

Aus dem medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
des Fachbereichs Medizin in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum  
Giessen – Marburg, Standort Marburg  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Abteilung für Kieferorthopädie  
Leiter: Prof. Dr. J.M.H. Dibbets

---

**Die Schätzung der mesiodistalen Breiten von bleibenden Nachfolgerzähnen  
einer Stützzone: ein statistisches Verfahren**

Inaugural-Dissertation  
zur  
Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Medizin der  
Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

**Horatiu-Alin Boboc**  
aus Sibiu - Rumänien

Marburg an der Lahn 2006

Angenommen vom Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg am 14.09.2006

Dekan: Professor Dr. B. Maisch

Referent: Professor Dr. J.M.H. Dibbets

Korreferent: Professor Dr. K.M. Lehmann

*Gewidmet meiner Frau Alexandra  
und meiner Tochter Alexia.*

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Forschungsstand.....	3
1.1.1. Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen mittels eines festen Betrags.....	3
1.1.2. Stützzonenprognose mittels Durchschnittswerten des „leeway space“.....	4
1.1.3. Stützzonenprognose mittels Zusammenhänge zwischen Zahn- und Körpergröße.....	5
1.1.4. Stützzonenprognose auf genetischer Grundlage.....	5
1.1.5. Stützzonenprognose mittels Korrelations- und Regressionsgleichungen.....	6
1.1.6. Schätzungsverfahren anhand von Röntgenbildern.....	10
1.1.7. Kombiniert röntgenologisch-statistische Methoden.....	11
1.2. Ziel der Studie.....	14
2. Material und Methoden.....	15
2.1. Material.....	15
2.2. Methoden.....	17
2.2.1. Messverfahren.....	17
2.2.2. Messfehler.....	17
2.2.3. Die Stützzonenbreite.....	18
2.2.4. Statistische Methoden.....	18
2.2.4.1. Mittelwerte.....	18
2.2.4.2. Korrelations- und Regressionsgleichungen.....	18
2.2.4.3. Streudiagramme.....	19
2.2.4.4. Student t-Test.....	19
2.2.4.5. Signifikanzniveau.....	19
2.2.5. Bestimmung der optimalen Kombination für die Stützzonenprognose.....	20
2.2.5.1. Die Anzahl der unabhängigen Variablen.....	20
2.2.5.2. Die Auswahl der unabhängigen Variablen.....	20
2.2.6. Untersuchung der Genauigkeit verschiedener Schätzungsmethoden anhand unserer Probandengruppe.....	22
2.2.7. Untersuchung der Genauigkeit unserer Schätzungsmethode anhand einer Kontrollgruppe.....	22
3. Ergebnisse.....	23
3.1. Methodenfehler.....	23
3.2. Die mesiodistalen Breiten einzelner Zähne.....	23
3.3. Die ethnischen Unterschiede der mesiodistalen Zahnbreiten.....	26
3.4. Frontzahnsummen.....	28
3.5. Bestimmung der Stützzonenbreiten für jeden Quadranten.....	28
3.6. Untersuchung der Genauigkeit verschiedener statistischer Methoden zur Stützzonenprognose.....	31
3.6.1. Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen mittels eines festen Betrags.....	31
3.6.2. Vergleich der Ergebnisse nach Moyers' Methode mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten.....	35
3.6.3. Vergleich der Ergebnisse nach der Methode von Berendonk mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten.....	37
3.6.4. Vergleich der Ergebnisse nach Miethkes Methode mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten.....	39

3.6.5.	Vergleich der Ergebnisse nach der Methode von Tanaka und Johnston mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten.....	41
3.6.6.	Vergleich der Ergebnisse nach Bachmanns Methode mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten.....	43
3.6.7.	Vergleich der Ergebnisse nach Tränkmanns Methode mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten.....	45
3.7.	Eigene Stützzonenprognose.....	48
3.7.1.	Die abhängigen Variablen.....	48
3.7.2.	Die Anzahl der unabhängigen Variablen.....	49
3.7.3.	Die Auswahl der unabhängigen Variablen.....	49
3.7.4.	Verbesserung der Prognose durch die Einbeziehung eines bereits durchgebrochenen bleibenden Stützzonenzahnes.....	56
3.8.	Untersuchung der Genauigkeit unserer Schätzungsmethode anhand einer Kontrollgruppe.....	58
3.8.1.	Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mittels Zähne außerhalb der Stützzonen.....	58
3.8.2.	Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem UK-Eckzahn.....	60
3.8.3.	Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem ersten Prämolare im Unterkiefer.....	61
3.8.4.	Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem zweiten Prämolare im Unterkiefer.....	62
3.8.5.	Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem OK-Eckzahn.....	63
3.8.6.	Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem ersten Prämolare im Oberkiefer.....	64
3.8.7.	Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem zweiten Prämolare im Oberkiefer.....	65
4.	Diskussion.....	66
4.1.	Diskussion der Methode.....	67
4.2.	Die abhängigen Variablen der Regressionsgleichungen.....	68
4.3.	Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen.....	69
4.4.	Die Genauigkeit der untersuchten Methoden zur Stützzonenanalyse.....	75
4.5.	Die klinische Anwendbarkeit der Stützzonenanalyse.....	81
5.	Zusammenfassung.....	82
Summary.....		83
Rezumat.....		84
6.	Literaturverzeichnis.....	85
7.	Anhang.....	94

## 1. Einleitung

Das Zahnbogensegment zwischen der distalen Fläche des seitlichen Schneidezahnes und der mesialen Fläche des ersten bleibenden Molars wird als Stützzone definiert (Korkhaus 1939). Die Stützzone hat die Aufgabe, die sagittale und vertikale Abstützung der Zahnbögen während des Zahnwechsels zu sichern. Dieser Zahnbogenabschnitt umfasst den Milcheckzahn und die beiden Milchmolaren eines Quadranten oder deren Nachfolger.

In der ersten Wechselphase brechen die ersten Molaren durch, die die Stützzone distal begrenzen, und die bleibenden Inzisivi, die die Milchschnidezähne ersetzen. Dadurch wird auch die vordere Grenze der Stützzone festgelegt.

Die Stützonenanalyse besteht darin, die Platzverhältnisse in diesen Zahnbogensegmenten zu analysieren, indem man den Platzbedarf für die Einordnung der bleibenden Nachfolgerzähne vom Platzangebot subtrahiert. Das Platzangebot wird direkt mit einer Schieblehre als Breite des Zahnbogensegments zwischen der vorderen und der hinteren Grenze gemessen. Neben dem zufälligen Messfehler entsteht dabei auch ein systematischer Fehler, weil anstelle des Bogens die gerade Sehnenlänge bestimmt wird. Während Schwarz (1931) für diesen systematischen Fehler einen Korrekturzuschlag von 1 mm zum gemessenen Wert empfiehlt, nehmen andere Autoren, wie Moyers (1963) oder Hixon und Oldfather (1958), den direkt gemessenen Wert in ihrer Platzbilanzformel auf.

Der Platzbedarf wird als Summe der mesiodistalen Breiten des bleibenden Eckzahnes und der Prämolaren gebildet. Diese sind jedoch vor ihrem Durchbruch in die Mundhöhle unbekannt.

Das Platzangebot kann für die Einordnung der bleibenden Stützzonezähne ausreichend, bedingt ausreichend oder nicht ausreichend sein, wobei bedingt ausreichend andeutet, dass sich der momentane Platzmangel durch konservative therapeutische Maßnahmen noch korrigieren lässt. Es ist sinnvoll, schon in der zweiten Ruhephase oder frühen zweiten Wechselphase festzustellen, ob der Platz im Stützzonebereich ausreichend ist, um alle bleibenden Zähne aufzunehmen. Es ist jedoch nicht empfehlenswert, die Entscheidung über eine Zahnzahlreduktion in der ersten Wechselphase zu treffen, so wie das im sogenannten Reihenextraktionsverfahren empfohlen wird (Kjellgren 1948, Hotz 1948). Moorrees und Chadha (1962) zeigen in ihrer Langzeitstudie, dass der Platzmangel, der in der 1. Wechselphase sichtbar wird, sich spontan durch den „leeway space“ in der zweiten Wechselphase auflöst. Weil die bleibenden Nachfol-

ger meistens schmäler sind als die Milchstützzonenzähne (Lysell 1960), entsteht ein Spielraum, „leeway space“ (Nance 1947), durch den die Diskrepanzen in Platzbedarf und Platzangebot ausgeglichen werden kann.

Für die Bestimmung des Platzbedarfs in den Stützzonen ist die Schätzung der mesiodistalen Breiten der Eckzähne und Prämolaren vor ihrem Durchbruch von großer Bedeutung und gehört somit zur kieferorthopädischen Diagnostik und Behandlungsplanung.

Die kieferorthopädischen Probleme jedes Patienten werden in einem dentalen, einem morphologischen (Profil und Bisslage) und einem funktionellen Teilbereich eingeordnet. Innerhalb dieser Bereiche werden die Probleme nach ihrer Wichtigkeit eingestuft. Das wichtigste Problem eines Teilbereiches wird als Kernproblem definiert (Dibbets 2004).

Der Platzmangel ist in den meisten Fällen das dentale Kernproblem, also ein Problem der apikalen Basis. Durch Karies oder andere Zahnhartsubstanzverluste kommt es häufig zum Engstand der bleibenden Ersatzzähne. Eine andere Ursache für den Platzmangel in den Stützzonen kann die frühzeitige Extraktion der Milchzähne sein. Nach deren Extraktion können die bleibenden Molaren nach mesial wandern (Mesialdrift) und so den Platz für die bleibenden Zähne einnehmen (Moorrees 1959). Bredy und Hinz (zitiert von Schäffer 1997) haben gezeigt, dass 4% der untersuchten Patienten nur wegen Folgen des frühzeitigen Milchzahnverlustes kieferorthopädisch behandelt werden mussten. Bei mehr als 34% der Patienten verstärkten die Auswirkungen des vorzeitigen Milchzahnverlustes die bereits vorhandene Anomalie und komplizierten zusätzlich ihre Behandlung. Der Erhalt einer intakten Milchstützzone ist somit von großer Bedeutung. Doch auch eine intakte Milchstützzone ist keine Garantie für eine ausreichende apikale Basis, weil die Seitenzähne – vom ersten bleibenden Molar bis zum Milcheckzahn – an den Frontzähnen vorbei driften können, so dass der Platz zwischen dem seitlichen Schneidezahn und dem ersten bleibenden Molar für die Einordnung der bleibenden Stützzonenzähne eingeengt sein wird.

Die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen entscheidet nicht nur darüber, ob eine kieferorthopädische Therapie notwendig ist, sondern auch über die Behandlungsstrategie. Der Platzmangel in der apikalen Basis kann durch Distalisieren, Expandieren oder Extrahieren therapiert werden. Um diagnostische Fehlentscheidungen zu verhindern, muss die Prognose genau sein. Für welche der vorhandenen Schätzungsmethoden sich der Behandler schließlich entscheidet, hängt von der individuellen Erfahrung ab.

## **1.1. Forschungsstand**

Im Folgenden werden mehrere Ansätze vorgestellt, die für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen entwickelt worden sind; von diesen haben sich die statistischen, die röntgenologischen und die kombiniert statistisch-röntgenologischen Verfahren bewehrt.

### **1.1.1. Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen mittels eines festen Betrags**

Die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen anhand von Durchschnittswerten wurde von Black (1902) vorgeschlagen. Der Platzbedarf wird als Summe der Mittelwerte einzelner mesio-distalen Breiten der Zähne 3, 4 und 5 jedes Quadranten berechnet. Die von Schwarz (1931) ermittelten Durchschnittswerten betragen im Oberkiefer 21,9 mm und im Unterkiefer 21,4 mm. Moorrees und Reed (1957) berechnen die Mittelwerte der Stützzonenbreiten getrennt für Jungen und Mädchen. Bei Jungen sollten zwischen der distalen Fläche der seitlichen Schneidezähne und der mesialen Fläche der ersten bleibenden Molaren 21,8 mm im Oberkiefer und 21,4 mm im Unterkiefer vorhanden sein. Bei Mädchen sollen 21,2 mm im Oberkiefer und 20,6 mm im Unterkiefer ausreichend sein. Weil die Standardabweichungen der Durchschnittswerte für jeden Zahn groß sind, wird die Prognose ungenau und kann somit klinisch nicht verwendet werden.

Eine andere Methode zur Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen mittels eines festen Betrags führt Schäffer (1997) ein, die einen einheitlichen Wert von 22,0 mm vorschlägt. Dieses Platzangebot schätzt sie bei 83,5 % der Probanden als ausreichend, sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer, für die Einordnung der bleibenden Stützzonenzähne ein. In ihrer Untersuchung findet die Autorin keinen statistisch signifikanten Unterschied beim Vergleich rechter und linker Kieferhälften, Ober- und Unterkieferstützzonenbreiten sowie zwischen den Zahnbreiten von männlichen und weiblichen Probanden.



### 1.1.2. Stützzonenprognose mittels Durchschnittswerten des „leeway space“

Die mesiodistalen Breiten der bleibenden Stützzonenzähne sind kleiner als die der Milchstützzonenzähne. Dadurch entsteht ein Platzgewinn, der von Nance (1947) als „leeway space“ bezeichnet wird. Dieser Platzgewinn wurde von mehreren Autoren berechnet und in der Literatur meist als Mittelwert für den Oberkiefer und für den Unterkiefer separat angegeben.

Carey (1949) weist auf die hohe individuelle Variation zwischen den mesiodistalen Zahnbreiten der Milchzähne und deren Nachfolger hin. Das ist im Einklang mit Hixons und Oldfathers Untersuchung (1958), die einen Korrelationskoeffizienten von  $R = 0,56$  berechnen. Die Streubreite des „leeway space“ ist zwischen 0,1 mm und 4,4 mm für einen Quadranten. Das bedeutet, dass in manchen Fällen die bleibenden Stützzonenzähne fast so breit wie die Milchstützzonenzähne sind, so dass durch den Zahnwechsel in den Stützzonen kein Platzgewinn entsteht. Bei anderen Patienten kann ein Platzgewinn von insgesamt 8,8 mm vorkommen.

Korkhaus (1939) ermittelt für den Oberkiefer 1,56 mm und für den Unterkiefer 2,45 mm.

Moorrees et al. (1957) berechnen für den Oberkiefer 1,4 mm und für den Unterkiefer 2,5 mm.

Kloepfel (1958) misst die mesiodistalen Breiten der bleibenden Zähne anhand von 150 Zahnfilmen von Kindern mit intakten Milchzahnstützzonen. Er bezieht die aufnahmebedingten Vergrößerungskorrekturen der Zahnfilme mit ein. Die Ergebnisse unterteilt er in drei Patientengruppen. Bei 37% haben die bleibenden Zähne genau dieselbe Breite wie die Milchzähne, also gibt es in diesen Fällen keinen Platzgewinn. Bei 18% der Probanden sind die Milchzähne schmaler als die bleibenden. Nur in 45% der Fälle ist ein positiver „leeway space“ vorhanden.

Löhr et al. (1987) untersuchen in einer Longitudinalstudie an 60 Probanden die Bedeutung des „leeway space“. In der Mehrzahl der Fälle ist in beiden Kiefern ein positiver „leeway space“ vorhanden. Das Ausmaß dieses Platzüberschusses ist geschlechtsabhängig: Mädchen haben einen größeren „leeway space“ (im Oberkiefer 1 mm und im Unterkiefer 2,3 mm) als Jungen (0,4 mm im Oberkiefer und 1,9 mm im Unterkiefer). In 25 % der untersuchten Gebissquadranten ist ein sehr geringer „leeway space“ oder sogar Platzmangel vorhanden. In dieser Studie untersuchen sie auch, ob die Eruptionssequenz eine größere Bedeutung als der „leeway space“ für die Platzbilanz im Eckzahn- und Prämolarenbereich besitzt. Sie haben festgestellt, dass der „leeway space“ für die Platzbilanz eine wichtigere Rolle spielt als die Durchbruchsequenz.

### **1.1.3. Stützzonenprognose mittels Zusammenhänge zwischen Zahn- und Körpergröße**

Zusammenhänge zwischen Zahn- und Körpergröße werden schon 1905 von de Terra beschrieben. Garn et al. (1968) untersuchen in einer Langzeitstudie an 109 Probanden den Zusammenhang zwischen einzelner Zahn- und der Körpergröße. Sie stellen fest, dass die beiden Größen untereinander zwar korrelieren, der Korrelationskoeffizient von 0,2 jedoch sehr niedrig ist. Dieselben Ergebnisse erzielen auch Becker et al. (1973) in ihrer Studie an 184 männlichen und 104 weiblichen Probanden.

Fischer-Brandies und Butenandt (1988) stellen Regressionsgleichungen zwischen Zahn- und Körpergröße auf und zeigen, dass sich aus der zu erwartenden Körpergröße keine verwertbaren Hinweise über die Größe der noch nicht durchgebrochenen Zähne ableiten lassen.

Garn (1991) behauptet jedoch, dass die positive Korrelation zwischen den beiden Größen für die kieferorthopädische Diagnostik verwendet werden kann. Er stellt die Frage ob die Kronengröße besser zur Körpergröße in dem Alter korreliert, in dem die Mineralisation der bleibenden Zahnkronen beendet ist, und zwar zwischen dem ersten Lebensjahr für M1 und 3 Jahren für M2. Zudem stellt er fest, dass die Zahngröße auch vom Ernährungszustand beeinflusst wird.

### **1.1.4. Stützzonenprognose auf genetischer Grundlage**

Potter (1976) zeigt den genetischen Einfluss auf die Zahngrößenkorrelation und beschreibt sieben genetische Determinanten für die Zahngröße. Die bekannten links – rechts Asymmetrien werden als Ergebnis des Wechselspiels zwischen Erbgut und Umwelt gesehen.

Ausgehend von der Voraussage, dass Familienuntersuchungen zur stärkeren Individualisierung der Prognosewerte in einer Familiengruppe mit vermehrtem Auftreten des Platzmangelsymptoms führen kann, berechnen Lewis und Grainer (1967) sowie Garn et al. (1968) die Zahnbreiten der Kinder mit Hilfe der elterlichen Modelle. Diese Prognosemethode für den Einzelzahn wird jedoch von den beiden aufgrund der großen Streubreite verworfen.

Harzer (1986) geht dieser Frage unter anderen Voraussetzungen erneut nach. Auf der Grundlage von Zwillings- und Familienuntersuchungen erarbeitet er ein Verfahren zur Vorhersage der Stützzonenbreite auf genetischer Grundlage. Für die Regressionsfunktion wird die Stützzonenbreite der Eltern und die Summe der Inzisivi im Oberkiefer (SIOK) von Eltern und Kind verwendet. Nach Harzer (1986) wird die Genauigkeit der Schätzungsmethode jedoch nicht verbessert.

### 1.1.5. Stützzonenprognose mittels Korrelations- und Regressionsgleichungen

Korrelations- und Regressionsgleichungen setzen einen engen quantitativen Zusammenhang zwischen den Zahnbreiten während der ersten Wechselphase durchgebrochener bleibender Zähne und denen der Stützzone (der bleibenden Eckzähne, der ersten und zweiten Prämolaren) voraus (Garn et al. 1965). Diese Gleichungen werden oft für die Schätzung der mesiodistalen Breiten der noch nicht durchgebrochenen Stützzonenzähne verwendet. Bernabe et al. (2004) zeigen, dass die Bestimmung der mesiodistalen Zahnbreiten der bleibenden Stützzonenzähne anhand von Regressionsgleichungen eine hohe klinische Signifikanz hat.

Viele Autoren (Seipel 1946, Ballard und Wylie 1947, Moyers 1949, Tanaka - Johnston 1974) bevorzugen als unabhängige Variable der Regressionsgleichungen die unteren Frontzähne, weil diese als erste durchbrechen, einfach zu vermessen sind und die niedrigsten Form- und Größenvariationen aufweisen. Die oberen Schneidezähne haben den Nachteil, dass sie geringer mit den anderen Zahngruppen korrelieren (Moorrees und Reed 1954).

Moorrees und Reed (1954) berechnen in ihrer Untersuchung an 18 bis 20-jährigen weiblichen Probanden europäischer Abstammung Korrelationen zwischen der unteren Frontzahnsumme und den oberen und unteren Stützzonen auf. Der Korrelationskoeffizient ist 0,51 für die oberen Stützzonen und 0,58 für die unteren Stützzonen.

Platzmangel in der Stützzone tritt sowohl bei Patienten mit mittlerer Zahnbreite, als auch bei Patienten mit großer Zahnbreite auf. Somit folgern die Autoren, dass die mesiodistale Breite der Zähne keine große Rolle für die Entstehung eines Stützzonenengstandes spielt.

Moorrees und Chadha (1962) stellen Korrelationen zwischen den Milch- und den bleibenden Zähnen auf. Aus ihrer Untersuchung geht hervor, dass sich die Breiten der bleibenden Zähne aus denen der Milchzähne nicht ableiten lassen.

Moyers (1949) erstellt Wahrscheinlichkeitstabellen, welche auf einfache lineare Regressionsgleichungen beruhen. Ausgehend von der unteren Inzisivsumme (SIUK) wird der Platzbedarf der bleibenden Stützzonenzähne, bei verschiedenen Wahrscheinlichkeitsniveaus, in den Tabellen geschlechtsspezifisch und kieferspezifisch abgelesen.

Er benennt dieses Verfahren die „long method“ (Moyers 1988) und empfiehlt folgendes Vorgehen:

- Die Messung der unteren Inzisivi an Modellen und die Berechnung der unteren Frontzahnsumme (SIUK).

- Die Berechnung des Platzbedarfs für die Einordnung der unteren Schneidezähne (Frontzahnkorrektur).
- Die Berechnung des Platzangebots in den Stützzonen nach der Frontzahnkorrektur (im Oberkiefer soll auch der Overjet miteinbezogen werden)
- Die Schätzung der Breitensumme der noch nicht durchgebrochenen Zähne anhand seiner Tabellen
- Die Beurteilung der Platzverhältnisse in der apikalen Basis, indem man den Platzbedarf vom Platzangebot subtrahiert.

Berendonk (1965) berechnet die Anhaltswerte für die zu erwartende Breite von Eckzahn und Prämolaren beider Kiefer und ermittelt diese in einer Tabelle. Seine Tabelle basiert auf Regressionsgleichungen, in denen als unabhängige Variable die obere Schneidezahnsumme (SIOK) dient. Diese Methode unterscheidet weder zwischen männlichen und weiblichen Probanden noch zwischen linker und rechter Kieferhälften.

Die Methode von Miethke (1972) beruht auch auf einfache lineare Regressionsgleichungen. Für die Oberkieferprognose wird als unabhängige Variable die obere Frontzahnsumme (SIOK) verwendet, während für den Unterkiefer die untere Frontzahnsumme (SIUK) dafür dient. Diese Methode unterscheidet nicht zwischen männlichen und weiblichen Probanden. Der Platzbedarf in den Stützzonen wird mit folgenden Formeln berechnet:

$$Y_{[OK]} = SIOK/3 + 10 \text{ mm}$$

$$Y_{[UK]} = SIUK/2 + 10 \text{ mm}$$

In einer Studie an 506 Modellen von kieferorthopädisch behandelten Patienten stellen Tanaka und Johnston (1974) zwei Formeln für die Berechnung der Platzverhältnisse in der apikalen Basis auf, jeweils eine für den Oberkiefer und eine für den Unterkiefer. Die Autoren gehen von der unteren Inzisivsumme (SIUK) aus, welche in ihrer Formel halbiert wird. Um die Breite der noch nicht durchgebrochenen Zähne zu schätzen, werden zu dem errechneten Wert 11 mm für den Oberkiefer und 10,5 mm für den Unterkiefer addiert. Diese Methode ist einfach und die Formeln sind leicht zu merken:

$$Y_{[OK]} = SIUK/2 + 11,0 \text{ mm}$$

$$Y_{[UK]} = SIUK/2 + 10,5 \text{ mm}$$

Die Methode von Tränkmann und Raufmann (1983) beruht auch auf einfache lineare Regressionsgleichungen. Weil die Regressionsgleichungen für männliche und weibliche Probanden unterschiedlich aufgebaut sind, empfehlen die Autoren ein geschlechts- und quadrantenspezifisches Vorgehen. Als unabhängige Variable der Regressionsgleichungen wird die Summe des ersten Molaren und des seitlichen Schneidezahnes des jeweiligen Kieferquadranten eingesetzt. Der Platzbedarf in den Stützzonen wird mit folgenden Formeln berechnet:

a. Männliche Probanden:

$$Y_{[OK]} = 0,93 \times (\text{erster Molar} + \text{seitlicher Schneidezahn}) + 5,50$$

$$Y_{[UK]} = 0,94 \times (\text{erster Molar} + \text{seitlicher Schneidezahn}) + 5,06$$

b. Weibliche Probanden:

$$Y_{[OK]} = 0,99 \times (\text{erster Molar} + \text{seitlicher Schneidezahn}) + 4,47$$

$$Y_{[UK]} = 0,94 \times (\text{erster Molar} + \text{seitlicher Schneidezahn}) + 4,43$$

Bachmann (1986) berechnet den Platzbedarf für die bleibenden Stützzonenzähne anhand von multiplen linearen Regressionsgleichungen. Da die unabhängigen Variablen unterschiedlich gewichtet werden, ermöglichen die multiplen linearen Regressionsgleichungen eine präzisere Prognose. Diese Methode unterscheidet nicht zwischen männlichen und weiblichen Probanden. Bachmann setzt die mesiodistale Breite der Zähne 22, 26 und 32 als unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen ein. Der Platzbedarf in den Stützzonen wird laut diesem Verfahren durch folgende Formeln berechnet:

$$Y_{[OK]} = 0,81 \times (22) + 0,54 \times (26) + 0,56 \times (32) + 6,98$$

$$Y_{[UK]} = 0,71 \times (22) + 0,39 \times (26) + 0,86 \times (32) + 6,96$$

Groß und Hasund (1989) ersetzen in Bachmanns Regressionsgleichungen den mesiodistalen Durchmesser des Zahnes 26 durch den bukkolingualen Durchmesser von 36 (36 b-l):

$$Y_{[OK]} = 0,61 \times (22) + 0,80 \times (32) + 0,65 \times (36 \text{ b-l}) + 5,66$$

$$Y_{[UK]} = 0,63 \times (22) + 0,84 \times (32) + 0,67 \times (36 \text{ b-l}) + 4,47$$

Um die Genauigkeit der Schätzungsmethode zu verbessern, ziehen Groß und Hasund (1989) den mesiodistalen Durchmesser eines bereits durchgebrochenen Stützzonenzahnes in die Gleichung ein:

chungen heran. Für die Oberkieferprognose wird der Zahn 34 und im Unterkiefer der Zahn 24 verwendet. Die Formeln für die Schätzung des Platzbedarfs im Oberkiefer und Unterkiefer lauten:

$$Y_{[OK]} = 1,20 \times (34) + 0,84 \times (32) + 0,45 \times (36 \text{ b-l}) + 3,32$$

$$Y_{[UK]} = 1,54 \times (34) + 0,69 \times (32) + 0,43 \times (36 \text{ b-l}) + 1,48$$

Die frühen statistischen Schätzungsmethoden beruhen auf einfachen linearen Regressionsgleichungen, in denen eine Zahngruppe als unabhängige Variable miteinbezogen ist, wie zum Beispiel die Summe der UK-Inzisivi (Seipel 1946, Ballard und Wylie 1947, Moyers 1949, Tanaka und Johnston 1974), die Summe der OK-Inzisivi (Berendonk 1965) oder die Summe der Oberkiefer- und Unterkieferinzisivi (Miethke 1972).

Ausgehend von der Tatsache, dass nicht alle Zahnbreiten einer Gruppe in gleich hohem Ausmaß mit den Stützzonenbreiten korrelieren, suchen andere Autoren nach neuen Kombinationsmöglichkeiten, um die Stützzonenprognose zu verbessern. So bezieht Tränkmann (1983) neben den seitlichen Schneidezähnen auch die ersten Molaren in die Regressionsgleichungen ein. Drei Jahre später stellt Bachmann (1986) eine Schätzungsmethode auf, in der die Zähne 22, 26 und 32 als unabhängige Prädiktoren in die Gleichungen eingehen. Obwohl die seitlichen Schneidezähne im Oberkiefer die höchste Variabilität aufweisen, zeigen sich diese in Bachmanns Studie (1986) als sehr geeignet für die Bestimmung des Platzbedarfs in den Stützzonen.

In den letzten 15 Jahren sind mehrere Schätzungsmodelle mit allen möglichen Kombinationen von unabhängigen Variablen erstellt worden. Bei der Auswahl der Prädiktoren zeigt sich ein ethnischer Unterschied für den Korrelationskoeffizient zwischen den Stützzonenbreiten und dem Durchmesser der bleibenden Zähne die sich außerhalb der Stützzonen befinden (Al Khadra 1993, Richardson 1975, Bishara et al. 1989, Jaroontham et al 2000, Nourallah et al. 2002, Flores-Mir et al. 2003, Legovic et al. 2003, Bernabe et al. 2005).

### **1.1.6. Schätzungsverfahren anhand von Röntgenbildern**

Die Bestimmung der mesiodistalen Breiten der noch nicht durchgebrochenen Unterkieferstütz-  
zonenzähne anhand von Röntgenbildern wurde von Nance (1947) eingeführt. Die Durchmesser  
der Eckzähne und der beiden Prämolaren werden direkt an Zahnfilmen gemessen, wobei die  
aufnahmebedingte Vergrößerung nicht berücksichtigt wird. Cohen (1958) versucht diesen sys-  
tematischen Fehler zu korrigieren, indem er das Verhältnis zwischen den an Modellen und am  
Röntgenbild gemessene Breite des ersten bleibenden Molars mit einbezieht.

Sampson und Richards (1985) und später de Paula (1995) schlagen ein Röntgenverfahren für  
die Bestimmung der mesiodistalen Breiten der Eckzähne und Prämolaren vor, wobei die  
Durchmesser dieser Zähne anhand von Fernröntgenseitenbilder mit 45 Grad schräg eingestell-  
ter Kopfhaltung gemessen werden. Der systematische Fehler wird anhand einer Korrekturtabel-  
le bestimmt. De Paula (1995) zeigt, dass die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen an-  
hand von FRS mit schräg eingestellter Kopfhaltung genauere Ergebnisse ergibt als die statisti-  
schen Verfahren von Tanaka und Johnston (1974), Moyers (1949) oder Ballard und Wylie  
(1947).

Lima und Monnerat (1993) korrigieren die anhand von FRS gemessenen Zahnbreiten, indem  
sie den gemessenen Wert mit 0,982 multiplizieren.

### 1.1.7. Kombiniert röntgenologisch–statistische Methoden

Um den Platzbedarf für die bleibenden Stützzonenzähne zu bestimmen, entwickeln Hixon und Oldfather (1958) eine kombiniert röntgenologisch-statistische Methode, die jedoch nur für den Unterkiefer anwendbar ist. Die Autoren messen einerseits die mesiodistalen Zahnbreiten des mittleren und des seitlichen Schneidezahnes an Modellen und andererseits die Breiten des ersten und zweiten Unterkieferprämolaren an Zahnfilmen. Die Röntgenbilder werden mit einem Longcone von 40 cm an einem 65 KV/10mA – Apparat erstellt.

Die gemessenen Zahnbreiten dienen als unabhängige Variablen für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen mittels Regressionsgleichungen, wobei die Vergrößerungskorrektur aus dem Verhältnis der Milchstützzonenzähne an Modellen und an Röntgenbildern bestimmt wird. Um die Methode benutzerfreundlich zu gestalten, fassen die Autoren die errechneten Werte in einer Tabelle zusammen.

Staehe (1958) erweitert die röntgenologische Bestimmung der Prämolarenbreiten an Röntgenbildern unter Verwendung eines Shortcone von 12 cm auf den Oberkiefer. Wegen der projektionsbedingten Vergrößerung bringt der Autor pro Prämolar einen Korrekturwert von 0,5 mm für den systematischen Fehler in Abzug.

Die Eckzahnbreite ermittelt Staehe, indem er auf dem Modell den gleichseitigen mittleren Schneidezahn misst und in einer Tabelle die entsprechende Eckzahnbreite geschlechts- und kieferabhängig getrennt abliest.

Herren und Reisfeld (1970) gehen nach dem Prinzip von Staehe vor, verwenden allerdings einen Longcone von 30 cm an einem 50 KV/10mA Gerät für die Aufnahme. Zusätzlich wird sowohl die Kopfeinstellung des Patienten am Röntgengerät als auch die Röhreneinstellung voll standardisiert. Entsprechend den geänderten Abstandsbedingungen wird ein einheitlicher Korrekturwert von 0,2 mm pro Prämolar vom gemessenen Wert abgezogen. Die Eckzahnbreite wird anhand einer Tabelle bestimmt.

Ingervall und Lennartsson (1978) versuchen anhand von 77 weißen Probanden mit Hilfe von multiplen linearen Regressionsgleichungen die Genauigkeit der kombinierten Methoden zu verbessern. Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen sind die an Röntgenbildern gemessenen mesiodistalen Breiten der Eckzähne ( $C_{inf}$ -Rö), Prämolaren (PM1-Rö, PM2-Rö) und der bukkolinguale Durchmesser des an Modellen gemessenen ersten bleibenden Molar



(M1(b-I)). Die Gleichungen zur Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen stellen sich wie folgt dar:

$$Y_{[OK]} = 4,77 + 0,55 \times \mathbf{M1(b-I)} + 0,73 \times \mathbf{PM1-Rö} + 0,58 \times \mathbf{PM2-Rö}$$

$$Y_{[UK]} = 4,49 + 1,14 \times \mathbf{PM1-Rö} + 0,62 \times \mathbf{C_{inf-Rö}} + 0,47 \times \mathbf{PM2-Rö}$$

Eine andere Verbesserung der Schätzungsgenauigkeit dieser Studie besteht darin, einen bereits durchgebrochenen Prämolare für die Prognose mit einzubeziehen.

Staley und Hoag (1978) und Staley et al. (1979) erstellen mehrere Regressionsgleichungen sowohl für die Oberkiefer- als auch für die Unterkieferprognose, wobei sie ein geschlechtsspezifisches und quadrantenspezifisches Vorgehen vorschlagen. Vier Jahre später veröffentlichen Staley et al. (1983) eine Studie anhand derselben Probandengruppen und empfehlen, dass eine Schätzungsmethode, die nach Geschlecht oder Quadrant getrennt erstellt wird, nicht sinnvoll ist. Staley und Kerber (1980) modifizieren die Methode von Hixon und Oldfather (1958), indem sie beide Quadranten ausmessen und den Mittelwert zwischen den jeweiligen homologen Zähnen in die Regressionsgleichungen einsetzen. Dadurch berechnen sie einen höheren Korrelationskoeffizient und eine geringere Standardabweichung der Regressionsgleichungen. Die modifizierte Regressionsgleichung nach Staley und Kerber (1980) stellt sich dann wie folgt dar:

$$Y_{[UK]} = 0,7158 \times (\mathbf{A}) + 2,1267$$

wobei

Y = Mittelwert zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite

A = Summe der durchschnittlichen Breiten der an Modellen gemessen mittleren und seitlichen Schneidezähne, und die an Röntgenbildern gemessen Breite der ersten und zweiten Prämolaren, ist.

Die Verwendung von Fernröntgenseitenbildern mit schräg eingestellter Kopfhaltung zur Schätzung von Zahnbreiten kommt auch bei den kombinierten Methoden zum Einsatz. So bestimmen Martinelli et al. (2005) den Durchmesser des ersten linken UK-Prämolaren anhand von FRS und verwenden diesen als unabhängige Variable in folgender Regressionsgleichung:

$$\Sigma = (Y \times 4) + 14$$

wobei

$\Sigma$  - die Summe der mesiodistalen Zahnbreiten aller 6 UK-Stützzonenzähne

Y – die mesiodistale Zahnbreite des ersten UK-Prämolar, anhand von FRS gemessen, ist.

## **1.2. Ziel der Studie**

Die Schätzung der mesiodistalen Durchmesser bleibender Stützzonenzähne vor ihrem Durchbruch ist für die kieferorthopädische Diagnostik und Behandlungsplanung von großer Bedeutung. Um die Behandlungsplanung nicht negativ zu beeinflussen, muss das Stützzonenverfahren sehr genaue Ergebnisse liefern.

Die röntgenologischen Methoden und die kombiniert röntgenologisch-statistischen Verfahren sind sehr aufwendig und erfordern hoch standardisierte Aufnahmetechniken. Diese Methoden sind außerdem mit einer zusätzlichen Strahlenbelastung verbunden, so dass sie heutzutage nur noch selten angewandt werden.

Die reinen statistischen Verfahren, die auf multiple lineare Regressionsgleichungen gründen, ermöglichen eine sehr präzise Prognose, weil die unabhängigen Variablen separat gewichtet werden.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist einerseits die Genauigkeit mehrerer Methoden zur Stützzonenanalyse anhand unseres Probandengutes zu überprüfen, und andererseits die Stützzonenprognose anhand von multiplen linearen Regressionsgleichungen zu verbessern. Dafür soll eine Kombination von Zahnbreiten gefunden werden, mit der die Stützzonenbreiten von hessischen Patienten am höchsten korrelieren.

Ziel dieser Arbeit ist es auch festzustellen, ob die Einbeziehung eines bereits in die Mundhöhle durchgebrochenen Stützzonenzahnes die Prognose verbessert.

Die erstellten Prognosemodelle werden anhand einer Kontrollgruppe von 97 Probanden überprüft.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Material

Das Material dieser Studie besteht aus einer Untersuchungsgruppe und einer Kontrollgruppe. Die Untersuchungsgruppe besteht aus Modellpaaren (Oberkiefer und Unterkiefer) von 223 Patienten der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätszahnklinik Marburg. Davon sind 114 Patienten weiblich und 109 männlich. An keinem der Patienten wurden Extraktionen oder Reduktion von Zahnhartsubstanz (Strippen) während der kieferorthopädischen Behandlung durchgeführt.

Die Messwerte von 168 Patientenmodellen wurden aus der Studie von Margane (1995) übernommen. In seiner Untersuchung wurden die mesiodistalen Breiten der Zähne von 15 bis 45 gemessen. Er gibt jedoch keine Daten über die Zahnbreiten der ersten und zweiten bleibenden Molaren des Ober- und Unterkiefers.

Zusätzlich wurden von uns 55 Modellpaare aus dem Archiv der kieferorthopädischen Abteilung gemessen, welche dieselben Kriterien wie bei Margane erfüllt haben. Die Aufnahmekriterien sind folgende:

- Die Patienten haben die zweite Wechselphase abgeschlossen;
- Die Modelle sind ohne Gußfehler;
- Die Kontaktpunkte zwischen den Zähnen sind gut erkennbar;
- Die Modelle sind vollbezahnt;
- Alle Zähne sind bis zur Okklusionsebene durchgebrochen;
- Die Zähne weisen keine Form-, Größe- oder Strukturanomalien auf;
- Es besteht kein Verlust an Zahnhartsubstanz durch Karies, Trauma oder Füllungen im Approximalbereich.

Die Kontrollgruppe besteht aus Modellpaaren von 97 Patienten, die in der kieferorthopädischen Abteilung des Universitätszahnklinikums Marburg behandelt wurden. Davon sind 49 männlich und 48 weiblich. Die Einschlusskriterien stimmen mit denen unserer Untersuchungsgruppe überein. Die Messungen sind von einem anderen Untersucher (Fleancu 2005) durchgeführt worden, wobei das gleiche Messverfahren wie bei unserer Untersuchungsgruppe verwendet wurde.

Für jeden der Patientenfälle beider Gruppen waren mindestens 3 Modellpaare (Anfangs-, Zwischen- und Schlussmodelle) vorhanden. Um den Zahnhartsubstanzverlust als Folge der Attrition auf einem Minimum zu reduzieren (Geim 2004), sollte der Patient bei der Modellanfertigung möglichst jung sein. Andererseits mußte der zweite bleibende Molar schon vollständig durchgebrochen sein.

In den meisten Fällen wurde ein kieferorthopädisches Zwischenmodell für die Messung verwendet.

In Fällen mit großem Platzmangel, wo die Messungen wegen Rotationen und Kippungen zu ungenau wären, wurden diese an den Schlussmodellen durchgeführt.

## 2.2. Methoden:

### 2.2.1. Messverfahren

An den Modellen wurden – mit Hilfe einer digitalen Präzisionsschieblehre der Firma Brown & Sharpe/Schweiz – die mesiodistalen Breiten vom Inzisivus bis einschließlich der zweiten Molaren im Ober- und im Unterkiefer gemessen. Die Genauigkeit der Schieblehre beträgt zwei hundertstel Millimeter auf 100 Millimeter.

Die im Handel erhältliche Schieblehre wurde modifiziert, indem die ursprüngliche Breite der Meßbrangen auf circa 0,3 mm reduziert worden ist. Dadurch konnte das Meßinstrument problemlos in den Interdentalräumen eingeführt werden.

An Marganes Untersuchungsmaterial wurden von uns zusätzlich die mesiodistalen Kronendurchmesser der ersten und zweiten bleibenden Molaren jedes Quadranten gemessen.

Die bei Margane beschriebene Meßmethode entspricht der in den meisten Literaturangaben verwendeten Methode (Seipel 1946). In der vorliegenden Studie wurden die Breitenmessungen in der gleichen Weise durchgeführt, damit die zusätzlichen Meßwerte mit denen aus der Literatur vergleichbar sind.

Dazu wurden die mesiodistalen Zahnbreiten im oberen Drittel der Zahnkronen am Approximalpunkt gemessen. Die Schieblehre wurde senkrecht auf die Längsachse der Zähne plaziert. Bei nicht eindeutigen Kontaktpunkten zweier Zähne wurde ein Markierungspunkt in der Mitte der Papille gesetzt. Wegen der bauchigen Zahnanatomie wurden die unteren Eckzähne im gingivalen Kronendrittel gemessen. Bei engstehenden Frontzähnen wurden die Zahnbreiten von inzisal gemessen.

Neben den für jedes Modell gemessenen Zahnbreiten (von 17 bis 47) wurden bei jedem Probanden noch Geschlecht und die Person, die die Messungen durchgeführt hat, mit aufgenommen.

### 2.2.2. Messfehler

Der zufällige Fehler, der sich im Vergleich zum systematischen nur verringern und nicht eliminieren lässt, wurde in dieser Untersuchung mit Dahlbergs (1940) Formel bestimmt:

$$d = \sqrt{\sum d^2 / 2n}$$

wobei

$d$  = die Differenz zwischen den einzelnen Messwerten

$n$  = die gesamte Anzahl der durchgeführten Doppelmessungen, ist.

Es wurden 25 Modellpaare aus dem gesamten Material zufällig ausgewählt, wobei alle 28 Zähne ein zweites Mal gemessen wurden.

### **2.2.3 Die Stützzonenbreite**

Die Stützzone wird aus der Summe der mesiodistalen Durchmesser des bleibenden Eckzahnes und der beiden Prämolaren eines Quadranten gebildet. Weil die links/rechts Unterschiede sehr gering sind, wurde der Mittelwert zwischen den beiden Kieferhälften für die Prognose verwendet.

### **2.2.4 Statistische Methoden**

#### **2.2.4.1. Mittelwerte**

Der Mittelwert ist das arithmetische Mittel der Meßwerte und berechnet sich daher aus der Summe der Meßwerte geteilt durch ihre Anzahl. Es wurden die Mittelwerte aller 28 Zähne berechnet und diese mit den Werten in der Literatur verglichen.

#### **2.2.4.2. Korrelations- und Regressionsgleichungen**

Die korrelationsstatistischen Verfahren gehen von der Annahme aus, dass zwischen zwei oder mehreren Variablen ein linearer Zusammenhang existiert, und ermitteln die Stärke dieses Zusammenhangs. In dieser Studie wird der Zusammenhang zwischen den Zähnen, die in der ersten Wechselphase durchbrechen, und die der bleibenden Stützzone untersucht.

Der Grad der Übereinstimmung wird durch den Korrelationskoeffizienten angezeigt, der Werte zwischen +1 und -1 aufweisen kann. Die positiven Werte zeigen, dass sich die Variablen gleichsinnig verhalten. Bei negativen Werten verhalten sich die Variablen gegensinnig. Je näher der Korrelationskoeffizient an 1 liegt, desto höher ist der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen und je näher an 0, desto niedriger.

Regressionsgleichungen dienen dazu, die Art dieses Zusammenhangs aufzudecken beziehungsweise den Wert einer abhängigen Variablen aus den Werten anderer unabhängigen Variablen zu schätzen. Sie gehen von der Annahme aus, dass zwischen den unabhängigen und den abhängigen Variablen eine lineare Beziehung existiert. Anders gesagt, die Stützzonenbreite

(abhängige Variable) wird aus den Werten der schon in der ersten Wechselphase durchgebrochenen Zähne (unabhängige Variablen) abgeleitet. Der multiple Korrelationskoeffizient und dessen Quadratsumme werden berechnet.

Es gibt 2 Möglichkeiten Regressionsgleichungen aufzubauen: einfache und multiple lineare Regressionsgleichungen. Die einfachen haben den Vorteil weniger kompliziert zu sein, weil eine einzige Variable vorhanden ist. Durch die Bildung der Summe mehrerer Zahnbreiten lässt sich eine Regressionsgleichung mit mehreren unabhängigen Variablen in eine einfache Regressionsgleichung überführen. Durch dieses Verfahren wird die Prognose ungenauer, da lediglich ein einziger Anpassungskoeffizient vor dieser Summe verwendet wird.

Multiple lineare Regressionsgleichungen sind so aufgebaut, dass vor jeder unabhängigen Variable ein Anpassungskoeffizient steht und somit die Prognose präziser ist; der Nachteil besteht allerdings in der komplizierteren Berechnungsweise.

#### **2.2.4.3. Streudiagramme**

Streudiagramme stellen die gemeinsame Verteilung der Werte zweier Variablen graphisch dar. Aus der Lage und der Verteilung der Wertepaare können Rückschlüsse auf einem möglichen Zusammenhang zwischen den Variablen gezogen werden.

Im vorliegenden Fall dienen sie zur Beschreibung des Verhältnisses zwischen der errechneten und der vorhandenen Stützzonenbreite.

#### **2.2.4.4. Student t-Test**

Durch den Student t-Test wird überprüft, inwieweit eine Differenz zwischen den Mittelwerten verschiedener Stichproben zufallsbedingt oder nicht ist. Es wird vorausgesetzt, dass die untersuchten Merkmale in der Stichprobe normal verteilt sind.

#### **2.2.4.5. Signifikanzniveau**

Die Differenz zwischen den Mittelwerten ist signifikant, wenn  $p < 0,05$  ist.



## 2.2.5. Bestimmung der optimalen Kombination für die Stützzonenprognose

### 2.2.5.1. Die Anzahl der unabhängigen Variablen

Der Prognosemethode unserer Untersuchung liegen multiple lineare Regressionsgleichungen zugrunde. Weil eine leicht durchführbare Methode wünschenswert wäre, sollte die Anzahl der unabhängigen Variablen möglichst gering sein.

Wenn alle 16 Zähne, die sich außerhalb der Stützzonen befinden, als unabhängige Variablen in die Gleichung mit einbezogen würden, wäre die Prognose am genauesten. Dieses Verfahren ist jedoch zu aufwendig und hat somit keinen klinischen Wert.

Um eine leicht anwendbare und zugleich präzise Methode zu erstellen, wurde die optimale Anzahl der unabhängigen Variablen gesucht. Dafür wurden am Anfang Regressionsgleichungen mit 16 unabhängigen Variablen aufgestellt und den multiplen Korrelationskoeffizient R berechnet. Dann wurden systematisch Regressionsgleichungen mit einer geringeren Anzahl von Zähnen als unabhängige Variablen aufgestellt und die multiplen Korrelationskoeffizienten berechnet. Es konnte festgestellt werden, dass die Genauigkeit der Voraussagemethode mit 3 oder 4 unabhängige Variablen sich nur gering von der mit 16 Zähnen unterscheidet.

### 2.2.5.2. Die Auswahl der unabhängigen Variablen

Die mesiodistalen Zahnbreiten der Zähne, die für die Prognose verwendet werden, gehen in die Regressionsgleichungen als unabhängigen Variablen ein. Es standen 16 Zähne zur Verfügung: der erste und zweite bleibende Molar, der seitliche und mittlere Schneidezahn aus jedem Quadrant. Für die Schätzungsmethode musste die Kombination von 3 oder 4 dieser 16 Zähne ausgesucht werden, und zwar diejenigen, mit denen die Stützzonenbreiten am meisten korrelieren. Die Möglichkeiten aus 16 Zähnen, 3 oder 4 zu kombinieren (Kombinationen ohne Wiederholung) wurden mit folgender Formel (Bronstein und Semendjajew 1991) bestimmt:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

wobei

n = die Anzahl der zur Verfügung stehenden Zähne (16)

k = die Anzahl der zu kombinierenden Zähne (3 oder 4), ist.

Daraus ergeben sich 560 bzw. 1820 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten.

Die beste Kombination wurde mit Hilfe eines von Herrn Dr. Müller in R (R Development Core Team 2005) geschriebenen Programms (s. Anhang) bestimmt. Dieses Programm ermöglicht die Aufstellung von Regressionsgleichungen für jede Kombinationsmöglichkeit und die Berechnung der sich daraus ergebenden multiplen Korrelationskoeffizienten R. Die berechneten R-Werte werden in absteigender Reihenfolge sortiert, um die Kombination mit den höchsten Werten zu bestimmen.

### **2.2.6. Untersuchung der Genauigkeit verschiedener Schätzungsmethoden anhand unserer Probandengruppe**

Die Genauigkeit der in der Literatur angegebenen Schätzungsmethoden wird folgenderweise untersucht:

#### **1. Schätzungsmethoden, die auf einer mathematischen Formel basieren**

Die Prognosewerte für die zu erwartenden Stützzonenbreiten werden für jeden Patientenfall mit Hilfe der statistischen Software SPSS (Version 12.0.1.) laut Formel berechnet. Diese stellen die geschätzten Werte dar.

Die Mittelwerte der Stützzonenbreiten (MwSzOk und MwSzUk) repräsentieren den tatsächlichen Wert, mit denen die Prognosewerte verglichen werden.

Im Idealfall stimmen die geschätzten mit den tatsächlichen Werten überein. Die untersuchte Methode ist umso genauer, je näher die Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Werten bei Null liegt und je geringer die Streuung ist. Diese Differenzen werden mit Hilfe von Histogrammen graphisch dargestellt. Sie zeigen die gesamte Streuung, den Mittelwert und die Standardabweichung.

#### **2. Methoden mittels Voraussagetabellen (Methode nach Moyers und Berendonk)**

Der Unterschied zu den oberen besteht darin, dass die geschätzten Werte in Tabellen, ausgehend von der unteren Inzisivsumme (Methode nach Moyers) oder von der oberen Inzisivsumme (Methode nach Berendonk), abgelesen werden. Diesen Tabellen liegen auch Regressionsgleichungen zugrunde.

Für die Überprüfung der Genauigkeit dieser Methoden werden die geschätzten Werte von den tatsächlichen (MwSzOk, MwSzUk) abgezogen. Die somit berechneten Differenzen werden anhand von Histogrammen graphisch dargestellt.

### **2.2.7. Untersuchung der Genauigkeit unserer Schätzungsmethode anhand einer Kontrollgruppe**

Die Überprüfung der Genauigkeit unserer Schätzungsmethode anhand der Kontrollgruppe erfolgt wie oben beschrieben (siehe Kapitel: Untersuchung der Genauigkeit verschiedener Voraussagemethoden anhand unserer Probandengruppe).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Methodenfehler

In der vorliegenden Studie wurde der Messfehler für jeden der 28 gemessenen Zähne berechnet. Für die Bestimmung des Methodenfehlers wurden zufällig 25 Modellpaare ausgewählt, an denen alle Zähne ein zweites Mal vermessen worden sind (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1 - Methodenfehler berechnet nach Dahlberg.

<b>ZAHN</b>	<b>METHODENFEHLER (mm)</b>	<b>ZAHN</b>	<b>METHODENFEHLER (mm)</b>
17	0,10	37	0,08
16	0,03	36	0,06
15	0,05	35	0,06
14	0,05	34	0,05
13	0,06	33	0,06
12	0,06	32	0,05
11	0,05	31	0,04
21	0,03	41	0,04
22	0,05	42	0,06
23	0,06	43	0,07
24	0,05	44	0,06
25	0,05	45	0,06
26	0,06	46	0,06
27	0,09	47	0,09

Der nach Dahlberg (1940) berechnete Messfehler dieser Studie beträgt im Durchschnitt 0,06 mm. Am genauesten lassen sich die Zähne 16 und 21 vermessen. Der Methodenfehler ist für die zweiten bleibenden Molaren am größten (0,08 – 0,10 mm).

#### 3.2. Die mesiodistalen Breiten einzelner Zähne

Die Mittelwerte aller 28 gemessenen Zähne von hessischen Patienten, der Maximum- und Minimumwert sowie die Spannbreite sind in Tabelle 2 angeführt. Es wird deutlich, dass die Unterschiede der mesiodistalen Zahnbreiten von homologen Zähnen sehr gering sind. Die geringste Standardabweichung weisen die unteren Frontzähne (zwischen 0,34 und 0,37 mm) und die oberen ersten Prämolaren (0,38 mm) auf. Die höchste Standardabweichung haben im Unterkiefer die ersten und zweiten Molaren (zwischen 0,60 und 0,64 mm) und im Oberkiefer die zweiten Molaren (0,59 mm für den Zahn 17 und 0,61 mm für den Zahn 27) und die seitlichen Schneidezähne (0,57 mm für den Zahn 12 und 0,60 mm für den Zahn 22).

Tabelle 2 – Mittelwerte einzelner Zähne (Werte in mm).

<b>OK-ZAHN</b>	<b>n</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Spannweite</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>
17	223	11,29	7,98	3,31	9,57	0,59
27	223	10,24	8,04	2,20	9,61	0,61
16	223	12,17	9,10	3,07	10,40	0,59
26	223	11,90	9,11	2,79	10,30	0,58
15	223	7,80	5,60	2,20	6,69	0,39
25	223	7,91	5,50	2,41	6,74	0,40
14	223	7,85	5,83	2,02	6,98	0,38
24	223	8,08	5,90	2,18	7,01	0,38
13	223	8,91	6,60	2,31	7,79	0,43
23	223	9,01	6,60	2,41	7,77	0,43
12	223	8,34	5,28	3,06	6,73	0,57
22	223	9,94	5,30	4,64	6,79	0,60
11	223	9,99	7,16	2,83	8,72	0,49
21	223	10,02	7,46	2,56	8,76	0,48

<b>UK-ZAHN</b>	<b>n</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Spannweite</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>
47	223	11,88	8,80	3,08	10,11	0,60
37	223	12,04	8,48	3,56	10,15	0,64
46	223	12,51	9,40	3,11	10,82	0,62
36	223	12,61	9,41	3,2	10,85	0,62
45	223	8,39	5,88	2,51	7,11	0,45
35	223	8,28	6,04	2,24	7,09	0,47
44	223	8,11	5,79	2,32	7,03	0,42
34	223	8,21	5,92	2,29	7,02	0,43
43	223	7,75	5,65	2,10	6,81	0,40
33	223	7,93	5,63	2,30	6,80	0,44
42	223	6,87	5,16	1,71	5,95	0,37
32	223	6,75	5,27	1,48	5,94	0,36
41	223	6,49	4,45	2,04	5,40	0,36
31	223	6,49	4,51	1,98	5,41	0,34

Die Unterschiede zwischen den Zahnbreiten männlicher und weiblicher Probanden sind in Tabelle 3 angeführt. Dabei kann festgestellt werden, dass die Mittelwerte aller 28 Zähne größer bei Jungen als bei Mädchen sind. Durch den Student t-Test wurde überprüft, in wie weit diese Differenz zwischen den Mittelwerten zufallsbedingt oder nicht ist. Die Unterschiede zwischen den Zahnbreiten von männlichen und weiblichen Probanden waren statistisch signifikant bis auf die oberen seitlichen Schneidezähne und Zahn 41 (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3 – Unterschiede zwischen den Zahnbreiten von männlichen und weiblichen Patienten (\*=signifikant).

<b>OK-Zahn</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>n</b>	<b>MW (mm)</b>	<b>SD (mm)</b>	<b>p</b>
17	Männlich	109	9,70	0,57	.001*
	Weiblich	114	9,43	0,58	
27	Männlich	109	9,76	0,61	.000*
	Weiblich	114	9,45	0,56	
16	Männlich	109	10,52	0,56	.002*
	Weiblich	114	10,28	0,59	
26	Männlich	109	10,40	0,61	.011*
	Weiblich	114	10,20	0,54	
15	Männlich	109	6,78	0,37	.001*
	Weiblich	114	6,60	0,38	
25	Männlich	109	6,82	0,37	.003*
	Weiblich	114	6,66	0,41	
14	Männlich	109	7,10	0,36	.000*
	Weiblich	114	6,87	0,36	
24	Männlich	109	7,13	0,36	.000*
	Weiblich	114	6,89	0,36	
13	Männlich	109	7,97	0,41	.000*
	Weiblich	114	7,62	0,36	
23	Männlich	109	7,94	0,42	.000*
	Weiblich	114	7,61	0,37	
12	Männlich	109	6,79	0,54	.141
	Weiblich	114	6,68	0,58	
22	Männlich	109	6,86	0,61	.082
	Weiblich	114	6,72	0,59	
11	Männlich	109	8,79	0,45	.033*
	Weiblich	114	8,65	0,51	
21	Männlich	109	8,84	0,44	.011*
	Weiblich	114	8,68	0,50	

<b>UK-Zahn</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>n</b>	<b>MW (mm)</b>	<b>SD (mm)</b>	<b>p</b>
47	Männlich	109	10,24	0,60	.003*
	Weiblich	114	9,99	0,59	
37	Männlich	109	10,30	0,64	.002*
	Weiblich	114	10,02	0,60	
46	Männlich	109	10,97	0,64	.000*
	Weiblich	114	10,68	0,58	
36	Männlich	109	11,00	0,60	.000*
	Weiblich	114	10,70	0,59	
45	Männlich	109	7,23	0,43	.000*
	Weiblich	114	6,99	0,43	
35	Männlich	109	7,21	0,50	.000*
	Weiblich	114	6,97	0,41	

<b>UK-Zahn</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>n</b>	<b>MW (mm)</b>	<b>SD (mm)</b>	<b>p</b>
44	Männlich	109	7,15	0,37	.000*
	Weiblich	114	6,92	0,44	
34	Männlich	109	7,14	0,38	.000*
	Weiblich	114	6,91	0,44	
43	Männlich	109	7,01	0,36	.000*
	Weiblich	114	6,61	0,33	
33	Männlich	109	7,03	0,39	.000*
	Weiblich	114	6,59	0,36	
42	Männlich	109	6,00	0,39	.042*
	Weiblich	114	5,90	0,34	
32	Männlich	109	6,01	0,37	.009*
	Weiblich	114	5,88	0,33	
41	Männlich	109	5,44	0,34	.156
	Weiblich	114	5,37	0,36	
31	Männlich	109	5,46	0,33	.022*
	Weiblich	114	5,36	0,33	

### 3.3. Die ethnischen Unterschiede der mesiodistalen Zahnbreiten

Auf die Zahnbreitenunterschiede zwischen den verschiedenen ethnischen Gruppen weisen mehrere Autoren hin (Richardson et al 1975, Frankel et al. 1986, Merz et al. 1991, Al Khadra 1993, Jaroontham et al. 2000, Nourallah et al. 2002, Flores-Mir et al. 2003, Legovic et al. 2003, Bernabe et al. 2005). Daher ist es notwendig, die Mittelwerte und die Standardabweichungen der mesiodistalen Zahnbreiten auch innerhalb einer ethnischen Gruppe zu vergleichen (vgl. Tabelle 4). Die in der Tabelle 4 angeführten Mittelwerte der Zahnbreiten wurden anhand von Kaukasiern berechnet.

Die ersten veröffentlichten Mittelwertetabellen für die mesiodistalen Zahnbreiten stammen von Black (1902). Im Vergleich zu den anderen Studien anhand von Kaukasiern sind die von Black angegebenen Mittelwerte am größten. Das widerspricht den Ergebnissen von Garn et al. (1967), welche eine langfristige Zunahme der Kronendurchmesser beobachtet haben. Die kleinsten Zahnbreiten hatten die Probanden aus der Studie von Tanaka und Johnston (1974).

Tabelle 4 – Der Vergleich der mesiodistalen Zahnbreiten zwischen den verschiedenen Populationen (in mm).

<b>Zahn</b>	<b>Black (1902)</b>	<b>Tanaka Johnston (1974)</b>	<b>Moorrees (1957)</b>	<b>Legovic (2003)</b>	<b>Nourallah (2002)</b>	<b>Hessische Patienten (2005)</b>
<b>11/21</b>	9,00	8,70	8,59	8,60	8,79	8,74
<b>12/22</b>	6,40	6,90	6,56	6,65	6,80	6,76
<b>13/23</b>	7,60	7,75	7,74	7,81	7,87	7,78
<b>14/24</b>	7,20	6,70	6,93	6,99	7,02	6,99
<b>15/25</b>	6,80	6,60	6,72	6,71	6,72	6,71
<b>16/26</b>	10,70	10,40	10,67	10,25	10,46	10,35
<b>31/41</b>	5,40	5,45	5,34	5,34	5,54	5,41
<b>32/42</b>	5,90	5,45	5,87	5,91	6,07	5,95
<b>33/43</b>	6,90	6,75	6,72	6,79	6,91	6,80
<b>34/44</b>	6,90	6,85	6,97	7,10	7,08	7,02
<b>35/45</b>	7,10	7,20	7,16	7,23	7,19	7,09
<b>36/46</b>	11,20	10,50	10,96	10,92	11,23	10,83
<b>Summe</b>	91,10	89,25	90,23	90,3	91,68	90,43

Die Zahnbreiten von hessischen Patienten liegen sehr nahe an denen von Moorrees (USA) und Legovic (Kroatien) gefundenen Werten. Das könnte darauf hinweisen, dass die ethnischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Populationen sehr gering sind und somit statistisch nicht interessant. Die ethnischen Unterschiede zwischen den verschiedenen ethnischen Gruppen wurde auch in dieser Studie durch die Summe der mesiodistalen Zahnbreiten von Patienten syrischer Abstammung bestätigt, welche breitere Zähne aufweisen als die Patienten europäischer Abstammung. Dasselbe gilt auch für Afroamerikaner, welche breitere Stützzonenzähne als Kaukasier haben (Richardson und Malhotra 1975, Frankel und Benz 1986, Merz et al. 1991).

Alle Stichproben der in unserer Studie untersuchten Methoden für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen sind europäischer Abstammung, so dass keine großen ethnischen Unterschiede zu erwarten sind.



### 3.4. Frontzahnsummen

Die oberen (SIOK) und unteren (SIUK) Frontzahnsummen für das gesamte Untersuchungsmaterial werden als Summe der mesiodistalen Durchmesser der mittleren und seitlichen Schneidezähne gebildet. Diese sind für die Überprüfung der Genauigkeit verschiedener Voraussagemethoden notwendig, wie zum Beispiel die der Methode nach Moyers, nach Berendonk oder nach Tanaka und Johnston. Die Histogramme für die Verteilung der Frontzahnsummen sind in Abbildung 1 graphisch dargestellt:

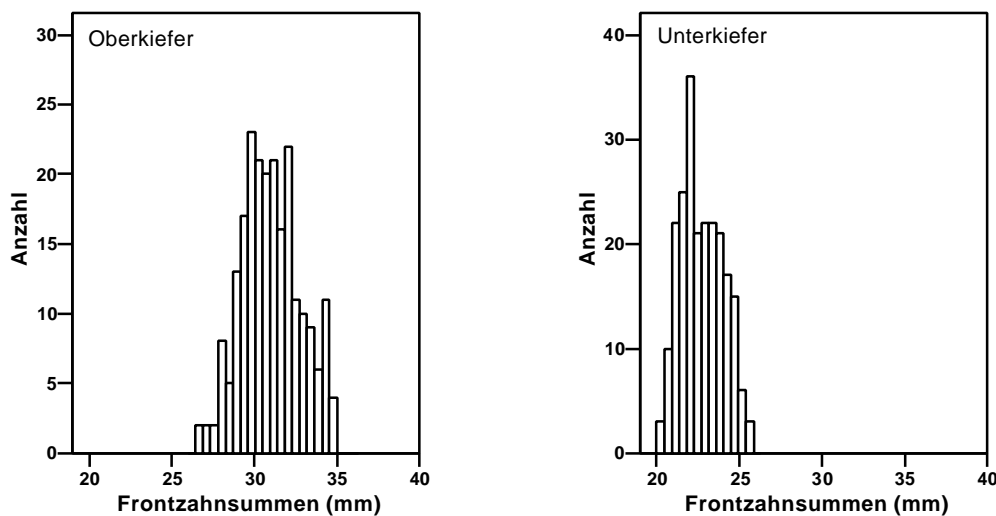


Abb. 1 – Verteilung der oberen (SIOK) und unteren (SIUK) Frontzahnsummen für das gesamte Untersuchungsmaterial (n=223).

Der Mittelwert der oberen Frontzahnsummen beträgt 31,0 mm (SD = 1,81), wobei die Werte im Oberkiefer zwischen 26,3 mm und 35,0 mm liegen.

Der Mittelwert der unteren Frontzahnsummen beträgt 22,7 mm (SD = 1,29), wobei die Werte im Unterkiefer zwischen 20,2 mm und 25,6 mm liegen.

### 3.5. Bestimmung der Stützonenbreite für jeden Quadranten

Die Breite der Stützzone jedes Quadranten wird als Summe der mesiodistalen Durchmesser des bleibenden Eckzahnes und der beiden Prämolaren gebildet.

Die durchschnittliche Stützonenbreite beträgt im Oberkiefer 21,5 mm (SD = 0,97) und im Unterkiefer 20,9 mm (SD = 1,07).

Der Vergleich der Stützonenbreiten von hessischen Patienten mit den Werten von Schwarz (1931), Moorrees und Reed (1954) und Ingervall und Lennartsson (1978) wird in der Tabelle 5 angeführt.

Tabelle 5 – Vergleich der Stützzonenbreite von hessischen Patienten mit Literaturwerten.

Untersuchung	OK-Stützzonenbreite (mm)		UK-Stützzonenbreite (mm)	
	Hessische Patienten	21,5		20,9
Schwarz	21,9		21,4	
Moorrees u. Reed	männlich: 21,8 weiblich: 21,2	21,5	männlich: 21,4 weiblich: 20,6	21,0
Ingervall u. Lennartsson	22,0		21,6	

Abbildung 2 gibt die Differenzen zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite jedes Kiefers graphisch wieder. Positive Werte bedeuten, dass die Zähne aus dem rechten Kieferquadranten größer sind als die des linken Quadranten. Negative Werte stehen für breitere Zähne im linken Quadranten. Die Ergebnisse zeigen mithin, dass die rechts/links Unterschiede sehr gering sind.

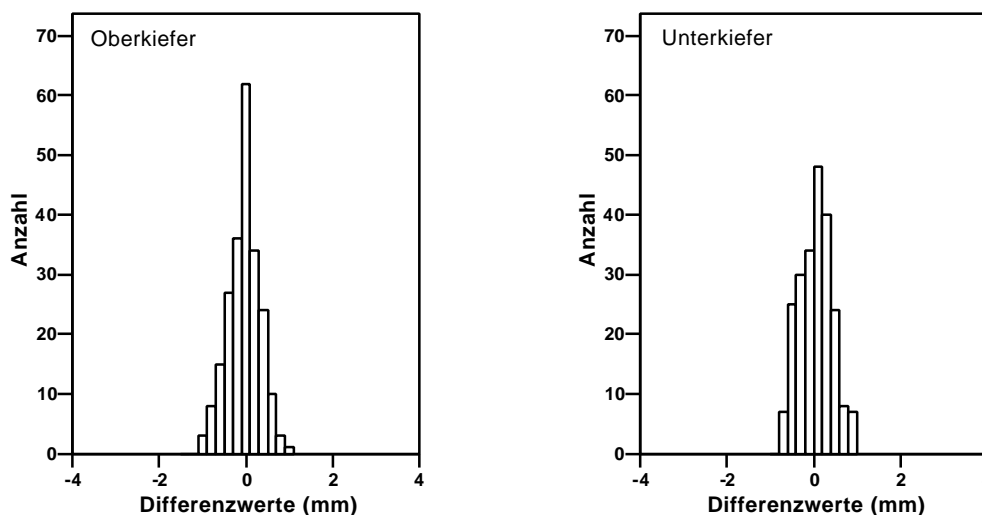


Abbildung 2 – Differenz zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite im Oberkiefer und Unterkiefer (n = 223).

#### Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite beträgt -0,05 mm und die Standardabweichung 0,36 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -1,02 mm bis +0,92 mm.

#### Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite beträgt 0,05 mm und die Standardabweichung 0,37 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -0,80 mm bis +0,96 mm.

Die Differenz zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite ist sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer statistisch signifikant ( $p = 0,024$ ) (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6 – t-Test bei gepaarten Stichproben zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite im Oberkiefer und im Unterkiefer (\* = signifikant).

<b>Stützzonendifferenz (rechts–links)</b>	<b>MW (mm)</b>	<b>SD (mm)</b>	<b>p</b>
Oberkiefer	-0,05	0,36	0,024*
Unterkiefer	0,05	0,37	0,024*

Weil die Differenz zwischen den rechten und linken Stützzonenbreiten gering ist (0,05 mm) und um die Methode zu vereinfachen, wird weiterhin der Mittelwert zwischen der rechten und der linken Stützzonenbreite jedes Kiefers als abhängige Variable der Regressionsgleichungen verwendet.

Im Weiteren wurde untersucht, ob sich die OK-Stützzonenbreiten von den UK-Stützzonenbreiten unterscheiden. Wie aus Tabelle 7 erkennbar, beträgt die durchschnittliche Differenz zwischen den OK-Stützzonenbreiten und den UK-Stützzonenbreiten 0,57 mm. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant.

Tabelle 7 – t-Test bei gepaarten Stichproben zwischen den OK- und UK- Stützzonenbreiten: MwSzOk = Mittelwert der OK- Stützzonenbreite, MwSzUk = Mittelwert der UK- Stützzonenbreite (\* = signifikant).

<b>Stützzonendifferenz</b>	<b>MW (mm)</b>	<b>SD (mm)</b>	<b>p</b>
MwSzOk - MwSzUk	0,57	0,52	0,000*
Differenz der rechten Stützzonen OK/UK	0,52	0,55	0,000*
Differenz der linken Stützzonen OK/UK	0,61	0,62	0,000*

### **3.6. Untersuchung der Genauigkeit verschiedener statistischer Methoden zur Stützzonenprognose**

#### **3.6.1. Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen mittels eines festen Betrags**

Eine Methode zur Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen anhand von Durchschnittswerten der bleibenden Nachfolger (Eckzahn und die beiden Prämolaren) schlagen Moorrees und Reed (1957) vor. Die von den beiden Autoren berechneten Mittelwerte werden für die vorliegende Genauigkeitsuntersuchung herangezogen, weil sie sich von den Mittelwerten hessischer Patienten sehr gering unterscheiden.

Bei Jungen sollten 21,8 mm im Oberkiefer und 21,4 mm im Unterkiefer ausreichend sein. Bei Mädchen werden Werte von 21,2 mm im Oberkiefer und 20,6 mm im Unterkiefer empfohlen. Zur Überprüfung der Genauigkeit eines solchen Verfahrens werden die von Moorrees (1957) vorgeschlagenen Werte von den tatsächlichen Werte (MwSzOk und MwSzUk) abgezogen, die Differenz wird in der Abbildung 3 graphisch dargestellt.

Negative Werte weisen darauf hin, dass die geschätzten Werte höher als die tatsächlichen sind. Anders gesagt, sind die mesiodistalen Zahnbreiten der noch nicht durchgebrochenen Zähne kleiner als erwartet. Die Methode überschätzt somit in diesem Fall. Positive Werte dagegen deuten auf eine Unterschätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen hin.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,01 mm und die Standardabweichung 0,91 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -2,36 mm bis +2,40 mm. Bei 54% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die realen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,08 mm und die Standardabweichung 0,98 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -2,37 mm bis +2,46 mm. Bei 52% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die realen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

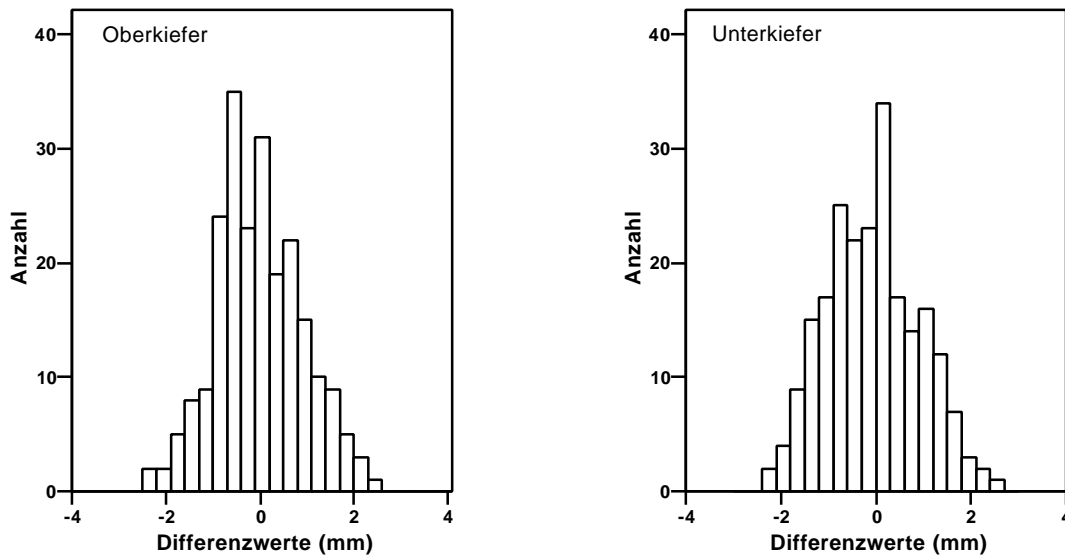


Abbildung 3 – Methode nach Moorrees: Genauigkeit der Stützzoneprognose anhand von Durchschnittswerten.

Um diese Schätzungsmethode an hessischen Patienten anzuwenden, müsste der Platzbedarf anhand unserer Durchschnittswerte berechnet werden. Die Mittelwerte der Stützzonebreiten unserer Probanden betragen bei Jungen 21,88 mm im Oberkiefer und 21,40 mm im Unterkiefer. Bei Mädchen sollten 21,13 mm im Oberkiefer und 20,51 mm im Unterkiefer vorhanden sein.

Es stellt sich heraus, dass die von unseren Patienten stammenden Daten sich nur gering von denen durch Moorrees (1957) empfohlenen Werte unterscheiden, wie der Tabelle 8 entnommen werden kann:

Tabelle 8 – Schätzungsmethode mittels Durchschnittswerte einzelner Zähne: Vergleich des von Moorrees vorgeschlagenen Betrages mit den von uns berechneten Mittelwerten.

Geschlecht	Kiefer	Voraussagewert (mm)	
		Moorrees	MW aus unseren Daten
Männlich	OK	21,80	21,88
	UK	21,40	21,40
Weiblich	OK	21,20	21,13
	UK	20,60	20,51

Eine ähnliche Schätzungsmethode mittels eines einheitlichen Prognosewerts führt auch Schäffer (1997) ein. Zwischen der distalen Fläche des seitlichen Schneidezahnes und der mesialen Fläche des 6-jähr Molar ist ein Platzangebot von 22,0 mm, für die Einordnung aller bleibenden Stützzonenzähne eines Quadranten, ausreichend.

Diese Schätzungsmethode unterscheidet jedoch nicht zwischen männlichen und weiblichen Probanden, zwischen Ober- und Unterkiefer und zwischen der rechten und linken Kieferhälfte.

Die Differenz zwischen der tatsächlichen Stützzonenbreite und des prognostizierten Wertes ist in Abbildung 4 graphisch dargestellt:

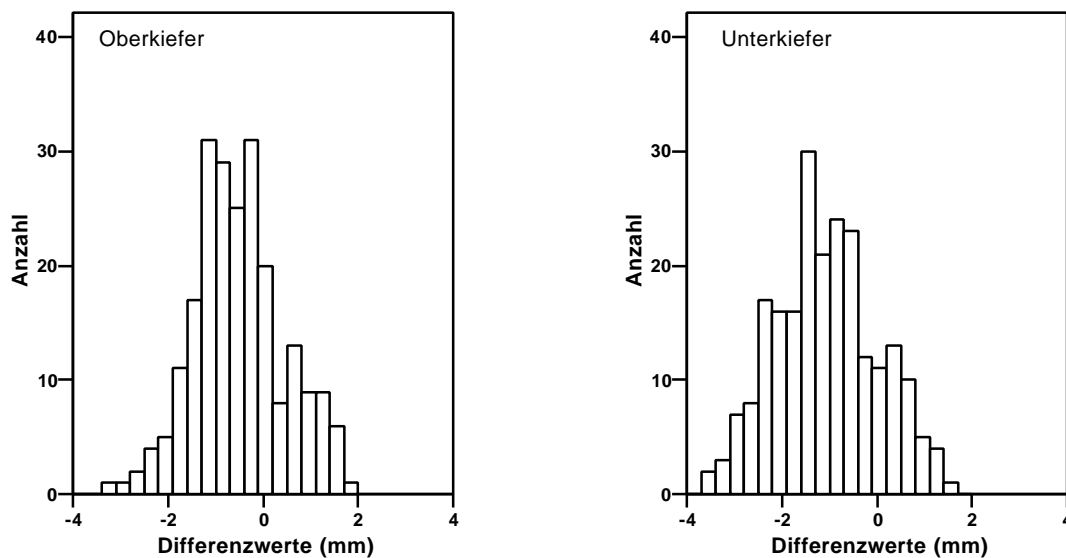


Abbildung 4 – Methode nach Schäffer: Genauigkeit der Stützzonenprognose mittels eines einheitlichen Prognosewerts.

#### Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,52 mm, die Standardabweichung 0,97 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -3,16 mm bis +1,98 mm. Bei 74% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmäler als die prognostizierten.

#### Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -1,08 mm, die Standardabweichung 1,07 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -3,50 mm bis +1,45 mm. Bei 82% der Probanden

ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

### 3.6.2. Vergleich der Ergebnisse nach Moyers' Methode mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten

Moyers (1949) erstellt Prognosetabellen, die auf einfache lineare Regressionsgleichungen basieren, wobei er, von der unteren Inzisivsumme (SIUK) ausgehend, den Platzbedarf für die bleibenden Zähne der Stützzonen bei verschiedenen Wahrscheinlichkeitsniveaus abliest. Die prognostizierten Werte gibt er getrennt für Ober- / Unterkiefer und geschlechtsabhängig an.

Moyers empfiehlt für erfahrene Kieferorthopäden schon das 50%-ige Perzentil, während er den unerfahrenen das höhere 75%-ige anrät.

Die Genauigkeit dieser Methode wird in der vorliegenden Studie für beide Niveaus überprüft (vgl. Abbildungen 5 und 6).

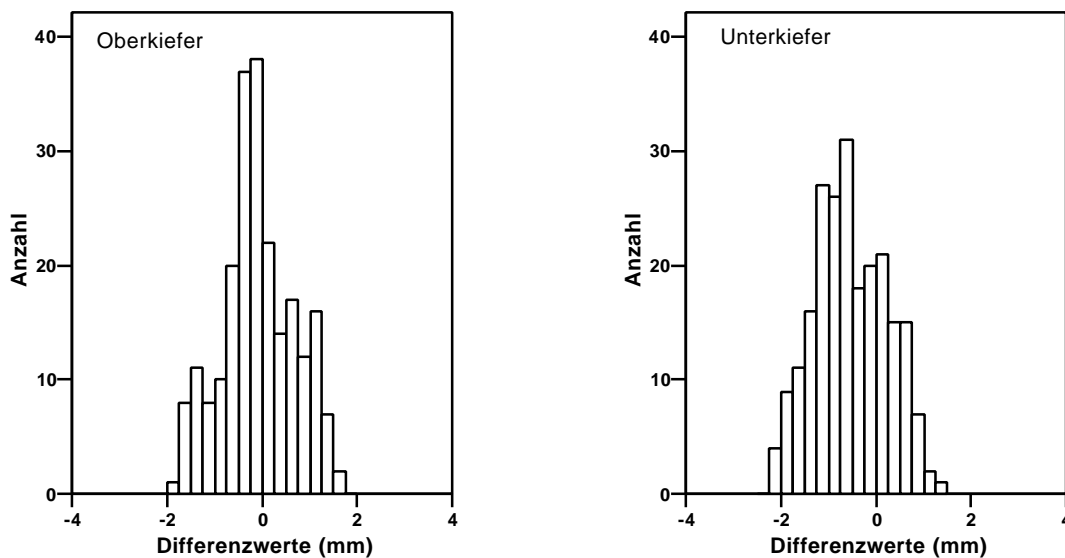


Abbildung 5 – Methode nach Moyers: Genauigkeit der Stützzonenprognose mittels 75%-iges Wahrscheinlichkeitsniveau.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten (75%-iges Wahrscheinlichkeitsniveau) beträgt -0,09 mm, die Standardabweichung 0,77 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -1,76 mm bis +1,67 mm.

Bei 60% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die realen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten (75%-iges Wahrscheinlichkeitsniveau) beträgt -0,54 mm,



die Standardabweichung 0,76 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -2,16 mm bis +1,25 mm.

Bei 73% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die realen Stützzonebreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

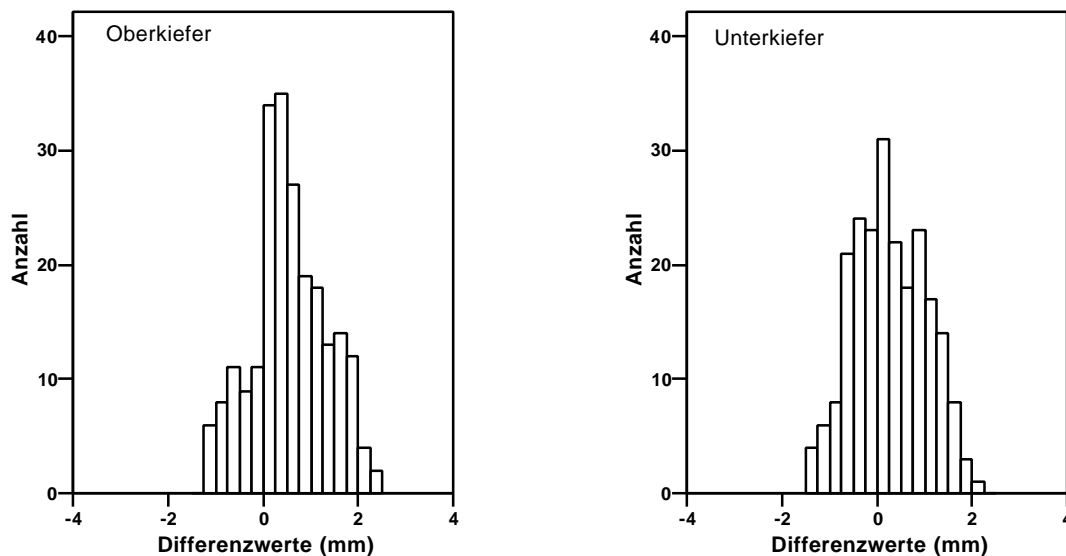


Abbildung 6 – Methode nach Moyers: Genauigkeit der Stützzoneprognose mittels 50%-iges Wahrscheinlichkeitsniveau.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonebreiten und den geschätzten Stützzonebreiten (50%-iges Wahrscheinlichkeitsniveau) beträgt 0,55 mm, die Standardabweichung 0,78 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,18 mm bis +2,30 mm.

Nur bei 20% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die realen Stützzonebreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonebreiten und den geschätzten Stützzonebreiten (50%-ige Wahrscheinlichkeitsniveau) beträgt 0,26 mm, die Standardabweichung 0,76 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,36 mm bis +2,05 mm.

Bei 39% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die realen Stützzonebreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

### 3.6.3. Vergleich der Ergebnisse nach der Methode von Berendonk mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten

Von der oberen Frontzahnsumme ausgehend erstellt Berendonk (1965) eine Tabelle zur Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen.

Sein Prognoseverfahren unterscheidet weder zwischen männlichen und weiblichen Patienten noch zwischen linker und rechter Kieferhälfte.

Um die Genauigkeit dieser Methode anhand unserer Patienten zu überprüfen, werden die aus der Tabelle abgelesenen Werte von den tatsächlichen subtrahiert. Die somit berechneten Differenzen sind in Abbildung 7 graphisch dargestellt:

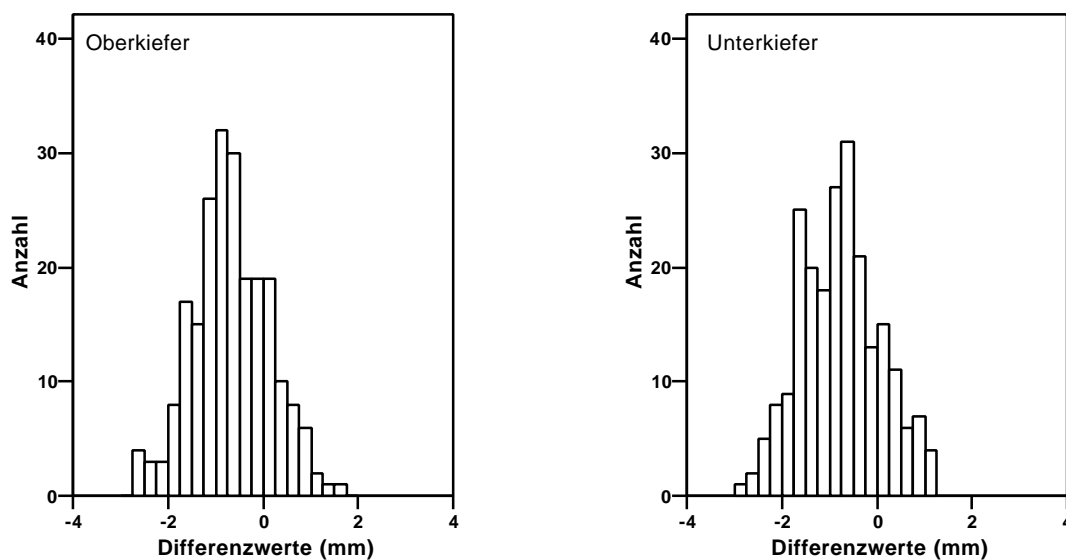


Abbildung 7 – Methode nach Berendonk: graphische Darstellung der Differenz zwischen den geschätzten und den tatsächlichen Stützzonenbreiten.

Die Histogramme zeigen, dass die Differenzwerte beider Kiefer sich eher im negativen Bereich befinden.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,68 mm, die Standardabweichung 0,80 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -2,71 mm bis +1,50 mm.

Bei 79% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die realen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,78 mm, die Standardabweichung 0,85 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -2,90 mm bis +1,05 mm.

Bei 81% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

### 3.6.4. Vergleich der Ergebnisse nach Miethkes Methode mit den tatsächlichen Stütz- zonenbreiten hessischer Patienten

Die Summe der mesiodistalen Durchmesser der Stützzonezähne wird laut der von Miethke (1973) entwickelten Methode mit folgenden mathematischen Formeln bestimmt:

$$Y_{[OK]} = SIOK/3 + 10 \text{ mm}$$

$$Y_{[UK]} = SIUK/2 + 10 \text{ mm}$$

Die Schätzungsmethode unterscheidet nicht zwischen männlichen und weiblichen Probanden.

Die Stützzonebreiten werden mit Hilfe der oben genannten Formeln für jeden der 223 Patienten separat berechnet. Diese stellen die geschätzten Werte dar. Um die Genauigkeit der Methode anhand unserer Probandengruppe zu bestimmen, werden diese Werte von den tatsächlichen Zahnbreiten subtrahiert. Die Differenz ist in Abbildung 8 graphisch dargestellt:

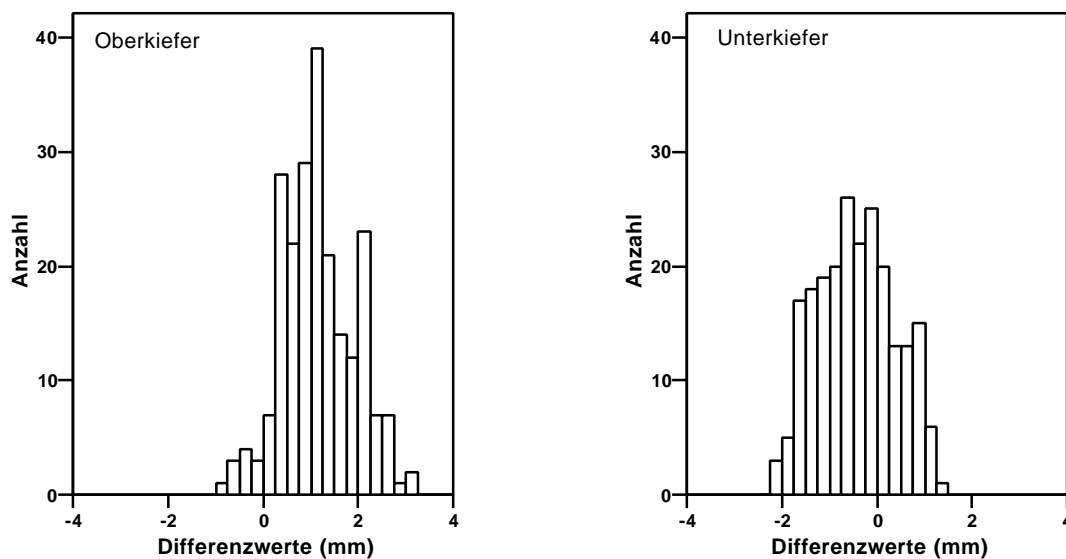


Abbildung 8 – Methode nach Miethke: graphische Darstellung der Differenz zwischen den geschätzten und den tatsächlichen Stützzonebreiten.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonebreiten und den geschätzten Stützzonebreiten beträgt +1,15 mm, die Standardabweichung 0,77 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -0,98 mm bis +3,24 mm.

Nur bei 5% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die realen Stützzonebreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,44 mm, die Standardabweichung 0,82 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -2,16 mm bis +1,37 mm.

Bei 70% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

### 3.6.5. Vergleich der Ergebnisse nach der Methode von Tanaka und Johnston mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten

Tanaka und Johnston (1974) berechnen den Platzbedarf für die noch nicht durchgebrochenen bleibenden Stützzonenzähne mit Hilfe von 2 mathematischen Formeln, jeweils eine für den Oberkiefer und eine für den Unterkiefer, die mithilfe von einfachen linearen Regressionsgleichungen aufgestellt worden sind.

$$Y_{[OK]} = SIUK/2 + 11,0 \text{ mm}$$

$$Y_{[UK]} = SIUK/2 + 10,5 \text{ mm}$$

Diese Schätzungsmethode unterscheidet weder zwischen männlichen und weiblichen Probanden noch zwischen linker und rechter Kieferhälfte.

Abbildung 9 stellt die Häufigkeit der Abweichung der tatsächlichen Stützzonenbreite vom geschätzten Wert graphisch dar:

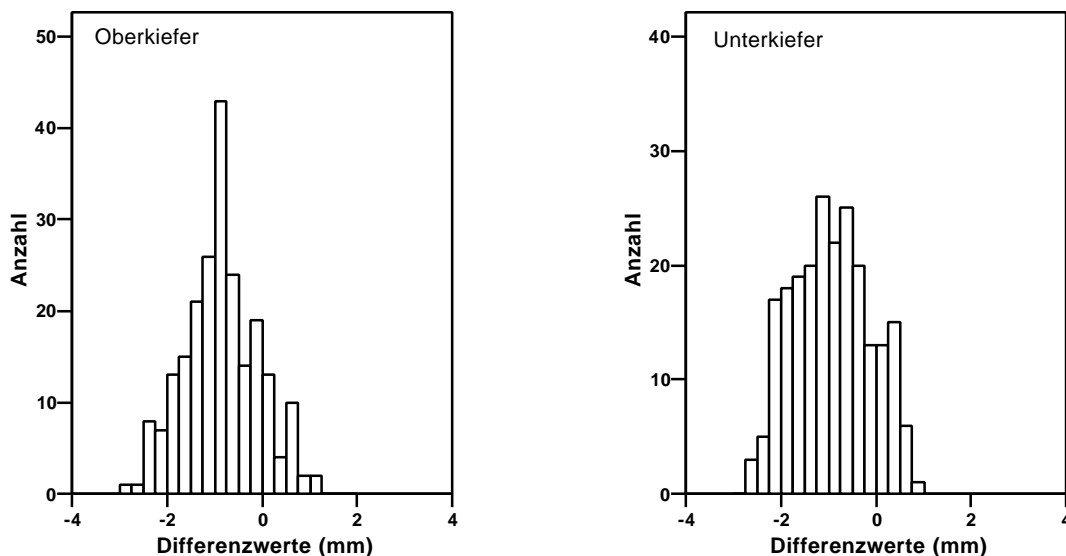


Abbildung 9 - Methode nach Tanaka und Johnston: graphische Darstellung der Differenz zwischen den geschätzten und den tatsächlichen Stützzonenbreiten.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,87 mm, die Standardabweichung 0,78 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -2,92 mm bis +1,19 mm.

Bei 86% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,94 mm, die Standardabweichung 0,82 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -2,66 mm bis +0,87 mm.

Bei 84% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

### 3.6.6. Vergleich der Ergebnisse nach Bachmanns Methode mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten

Der Methode von Bachmann (1986) liegen multiple lineare Regressionsgleichungen zugrunde, die eine präzisere Prognose ermöglichen. Die unabhängigen Variablen, die mesiodistalen Breiten der Zähne 22, 26 und 32, sind unterschiedlich gewichtet. Diese Methode unterscheidet nicht zwischen männlichen und weiblichen Probanden. Bachmann gibt zur Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen folgende Gleichungen an:

$$Y_{[OK]} = 0,81 \times (22) + 0,54 \times (26) + 0,56 \times (32) + 6,98$$

$$Y_{[UK]} = 0,71 \times (22) + 0,39 \times (26) + 0,86 \times (32) + 6,96$$

Mit Hilfe dieser Formeln wurde für jeden der 223 Patienten die mesiodistale Breite der Stützzonen berechnet.

Abbildung 10 zeigt die graphische Darstellung der Differenzwerte zwischen den individuell gemessenen Stützzonenbreiten und den laut Formeln berechneten Prognosewerte:

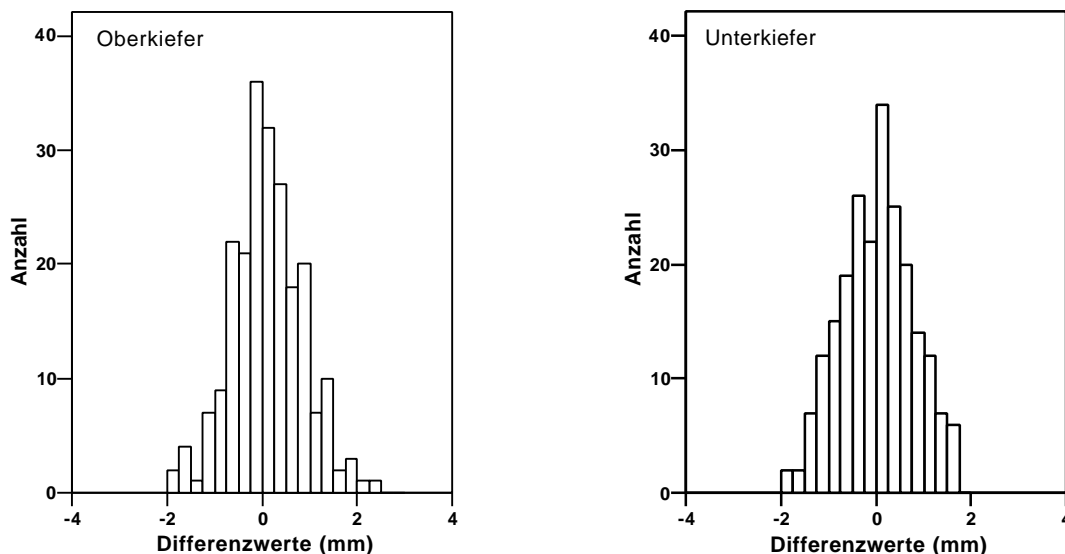


Abbildung 10 - Methode nach Bachmann: graphische Darstellung der Differenz zwischen den geschätzten und den tatsächlichen Stützzonenbreiten.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt 0,11 mm, die Standardabweichung 0,75 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,97 mm bis +2,30 mm.



Bei 45% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt 0,00 mm, die Standardabweichung 0,77 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -1,92 mm bis +1,73 mm.

Bei 47% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

### 3.6.7. Vergleich der Ergebnisse nach Tränkmanns Methode mit den tatsächlichen Stützzonenbreiten hessischer Patienten

Die Methode von Tränkmann und Raufmann (1983) beruht auf einfache lineare Regressionsgleichungen. Weil die Regressionsgleichungen für männliche und weibliche Probanden unterschiedliche Anpassungskoeffizienten aufweisen, sollte die Schätzung geschlechtsabhängig durchgeführt werden. Dasselbe gilt auch für den Ober- und den Unterkiefer.

Als unabhängige Variable setzen Tränkmann und Raufmann die Summe des ersten Molaren und des seitlichen Schneidezahnes des jeweiligen Kieferquadranten an.

Der Platzbedarf in den Stützzonen wird mit folgenden mathematischen Formeln berechnet:

a. Männliche Probanden:

$$Y_{[OK]} = 0,93 \times (\text{erster Molar} + \text{seitlicher Schneidezahn}) + 5,50$$

$$Y_{[UK]} = 0,94 \times (\text{erster Molar} + \text{seitlicher Schneidezahn}) + 5,06$$

b. Weibliche Probanden:

$$Y_{[OK]} = 0,99 \times (\text{erster Molar} + \text{seitlicher Schneidezahn}) + 4,47$$

$$Y_{[UK]} = 0,94 \times (\text{erster Molar} + \text{seitlicher Schneidezahn}) + 4,43$$

Zur Überprüfung der Genauigkeit dieses Verfahrens werden die geschätzten Stützzonenbreiten von den tatsächlichen Werten abgezogen. Abbildungen 11a und 11b stellen die Differenzwerte graphisch dar.

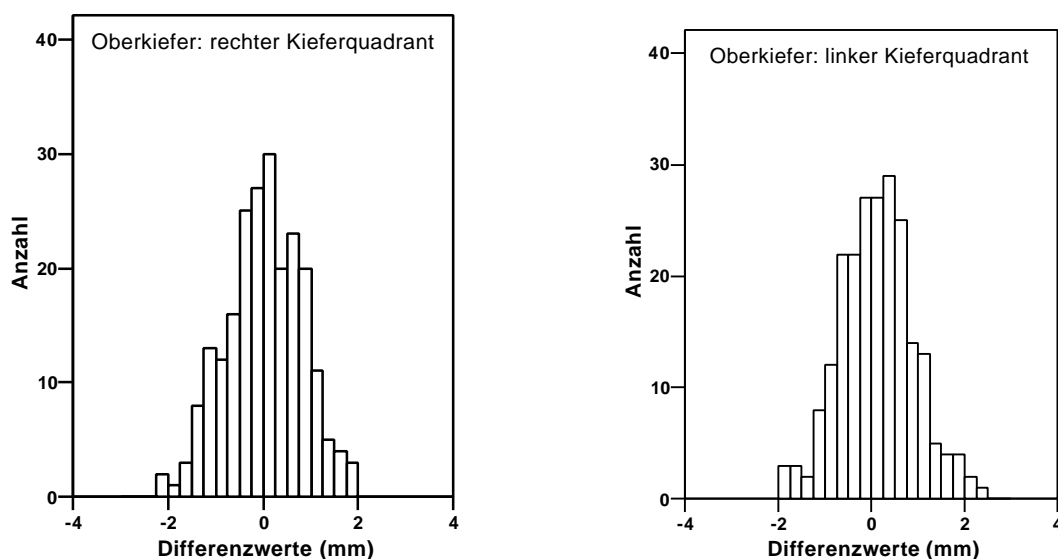


Abbildung 11a - Methode nach Tränkmann: graphische Darstellung der Differenzen beider Oberkieferquadranten.

Rechter Oberkieferquadrant:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt +0,02 mm, die Standardabweichung 0,81 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -2,12 mm bis +1,99 mm.

Bei 48% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Linker Oberkieferquadrant:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt +0,13 mm, die Standardabweichung 0,80 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -2,00 mm bis +2,48 mm.

Bei 44% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

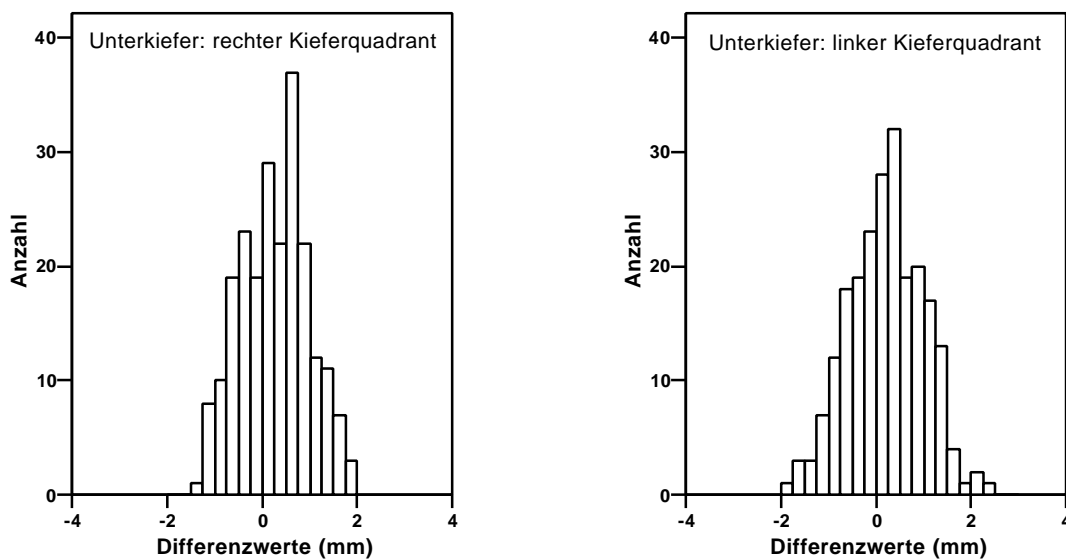


Abbildung 11b - Methode nach Tränkmann: graphische Darstellung der Differenzen beider Unterkieferhälften.

Rechter Unterkieferquadrant:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt +0,26 mm, die Standardabweichung 0,73 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,30 mm bis +1,88 mm.

Bei 35% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

Linker Unterkieferquadrant:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt +0,21 mm, die Standardabweichung 0,78 mm. Die Spannbreite dieser Werte erstreckt sich von -1,79 mm bis +2,28 mm.

Bei 39% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind die reellen Stützzonenbreiten in diesen Fällen schmaler als die prognostizierten.

### **3.7. Eigene Stützzonenprognose:**

Ausgehend vom Ziel der Studie, eine möglichst genaue Schätzungsmethode für die mesiodistalen Durchmesser der bleibenden Stützzonenzähne zu erstellen, soll von den Methoden die zur Verfügung stehen, diejenige ausgewählt werden, die nicht nur verlässliche Ergebnisse liefert, sondern auch möglichst wenig aufwendig und leicht aufwendbar ist.

Die reinen röntgenologischen oder kombinierten Methoden erfordern zusätzliche Röntgenaufnahmen, so dass die Strahlenbelastung kieferorthopädischer Patienten zunimmt, ohne dass die Genauigkeit dieser Schätzungsmethoden höher wäre.

Wir haben uns für ein statistisches Verfahren entschieden, und zwar für die multiplen linearen Regressionsgleichungen. Diese ermöglichen eine genaue Prognose und können klinisch leicht angewandt werden.

#### **3.7.1. Die abhängigen Variablen**

Multiple lineare Regressionsgleichungen sehen folgendermaßen aus:

$$Y = A + A_1 \times X_1 + A_2 \times X_2 + \dots + A_n \times X_n$$

Dabei sind:

Y= abhängige Variable

$X_1, X_2, \dots, X_n$  = unabhängige Variablen

A,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  = Anpassungskoeffizienten

Als abhängige Variable für die Stützzonenprognose dient die Summe der mesiodistalen Breiten des bleibenden Eckzahnes und der beiden Prämolaren des jeweiligen Quadranten.

Die Stützzonenanalyse kann zwar für jedes Kieferquadrant separat durchgeführt werden, doch die Unterschiede zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite jedes Kiefers sind gering (vgl. Abbildung 2 und Tabelle 6). Daher wird als abhängige Variable der Regressionsgleichungen für die weitere Analyse der Mittelwert zwischen der rechten und linken Stützzonenbreite jedes Kiefers (MwSzOk und MwSzUk) angesetzt.

### 3.7.2. Die Anzahl der unabhängigen Variablen

Um eine leicht anwendbare und zugleich präzise Methode zu erstellen, wird zunächst die optimale Anzahl der unabhängigen Variablen gesucht.

In unserer Untersuchung wurden die mesiodistalen Durchmesser aller Zähne bis zu den zweiten Molaren gemessen. Von diesen 28 Zähnen gehören 12 zu den Stützzonen. Also bleiben noch 16 Zähne, die für die Voraussage als unabhängigen Variablen in die Regressionsgleichungen mit einbezogen werden könnten.

Ein Schätzungsmodell mit allen 16 Zähnen, die sich außerhalb der Stützzonen befinden, wäre statistisch gesehen am genauesten, aber klinisch nicht relevant. Die zweiten bleibenden Molaren brechen später als die bleibenden Stützzonenzähne durch und beenden somit in der Mehrheit der Fälle die zweite Wechselphase.

Die Regressionsanalyse mit 16 unabhängigen Variablen ergibt für den Oberkiefer ein  $R^2$  von 0,56 und für den Unterkiefer ein  $R^2$  von 0,63 (vgl. Tabelle 11). Wenn die Anzahl der unabhängigen Variablen reduziert wird, werden die multiplen Korrelationskoeffizienten der Regressionsgleichungen dementsprechend kleiner. Die Zähne, die mit den Stützzonen besser korrelieren, bewirken nach deren Ausschließung eine stärkere Abnahme des  $R^2$ . Die Zähne, von denen die Stützzonen am geringsten abhängig sind, bewirken nach ihrer Ausschließung hingegen eine geringe Veränderung des multiplen Korrelationskoeffizienten.

Für eine klinische Anwendbarkeit sollte ein Modell sein:

- mit einer geringen Anzahl unabhängiger Variablen;
- mit möglichst niedrigem Verlust an erklärter Varianz ( $R^2$ );
- das früh anwendbar ist, also die ausgewählten unabhängigen Variablen sollten in der ersten Wechselphase durchbrechen (Inzisivi und erste Molaren).

### 3.7.3. Die Auswahl der unabhängigen Variablen

Für unsere Schätzungsmethode wurde die Kombination von 3 oder 4 dieser 16 Zähne gesucht, die mit den Stützzonenbreiten am meisten korrelieren.

Es gibt 560 Möglichkeiten aus 16 Zähnen 3 zu kombinieren und 1820 Möglichkeiten aus 16 Zähne 4 zu kombinieren (Kombination ohne Wiederholung).

Mit Hilfe eines in R geschriebenen Programms wurden Regressionsgleichungen für jede Kombinationsmöglichkeit aufgestellt. Die somit berechneten Korrelationskoeffizienten wurden auf zwei Dezimalstellen gerundet und in absteigender Reihenfolge sortiert.

Die Tabellen 9a und 9b zeigen die 10 besten Kombinationsmöglichkeiten von 4 aus 16 unabhängigen Variablen.

Tabelle 9a – Die besten 10 Kombinationsmöglichkeiten von 4 aus 16 unabhängigen Variablen für die Oberkieferstützzonenbreiten. Alle 16 unabhängigen Variablen zusammen kommen zu einer erklärten Varianz von  $R^2=0,56$ .

<b>OK-Kombination</b>	<b>Zahn 1</b>	<b>Zahn 2</b>	<b>Zahn 3</b>	<b>Zahn 4</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
1	21	27	36	42	0,52
2	21	27	42	46	0,52
3	11	27	46	42	0,51
4	12	27	46	42	0,51
5	11	27	42	46	0,51
6	12	16	42	46	0,51
7	17	21	36	42	0,51
8	17	27	46	42	0,51
9	21	27	37	42	0,51
10	17	21	42	46	0,51

Tabelle 9b – Die besten 10 Kombinationsmöglichkeiten von 4 aus 16 unabhängigen Variablen für die Unterkieferstützzonenbreiten. Alle 16 unabhängigen Variablen zusammen kommen zu einer erklärten Varianz von  $R^2 = 0,63$ .

<b>UK-Kombination</b>	<b>Zahn 1</b>	<b>Zahn 2</b>	<b>Zahn 3</b>	<b>Zahn 4</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
1	21	27	36	42	0,60
2	21	27	46	42	0,60
3	21	27	32	46	0,59
4	21	27	46	42	0,59
5	12	21	27	46	0,59
6	16	21	42	46	0,58
7	12	27	46	42	0,58
8	17	21	36	42	0,58
9	16	21	42	46	0,58
10	16	21	36	42	0,58

Aus diesen Tabellen wurden die Zähne ausgesucht, mit denen die Stützzonen am höchsten korrelieren.

Oberkiefer:

Das höchste  $R^2$  (0,52) der Regressionsgleichungen mit 4 unabhängigen Variablen wurde für die Kombination der Zähne 21, 27, 36 und 42 berechnet. An zweiter Stelle war die Kombination der Zähne 21, 27, 42 und 46. Die beste Kombination, ohne einen zweiten Molar mit einzubeziehen, bestand aus den Zähnen 12, 16, 42 und 46 ( $R^2 = 0,51$ ).

Die Differenz zwischen der ersten und der zehnten Kombinationsmöglichkeit ist gering (0,01).

Die Zähne, die in den Kombinationen am häufigsten auftreten, sind 21, 27, 42 und 46.

Unterkiefer:

Das höchste  $R^2$  (0,60) der Regressionsgleichungen mit 4 unabhängigen Variablen wurde für die Kombination der Zähne 21, 27, 36 und 42 berechnet. An zweiter Stelle war die Kombination der Zähne 21, 27, 46 und 42. Die beste Kombination, ohne einen zweiten Molar mit einzubeziehen, bestand aus den Zähnen 16, 12, 42 und 46 ( $R^2 = 0,58$ ).

Die Differenz zwischen der ersten und der zehnten Kombinationsmöglichkeit ist gering (0,02).

Die Zähne, die in den Kombinationen am häufigsten auftreten, sind 21, 27, 42 und 46.

Die Tabellen 10a und 10b zeigen die 10 besten Kombinationsmöglichkeiten von 3 aus 16 unabhängigen Variablen.

Tabelle 10a – Die besten 10 Kombinationsmöglichkeiten von 3 aus 16 unabhängigen Variablen für die Oberkieferstützonenbreiten. Alle 16 unabhängigen Variablen zusammen kamen zu einer erklärten Varianz von  $R^2=0,56$ .

<b>OK-Kombination</b>	<b>Zahn 1</b>	<b>Zahn 2</b>	<b>Zahn 3</b>	<b><math>R^2</math></b>
1	27	36	42	0,51
2	27	42	46	0,50
3	16	42	46	0,50
4	17	42	46	0,50
5	17	36	46	0,50
6	12	42	46	0,50
7	21	42	46	0,50
8	21	27	36	0,49
9	11	42	46	0,49
10	12	36	42	0,49



Tabelle 10b – Die besten 10 Kombinationsmöglichkeiten von 3 aus 16 unabhängigen Variablen für die Unterkieferstützzonebreiten. Alle 16 unabhängigen Variablen zusammen kamen zu einer erklärten Varianz von  $R^2=0,63$ .

<b>UK-Kombination</b>	<b>Zahn 1</b>	<b>Zahn 2</b>	<b>Zahn 3</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
1	21	42	46	0,58
2	27	32	46	0,57
3	27	36	42	0,57
4	22	42	46	0,57
5	16	32	46	0,57
6	16	42	46	0,57
7	21	27	46	0,57
8	27	42	46	0,56
9	12	42	46	0,56
10	22	36	42	0,56

Oberkiefer:

Das höchste  $R^2$  (0,51) der Regressionsgleichungen mit 3 unabhängigen Variablen wurde für die Kombination der Zähne 27, 36 und 42 berechnet. Die beste Kombination, ohne ein zweites Molar mit einzubeziehen, war für die Zähne 16, 42 und 46 ( $R^2 = 0,50$ ).

Die Differenz zwischen der ersten und der zehnten Kombinationsmöglichkeit ist gering (0,02).

Die Zähne 42 und 46 treten in 6 der 10 Kombinationsmöglichkeiten auf.

Unterkiefer:

Das höchste  $R^2$  (0,58) der Regressionsgleichungen mit 3 unabhängigen Variablen wurde für die Kombination der Zähne 21, 42 und 46 berechnet.

Die Differenz zwischen der ersten und der zehnten Kombinationsmöglichkeit ist gering (0,02).

Die Zähne, die in den Kombinationen am häufigsten auftreten, sind 42 und 46.

In der Tabelle 11 wird die erklärte Varianz ( $R^2$ ) der Regressionsgleichungen mit 16, mit 4 und mit 3 unabhängigen Variablen aufgeführt. Die Differenz des  $R^2$  zwischen der Variante mit 16 und 3 unabhängigen Variablen beträgt sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer 0,05. Diese Werte zeigen, dass 3 unabhängige Variablen für ein präzises Schätzungsmodell ausreichend sind.

Tabelle 11 – Korrelationskoeffizienten der Regressionsgleichungen mit 16, 12, 4 und 3 unabhängigen Variablen.

Anzahl der unabhängigen Variablen	R <sup>2</sup>	
	OK	UK
16 (Max. an erklärter Varianz)	0,56	0,63
12 (ohne die zweiten Molaren)	0,53	0,60
4 unabhängige Variablen	0,52	0,60
3 unabhängige Variablen	0,51	0,58

Sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer könnten, statistisch gesehen, die zweiten Molaren für die Prognose der Stützzonenbreiten verwendet werden. Diese Zähne brechen in den meisten Fällen aber erst am Ende der zweiten Wechselphase durch, also nachdem die bleibenden Zähne der Stützzonen die Okklusionsebene erreicht haben. Somit werden die zweiten bleibenden Molaren aus klinischen Gründen nicht weiter in die Regressionsgleichungen mit einbezogen werden.

Es bleiben also noch 12 Zähne für die Erstellung eines Prognosemodells. Es sind die Oberkiefer- und Unterkieferinzisivi und die ersten bleibenden Molaren jedes Kiefers. Von diesen sollen 3 ausgesucht werden, die mit den Stützzonenbreiten am höchsten korrelieren.

Die Ergebnisse der Kombinationsmöglichkeiten für die Oberkiefer- und Unterkieferstützonen geben Tabelle 12a und 12b an.

Oberkiefer:

Das höchste R<sup>2</sup> (0,50) der Regressionsgleichungen mit 3 unabhängigen Variablen wurde für die Kombination der Zähne 16, 42 und 46 berechnet.

Die Differenz zwischen der ersten und der zehnten Kombinationsmöglichkeit ist gering (0,02).

Die Zähne 42 und 46 treten in 6 der 10 Kombinationsmöglichkeiten auf.

Unterkiefer:

Das höchste R<sup>2</sup> (0,58) der Regressionsgleichungen mit 3 unabhängigen Variablen wurde für die Kombination der Zähne 21, 42 und 46 berechnet.

Die Differenz zwischen der ersten und der zehnten Kombinationsmöglichkeit ist gering (0,03).

Die Zähne, die in den Kombinationen am häufigsten auftreten, sind 42 und 46.

Tabelle 12a – Die besten 10 Kombinationsmöglichkeiten von 3 aus 12 unabhängigen Variablen für die Oberkieferstützonenbreiten. Alle 16 unabhängige Variablen zusammen kommen zu einer erklärten Varianz von  $R^2=0,56$ .

OK-Kombination	Zahn 1	Zahn 2	Zahn 3	$R^2$
1	16	42	46	0,50
2	12	42	46	0,50
3	21	42	46	0,50
4	11	42	46	0,49
5	12	36	42	0,49
6	26	42	46	0,49
7	16	36	42	0,49
8	21	36	42	0,49
9	22	42	46	0,48
10	11	12	46	0,48

Tabelle 12b – Die besten 10 Kombinationsmöglichkeiten von 3 aus 12 unabhängigen Variablen für die Unterkieferstützonenbreiten. Alle 16 unabhängige Variablen zusammen kommen zu einer erklärten Varianz von  $R^2=0,63$ .

UK-Kombination	Zahn 1	Zahn 2	Zahn 3	$R^2$
1	21	42	46	0,58
2	22	42	46	0,57
3	16	32	46	0,57
4	16	42	46	0,57
5	12	42	46	0,56
6	22	36	42	0,56
7	31	42	46	0,56
8	12	31	36	0,56
9	21	32	46	0,55
10	21	36	42	0,55

Die Oberkiefer- und Unterkieferstützonen sind somit von den Zähnen 42 und 46 am meisten beeinflusst.

Die dritte unabhängige Variable soll zwischen dem Zahn 16 und 21 ausgewählt werden. Aus klinischen Gründen haben wir uns für den Zahn 21 entschlossen, weil er einfacher zu messen ist und in der Regel weniger von Karies als Zahn 16 befallen wird.

Die Regressionsgleichungen für die Schätzung des Platzbedarfs in den Ober- und Unterkieferstützzonen haben folgenden Aufbau:

$$Y = A + A_1 \times (\text{Zahn } \mathbf{46}) + A_2 \times (\text{Zahn } \mathbf{42}) + A_3 \times (\text{Zahn } \mathbf{21})$$

Die Konstante A und die Anpassungskoeffizienten ( $A_1$ ,  $A_2$  und  $A_3$ ) der Regressionsgleichungen wurden mit Hilfe des SPSS-Programms berechnet. Sie sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Tabelle 13: Konstante A und die Anpassungskoeffizienten der Regressionsgleichungen für die Stützzoneprognose.

<b>Stützzone</b>	<b>Konstante A</b>	<b>A<sub>1</sub></b> (für Zahn <b>42</b> )	<b>A<sub>2</sub></b> (für Zahn <b>46</b> )	<b>A<sub>3</sub></b> (für Zahn <b>21</b> )	<b>R<sup>2</sup></b>
Oberkiefer	6,563	0,822	0,595	0,411	0,50
Unterkiefer	3,350	0,872	0,710	0,538	0,58

Der Platzbedarf für die bleibenden Zähne der Ober- und Unterkieferstützzonen wird mit folgenden Formeln berechnet:

$$Y_{[OK]} = 6,563 + 0,822 \times (\mathbf{42}) + 0,595 \times (\mathbf{46}) + 0,411 \times (\mathbf{21})$$

$$Y_{[UK]} = 3,350 + 0,872 \times (\mathbf{42}) + 0,710 \times (\mathbf{46}) + 0,538 \times (\mathbf{21})$$

### 3.7.4. Verbesserung der Prognose durch die Einbeziehung eines bereits durchgebrochenen bleibenden Stützzonenzahnes

Ein weiteres Ziel der Studie ist festzustellen, ob durch die Einbeziehung eines durchgebrochenen Stützzonenzahnes die Genauigkeit der Schätzungsmethode verbessert wird.

Der günstigste Zeitpunkt für die Behandlung dentaler Probleme ist die frühe zweite Wechselphase. Um die Platzverhältnisse in der apikalen Basis zu diesem Zeitpunkt bestimmen zu können, ist eine Platzanalyse erforderlich. Die zweite Wechselphase bedeutet, dass bereits ein bleibender Zahn der Stützzonen in die Mundhöhle durchgebrochen ist. Dieser Zahn könnte somit für die Verbesserung der Stützzonenprognose eingesetzt werden.

Als unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen werden weiterhin die Zähne 42 und 46 verwendet, weil diese Zähne mit den Stützzonenbreiten am höchsten korrelieren. Weil 3 unabhängige Variablen für die Schätzung des Platzbedarfs ausreichend sind, wird der Zahn 21 durch den bereits durchgebrochenen Stützzonenzahn in den Gleichungen ersetzt.

Tabelle 14: Konstante A und die Anpassungskoeffizienten der Regressionsgleichungen für die verbesserte Stützzonenprognose.

Unabhängige Variablen	Kiefer	Konstante A	A1 (SZ-Zahn)	A2 (Zahn 42)	A3 (Zahn 46)	R <sup>2</sup>
UK 3-er, 42, 46	OK	5,589	1,341	0,484	0,360	0,633
	UK	2,143	1,711	0,451	0,413	0,761
UK 4-er, 42, 46	OK	4,865	1,587	0,490	0,236	0,712
	UK	1,281	1,990	0,472	0,263	0,858
UK 5-er, 42, 46	OK	5,787	1,237	0,637	0,289	0,632
	UK	1,989	1,853	0,539	0,239	0,847
OK 3-er, 42, 46	OK	2,625	1,701	0,384	0,310	0,796
	UK	1,216	1,199	0,744	0,551	0,669
OK 4-er, 42,46	OK	2,989	2,073	0,306	0,202	0,800
	UK	0,791	1,766	0,569	0,407	0,736
OK 5-er, 42, 46	OK	2,937	1,914	0,558	0,220	0,806
	UK	1,031	1,515	0,818	0,449	0,711

Die Durchbruchreihenfolge in der zweiten Wechselphase ist sehr unterschiedlich, so dass es notwendig erscheint, Modelle für jede Durchbruchssituation zu erstellen.

Die Konstante A, die Anpassungskoeffizienten und die quadrierten Korrelationskoeffizienten der Regressionsgleichungen werden mit Hilfe des SPSS-Programms berechnet; sie sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der quadrierte Korrelationskoeffizient der Regressionsgleichungen durch die Einbeziehung eines Zahnes der Stützzonen deutlich zunimmt. Abhängig von dem schon durchgebrochenen Zahn, wird der Platzbedarf für alle bleibenden Zähne der Ober- und Unterkieferstützzonen mit folgenden Formeln berechnet:

a) beim Durchbruch eines Eckzahnes im Unterkiefer:

$$Y_{[OK]} = 5,589 + 1,341 \times (\mathbf{UK3-er}) + 0,484 \times (\mathbf{42}) + 0,360 \times (\mathbf{46})$$

$$Y_{[UK]} = 2,143 + 1,711 \times (\mathbf{UK3-er}) + 0,451 \times (\mathbf{42}) + 0,413 \times (\mathbf{46})$$

b) beim Durchbruch eines ersten Prämolaren im Unterkiefer:

$$Y_{[OK]} = 4,865 + 1,587 \times (\mathbf{UK4-er}) + 0,490 \times (\mathbf{42}) + 0,236 \times (\mathbf{46})$$

$$Y_{[UK]} = 1,281 + 1,990 \times (\mathbf{UK4-er}) + 0,472 \times (\mathbf{42}) + 0,263 \times (\mathbf{46})$$

c) beim Durchbruch eines zweiten Prämolaren im Unterkiefer:

$$Y_{[OK]} = 5,787 + 1,237 \times (\mathbf{UK5-er}) + 0,637 \times (\mathbf{42}) + 0,289 \times (\mathbf{46})$$

$$Y_{[UK]} = 1,989 + 1,853 \times (\mathbf{UK5-er}) + 0,539 \times (\mathbf{42}) + 0,239 \times (\mathbf{46})$$

d) beim Durchbruch eines Eckzahnes im Oberkiefer:

$$Y_{[OK]} = 2,625 + 1,701 \times (\mathbf{OK3-er}) + 0,384 \times (\mathbf{42}) + 0,310 \times (\mathbf{46})$$

$$Y_{[UK]} = 1,216 + 1,199 \times (\mathbf{OK3-er}) + 0,744 \times (\mathbf{42}) + 0,551 \times (\mathbf{46})$$

e) beim Durchbruch eines ersten Prämolaren im Oberkiefer:

$$Y_{[OK]} = 2,989 + 2,073 \times (\mathbf{OK4-er}) + 0,306 \times (\mathbf{42}) + 0,202 \times (\mathbf{46})$$

$$Y_{[UK]} = 0,791 + 1,766 \times (\mathbf{OK4-er}) + 0,569 \times (\mathbf{42}) + 0,407 \times (\mathbf{46})$$

f) beim Durchbruch eines zweiten Prämolaren im Oberkiefer:

$$Y_{[OK]} = 2,937 + 1,914 \times (\mathbf{OK5-er}) + 0,558 \times (\mathbf{42}) + 0,220 \times (\mathbf{46})$$

$$Y_{[UK]} = 1,031 + 1,515 \times (\mathbf{OK5-er}) + 0,818 \times (\mathbf{42}) + 0,449 \times (\mathbf{46})$$

### 3.8. Untersuchung der Genauigkeit unserer Schätzungsmethode anhand einer Kontrollgruppe

Ein anderes Ziel der Studie ist die Überprüfung der Genauigkeit unserer Schätzungsmethode anhand einer Kontrollgruppe, die aus Modellpaaren von 97 Probanden besteht. Die geschätzten Stützzonenbreiten werden mit den oben aufgeführten Formeln anhand der Kontrollgruppe berechnet. Diese werden von den tatsächlichen Werten abgezogen, und die Differenzen werden graphisch dargestellt (s. Abb. 12 – 18).

#### 3.8.1. Untersuchung der Genauigkeit der Schätzungsmethode mittels Zähne außerhalb der Stützzonen

Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen sind die Zähne 42, 46 und 21. In Abbildung 12 sind die Differenzwerte zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten graphisch dargestellt:

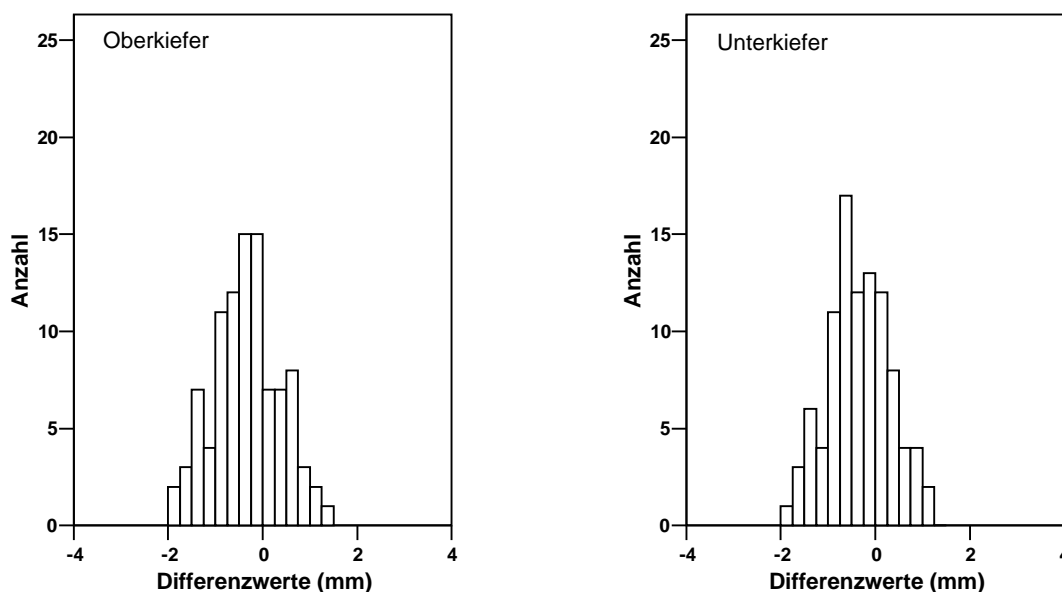


Abbildung 12 - Prognosemodell mit Zähne 42, 46, 21: graphische Darstellung der Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt  $-0,34$  mm und die Standardabweichung  $0,70$  mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von  $-1,91$  mm bis  $+1,27$  mm.

Bei 70% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmäler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,33 mm und die Standardabweichung 0,66 mm.

Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,87 mm bis + 1,12 mm.

Bei 68% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die reellen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.



### 3.8.2. Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem Eckzahn im Unterkiefer

Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen für dieses Schätzungsmodell sind der Mittelwert der mesiodistalen Durchmesser der UK 3er (MWUK3er), die mesiodistalen Durchmesser der Zähne 42 und 46. In Abbildung 13 sind die Differenzwerte zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten graphisch dargestellt.

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt  $-0,31$  mm und die Standardabweichung  $0,58$  mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von  $-1,49$  mm bis  $+0,97$  mm.

Bei 74% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die reellen Stützzonenbreiten schmäler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt  $-0,16$  mm und die Standardabweichung  $0,44$  mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von  $-1,17$  mm bis  $+0,74$  mm.

Bei 63% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die reellen Stützzonenbreiten schmäler als die prognostizierten.

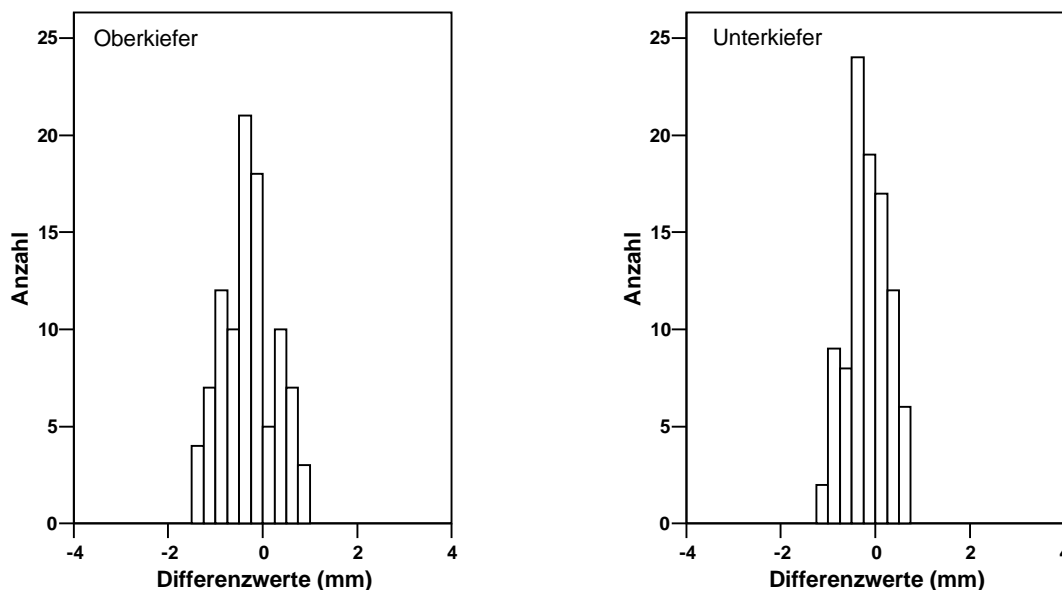


Abbildung 13 - Prognosemodell mit uk3er, 42 und 46: graphische Darstellung der Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten.

### 3.8.3. Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem ersten Prämolare im Unterkiefer

Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen für dieses Schätzungsmodell sind der Mittelwert der mesiodistalen Durchmesser der UK 4er (mwuk4er), die mesiodistalen Durchmesser der Zähne 42 und 46. In Abbildung 14 sind die Differenzwerte zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten graphisch dargestellt:

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,19 mm und die Standardabweichung 0,61 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,51 mm bis +1,40 mm.

Bei 65% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,19 mm und die Standardabweichung 0,43 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,15 mm bis +0,80 mm.

Bei 66% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.

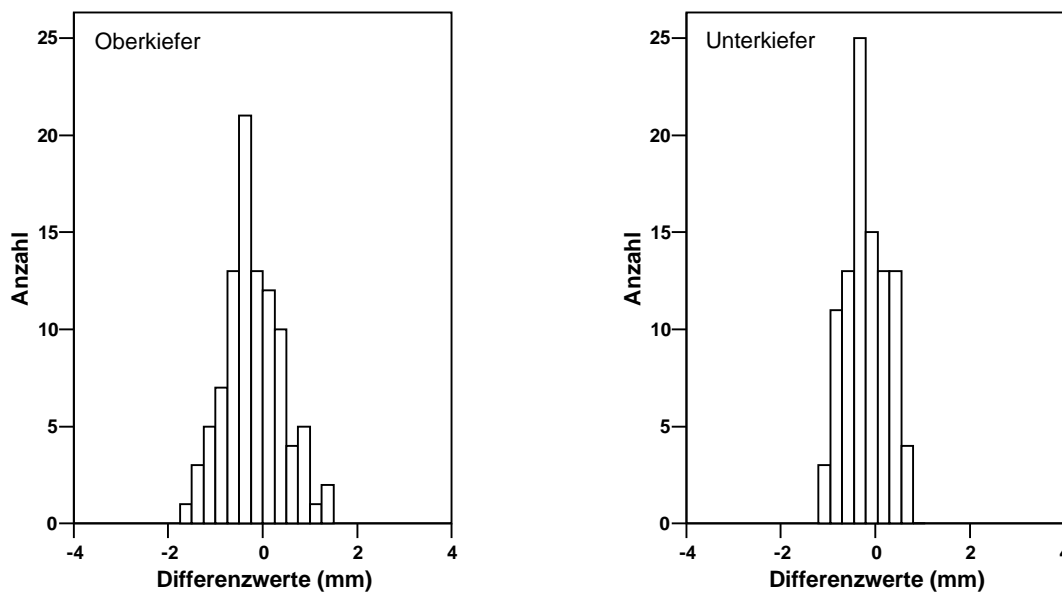


Abbildung 14 - Prognosemodell mit uk4er, 42 und 46: graphische Darstellung der Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten.

### 3.8.4. Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem zweiten Prämolare im Unterkiefer

Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen für dieses Schätzungsmodell sind der Mittelwert der mesiodistalen Durchmesser der UK 5er (mwuk5er), die mesiodistalen Durchmesser der Zähne 42 und 46. In Abbildung 15 sind die Differenzwerte zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten graphisch dargestellt

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt  $-0,22$  mm und die Standardabweichung  $0,57$  mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von  $-1,25$  mm bis  $+1,25$  mm.

Bei 69% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt  $-0,06$  mm und die Standardabweichung  $0,46$  mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von  $-1,11$  mm bis  $+0,96$  mm.

Bei 55% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.

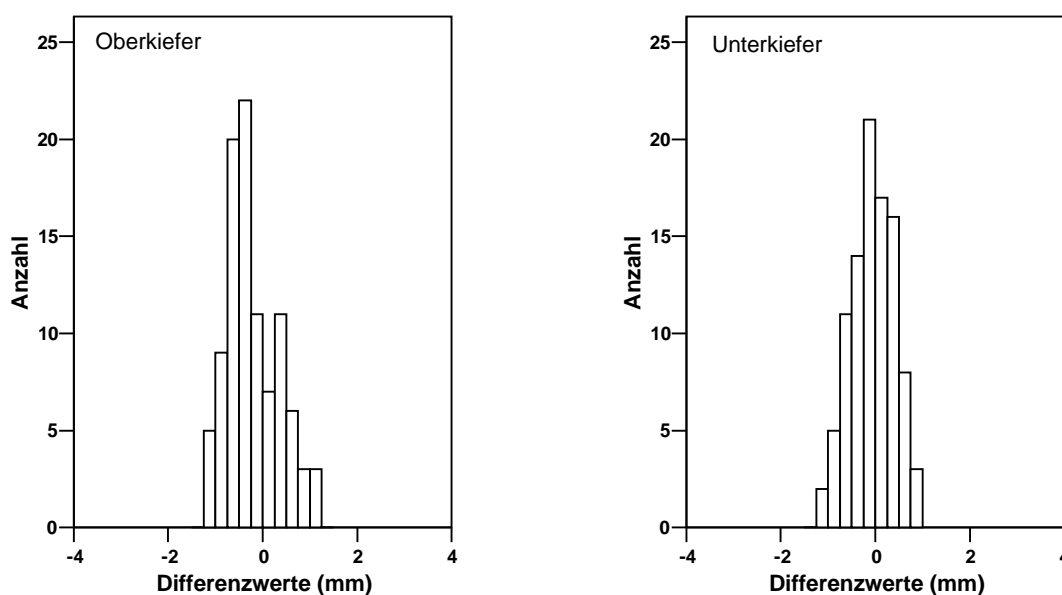


Abbildung 15 - Prognosemodell mit uk5er, 42 und 46: graphische Darstellung der Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten.

### 3.8.5. Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem Eckzahn im Oberkiefer

Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen für dieses Schätzungsmodell sind der Mittelwert der mesiodistalen Durchmesser der OK 3er (mwok3er), die mesiodistalen Durchmesser der Zähne 42 und 46. In Abbildung 16 sind die Differenzwerte zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten graphisch dargestellt

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,27 mm und die Standardabweichung 0,51 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,50 mm bis +0,81 mm.

Bei 65% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die reellen Stützzonenbreiten schmäler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,25 mm und die Standardabweichung 0,58 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,38 mm bis + 1,08 mm.

Bei 68% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die reellen Stützzonenbreiten schmäler als die prognostizierten.

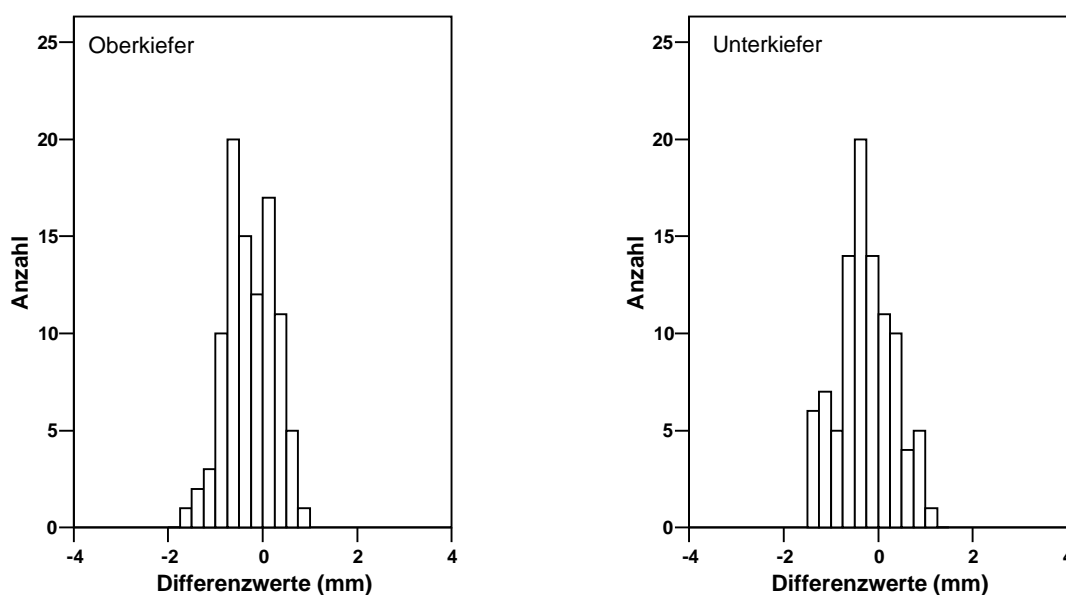


Abbildung 16 - Prognosemodell mit ok3er, 42 und 46: graphische Darstellung der Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten.

### 3.8.6. Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem ersten Prä-molar im Oberkiefer

Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen für dieses Schätzungsmodell sind der Mittelwert der mesiodistalen Durchmesser der OK 4er (mwok4er), die mesiodistalen Durchmesser der Zähne 42 und 46. In Abbildung 17 sind die Differenzwerte zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten graphisch dargestellt

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,11 mm und die Standardabweichung 0,41 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,15 mm bis +0,65 mm.

Bei 58% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt -0,05 mm und die Standardabweichung 0,54 mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von -1,12 mm bis + 1,19 mm.

Bei 53% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.

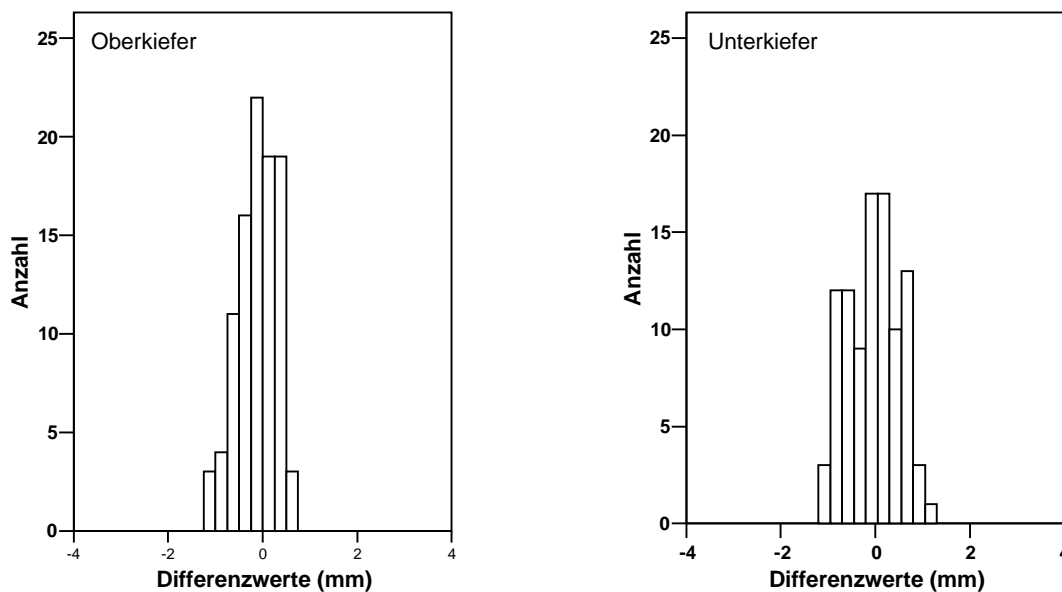


Abbildung 17 - Prognosemodell mit ok4er, 42 und 46: graphische Darstellung der Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten.

### 3.8.7. Untersuchung der Genauigkeit des Schätzungsmodells mit einem zweiten Prämolare im Oberkiefer

Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen für dieses Schätzungsmodell sind der Mittelwert der mesiodistalen Durchmesser der OK 5er (mwok5er), die mesiodistalen Durchmesser der Zähne 42 und 46. In Abbildung 18 sind die Differenzwerte zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten graphisch dargestellt

Oberkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt  $-0,01$  mm und die Standardabweichung  $0,44$  mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von  $-1,00$  mm bis  $+1,21$  mm.

Bei 53% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.

Unterkiefer:

Die mittlere (durchschnittliche) Differenz zwischen den tatsächlichen Stützzonenbreiten und den geschätzten Stützzonenbreiten beträgt  $-0,00$  mm und die Standardabweichung  $0,57$  mm. Die Spannweite dieser Werte erstreckt sich von  $-1,10$  mm bis  $+1,21$  mm.

Bei 49% der Probanden ist die Differenz negativ, also sind in diesen Fällen die realen Stützzonenbreiten schmaler als die prognostizierten.

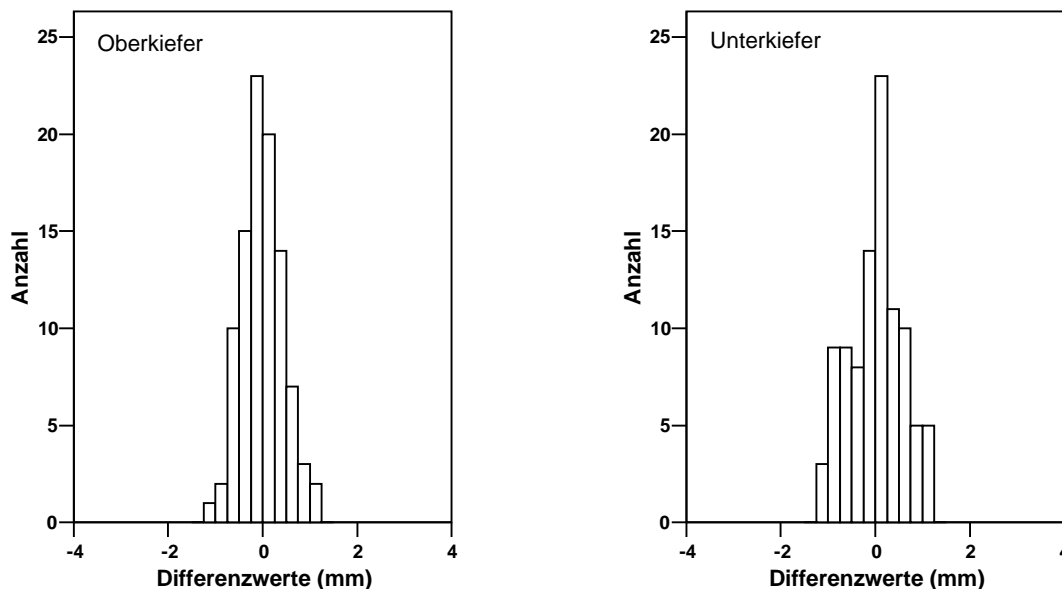


Abbildung 18 - Prognosemodell mit ok5er, 42 und 46: graphische Darstellung der Differenz zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten.

#### 4. Diskussion

Die Stützzonenanalyse hat 2 Komponenten, zum einen die Messung der Zahnbogensegmente zwischen den seitlichen Schneidezähnen und den ersten bleibenden Molaren (= das Platzangebot) und zum anderen die Schätzung der mesiodistalen Durchmesser der noch nicht durchgebrochenen Stützzonenzähne anhand von Zähnen, die über ihren anatomischen Äquator durchgebrochen sind (= der Platzbedarf).

Während die erste Komponente einfach mit einer Schieblehre direkt an Modellen gemessen wird, bereitet die zweite Komponente, die Berechnung des Platzbedarfs für die noch nicht durchgebrochenen Stützzonenzähne, Probleme.

Für die Schätzung des Platzbedarfs haben sich in bisherigen Forschungen 2 Methoden bewährt: die röntgenologische und die statistische Methode. Bei der röntgenologischen Methode werden die mesiodistalen Breiten der noch nicht durchgebrochenen Stützzonenzähne anhand von Zahnfilmen gemessen. Die statistischen Verfahren beruhen auf Korrelationen zwischen den mesiodistalen Breiten der bereits in die Mundhöhle durchgebrochenen und der noch nicht durchgebrochenen Zähne.

Die Messung der Zahnbreiten anhand von Röntgenbildern wird heutzutage jedoch wegen der zusätzlichen Strahlenbelastung der Patienten und wegen der problematischen Standardisierung der Aufnahmetechnik selten angewandt. Außerdem stehen die Eckzähne und die Prämolaren häufig rotiert im Kiefer, so dass die Berechnung der mesiodistalen Breiten dieser Zähne auf Röntgenbildern ungenau ausfällt.

Die statistischen Methoden stützen sich auf die bereits in die Mundhöhle durchgebrochenen Zähne. Dabei gehen einige Forscher von einem durchschnittlichen Betrag aus (Black 1902, Schwarz 1931, Moorrees und Reed 1957, Schäffer 1997), die meisten statistischen Schätzungsmethoden beruhen aber auf einfachen und multiplen linearen Regressionsgleichungen.

Die Genauigkeit einer statistischen Methode hängt unter anderem von den ausgewählten Prädiktoren ab, also von den unabhängigen Variablen. Amerikanische Autoren (Ballard und Wylie 1947, Moyers 1949) gehen in ihrem Verfahren für die Schätzung der Stützzonenbreiten von der unteren Frontzahnsumme aus. Dagegen haben Europäer (Pont 1909, Korkhaus 1939, Berendonk 1965) die obere Frontzahnsumme für die Berechnung herangezogen. Auffällig ist, dass die ersten bleibenden Molaren weder von den einen noch von den anderen als Prädiktoren ver-

wendet wurden. Das könnte darauf zurückgeführt werden, dass diese Zähne häufig von Karies betroffen waren, so dass die mesiodistale Breite dieser Zähne unzuverlässig ist. Weiterhin sind die Molaren wegen ihrer posterioren Lage schwierig direkt zu messen.

Um die Schätzung der Stützzonenbreiten zu verbessern, benutzen einige Autoren eine Kombination zwischen statistischen und röntgenologischen Verfahren. Die Hauptvertreter dieses Vorgehens sind Hixon und Oldfather (1958), Herren (1972), Kaplan et al. (1977), Gardner (1979) und Staley et al. (1978) haben in ihren Untersuchungen gezeigt, dass die Methode von Hixon und Oldfather bessere Ergebnisse liefert als die reinen statistischen Verfahren. Es sollte aber in Betracht gezogen werden, dass die Probanden in diesen Untersuchungen sorgfältig ausgewählt wurden. In diesen Studien wurden nur Patienten aufgenommen, bei denen keine Rotationen der Prämolaren oder Verzerrungen an Röntgenbildern zu erkennen waren. Allerdings kommen rotiert durchbrechende Prämolaren in der täglichen Praxis sehr häufig vor, was zur Folge hat, dass die kombinierte Methode bei diesen Patienten nicht anwendbar ist.

#### **4.1. Diskussion der Methode**

In der vorliegenden Untersuchung wird der Platzbedarf in den Stützzonen mittels eines statistischen Verfahrens ermittelt, und zwar durch multiple lineare Regressionsgleichungen. Die Messung der mesiodistalen Zahnbreiten erfolgte an ungeseiften Modellpaaren von kieferorthopädischen Patienten der Universitätszahnklinik Marburg. Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen anhand von Gipsmodellen wurde im Laufe der Zeit untersucht, und die meisten Autoren finden keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den an Gipsmodellen und den direkt am Patienten gemessenen Zahnbreiten (Moorrees und Reed 1954, Rheude et al. 2005). Hunter und Priest (1960) zeigen dagegen, dass die an Modellen gemessenen Zahnbreiten größer ausfallen als die direkt im Mund gemessenen Zahndurchmesser. Die Autoren zeigen, dass Messungen der Zahnbreite oder Zahnbogenbreite und -länge an Gipsmodellen präziser sind als direkte intraoral durchgeführte Messungen.

Hunter und Priest (1960) vergleichen außerdem auch die Messgenauigkeit an geseiften und ungeseiften Modelle und stellen fest, dass die geseiften Modelle die Zahnbreiten vergrößert wiedergeben. Somit sind geseifte Modelle für Zahnbreitenvermessungen nicht geeignet.

Die Zahnbreiten an Modellen können entweder mit einer Schieblehre gemessen werden wie Moyers (1949), Moorrees (1954), Tanaka und Johnston (1974), Bachmann (1986), Schäffer (1997), oder mit einem modifizierten Stechzirkel wie Ballard (1947), Nance (1947) und Bolton



(1958). Hunter und Priest (1960) stellen dagegen fest, dass Messungen mittels Schieblehre mit Noniusanzeige präziser ausfallen als die mit einem Stechzirkel. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Messung der mesiodistalen Durchmesser der Zähne mittels einer digitalen Schieblehre durchgeführt.

Der nach Dahlberg (1940) berechnete Messfehler dieser Studie beträgt im Durchschnitt 0,06 mm, mit Werten zwischen 0,03 und 0,10 mm. In der Studie von Hunter und Priest (1960) wurde bei den Zahnbreitenmessungen anhand von Gipsmodellen ein zufälliger Fehler unter 0,1 mm berechnet.

#### **4.2. Die abhängigen Variablen der Regressionsgleichungen**

Um den Platzbedarf in den Stützzonen zu berechnen, geht die vorliegende Untersuchung von multiplen linearen Regressionsgleichungen aus. Dabei ist zunächst zu bestimmen, welche der vier Stützzonenbreiten am geeignetsten erscheint, als abhängige Variable angesetzt zu werden.

Sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer sind die Breiten der rechten und linken Stützzonen annähernd gleich (vgl. Tabelle 6 und Abbildung 2); ihre durchschnittliche Differenz beträgt 0,05 mm, so dass eine getrennte Schätzung der rechten und der linken Stützzonen die Analyse lediglich erschweren würde, ohne ihre Genauigkeit entscheidend zu verbessern. Daher wird der Mittelwert der Stützzonenbreiten der beiden Quadranten im Oberkiefer beziehungsweise im Unterkiefer berechnet; die so gemittelten Messwerte stellen die abhängige Variable in den Regressionsgleichungen dar. Um die Stützzonenprognose aufzustellen, gehen die meisten Autoren (Moyers 1949, Tanaka und Johnston 1974, Berendonk 1965, Miethke 1972, Bachmann 1986, Groß und Hasund 1989, Pancherz und Schäffer 1999) ebenfalls von einer Stützzone im Oberkiefer und einer im Unterkiefer aus, ohne sich speziell auf den linken oder den rechten Quadranten zu beziehen. Eine andere Arbeitsweise schlägt Tränkmann (1983) vor, der den Platzbedarf in den Stützzonen getrennt für die rechten und die linken Kieferquadranten berechnet.

Im Weiteren wurde untersucht, ob eine Schätzungsmethode, die sowohl den Oberkiefer als auch den Unterkiefer einbezieht, eine hinreichende Genauigkeit aufweist. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen einen geringen, aber statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Oberkiefer- und den Unterkieferstützzonenbreiten (vgl. Tabelle 7). Daher wird die Schätzungsmethode getrennt für den Oberkiefer und für den Unterkiefer angewandt. Dieselbe Vor-

gehensweise findet sich auch bei Seipel (1946), Moyers (1949), Berendonk (1965), Tanaka und Johnston (1974), Miethke (1972), Tränkmann (1983), Bachmann (1986) und Groß und Hasund (1989). Angemerkt werden muss, dass Pancherz und Schäffer (1999) keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Oberkiefer- und Unterkieferstützzonenbreiten finden; sie geben als mögliche Erklärung für die abweichenden Ergebnisse einerseits die unterschiedlichen Meßmethoden und andererseits die nicht vergleichbaren Probandengruppen an.

Die Stützzonenprognose wird im Folgenden getrennt für den Oberkiefer und den Unterkiefer erstellt, wobei die abhängige Variable der Regressionsgleichungen jeweils der Mittelwert der rechten und der linken Stützzonenbreiten ist (MwSzOk, MwSzUk).

Die Berechnung der Stützzonenbreiten bei hessischen Patienten hat gezeigt, dass diese mit den von Moorrees und Reed (1954) ermittelten Werte übereinstimmt. Die von Schwarz und Ingervall und Lennartsson (1978) angegebenen Mittelwerte sind für beide Kiefer größer (vgl. Tabelle 5).

### **4.3. Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen**

Die unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen werden aus den bereits in der ersten Wechselphase durchgebrochenen Zähnen ausgewählt.

Zunächst wurden die Mittelwerte, die Standardabweichung, der Maximum-, der Minimumwert, und die Spannweite aller 28 Zähne der Probanden berechnet (vgl. Tabelle 2). Die unteren Frontzähne weisen die niedrigste Standardabweichung auf, wobei die oberen seitlichen Schneidezähne eine hohe Standardabweichung haben. Die hohe Variabilität der mesiodistalen Durchmesser seitlicher Oberkieferschneidezähne bestätigen auch Clinch (1963), Bachmann (1986) und Groß und Hasund (1989).

Der nächste Schritt der Untersuchung ist festzustellen, ob die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen bei einer Unterscheidung zwischen männlichen und weiblichen Patienten deutlich verbessert wird. Die meisten Autoren gehen in ihren Prognosemodellen nicht geschlechtsspezifisch vor (Berendonk 1965, Tanaka und Johnston 1974, Kaplan et al. 1977, Ingervall und Lennartsson 1978, Miethke 1972, Bachmann 1986, Groß und Hasund 1989, Pancherz und Schäffer 1999). Moyers (1949), Moorrees und Reed (1957) und Tränkmann (1983) berechnen dagegen den Platzbedarf für die bleibenden Stützzonenzähne geschlechtsabhängig.

In unserer Untersuchung sind die mesiodistalen Durchmesser aller 28 Zähne bei männlichen Probanden größer als bei weiblichen Probanden (vgl. Tabelle 3). Zu diesem Ergebnis gelangten auch Morrees und Chadha (1962). Die geschlechtsspezifischen Unterschiede der Zahnbreiten sind somit statistisch signifikant; Ausnahme machen die oberen seitlichen Schneidezähne und der Zahn 41 (s. Tabelle 3).

Tabelle 15 führt die erklärte Varianz der Regressionsgleichungen für männliche, weibliche und das gesamte Untersuchungsmaterial auf. Durch eine Trennung nach Geschlechtern verbessert sich die Prognose offensichtlich nicht. Obwohl männliche Probanden breitere Zähne als weibliche Probanden aufweisen, sind diese Unterschiede proportional, so dass sich die Zahnbreitenverhältnisse zwischen den beiden Geschlechtern nicht unterscheiden. Die zu verwendende Methode braucht somit nicht nach Geschlechtern zu differenzieren.

Tabelle 15 – Die erklärte Varianz ( $R^2$ ) für männliche Probanden, weibliche Probanden und für das gesamte Untersuchungsmaterial.

Unabhängige Variablen	OK Prognose: $R^2$			UK Prognose: $R^2$		
	Männlich	Weiblich	Gesamt	Männlich	Weiblich	Gesamt
21, 42, 46	0,47	0,52	0,50	0,56	0,58	0,58
UK-3er, 42, 46	0,60	0,63	0,63	0,70	0,73	0,76
UK-4er, 42, 46	0,71	0,71	0,71	0,84	0,87	0,86
UK-5er, 42, 46	0,63	0,67	0,63	0,83	0,86	0,85
OK-3er, 42, 46	0,76	0,75	0,80	0,62	0,61	0,67
OK-4er, 42, 46	0,77	0,80	0,80	0,70	0,71	0,74
OK-5er, 42, 46	0,80	0,80	0,81	0,70	0,71	0,71

Für die Schätzung des Platzbedarfs mittels Regressionsgleichungen spielt die Anzahl der unabhängigen Variablen eine wichtige Rolle. Eine zu große Anzahl schränkt die Anwendung der Methode ein und eine zu geringe Anzahl stellt die Genauigkeit der Methode in Frage.

Beabsichtigt wird somit, ein Prognosemodell mit einer möglichst geringen Anzahl an unabhängigen Variablen und einem möglichst hohen Wert für die erklärte Varianz aufzustellen. Das Modell soll mithin nicht zwischen den Quadranten eines Kiefers und dem Geschlecht unterscheiden. Für den Oberkiefer und den Unterkiefer soll jeweils ein eigenes Prognosemodell verwendet werden.

Die Suche nach der optimalen Anzahl von unabhängigen Variablen ergibt eine geringe Differenz zwischen dem  $R^2$  der Regressionsgleichungen mit 16 unabhängigen Variablen (alle bleibenden Zähne, die sich außerhalb der Stützzonen befinden) und den Regressionsgleichungen mit 3 unabhängigen Variablen (vgl. Tabelle 11). Daher ist ein Schätzungsmodell mit 3 unabhängigen Variablen fast so präzise wie ein Modell mit 16 unabhängigen Variablen. Bachmann (1986) und Tränkmann (1983) untersuchen auch die optimale Anzahl von Prädiktoren und kommen ebenfalls zur Schlussfolgerung, dass 3 unabhängige Variablen für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen ausreichend sind.

Es wurde die beste Kombination von 3 unabhängigen Variablen gesucht, mit denen die Stützzonenbreiten am höchsten korrelieren (s. Tabelle 10a und 10b). Sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer zeigt sich, dass der Zahn 27 für die Stützzonenprognose sehr geeignet sei. Aufgrund des späten Durchbruchs der zweiten Molaren in die Mundhöhle bieten sich diese Zähne aber nicht zur Schätzung der Stützzonenbreiten an, und somit wird auf sie für die Erstellung der Stützzonenprognose im Weiteren verzichtet. Die Zähne 42 und 46 korrelieren am höchsten mit den Stützzonenbreiten beider Kiefer (s. Tabellen 12a und 12b). Die dritte unabhängige Variable sollte zwischen dem Zahn 21 und 16 ausgewählt werden. Der Entschluss, den Zahn 21 als Prädiktor in unserem Schätzungsmodell mit einzubeziehen, erscheint praktischer, weil sich der Zahn 21 besser als Zahn 16 messen lässt. Die Erstellung der Regressionsgleichungen im SPSS-Programm für die Oberkiefer- und Unterkieferstützzonenbreiten ergibt folgende Modelle:

$$Y_{[OK]} = 6,563 + 0,822 \times (42) + 0,595 \times (46) + 0,411 \times (21)$$

$$Y_{[UK]} = 3,350 + 0,872 \times (42) + 0,710 \times (46) + 0,538 \times (21)$$

wobei,

$Y_{[OK]}$  = Summe der mesiodistalen Breiten der bleibenden Oberkieferstützzonenzähne,

$Y_{[UK]}$  = Summe der mesiodistalen Breiten der bleibenden Unterkieferstützzonenzähne,

(42), (46), (21) = mesiodistaler Durchmesser der Zähne 42, 46 und 21, ist.

Die erklärte Varianz der Regressionsgleichungen für die Prognose der Stützzonenbreite im Oberkiefer beträgt 0,50 und für die Prognose im Unterkiefer 0,58. Der Vergleich der  $R^2$ -Werte zu anderen Schätzungsmethoden geben die Tabellen 16a und 16b an. Die ersten beiden Methoden, die in der Tabelle 16a aufgeführt werden, sind mit den reinen statistischen Verfahren nur begrenzt vergleichbar. Bei den kombinierten Methoden werden auch Röntgenbilder für die Erstellung des Schätzungsmodells herangezogen, die grundsätzlich bessere Ergebnisse liefern, da die bleibenden Stützzonenzähne direkt auf den Röntgenaufnahmen gemessen werden.

Bei den anderen in der Tabelle 16a angegebenen Verfahren handelt es sich um statistische Methoden, die auf der Messung von Gipsmodellen beruhen.

Bei den meisten dieser Verfahren liegt der Wert von  $R^2$  etwa zwischen 0,3 und 0,6. Das Verfahren von Moyers (1949) befindet sich mit einem Wert für  $R^2$  von etwa 0,25 am untersten Ende der erklärten Varianz.

Den höchsten Wert für die erklärte Varianz der reinen statistischen Regressionsmodelle gibt Bachmann (1986) an. Aus derselben kieferorthopädischen Abteilung der Hamburger Universität stammt auch die Untersuchung von Groß und Hasund (1989); sowohl die Zahl der Probanden als auch die Geschlechtsverteilung sind gleich, und zwar besteht die Untersuchungsgruppe beider Studien aus 63 Patientenmodellpaaren, von denen 27 weibliche und 36 männliche Patienten sind. Die Werte für  $R^2$  aus der Studie von Groß und Hasund liegen mit einem Wert von  $R^2 = 0,56$  deutlich niedriger als die Werte aus Bachmanns Studie.

In unserer Untersuchung wurden bei der Methode ohne der Berücksichtigung eines Stützzonenzahnes ein  $R^2$ -Wert von 0,50 (Oberkiefer) beziehungsweise 0,58 (Unterkiefer) gefunden; d.h., die Werte liegen im Vergleich zu den anderen statistischen Methoden, die in Tabelle 16a aufgeführt sind, im oberen Bereich der  $R^2$ -Werte.

Bei den in Tabelle 16b angegebenen Regressionsgleichungen, die jeweils ein Zahn aus der Stützzone einschließen, liegt  $R^2$  etwa zwischen 0,63 und 0,93. Durch die Berücksichtigung eines Stützzonenzahnes wird die Prognose im Vergleich zu den anderen statistischen und den kombiniert röntgenologisch-statistischen Verfahren wesentlich verbessert.

Tabelle 16a – Die erklärte Varianz ( $R^2$ ) und der Korrelationskoeffizient (R) verschiedener Methoden zur Stützzonenprognose, so wie sie in den Originalstudien angegeben werden (\* - kombiniert röntgenologisch-statistische Methode; m = männlich; w = weiblich).

<b>Methode</b>	<b>Kiefer</b>	<b>R</b>	<b><math>R^2</math></b>
Hixon und Oldfather*	OK	—	—
	UK	0,88	0,77
Zilbermann et al.*	OK	0,85	0,72
	UK	0,86	0,74
Ballard und Wylie	OK	—	—
	UK	0,64	0,41
Moyers (zitiert von Herren und Resifeld 1970)	OK	0,49	0,24
	UK	0,50	0,25
Moorrees und Reed	OK	0,58	0,34
	UK	0,51	0,26
Tanaka und Johnston	OK	0,63	0,40
	UK	0,65	0,42
Bachmann	OK	0,83	0,69
	UK	0,85	0,72
Tränkmann	OK	m: 0,72	m: 0,52
		w: 0,79	w: 0,62
	UK	m: 0,80	m: 0,64
		w: 0,80	w: 0,64
Groß und Hasund	OK	0,72	0,52
	UK	0,75	0,56
Groß und Hasund (mit SZ-Zahn)	OK	0,77	0,59
	UK	0,83	0,69
Nourallah	OK	0,72	0,52
	UK	0,73	0,53

Tabelle 16b – Die erklärte Varianz ( $R^2$ ) und der Korrelationskoeffizient (R) unserer Schätzungsmethode.

<b>Methode</b>	<b>Kiefer</b>	<b>R</b>	<b><math>R^2</math></b>
42, 46, 21	OK	0,71	0,50
	UK	0,76	0,58
UK3er, 42, 46	OK	0,79	0,63
	UK	0,87	0,76
UK4er, 42, 46	OK	0,84	0,71
	UK	0,93	0,86
UK5er, 42, 46	OK	0,79	0,63
	UK	0,92	0,85
OK3er, 42, 46	OK	0,89	0,80
	UK	0,82	0,67
OK4er, 42, 46	OK	0,89	0,80
	UK	0,86	0,74
OK5er, 42, 46	OK	0,90	0,81
	UK	0,84	0,71

Die Berücksichtigung eines Stützzonenzahnes für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen wurde schon von Groß und Hasund (1989) vorgeschlagen. Aus dem Ergebnisvergleich wird ersichtlich, dass die  $R^2$ -Werte unserer Untersuchung etwas höher als in der Studie von Groß und Hasund sind. Ein Grund für die besseren Ergebnisse aus unserer Studie kann in der grösseren Anzahl der aufgestellten Regressionsmodelle liegen. Groß und Hasund haben im Gegensatz zu unserer Studie nämlich zwei verschiedene Regressionsmodelle aufgestellt, jeweils eines für den Oberkiefer und eines für den Unterkiefer. Für die Prognose der OK-Stützzonenbreiten ziehen Groß und Hasund einen Zahn aus der Unterkieferstützzone heran (Zahn 34), für die Unterkieferprognose einen Zahn der Oberkieferstützzone (Zahn 24). In unserer Studie liegen die  $R^2$ -Werte dann höher, wenn der verwendete Stützzonenzahn aus demselben Kiefer stammt, für den die Prognose erstellt wird.

Die Durchbruchreihenfolge der Stützzonenzähne variiert sehr stark. Im Oberkiefer brechen am häufigsten bei hessischen Patienten beider Geschlechter die ersten Prämolaren durch. Im Unterkiefer brechen bei männlichen Patienten als erste in gleichem Anteil die Eckzähne und die ersten Prämolaren durch; bei weiblichen Probanden brechen die unteren Eckzähne als erste durch (Ergebnisse einer laufenden Studie von Dibbern 2006). Daher werden die Gleichungen mit einem Unterkiefer Eckzahn oder einem ersten Prämolaren am häufigsten angewendet.

#### 4.4. Die Genauigkeit der untersuchten Methoden zur Stützzonenanalyse

Die Überprüfung der Genauigkeit verschiedener Voraussagemethoden wird mittels einer einfachen Formel vorgenommen, in der die geschätzten Werte von den tatsächlichen abgezogen werden:

$$D = M - S$$

wobei

**D** = Differenz zwischen den reellen und geschätzten Stützzonenbreiten

**M** = die am Modell gemessenen Zahnbreiten

**S** = die geschätzten Zahnbreiten, ist.

Im Idealfall, wenn die tatsächlichen und die geschätzten Werte gleich sind, ist die Differenz Null.

In unserer Untersuchung wurden die tatsächlichen mesiodistalen Zahnbreiten in der Stützzone direkt an Gipsmodellen gemessen; die geschätzten Werte wurden mit Hilfe der jeweils in der Literatur beschriebenen Methoden berechnet.

Zunächst sollen die Begriffe *Überschätzung*, *richtige Einschätzung* und *Unterschätzung* definiert und die Auswirkung auf die klinische kieferorthopädische Behandlungsplanung präsentiert werden.

Wenn die tatsächlichen Werte (**M**) größer als die geschätzten (**S**) sind, dann wird sich die Differenz zwischen den beiden (**D**) im positiven Bereich befinden. Anders gesagt, sind die geschätzten Werte kleiner als die reellen, so *unterschätzt* die Methode den Platzbedarf.

Als Folge einer Unterschätzung werden kleinere Zähne erwartet, als tatsächlich der Fall ist. In diesem Fall muß also mehr Platz, als erwartet, für die Einordnung der Stützzonenzähne zur Verfügung gestellt werden. Geringe Abweichungen können zwar klinisch durch die Ausformung der Zahnbögen aufgehoben werden, jedoch gelingt es aber nicht immer, durch kieferorthopädische Maßnahmen, den somit nicht einkalkulierten Platzmangel zu therapieren. Das kann zu einer späteren, nicht eingeplanten Extraktionsentscheidung führen.

Wenn die tatsächlichen Werte (**M**) kleiner als die geschätzten (**S**) sind, dann wird sich die Differenz zwischen den beiden (**D**) im negativen Bereich befinden. Anders gesagt, erweisen sich die geschätzten Werte größer als die reellen, so *überschätzt* die Methode den Platzbedarf.



Als Folge einer Überschätzung werden breitere Zähne erwartet, als tatsächlich durchbrechen werden. In diesem Fall muss weniger Platz zur Verfügung gestellt werden, als anfangs erwartet. Als Folge einer geringen Überschätzung sind während der Behandlung kleine Restlücken zu schließen, was die Therapieplanung aber nicht beeinflussen wird. Einen Platzmangel in der apikalen Basis von bis zu 3,5 mm pro Quadrant kann mittels Distalisieren während der zweiten Wechselphase aufgehoben werden. Ist aber das Ausmaß der Überschätzung groß, so wird beim Patient zusätzlich zu dem bereits bestehendem Platzmangel ein vermeintlicher Platzmangel erwartet, der somit über die 3,5 mm pro Quadrant sein kann. Das wird eine unnötige Extraktionsentscheidung am Anfang der Behandlung zur Folge haben.

Es stellt sich immer die Frage, ob eine Methode für die Stützzonenprognose wünschenswert ist, die überschätzt, oder eine, die unterschätzt. Eine ideale Methode mit einem Mittelwert von 0,00 mm und einer Standardabweichung von 0,00 mm gibt es nicht. Daher ist es sinnvoll, einen Toleranzwert festzulegen, der keine klinische Auswirkung auf die Therapieplanung haben wird. Ein Toleranzwert von 0,00 mm pro Quadrant wäre unrealistisch und einer von 1,5 mm pro Quadrant ist zu groß. Wir haben uns für den Mittelwert zwischen den beiden entschieden, also für einen Toleranzwert von  $\pm 0,75$  mm pro Quadrant. Eine Überschätzung von 0,75 mm pro Quadrant wird im gesamten Zahnbogen einen Platzüberschuss von 1,5 mm zur Folge haben, der während der Multibandbehandlung zu schließen sein wird.

Eine Unterschätzung von 0,75 mm pro Quadrant kann durch die Ausformung der Zahnbögen oder durch Strippen aufgehoben werden.

Somit werden Differenzwerte, die kleiner als -0,75 mm sind, als **Überschätzung** eingestuft, Werte zwischen -0,75 mm und +0,75 mm als **richtige Einschätzung** und Werte über +0,75 mm als **Unterschätzung** betrachtet.

Die Tabellen 17a bis 17c geben die prozentuelle Anzahl der überschätzten, richtig geschätzten und unterschätzten Werte für jede untersuchte Methode anhand unserer Probandengruppe an. Als richtig geschätzt gelten die Werte zwischen -0,75 mm und +0,75 mm der Differenzen zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Stützzonenbreiten; Differenzwerte unter -0,75 mm gelten als Überschätzung und Differenzwerte, die größer als +0,75 mm sind, gelten als Unterschätzung.

Alle in der Tabelle 17a angegebenen Methoden sind statistische Verfahren, die auf der Messung von Gipsmodellen beruhen. Die richtig geschätzten Werte der untersuchten Methoden erstrecken sich im Oberkiefer von 30% bis 68% und im Unterkiefer von 32% bis 65%.

Tabelle 17a – Der prozentuelle Anteil an überschätzten, richtig geschätzten und unterschätzten Werte durch verschiedene Methoden zur Stützzonenprognose.

Methode	Kiefer	Überschätzung (%)	Richtig (%)	Unterschätzung (%)
Moyers 50% (1949)	OK	6	58	36
	UK	8	62	30
Moyers 75% (1949)	OK	24	65	11
	UK	40	52	8
Moorrees und Reed (1957)	OK	19	61	20
	UK	27	51	22
Berendonk (1965)	OK	48	48	4
	UK	51	45	4
Miethke (1972)	OK	0	30	70
	UK	37	53	10
Tanaka und Johnston (1974)	OK	61	38	1
	UK	58	41	1
Tränkmann (1983)	OK	15	66	19
	UK	6	60	34
Bachmann (1986)	OK	10	68	22
	UK	17	65	18
Schäffer (1997)	OK	43	46	11
	UK	63	32	4

Die Methode von Moyers (1949) ist für die Bestimmung des Platzbedarfs in den Stützzonen die meist angewandte (Bishara et al. 1998, Pancherz und Schäffer 1999). Proffit und Ackermann (1993) finden ebenfalls, dass die Genauigkeit der Methode von Moyers zufriedenstellend ist. Dagegen stellen andere Autoren fest, dass die Anwendung dieser Methode anhand anderer Populationsgruppen deutlich überschätzte Werte zeigt (Herren 1972, Kaplan et al. 1977, Gardner 1979, Bachmann 1986, Groß und Hasund 1989, de Paula et al. 1995, Nourallah 2002, Legovic 2003). Anhand unserer Probandengruppe würde das 75%-ige Wahrscheinlichkeitsniveau genauere Ergebnisse für die Einschätzung des Platzbedarfs in den Oberkieferstützzonen und das 50%-ige für die Berechnung der Unterkieferstützzonen leisten. Das 50%-ige Wahrscheinlichkeitsniveau unterschätzt den Platzbedarf in beiden Kiefern bei mehr als 1/3 der Probanden, während das 75%-ige Wahrscheinlichkeitsniveau den Platzbedarf bei 1/4 der Probanden im Oberkiefer und bei 40% der Patienten im Unterkiefer überschätzt.

Die Methode von Tanaka und Johnston (1974) wurde auch in den USA entwickelt. Diese Methode überschätzt den Platzbedarf in den Stützzonen um mehr als 0,75 mm pro Quadrant bei ungefähr 60% der Probanden. In der Literatur ist es ebenfalls bekannt, dass diese Methode stark überschätzt (Herren 1972, Kaplan et al. 1977, Gardner 1979, de Paula et al. 1995, Nourallah 2002, Legovic 2003). Sie ist aber wegen ihrer einfachen Anwendung stark verbreitet. Die durch die Methode von Tanaka und Johnston geschätzten Stützzonenbreiten anhand von hessischen Patientengut ist kritisch einzuschätzen, weil in mehr als 50% der Fälle breitere Zähne erwartet werden, als tatsächlich durchbrechen werden.

Bei den Methoden von Moyers und Tanaka-Johnston könnte diskutiert werden, ob die schlechteren Ergebnisse auf die ethnischen Unterschiede zurückzuführen sind, weil die Abstammung der Probanden dieser Studien nicht genau beschrieben ist.

Die von den anderen in Tabelle 17a angegebener Methoden stammen aus deutschen Studien, so dass die ethnischen Unterschiede beim Vergleich der Genauigkeit dieser Methoden keine wesentliche Rolle spielen können. Sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer ergibt die Methode von Bachmann (1986) den höchsten Anteil an richtig geschätzten Differenzwerten.

Die Ergebnisse der Methode von Tränkmann (1983) zeigen, dass ein geschlechts- und quadrantenspezifisches Vorgehen die Genauigkeit der Prognose nicht verbessert; der prozentuelle Anteil an richtig geschätzten Stützzonenbreiten sind schlechter als der in der von Bachmann beschriebenen Methode.

Die Methode von Berendonk (1965) überschätzt den Platzbedarf in beiden Kiefern bei der Hälfte der Fälle. Die Anwendung der Methode von Miethke (1972) führt dagegen zu entgegengesetzten Ergebnissen, und zwar zu einer Unterschätzung im Oberkiefer bei 70% der Fälle und einer Überschätzung der Unterkieferstützzonenbreiten bei 40% der Probanden.

Schäffer (1997) sucht in ihrer Untersuchung einen „akzeptablen Normwert (als Ersatz für einen errechneten Wert) für die Beurteilung des Platzbedarfs der bleibenden Zähne mit möglichst hoher prozentualer Annäherung an den tatsächlichen Wert für die Stützzonenbreite“. Sie bestimmt verschiedene Testwerte in Bezug auf den errechneten Mittelwert der Stützzonen und auf die Standardabweichung. Nach der Überprüfung der Genauigkeit von 4 verschiedenen Testwerten, setzt sie den Normwert auf 22,0 mm, der den Platzbedarf bei 85% der Patienten sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer überschätzen soll. Allerdings ist eine Überschätzung genauso unerwünscht wie eine Unterschätzung. In mehr als 40% der Fälle wird der Platz-

bedarf im Oberkiefer um mehr als 0,75 mm pro Quadrant überschätzt und im Unterkiefer bei mehr als 60%. Bei dem Vergleich der Genauigkeit mit unserer Methode spielen sicherlich die ethnischen Unterschiede keine Rolle, da beide Verfahren an hessischen Probanden erstellt worden sind.

Tabelle 17b zeigt den Anteil an überschätzten, richtig geschätzten und unterschätzten Werten durch unsere Methode. Die besseren Ergebnisse der Tabelle 17b im Vergleich zur Tabelle 17c sind darauf zurückzuführen, dass diese Daten anhand der Untersuchungsgruppe berechnet worden sind, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass eine Methode immer bessere Ergebnisse in der Stichprobe, in der sie erstellt worden ist, ergibt. Daher werden die Ergebnisse aus der Tabelle 17c, die an einer separaten Kontrollgruppe berechnet wurden, zum Genauigkeitsvergleich mit den anderen Schätzungsmethoden herangezogen.

Tabelle 17b – Der prozentuelle Anteil an überschätzten, richtig geschätzten und unterschätzten Werte mittels unserer Schätzungsmethode anhand der Untersuchungsgruppe.

Methode	Kiefer	Überschätzung (%)	Richtig (%)	Unterschätzung (%)
21, 42, 46	OK	14	73	13
	UK	19	67	14
UK3er, 42, 46	OK	8	82	10
	UK	8	84	8
UK4er, 42, 46	OK	8	85	7
	UK	4	93	3
UK5er, 42, 46	OK	10	80	10
	UK	3	94	3
OK3er, 42, 46	OK	4	90	6
	UK	12	79	9
OK4er, 42, 46	OK	4	92	4
	UK	11	80	9
OK5er, 42, 46	OK	4	90	6
	UK	12	80	8

Tabelle 17c – Der prozentuelle Anteil an überschätzten, richtig geschätzten und unterschätzten Werte mittels unserer Schätzungsmethode anhand der Kontrollgruppe

<b>Methode</b>	<b>Kiefer</b>	<b>Überschätzung (%)</b>	<b>Richtig (%)</b>	<b>Unterschätzung (%)</b>
21, 42, 46	OK	28	67	5
	UK	26	69	5
UK3er, 42, 46	OK	23	74	3
	UK	11	89	0
UK4er, 42, 46	OK	15	77	8
	UK	10	88	2
UK5er, 42, 46	OK	14	80	6
	UK	7	90	3
OK3er, 42, 46	OK	16	83	1
	UK	18	78	4
OK4er, 42, 46	OK	7	93	0
	UK	10	83	7
OK5er, 42, 46	OK	3	92	5
	UK	12	79	9

Der prozentuelle Anteil an richtig geschätzten Werten unserer Schätzungsmethode mit Zähnen die sich außerhalb der Stützzonen befinden ergibt vergleichbar gute Ergebnisse wie auch in der Methode von Bachmann (1986). Durch die Einbeziehung eines Zahnes aus den Stützzonen verbessert sich die Prognose wesentlich. Es ist daher sinnvoll, für jede Durchbruchsreihenfolge ein Modell aufzustellen, damit der erste durchbrechende Stützzonenzahn für die Platzanalyse herangezogen werden kann. Auf die Einbeziehung der ersten Prämolaren für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen haben schon Ingervall und Lennartsson (1978) hingewiesen. Auch Groß und Hasund (1989) erstellen ein Prognosemodell für die Oberkieferstützzonen in dem sie einen Unterkieferstützzonenzahn (Zahn 34) mit einbeziehen und für die Unterkieferprognose einen Oberkieferstützzonenzahn (Zahn 24) heranziehen.

Die kieferorthopädische Planung im dentalen Teilbereich wird hauptsächlich in der zweiten Wechselphase durchgeführt, also dann, wenn ein bleibender Zahn in den Stützzonen durchgebrochen ist. Weil die Prognose durch die Einbeziehung dieses Stützzonenzahnes deutlich verbessert wird, ist es also sinnvoll diesen Zahn für die Schätzung des Platzbedarfs in den Stützzonen zu verwenden. Das Problem der unterschiedlichen Durchbruchssituation wird durch die Erstellung eines Prognosemodells für jede Durchbruchsreihenfolge gelöst.

#### 4.5. Klinische Anwendbarkeit der Stützzonenanalyse

Es stellen sich zwei Fragen:

1. Ist eine Stützzonenanalyse für die kieferorthopädische Behandlungsplanung notwendig?
2. Zu welchem Zeitpunkt ist eine Stützzonenanalyse sinnvoll?

Die Probleme kieferorthopädischer Patienten werden in 3 Teilbereiche sortiert: der morphologische, der dentale und der funktionelle Teilbereich. Innerhalb eines Teilbereichs werden die Probleme nach ihrer Wichtigkeit eingestuft, wobei das wichtigste Problem eines Teilbereichs als Kernproblem definiert wird. Für jeden der 3 Teilbereiche gibt es jeweils ein Kernproblem (Dibbets 2004).

Der Platzmangel ist das Kernproblem im dentalen Teilbereich. Die Stützzonenanalyse ermöglicht somit eine frühzeitige Diagnose, ob der Platz in der apikalen Basis ausreichend, bedingt ausreichend oder nicht ausreichend sein wird.

Ausreichende apikale Basis bedeutet, dass das Platzangebot ausreichend für die Einordnung der bleibenden Stützzonenzähne sein wird. Bedingt ausreichende apikale Basis bedeutet, dass der vorhandene Platzmangel durch konservative kieferorthopädische Maßnahmen (Distalisieren, Expandieren oder Strippen) gelöst werden kann. Nicht ausreichende apikale Basis deutet auf das Lösen des Platzproblems durch Extraktion von bleibenden Zähnen hin.

Es ist also wichtig, schon am Anfang der Behandlung zu wissen, in welche Richtung die Therapie verlaufen wird. Aus diesem Grund ist eine exakte Stützzonenanalyse wünschenswert.

Die dentalen Probleme werden überwiegend in der zweiten Wechselphase therapiert. Zweite Wechselphase bedeutet aber, dass mindestens ein bleibender Zahn in den Stützzonen durchgebrochen ist, der somit in die Stützzonenanalyse herangezogen werden kann. Die Tabelle 17c zeigt, dass die Einbeziehung eines Stützzonenzahnes in die Regressionsanalyse die Genauigkeit des Schätzungsmodells wesentlich verbessert. Aus diesem Grund ist es sinnvoll für jede Durchbruchssituation ein Prognosemodell zu erstellen. Dadurch wird zu Beginn einer kieferorthopädischen Behandlung die Prognose über die Platzverhältnisse in der apikalen Basis genauer.

## 5. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war es, eine Prognosemethode zu entwickeln, die die Genauigkeit für die Schätzung der mesiodistalen Breiten von Eckzähnen und Prämolaren vor ihrem Durchbruch verbessert, und die Genauigkeit mehrere Methoden zur Stützzonenanalyse anhand unserer Untersuchungsgruppe zu überprüfen. Im Laufe der Zeit haben sich drei Methoden für die Stützzonenanalyse bewährt: statistische, röntgenologische und kombinierte Verfahren. Es zeigt sich, dass multiple lineare Regressionsgleichungen mit drei unabhängigen Variablen eine ebenso genaue Prognose wie die röntgenologischen Verfahren ermöglichen, aber ohne zusätzliche Strahlenbelastung für die Patienten.

Das Material dieser Studie besteht aus einer Untersuchungsgruppe und einer Kontrollgruppe. Die Modellpaare beider Gruppen stammen von hessischen Patienten, die in der kieferorthopädischen Abteilung des Universitätsklinikums Marburg behandelt worden sind. An diesen Modellen wurde, mit einer digitalen Präzisionsschieblehre, der mesiodistale Kronendurchmesser aller Zähne außer den Weisheitszähnen, in beiden Kiefer gemessen.

Anhand dieses Patientengutes wurde die Genauigkeit von 8 verschiedenen statistischen Stützzonenverfahren (Moorrees, Schäffer, Moyers, Berendonk, Miethke, Tanaka-Johnston, Tränkmann und Bachmann) überprüft, indem die geschätzten Werte den tatsächlichen Stützzonenbreiten gegenübergestellt wurden. Von den untersuchten Stützzonenverfahren zeigten sich Bachmanns Regressionsgleichungen am genauesten bezogen auf hessische Patienten.

Für die Verbesserung der Schätzungsgenauigkeit der Stützzonenanalyse wurde in der vorliegenden Studie die beste Kombination von drei unabhängigen Variablen der Regressionsgleichungen gesucht. Die höchsten multiplen Korrelationskoeffizienten wurden für die Kombination der Zähne 42, 46 und 21 berechnet.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass die Einbeziehung eines zusätzlich durchgebrochenen bleibenden Stützzonenzahnes in die Regressionsanalyse die Genauigkeit der Schätzungsmethode deutlich verbesserte. Daher ist es sinnvoll ein Prognosemodell für jede Durchbruchssituation zu erstellen. Für eine einfache Anwendbarkeit wurde ein Computerprogramm entwickelt. Die Verbesserung der Genauigkeit unserer Schätzungsmethode wurde anhand einer Kontrollgruppe von 97 Probanden bestätigt.

## Summary

The purpose of this study was to develop a method that improved the prediction of the crown diameters of unerupted permanent canines and premolars. A second objective of the current study was to compare the precision of other estimation methods. Presently 3 methods have proven clinical applicability. These are: the statistical, the radiological and the combined statistical-radiological methods. It appeared that statistical methods based on multiple linear regression equations with 3 independent variables yield the same precision as the radiological method, and without additional radiographic images for the patient.

The material of the present study consisted of a study group and a control group. The casts of both groups came from patients who were treated in the Department of Orthodontics at the University of Marburg-Germany. On these casts, the mesiodistal crown dimension of all the teeth – with the exception of the third molars – were measured with a digital caliper.

The precision of 8 statistical methods were analysed at the study group level, by comparing the estimated values with the real ones. Among the analysed methods, the Bachmann equations showed the highest precision for orthodontic patients from Hessen-Germany.

In order to improve the accuracy of the estimation, a new combination of 3 independent variables for multiple linear regression equations has been searched for. The highest multiple correlation coefficient was computed for the combination of the teeth 42, 46 and 21.

According to the results of the current study, by introducing in the regression equation one permanent tooth from the lateral segment (canine or premolar) the accuracy of the estimation improved considerably. Due to the variable character of the eruption sequence during the second transitional phase, the development of a regression model for every eruption sequence was necessary. A computer program was developed for a better clinical applicability of the method.

The precision improvement by using this method was confirmed on a control group.



## Rezumat

Scopul acestei lucrari a fost, pe de o parte, de a elabora o metoda care sa îmbunătăteasca precizia estimării dimensiunilor mezio-distale a dintelor succesionali din zona de sprijin înainte de erupția lor pe arcada, iar pe de alta parte de a testa precizia altor metode de estimare pe un lot de pacienti din Hessen-Germania. De-a lungul timpului s-au consacrat 3 metode: statistice, radiologice si metode combinate statistic-radiologice. Se dovedeste ca metoda statistica, bazata pe ecuatii de regresie cu 3 variabile independente, ofera aceeasi acuratete ca si metodele radiologice, nefiind însa necesare imagini radiologice suplimentare.

Materialul acestei lucrari este alcatuit dintr-o grupa de studiu si o grupa de control. Masurarea dimensiunilor mezio-distale ale coroanelor tuturor dintelor permanenti – cu exceptia molarilor de minte – a fost efectuata, cu ajutorul unui subler digital, pe modele de ghips provenite de la pacienti tratati în Clinica de Ortodontie a Universitatii din Marburg – Germania.

Acuratetea a 8 metode statistice a fost analizata pe grupa de studiu prin compararea dimensiunilor estimate cu cele reale. Dintre aceste metode testate, ecuatiile lui Bachmann s-au dovedit a fi cele mai precise pentru pacientii ortodontici din Hessen-Germania.

În sensul îmbunătățirii acuratetii metodelor de estimare a fost cautata, în acest studiu, cea mai potrivita combinatie de 3 variabile independente pentru ecuatiile de regresie multiple liniare. Coeficientii multipli de corelatie cei mai mari au fost calculati pentru combinatia dimensiunilor mezio-distale a dintelor 42, 46 si 21.

Rezultatele acestui studiu demonstreaza ca, prin introducerea în ecuatiile de regresie a unui dinte succesional din zona de sprijin erupt pe arcada, precizia de estimare va fi îmbunătățita semnificativ. Variabilitatea foarte mare a ordinii de erupție din cea de-a doua perioada a permutarilor dentare, justifica crearea unui model de regresie pentru fiecare secventa de erupție din zona de sprijin. Pentru simplificarea aplicabilitatii clinice a metodei prezentate în aceasta lucrare a fost dezvoltat un program de calculator.

Îmbunătățirea predictiei prin aceasta metoda a fost confirmata pe un lot de 97 pacienti, reprezentând grupa de control.

## 6. Literaturverzeichnis

Al Khadra BH – *Prediction of the size of unerupted canines and premolars in a Saudi Arab population*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 1993, **104**, 369-373.

Bachmann S – *Voraussage des Platzbedarfs in den Stützzonen mittels multipler Regressionsgleichungen*. Fortschritte der Kieferorthopädie 1986, **47**, 79-86.

Ballard ML, Wylie WL – *Mixed dentition case analysis. Estimating size of unerupted permanent teeth*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 1947, **33**, 754–759.

Beeker SD, DeBow DA, Johnson RA, Nettleman BJ, Spieske KD - *Tooth size, body size and craniofacial dimensions in young adults*. Master's Thesis University of Michigan, Ann Arbor, 1973.

Berendonk I – *Die Relation zwischen Schneidezahn- und seitlichen Ersatzzahnbreiten*. Medizinische Dissertation Mainz, 1965.

Bernabe E, Flores-Mir C – *Appraising number and clinical significance of regression equations to predict unerupted canines and premolars*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 2004, **126**, 228 – 230.

Bernabe E, Flores-Mir C – *Are the lower incisors the best predictors for the unerupted canine and premolars sums? An analysis of a peruvian sample*. Angle Orthodontist 2005, **75**, 202 – 207.

Bishara SE, Jakobsen JR - *Compensatory developmental interactions in the size of permanent teeth in three contemporary populations*. Angle Orthodontist, 1989, **59**, 107-112.

Bishara SE, Jakobsen JR, Abdallah EM, Garcia AF – *Comparisons of mesiodistal and buccolingual crown dimensions of the permanent teeth in three populations from Egypt*,

*Mexico, and the United States*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 1989, **96**, 416-422

Bishara SE, Jakobsen JR - *Comparison of two nonradiographic methods of predicting permanent tooth size in the mixed dentition*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 1998, **114**, 573 – 576.

Black: *Descriptive anatomy of the human teeth*. 4<sup>th</sup>. Ed. Philadelphia, Pa: SS White, 1902, 169.

Bolton WA – *Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion*. Angle Orthodontist, 1958, **28**, 113-130.

Boer de M - *Early loss of primary molars*. In: Proceedings of the NVOS Studyweek. Noordwijkerhout, Netherlands. Nederlandse Vereniging voor Orthodontische Studie, 1980, 113-134

Bronstein IN, Semendjajew KA – *Taschenbuch der Mathematik*. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart-Leipzig und Verlag Nauka. Moskau 1991.

Carey CW - *Linear Arch Dimension and Tooth Size*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1949, **35**, 762-775.

Clinch LM – *A longitudinal study of the mesiodistal crown diameters of the decidual teeth and their permanent successors*. Transactions of the European Orthodontic Society. 1963, 202-215.

Cohen MI – *Recognition of the developing malocclusion*. Dental Clinical Nort. Am. 1958, **6**, 299 - 311.

Dahlberg G – *Statistical methods for medical and biological students*. New York: Interscience, 1940.

Dalidjan M, Sampson W, Townsend G - *Prediction of dental arch development: An assessment of Pont's Index in three human populations*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1995, **107**, 465-475

Dibbern S – laufende Studie zur *Gebissentwicklung* durchgeführt in der Arbeitsgruppe von Prof. Dibbets JMH in Marburg.

Dibbets JMH – *Taking stock: passing the torch, who has the light? Reflections about teaching orthodontics at the occasion of the retirement of Prof. Lysle E. Johnston, Jr PhD.* Orthodontics and Craniofacial Research 2004, **7**, 133-137.

Fischer-Brandies H, Butenandt O – *Odontometrische Studie über die Abhängigkeit von Zahn- und Körpergröße.* Fortschritte der Kieferorthopädie, 1988, **50**, 109-117.

Fleancu A – *Metode de estimare a dimensiunii mezio-distale a dintilor succesionali din zona de sprijin – Studiu comparativ.* Lucrare de diploma, Sibiu - România 2005.

Flores-Mir C, Bernabe E, Camus C, Carhuayo MA, Major PW – *Prediction of mesiodistal canine and premolar tooth width in a sample of Peruvian adolescents.* Orthodontics and Craniofacial Orthopedics 2003, **6**, 173-176.

Frankel HH, Benz EM – *Mixed dentition analysis for black Americans.* Pediatric Dentistry, 1986, **8**, 226 – 230.

Gardner RB – *A comparison of four methods of predicting arch length.* American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1979, **75**, 387 – 398.

Garn SM, Lewis AB, Kerewsky RS – *Size interrelationships of the mesial and distal teeth.* Journal of Dental Research, 1965, **44**, 350-354.

Garn SM, Lewis AB, Walenga A – *Evidence for a secular trend in tooth size over two generations.* Journal of Dental Research, 1967, **46**, 503.

Garn SM, Lewis AB, Kerewsky RS - *The magnitude and implications of the relationship between tooth size and body size.* Archives of Oral Biology, 1968, **13**, 129-131.

Garn SM - *The teeth and the rest of the body. In: Essays in honor of Robert E. Moyers. Hunter WS, Carlson DS eds..* Center for Human Growth and Development University of Michigan, Ann Arbor, 1991, **24**, 85-101.

Geim CJF – *Untersuchung auf approximale Attrition bei kieferorthopädisch behandelten Jugendlichen.* Medizinische Dissertation Marburg 2004.

Griewe PW - *Tooth Size and Symmetrie in the Human Dentition.* Master's Thesis University of Iowa, Iowa, USA, 1949.

Groß A, Hasund A – *Neuere vergleichende korrelationsstatistische Untersuchungen zur Vorhersage des Platzbedarfs in den Stützonen durch multiple Regressionsgleichungen.* Fortschritte der Kieferorthopädie, 1989, **47**, 16-22.

Harzer W – *Stützonenprognose auf genetischer Grundlage – Ergebnisse von Zwillings- und Familienuntersuchungen.* Fortschritte der Kieferorthopädie, 1986, **33**, 139-146.

Herren P, Reisfeld S – *Die Longcone – Röntgentechnik zur Prognose der Kronenbreiten noch nicht durchgebrochener Prämolaren .* Schweizerische Monatszeitschrift für Zahnmedizin, 1970, **80**, 480 -.

Herren P – *Genauigkeitsvergleich verschiedener Verfahren zur Stützonenanalyse.* Fortschritte der Kieferorthopädie, 1972, **33**, 139-146.

Hixon EH, Oldfather RE – *Estimation of the sizes of unerupted cuspid and bicuspid teeth.* Angle Orthodontist 1958, **28**, 236-240.

Hotz R – *Active supervision of the eruption of teeth by extraction.* Transactions of the European Orthodontic Society, 1948, 134 – 160.

Hunter WS, Priest WR - *Errors and discrepancies in measurement of tooth size.* Journal of Dental Research, 1960, **39**, 405 – 414.

Ingervall B, Lennartsson B – *Prediction of breadth of permanent canines and premolars in the mixed dentition*. Angle Orthodontist, 1978, **48**, 62-69.

Jaroontham J, Godfrey K – *Mixed dentition space analysis in a Thai population*. European Journal of Orthodontics, 2000, **22**, 127 – 134.

Kaplan RG, Smith CC, Kanarek PH – *An analysis of three mixed dentition analysis*. Journal of Dental Research 1977, **56**, 1337-1343.

Kjellgren B – *Serial extraction as a corrective procedure in dental orthopedic therapy*. Transactions of the European Orthodontic Society, 1948, 134 – 160.

Kloepfel JG – *Kritische Situation während des Zahnwechsels*. Fortschritte der Kieferorthopädie, 1958, **19**, 129-136.

Korkhaus G – *Handbuch der Zahnheilkunde*. Vierter Band. München, 1939, 107 – 130.

Legovic M., Novosel A., Legovic A – *Regression Equations for Determining Mesiodistal Crown Diameters of Canines and Premolars*. Angle Orthodontist 2003, **73**, 314-318.

Lewis DW, Grainer RM – *Sex-linked inheritance of tooth size (a family study)*. Archives of Oral Biology, 1967, **12**, 539 – 544.

Lima de EM, Monnerat ME – *Comparacao dos predicoes dos diametros mesio-distais de premolares e caninos permanentes inferiores com seus valores reais*. Rev. Soc. Bras. Orthod, 1993, **2**, 125-129.

Löhr E, Marzotko B, Eismann D – *Zur Bedeutung des „lee-way space“ und der Reihenfolge des Seitenzahnwechsels für die Platzverhältnisse im Eckzahn- und Prämolarenbereich*. Fortschritte der Kieferorthopädie, 1987, **48**, 416-423.

Lysell L – *Relationship between mesiodistal crown diameters in the deciduous and permanent lateral teeth*. Acta Odontologica Scandinavica 1960, **18**, 1-11.

Margane D – *Eine Wechselgebissanalyse für den Seitenzahnbereich anhand von hessischen kieferorthopädischen Patienten*. Medizinische Dissertation Marburg 1995.

Martinelli FL, Lima de EM, Rocha R, Tirre Araujo MS – *Prediction of lower permanent canine and premolars width by correlation methods*. Angle Orthodontist, 2005, **75**, 805-808.

Merz ML, Isaacson RJ, Germane N, Rubenstein LK – *Tooth diameters and arch perimeters in a black and a white population*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1991, **100**, 53 – 58.

Miethke RR – *Zahnbreiten und Zahnbreitenkorrelationen*. Medizinische Dissertation Berlin 1972.

Moorrees CFA, Reed RB – *Biometrics of crowding and spacing of the teeth in the mandible*. American Journal of Physical Anthropology 1954, **12**, 77-88.

Moorrees CFA, Thomsen SO, Jensen E, Kai-Jen Zen P – *Mesiodistal crown diameters of the deciduous and permanent teeth in individuals*. Journal of Dental Research, 1957, **36**, 39-47.

Moorrees CF – *The dentition of the growing child: A longitudinal study of dental development between 3 and 18 years of age*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1959, 186-195.

Moorrees CF, Chadha JM - *Crown diameters of corresponding tooth groups in the deciduous and permanent dentition*. Journal of Dental Research, 1962, **41**, 466-470.

Moyers RE – *Handbook of orthodontics*. 2<sup>nd</sup> Edition. Yearbook, Chicago, 1963, 194–195.

Moyers RE – *Handbook of orthodontics*. 4<sup>th</sup> Edition. Yearbook, Chicago, 1988, 236–240.

Nance HN – *The limitations of orthodontic treatment: Mixed dentition diagnosis and treatment*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1947, **33**, 177-223.

Nourallah AW, Gesch D, Khordaji MN, Splieth C – *New regression equations for predicting the size of unerupted canines and premolars in a contemporary population*. Angle Orthodontist 2002, **72**, 216-221.

Pancherz H, Schäffer C – *Vorhersage der Größe der Stützzonen im bleibenden Gebiß auf individueller Basis. Vergleich der Moyers-Methode mit einem prognostischem Einheitswert*. Fortschritte der Kieferorthopädie 1999, **60**, 227-235.

Paula de S, Almeida de MA – *Prediction of the mesiodistal diameter of unerupted canines and premolars using 45° cephalometric radiographie*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1995, **107**, 309-314.

Pont A - *Der Zahn-Index in der Orthodontie*. Zeitschrift für Zahnärztliche Orthopädie, 1909, **3**, 306-321.

Potter RH – *The genetics of tooth size*. In: Stewart RE, Prescott GH. Mosby Company, St. Louis 1976.

Proffit WR, Ackermann JL – *Orthodontic diagnosis: The development of a problem list*. In: Proffit WR, Fields HW, eds. Contemporary Orthodontics, 2<sup>nd</sup> ed. St. Louis, MO: Mosby Year, 1993, 178 – 182.

R Development Core Team – *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>

Rheude B, Sadowsky PL, Ferriera A, Jacobson A – *An evaluation of the use of digital study models orthodontic diagnosis and treatment planning*. Angle Orthodontist, 2005, **75**, 300-304.

Richardson ER, Malhotra SK – *Mesiodistal crown dimension of the permanent dentition of American negroes*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1975, **68**, 157-164.



Sampson WJ, Richards LC – *Prediction of mandibular incisor and canine crowding changes in the mixed dentition*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1985, **88**, 47-63.

Schäffer C – *Individuelle Stützzonenbreitenbestimmung im bleibendem Gebiß. Vergleich gängiger Prognosemethoden mit einem „Normwert“*. Medizinische Dissertation Giessen, 1997.

Schwarz AM – *Über die Gültigkeit der Pontschen Werte*. Fortschritte der Orthodontie 1931, 258-260.

Seipel CM – *Variation in tooth position*. Swed. Dent. J. 1946, **88**, Suppl:1-176.

Staeble H – *Bestimmung der mesio-distalen Kronenbreite der bleibenden Eckzähne und Prämolaren vor ihrem Durchbruch*. Med. Diss. Zürich, 1958.

Staley RN, Hoag JF – *Prediction of the mesiodistal widths of maxillary canines and premolars*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1978, **73**, 169 – 177.

Staley RN, Shelly TH, Martin JF – *Prediction of lower canine and premolar widths in the mixed dentition*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1979, **76**, 300–309.

Staley RN, Kerber PEK – *A revision of the Hixon and Oldfather mixed dentition prediction method*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1980, **78**, 296-302.

Staley RN, Hu P, Hoag JF, Shelly TH – *Prediction of the combined right and left canine and premolar widths in both arches of the mixed dentition*. Pediatric Dentistry, 1983, **5**, 57-60.

Tanaka MM, Johnston LE – *The prediction of the size of the unerupted canines and premolars in a contemporary orthodontic population*. Journal of American Dental Association, 1974, **88**, 798 – 801.

Terra de M – *Beiträge zu einer Odontographie der Menschenrassen*. Philosoph. Dissertation Zürich, 1905.

Tränkmann J, Raufmann W – *Prognose der Stützzonen im Gebiss der zweiten Dentition*. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift, 1983, **38**, 528-531.

Tränkmann J, Möhrmann G, Themm P – *Vergleichende Untersuchungen der Stützzonenprognose*. Fortschritte der Kieferorthopädie, 1990, **51**, 189-194.

## 7. Anhang

### Bestimmung der optimalen Kombination mit Hilfe des in „R“ geschriebenen Programms.

```
# Dr. Bernd Müller
# version 0.1 20.5.03
R-Programm: version 0.1
# Daten auswerten
# Daten aus SPSS-Datei einlesen
library(foreign)
# package "foreign" laden, enthält die Funktion zum Lesen von SPSS-Dateien
filename <- file.choose()
# file.choose ermöglicht die interaktive Auswahl einer Datei.
# Der Pfadname wird in der Variablen filename gespeichert.
daten <- read.spss(file=filename,to.data.frame=TRUE)
# die Funktion read.spss liest Daten aus einer SPSS ein.
# Die Funktion kann nur aufgerufen werden, wenn unter dem Menüpunkt
# "packages" der Punkt Load package ...aufgerufen wird und das
# Paket "foreign" geladen wird. Die Werte werden in ein "data frame"
# mit dem Namen "daten" gespeichert.
# In dem data frame "daten" kann man auf die einzelnen Spalten über
# die Syntax data_frame_name$Name_der_Spalte zugreifen.
#
# Bsp.: daten$C11 Werte der Variable C11
#
# Alternativ kann auf die einzelnen Spalten auch über die Nummer der
# Spalte zugegriffen werden.
#
# Bsp.: daten[[1]] hier hat die Spalte C11 die Nummer 1.

# Berechnung der möglichen Kombinationen der unabhängigen Variablen
# für die lineare Regression.
# Mit 4 unabhängigen Variablen soll die abhängige Variable
# (Stützbreite) über eine multiple lineare Regression berechnet
# werden. Für die Kombination dieser 4 Variablen stehen 16 Variable/
# Zähne zu Verfügung:
# 11, 12, 16, 17, 21, 22, 26, 27, 31, 32, 36, 37, 41, 42, 46, 47
# Die Zahl der möglichen Kombinationen beträgt 495
# Kombinationen = n!/(k!* (n-k)!) n= 16 k= 3
maxn <- 560
k =0
kombi <- array(0, dim=c(maxn,3))
# matrix "kombi" mit maxn Zeilen und 4 Spalten wird erzeugt und
# alle Elemente auf Null gesetzt.

for (i in 1:14) { for (j in (i+1):15) { for (m in (j+1):16) { k = k+1;
kombi[k,1]=i;kombi[k,2]=j;kombi[k,3]=m; } } }
```

# 3 geschachtelte for-Schleifen berechnen die möglichen Kombinationen  
# von 3 Ziehungen aus 12/16 Elementen ohne zurücklegen und ohne die  
# Reihenfolge der 3 gezogenen Elemente zu beachten, d.h. 2 4 5 und

```

# 5 2 4 wird als gleich angesehen.

write.table(kombi,file="Kombinationen_3_aus_12.csv",sep=";",col.names=NA)

# Die Matrix "kombi" wird als Textfile in die Datei "Kombinationen.csv"
# geschrieben. Die einzelnen Spalten werden durch ein Semikolon
# voneinander abgetrennt.

index <- array(0,dim=c(maxn,2))
yindex <- 17
# index der abhängigen Variable, hier mittlere Stützzonenbreite im OK
# Spalte 17 = Oberkiefer, Spalte 18 = Unterkiefer
# for-schleife : i Zähler der Schleife Startwert: 1 Endwert : maxn

reg <- list(0)
for (i in 1:maxn) {
  index[i,1] <- i;
  index[i,2] <- yindex;
  k <- kombi[i,1];
  l <- kombi[i,2];
  m <- kombi[i,3];
  #print(c(k,l,m,n));
  reg[i] <- list(lm(daten[[yindex]] ~ daten[[k]] + daten[[l]] + daten[[m]],data = daten))
  # Die Function lm() ist die Basisfunktion zur Berechnung von
  # linearen Regressionen
}
tabelle <- array(0,dim=c(maxn,5))
for ( i in 1:maxn) {
  k <- kombi[i,1];
  l <- kombi[i,2];
  m <- kombi[i,3];
  # k,l,m index der unabhängigen Variablen
  r <- summary(reg[[i]])$r.squared;
  # r R-Quadrat für die lineare Regression
  tabelle[i,1] <- i;
  tabelle[i,2] <- k;
  tabelle[i,3] <- l;
  tabelle[i,4] <- m;
  tabelle[i,5] <- r;
}
write.table(tabelle,file="Regression_3_aus_12_OK.csv",sep=";",col.names=NA)
maxindex <-0
maxr <- 0
for (i in 1:maxn) {
  if ( maxr < tabelle[i,5]) { maxr <- tabelle[i,5]; maxindex <- i;}
}
print("Optimum: ")
print(tabelle[maxindex,])
# write.table schreibt die Werte in "tabelle" in eine Testdatei mit
# Namen "Regression.csv", wobei die Spalten durch Semikolon getrennt
# werden. Diese Datei kann in SPSS eingelesen werden.

```

# Vorher die Textdatei in einem Editor bearbeiten: Dezimalpunkt  
# durch Dezimalkomma ersetzen.

## **Verzeichnis der akademischen Lehrer**

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren:

in Marburg:           Dibbets

in Sibiu (Rumänien): Boboc, Mitaru, Morari, Rotaru, Sebesan

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. J. M. H. Dibbets, dem Leiter der Abteilung für Kieferorthopädie und Betreuer meiner Dissertation, der mich während meiner Promotionsarbeit stets motiviert und gefördert hat. Seine wissenschaftliche Ethik und sein moralisches Handeln nehme ich als innere Bereicherung auf meinen weiteren Lebensweg mit.

Die vorliegende Dissertation konnte ich während eines dreijährigen Weiterbildungsaufenthaltes an der Philipps-Universität Marburg, Abteilung für Kieferorthopädie erstellen. Deshalb möchte ich mich an dieser Stelle bei der Universität Marburg als Partner und Förderer der Lucian-Bлага-Universität Sibiu/Hermannstadt - Rumänien herzlich bedanken.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. Bernd Müller, meinen Kolleginnen und Kollegen, sowie allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung für Kieferorthopädie.

Mein inniger Dank gilt nicht zuletzt meiner Familie - meiner Frau Alexandra und meiner Tochter Alexia, aber auch meinen Eltern in der fernen Heimat - die mich während dieser ganzen Zeit liebevoll, geduldig, verständnisvoll und selbstlos unterstützt haben.