	57	1–5	U	89	79
SCHULTZE-MOSGAU et al. 1993	55	3,8	U, V	86	86
AKIYAMA et al. 1998	25	1,5	V	100	100
STROBL et al. 1995	50	3,05	U	100	94
TERHEYDEN et al. 1995	102	9	U	70	k.A.
SCHWARTZ et al. 1985	123	9,6	U, V	48	k.A.
LUNDBERG & ISAKSSON 1996	122	6	U, V	95	k.A.
POGREL 1987	187	2	U, V	79	k.A.

Tab. VI Langzeitergebnisse nach Transplantation von Prämolaren (U = unvollständig, V = vollständig, k.A. = keine Angaben)

Studie	n Zähne	Kontrollzeitraum (Jahre)	Stadium der Wurzelbildung	Überlebensrate der Zähne (in % der Zähne)	Heilung des Parodonts (in % der Zähne)
SLAGSVOLD & BJERCKE 1974, 1978b	34	6,2	k.A.	100	94
KRISTERSON 1985	82		U	96	89
	18	6,3	V	78	50
ANDREASEN et al. 1990a–e	317		U	95	90
	53	9–31	V	98	60
SCHULTZE-MOSGAU et al. 1993	10	3,8	U, V	86	86
CZOSCHROWSKA et al. 2002	30	26,4	U	90	83
FRENKEN et al. 1998	39	3,5	U, V	97	100
LUNDBERG & ISAKSSON 1996	80	6	U, V	95	k.A.
KUGELBERG et al. 1994	22		V	82	k.A.
	23	4	U	96	k.A.

Tab. VII Langzeitergebnisse nach Transplantation bleibender Eckzähne (k.A. = keine Angaben)

Studie	n Zähne	Kontrollzeitraum (Jahre)	Stadium der Wurzelbildung	Überlebensrate der Zähne (in % der Zähne)	Heilung des Parodonts (in % der Zähne)
OKSALA & KALLIONIEMI 1977	60	4–7	k.A.	88	25
ALTONEN et al. 1978	28	1,5	k.A.	86	25
HARDY 1982	81	1–9	k.A.	91	61
HALL & READE 1983	131	0,5–9	k.A.	90	34
AHLBERG et al. 1983	33	6	k.A.	88	25
SCHWARTZ et al. 1985	45	9,6	k.A.	48	k.A.

ANDREASEN J O, PAULSEN H U, YU Z, SCHWARTZ O: A long-term study of 370 autotransplanted premolars. Part III. Periodontal healing subsequent to transplantation. *Eur J Orthod* 12: 25–37 (1990c)

ANDREASEN J O, PAULSEN H U, YU Z, BAYER T: A long-term study of 370 autotransplanted premolars. Part IV. Root development subsequent to transplantation. *Eur J Orthod* 12: 38–50 (1990d)

ANDREASEN J O: The effect of excessive occlusal trauma upon periodontal healing after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Swed Dent J* 5: 118–122 (1981)

ANDREASEN J O: Farbatlas der Replantation und Transplantation von Zähnen. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, pp 112–221 (1993)

ANDREASEN J O: The effect of splinting upon periodontal healing after replantation of permanent incisors in monkeys. *Acta Odontol Scand* 33: 313–323 (1975)

APFEL H: Autoplasty of enucleated prefunctional third molar. *J Oral Surg* 9: 286–296 (1950)

AXHAUSEN G: Die histologischen Gesetze der Wiedereinheilung replantierter Zähne. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilk* 4: 168–173 (1937)

AZAZ B, ZILBERMAN Y, HACKAK T: Clinical and roentgenographic evaluation of thirty-seven autotransplanted impacted maxillary canines. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 45: 8–16 (1978)

BAUSS O, SCHILKE R, FENSKE C, ENGELKE W, KILIARIDIS S: Autotransplantation of immature third molars: influence of different splinting methods and fixation periods. *Dent Traumatol* 18: 322–328 (2002)

BLOMLÖF L, ANDERSSON L, LINDSKOG S, HEDSTROM K G, HAMMARSTRÖM L: Periodontal healing of replanted monkey teeth prevented from drying. *Acta Odontol Scand* 41: 117–123 (1983)

CLOKIE C M, YAU D M, CHANO L: Autogenous tooth transplantation: an alternative to dental implant placement? *J Can Dent Assoc* 67: 92–96 (2001)

- COHEN A S, SHEN T C, POGREL M A: Transplanting teeth successfully: autografts and allografts that work. *J Am Dent Assoc* 126: 481–485 (1995)
- CZOCZROWSKA E M, STENVIK A, BJERCKE B, ZACHRISSON B U: Outcome of tooth transplantation: survival and success rates 17–41 years posttreatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121: 110–119 (2002a)
- CZOCZROWSKA E M, STENVIK A, ZACHRISSON B U: The esthetic outcome of autotransplanted premolars replacing maxillary incisors. *Dent Traumatol* 18: 237–245 (2002b)
- ELIASSON S, LAFTMAN A C, STRINDBERG L: Autotransplanted teeth with early-stage endodontic treatment: a radiographic evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 65: 598–603 (1988)
- ESKICI A: Klinische und tierexperimentelle Untersuchung zur Autotransplantation von Zahnkeimen (I). *Quintessenz* 38: 565–570 (1987a)
- ESKICI A: Klinische und tierexperimentelle Untersuchung zur Autotransplantation von Zahnkeimen (II). *Quintessenz* 38: 737–751 (1987b)
- ESKICI A: Klinische und tierexperimentelle Untersuchung zur Autotransplantation von Zahnkeimen (III). *Quintessenz* 38: 913–924 (1987c)
- ESKICI A: Klinische und tierexperimentelle Untersuchung zur Autotransplantation von Zahnkeimen (IV). *Quintessenz* 38: 1093–1104 (1987d)
- ESKICI A: Reimplantation und Transplantation von Zähnen. *Praxis der Zahnheilkunde*. Urban & Fischer, München, pp 232–254 (2003)
- FAUCHARD P: *Le chirurgien dentiste*. Paris 1728; zit. nach der engl. Übers.: *The surgeon dentist*. Milford, New York, pp 140–145 (1969)
- FELDMANN G: Voraussetzungen, Vorgehen, Erfolge bei der Zahntransplantation. *Zahnärztl Mitt* 75: 2537–2538 (1985)
- FILIPPI A, RYBCYNSKI S, GEIGER G: Ergebnisse nach chirurgischer Freilegung und kieferorthopädischer Einordnung von Eckzähnen. *Dtsch Zahnärztl Z* 48: 540–542 (1993)
- FILIPPI A, VON ARX T, BUSER D: Externe Wurzelresorptionen nach Zahntrauma: Diagnose, Konsequenzen, Therapie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 110: 712–729 (2000)
- FILIPPI A, POHL Y, VON ARX T: Das Verhalten der Pulpa nach Zahntrauma: Diagnose, Konsequenzen, Therapie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 111: 39–56 (2001)
- FILIPPI A, VON ARX T, LUSSI A: Comfort and discomfort of dental trauma splints – a comparison of a new device (TTS) with three commonly used splinting techniques. *Dent Traumatol* 18: 275–280 (2002)
- FORSSELL H, OKSALA E: A 10-year follow-up of maxillary canine transplantations. *Proc Finn Dent Soc* 82: 209–212 (1986)
- FRENKEN J W, BAART J A, JOVANOVIĆ A: Autotransplantation of premolars. A retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 27: 181–185 (1998)
- GALANTER D R, MINAMI R T: The periodontal status of autografted teeth. A pilot study of thirty-one cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 26: 145–159 (1968)
- HALL G M, READE P C: Root resorption associated with autotransplanted maxillary canine teeth. *Br J Oral Surg* 21: 179–191 (1983)
- HAMMER H: Der histologische Vorgang bei der Zahntransplantation nach Vernichten der Wurzelhaut. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilk* 4: 179–184 (1937)
- HAMMER H: Die Zahnrückpflanzung. *Dtsch Zahnärztl Z* 5: 637–641 (1950)
- HARDY P: The autogenous transplantation of maxillary canines. *Br Dent J* 153: 183–186 (1982)
- HARTMANN H J: Replantation und Transplantation. *Zahnärztl Prax* 40: 251–254 (1989)
- HENRICHVARK C, NEUKAM F W: Indikation und Ergebnisse der autogenen Zahntransplantation. *Dtsch Zahnärztl Z* 42: 194–197 (1987)
- HERNANDEZ S L, CUESTAS-CARNERO R: Autogenic tooth transplantation: a report of ten cases. *J Oral Maxillofac Surg* 46: 1051–1055 (1988)
- HESLOP I C H: Autogenous replantation of the maxillary canine. *Br J Oral Surg* 5: 135–140 (1967)
- HOLTJE W J, SCHEUER H: Die Prämolaren-Autotransplantation nach Frontzahnverlust im Oberkiefer. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 40: 87–90 (1995)
- HOVINGA J: Autotransplantation of teeth with preservation of the vitality of the pulp. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 74: 494–499 (1967)
- HOVINGA J: Autotransplantation of tooth germs of the third molars. Results of a follow-up study. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 93: 235–237 (1986)
- HUNTER J: *Natural history of the human teeth*. London 1771; zit. nach der dtsh. Übers.: *Natürliche Geschichte der Zähne und Beschreibung ihrer Krankheiten*. Weidmanns Erben und Reich, Leipzig, pp 135–138 und 231–257 (1790)
- HÜRZELER M B, QUINONES C R: Autotransplantation of a tooth using guided tissue regeneration. *J Clin Periodontol* 20: 545–548 (1993)
- JOHO J P, SCHATZ J P: Autotransplantation und orthodontische Planung. *Schweiz Monatschr Zahnmed* 100: 185–187 (1990)
- KAHNBERG K E: Autotransplantation of teeth (I). Indications for transplantation with a follow-up of 51 cases. *Int J Oral Maxillofac Surg* 16: 577–585 (1987)
- KELLER U, SITZMANN F: Differentialindikation zum Einzelzahnimplantat. *Z Zahnärztl Implantol* 3: 188–193 (1987)
- KHOURY F: Chirurgische Möglichkeiten zur Erhaltung der Kauenebene im Molarenbereich. *Zahnärztl Welt* 94: 726–731 (1984a)
- KHOURY F: Komplikationen nach Zahntranspositionen und deren therapeutische Beeinflussbarkeit. *Dtsch Z Mund Kiefer Gesichts Chir* 8: 43–49 (1984b).
- KIRSCHNER H, FILIPPI A, POHL Y, EBELESEDER K: *Unfallverletzungen der Zähne*. Schlütersche, Hannover (2002)
- KIRSCHNER H: *Atlas der chirurgischen Zahnerhaltung*. Hanser, pp 44–45 München (1996)
- KRISTERSON L, ANDREASEN J O: The effect of splinting upon periodontal and pulpal healing after autotransplantation of mature and immature permanent incisors in monkeys. *Int J Oral Surg* 12: 239–249 (1983)
- KRISTERSON L, LAGERSTRÖM L: Autotransplantation of teeth in cases with agenesis or traumatic loss of maxillary incisors. *Eur J Orthod* 13: 486–492 (1991)
- KRISTERSON L: Autotransplantation of human premolars. A clinical and radiographic study of 100 teeth. *Int J Oral Surg* 14: 200–213 (1985)
- KUGELBERG R, TEGSJO U, MALMGREN O: Autotransplantation of 45 teeth to the upper incisor region in adolescents. *Swed Dent J* 18: 165–172 (1994)
- KVINNSLAND I, HEYERAAS K J: Cell renewal and ground substance formation in replanted cat teeth. *Acta Odontol Scand* 48: 203–215 (1990)
- LANGE D E, TOPOLL H: Experimentelle Untersuchungen über den Wert Sulcus-Fluid-Rate (SFFR) als diagnostisches Hilfsmittel bei Parodontalerkrankungen unter Verwendung eines halbautomatischen Analysegerätes. *Dtsch Zahnärztl Z* 34: 353–385 (1979)

- LEFFINGWELL C M: Autogenous tooth transplantation: a therapeutic alternative. *Dent Surv* 56: 22–23 (1980)
- LUNDBERG T, ISAKSSON S: A clinical follow-up study of 278 autotransplanted teeth. *Br J Oral Maxillofac Surg* 34: 181–185 (1996)
- MARTIN D M: The management of root resorption in replanted and transplanted teeth. *Int Endod J* 16: 156–166 (1983)
- MENG H P, INGERVALL B, HESS D, MARMY O, BUSER D: Kieferorthopädie: Nichtanlagen. Die Behandlung von Malokklusionen mit partieller Anodontie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100: 188–204 (1990)
- MILLER H M: Transplantation. A case report. *J Am Dent Assoc* 40: 68–69 (1951)
- MOOREES C, FANNING E, HUNT E: Age variation of formation stages of ten permanent teeth. *J Dent Res* 42: 1490–1497 (1963)
- MORRIS M L, MOREINIS A, PATEL R, PRESTUP A: Factors affecting healing after experimentally delayed tooth transplantation. *J Endod* 7: 80–84 (1981)
- MOSS J P: Autogenous transplantation of maxillary canines. *J Oral Surg* 26: 775–783 (1968)
- MÜLLER E E: Transplantation of impact teeth. *J Am Dent Assoc* 69: 449–452 (1964)
- NASJLEIT C E, CASTELLI W A, CAFFESSE R G: The effects of different splinting times on replantation of teeth in monkeys. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53: 557–566 (1982)
- NAUMANN S, POHL Y, FILIPPI A: Endodontische Therapie nach unfallbedingter Avulsion und Intrusion von Zähnen. *Quintessenz* 54: 241–249 (2003)
- NETHANDER G, ANDERSSON J E, HIRSCH J M: Autogenous free tooth transplantation in man by a 2-stage operation technique. A longitudinal intra-individual radiographic assessment. *Int J Oral Maxillofac Surg* 17: 330–336 (1988)
- NETHANDER G: Autogenous free tooth transplantation by the two-stage operation technique. An analysis of treatment factors. *Acta Odontol Scand* 56: 110–115 (1998)
- NEUKAM F W, GIROD S: Prospektive Studie zur Frage der Komplikationen nach Zahntransplantationen bei eröffneter Kieferhöhle. *Dtsch Zahnärztl Z* 43: 1342–1344 (1988)
- NEUKAM F W, REUMANN K, SCHLIEPHAKE H: Experimentelle Untersuchung zur Bestimmung der Wurzelhautschädigung von Zahntransplantationen. *Dtsch Zahnärztl Z* 42: 186–189 (1987)
- NEUKAM F W, SCHLIEPHAKE H, SCHMELZEISEN R: Experimentelle Untersuchung zur Bestimmung der operationsbedingten Wurzelhautschädigung unter Berücksichtigung zweier Operationstechniken bei der Zahntransplantatgewinnung. *Dtsch Z Mund Kiefer Gesichts Chir* 12: 263–266 (1988)
- NEUKAM F W: Die Zahnkeimtransplantation. *Zahnärztl Mitt* 78: 1026–1029 (1988)
- NORDENRAM A: Autotransplantation of teeth. A clinical and experimental investigation. *Acta Odontol Scand* 21: 71–76 (1963)
- NORTHWAY W M, KÖNIGSBERG S: Autogenic tooth transplantation. The "state of the art". *Am J Orthod* 77: 146–162 (1980)
- OIKARINEN K: Replacing resorbed maxillary central incisors with mandibular premolars. *Endod Dent Traumatol* 6: 43–46 (1990)
- OXSALA E, KALLIONIEMI H: A longitudinal clinical and radiographic study of autotransplantation of the maxillary canine. *Proc Finn Dent Soc* 73: 117–125 (1977)
- PAPE H D, HEISS R: Zur Geschichte der Zahntransplantation. *Fortschr Kiefer Gesichtschr* 10: 121–125 (1976)
- PARE A: *Opera chirurgica*. Fejrabend für Fischer, Frankfurt, pp 477–478 (1594)
- POGREL M A: Evaluation of over 400 autogenous tooth transplants. *J Oral Maxillofac Surg* 45: 205–211 (1987)
- POHL Y, FILIPPI A, KIRSCHNER H: Auto-alloplastic transplantation of a primary canine after traumatic loss of a permanent central incisor. *Dent Traumatol* 17: 188–193 (2001)
- RAHN R: Transplantation impaktierter Weisheitszähne. *Quintessenz* 1: 7–19 (1987)
- SAGNE S, LENNARTSSON B, THILANDER B: Transalveolar transplantation of maxillary canines. An alternative to orthodontic treatment in adult patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 90: 149–157 (1986)
- SCHATZ J P, JOHO J P: Indications of autotransplantation of teeth in orthodontic problem cases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 106: 351–357 (1994)
- SCHULZE-MOSGAU S, NEUKAM F W, EULZER C: Klinische und röntgenologische Ergebnisse nach autogenen Zahntransplantationen. *Dtsch Zahnärztl Z* 48: 699–705 (1993)
- SCHULZE-MOSGAU S, NEUKAM F W: Intentionelle Replantation, therapeutische Zahnluxation, Zahntransplantation. In: Zahnärztliche Chirurgie. Hrsg.: Reichart P A, Hausamen J E, Becker J, Neukam F W, Schliephake H, Schmelzeisen R. Quintessenz, Berlin, pp 263–290 (2002)
- SCHULZE-MOSGAU S, NEUKAM F W, GÜNAY H, ENTRUP W: Die autogene Zahntransplantation als Alternative zum Einzelzahntransplantat nach traumatischer Frontzahnluxation im jugendlichen Oberkiefer. *Implantologie* 2: 151–162 (1996)
- SCHWARTZ O, ANDREASEN J O: Allotransplantation and autotransplantation of mature teeth in monkeys: the influence of endodontic treatment. *J Oral Maxillofac Surg* 46: 672–681 (1988)
- SCHWARTZ O, BERGMANN P, KLAUSEN B: Autotransplantation of human teeth. A life-table analysis of prognostic factors. *Int J Oral Surg* 14: 245–258 (1985)
- SCHWARTZ O, GROISMAN M, ATTSTRÖM R, ANDREASEN J O: Transmission electron microscopy of supra-alveolar periodontal healing of auto- and allotransplanted teeth in monkeys. *Endod Dent Traumatol* 6: 26–32 (1990)
- SINGH K K, DUDANI I C: Autogenous transplantation of developing mandibular third molars. *J Indian Dent Assoc* 42: 199–212 (1970)
- SKOGLUND A, HASSELGREN G, TRONSTAD L: Oxidoreductase activity in the pulp of replanted and autotransplanted teeth in young dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 52: 205–209 (1981)
- SKOGLUND A, TRONSTAD L, WALLENIUS K: A microangiographic study of vascular changes in replanted and autotransplanted teeth of young dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 45: 17–28 (1978)
- SLAGSVOLD O: Autotransplantation of premolars in cases of missing anterior teeth. *Rep Congr Eur Orthod Soc*: 473–485 (1970)
- SLAGSVOLD O, BJERCKE B: Autotransplantation of premolars with partly formed roots. A radiographic study of root growth. *Am J Orthod* 66: 355–366 (1974)
- SLAGSVOLD O, BJERCKE B: Indications for autotransplantation in cases of missing premolars. *Am J Orthod* 74: 241–257 (1978a)
- SLAGSVOLD O, BJERCKE B: Applicability of autotransplantation in cases of missing upper anterior teeth. *Am J Orthod* 74: 7441–74421 (1978b)
- STROBL V, LEJA W, NORER B: Zur Frage des Erfolges bei Weisheitszahnkeimtransplantation. *Fortschr Kiefer Gesichtschr* 40: 78–80 (1995)

- TEGSJO U, VALERIUS-OLSSON H, FRYKHOLM A, OLGART K: Clinical evaluation of intra-alveolar transplantation of teeth with cervical root fractures. *Swed Dent J* 11: 235–250 (1987)
- TERHEYDEN H, GERHARDT U, KÖNIG J: Langzeitergebnisse der Zahntransplantation unter funktioneller und parodontaler Sicht. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 40: 84–87 (1995)
- TRÄNKMANN J: Häufigkeit retinierter Zähne der zweiten Dentition. *Dtsch Zahnärztl Z* 28: 415–420 (1973)
- TSUKIBOSHI M: Autotransplantation of teeth: requirements for predictable success. *Dent Traumatol* 18: 157–180 (2002)
- VON ARX T, FILIPPI A, LUSSI A: Comparison of a new dental trauma splint device (TTS) with three commonly used splinting techniques. *Dent Traumatol* 17: 266–274 (2001a)
- VON ARX T, FILIPPI A, BUSER D: Splinting of traumatized teeth with a new device: TTS (Titanium Trauma Splint). *Dent Traumatol* 17: 180–184 (2001b)
- WATERHOUSE P J, HOBSON R S, MEECHAN J G: Autotransplantation as a treatment option after loss of a maxillary permanent incisor tooth. A case report. *Int J Paediatr Dent* 9: 43–47 (1999)
- YANPISET K, TROPE M: Pulp revascularization of replanted immature dog teeth after different treatment methods. *Endod Dent Traumatol* 16: 211–217 (2000)