

**Aus der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin  
des CharitéCentrums für Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin**

**DISSERTATION**

**Über den Zusammenhang zwischen Irregularitätsindex und Engstand**

**Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae  
(Dr. med. dent.)**

**Vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin**

**von**

**Fachzahnärztin für Kieferorthopädie Yvonne Hardkop  
aus Köln**

---

**Gutachter:** 1. Prof. Dr. R.-R. Miethke  
2. Prof. Dr. K.-H. Dannhauer  
3. Prof. Dr. T. Gedrange

Datum der Promotion: 14.10.2009

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>	
<b>1</b>	<b><u>Einleitung und Literaturübersicht</u></b>	<b>6</b>
1.1	Definition verwendeter Begriffe	6
1.2	Messungen von Engstand und Lückenstand	7
1.3	Messungen der Zahnbogenlängendiskrepanz	7
1.3.1	Manuelle Messungen des Bogenumfangs	9
1.3.2	Apparatgestützte Messungen des Bogenumfangs	11
1.3.3	Mathematische Bestimmungen des Bogenumfangs	12
1.3.4	Messungen von Lückenstand	13
1.4	Messungen in orovestibulärer Richtung	13
1.4.1	Indizes mit vestibulooraler Messrichtung	13
1.4.2	Irregularitätsindex als Synonym für Engstand	18
1.5	Messverfahren	18
1.5.1	Vermessungen von Zahnbögen	18
1.5.2	Abweichungen manueller und computergestützter Messungen	19
1.5.3	Manuelles Messinstrument	20
1.6	Ziel dieser Arbeit	21
<b>2</b>	<b><u>Material und Methode</u></b>	<b>22</b>
2.1	Materialien	22
2.1.1	Materialien für manuelle Messungen	22
2.1.2	Materialien für computergestützte Messungen	22
2.2	Methode Vorversuche	23
2.2.1	Grundsätzliche Vorgehensweise bei den Computermessungen	23
2.2.2	Zweidimensionale Darstellung der Approximalkontakte	24
2.3	Methode Hauptversuche	25
2.3.1	Patientenmodelle	25
2.3.2	Manuelle Messungen (MM)	25
2.3.2.1	MM des Irregularitätsindex	25
2.3.2.2	Manuelle Messung des Engstandes nach SEIPEL (MMS)	26
2.3.2.3	Manuelle Messung der Bogenlängendiskrepanz (MMB)	27
2.3.3	Computergestützte Messungen (CM)	28
2.3.3.1	Grundprinzip der computergestützten Messungen	28
2.3.3.2	Scannen der Modelle	28
2.3.3.3	Vermessen der Scanbilder	29
2.3.3.4	Bestimmen des Engstandes	31

---

2.3.3.5	Statistische Auswertung	31
<b><u>3</u></b>	<b><u>Ergebnisse</u></b>	<b><u>33</u></b>
3.1	Allgemeines	33
3.2	Einzelergebnisse	33
3.2.1	Validität der Computermessungen	33
3.2.2	Reproduzierbarkeit der Computermessungen	41
3.3	Korrelation Irregularitätsindex und Engstand	47
<b><u>4</u></b>	<b><u>Diskussion</u></b>	<b><u>50</u></b>
4.1	Auswahl der Modelle	50
4.2	Auswahl der Geräte	50
4.2.1	Computer	50
4.2.2	Instrumente zur Datenerfassung	50
4.2.3	Schieblehre	52
4.3	Messmethoden	52
4.3.1	Validität der Computermessungen von Abständen	52
4.3.2	Methoden der Engstandmessungen im Vergleich	53
4.3.3	Reproduzierbarkeit der Computermessungen	55
4.4	Ergebniskritik: Engstand vs. Irregularitätsindex	57
<b><u>5</u></b>	<b><u>Klinische Hinweise</u></b>	<b><u>60</u></b>
<b><u>6</u></b>	<b><u>Schlussfolgerungen</u></b>	<b><u>61</u></b>
<b><u>7</u></b>	<b><u>Zusammenfassung</u></b>	<b><u>62</u></b>
<b><u>8</u></b>	<b><u>Summary</u></b>	<b><u>64</u></b>
<b><u>9</u></b>	<b><u>Literaturverzeichnis</u></b>	<b><u>66</u></b>
<b><u>10</u></b>	<b><u>Verwendete Geräte und Materialien</u></b>	<b><u>73</u></b>
<b><u>11</u></b>	<b><u>Tabellen und Bildanhang</u></b>	<b><u>75</u></b>

---

<b>11.1</b>	<b>Ergebnisse der manuellen Messungen MMS und MM</b>	<b>75</b>
<b>11.2</b>	<b>Ergebnisse der manuellen Messungen MMB</b>	<b>77</b>
<b>11.3</b>	<b>Ergebnisse der computergestützten Messungen CM</b>	<b>79</b>
<b>11.4</b>	<b>Ergebnisse der computergestützten Messung CMK</b>	<b>81</b>
<b>11.5</b>	<b>Differenzen CM – MMB der einzelnen Zahnbreiten</b>	<b>82</b>
<b>11.6</b>	<b>Differenzen CM – MMB der Zahnbreitensumme</b>	<b>84</b>
<b>11.7</b>	<b>Differenzen CM - MMS des Engstandes</b>	<b>86</b>
<b>11.8</b>	<b>Differenzen CM - MMB des Engstandes</b>	<b>88</b>
<b>11.9</b>	<b>Differenzen CM - MM des Irregularitätsindex</b>	<b>90</b>
<b>11.10</b>	<b>Differenzen CMK – CM der Zahnbreitensumme</b>	<b>92</b>
<b>11.11</b>	<b>Differenzen CMK – CM des Irregularitätsindex</b>	<b>93</b>
<b>11.12</b>	<b>Differenzen CMK – CM des Engstandes</b>	<b>94</b>
<b>11.13</b>	<b>Differenzen CMK – CM des Bogenumfangs</b>	<b>95</b>
<b>11.14</b>	<b>Korrelationen Zahnbreitensumme MMB, CM und CMK</b>	<b>96</b>
<b>11.15</b>	<b>Korrelationen Irregularitätsindex MM, CM und CMK</b>	<b>96</b>
<b>11.16</b>	<b>Korrelationen Engstand MMS, MMB, CM und CMK</b>	<b>97</b>
<b>11.17</b>	<b>Korrelationen Bogenumfang MMB, CM und CMK</b>	<b>97</b>
<b><u>12</u></b>	<b><u>Danksagung</u></b>	<b><u>98</u></b>
<b><u>13</u></b>	<b><u>Curriculum Vitae</u></b>	<b><u>99</u></b>
<b><u>14</u></b>	<b><u>Erklärung</u></b>	<b><u>100</u></b>

# 1 Einleitung und Literaturübersicht

Die Aufgabe der Kieferorthopädie ist das Erkennen, Behandeln und Verhüten von Zahnstellungs- und Bissanomalien. Im Rahmen jeder Diagnose und Behandlung stellt sich wiederkehrend die Frage, wie eine Fehlstellung der Unterkieferfrontzähne in sinnvoller Weise qualitativ oder quantitativ bewertet werden kann.

Bereits früh wurden unterschiedliche Wege beschrieben, die diesem Zweck dienen sollten. Neben qualitativen Beschreibungen wurden auch quantitative Methoden definiert, um den Ausprägungsgrad eines Engstandes nachvollziehbar zu ermitteln. Vor allem für die Bewertung des Behandlungsbedarfs sowie für die abschließende Dokumentation des Behandlungserfolges und die Einschätzung eines eventuell auftretenden Rezidivs wird eine quantitative Aussage als bedeutsam angesehen [20]. Die dazu verwendete Methode sollte möglichst einfach, doch aussagekräftig genau, reproduzierbar und effizient sein.

Die wichtigsten in der Literatur verwendeten Definitionen des Engstandes sowie Methoden, ihn zu messen, werden nachfolgend beschrieben.

## 1.1 Definition verwendeter Begriffe

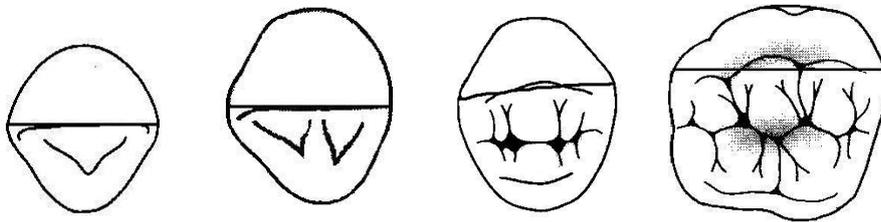
**Engstand** wird definiert als die Folge eines Platzmangels. Er äußert sich symptomatisch in Kippungen nach mesial/distal oder oral/vestibulär, Staffelstellungen, Rotationen, Teilretentionen und/oder Retentionen [48].

**Platzmangel** beschreibt eine Situation, in der alle Zähne einer Dentition mehr Platz beanspruchen, als ihnen zur Verfügung steht [47]. Die Größe des Platzmangels wird quantifiziert als negative Platzbilanz oder **Zahnbogenlängendiskrepanz** [42, 48]. Sie ergibt sich als Differenz zwischen dem verfügbarem Zahnbogenumfang (Platzangebot) und dem Platzbedarf zur regelhaften Einordnung aller regulären Zähne einer Dentition.

**Lückenstand** ist die Folge einer positiven Platzbilanz (Platzüberschuss) [33].

## Kapitel 1: Einleitung und Literaturübersicht

Die mesiodistale **Zahnbreite** wird definiert als die größte Distanz zwischen den Approximalfächern eines Zahnes (Abb. 1.1). Die **Zahnbreitensumme** wird durch Addition der einzelnen Zahnbreiten errechnet [35, 42, 47, 51, 53, 56, 64].



*Abb. 1.1: Feststellen der mesiodistalen Zahnbreite entlang der Verbindungslinie zwischen den beiden anatomischen Kontaktpunkten eines Zahnes.*

### 1.2 Messungen von Engstand und Lückenstand

Engstand wird unterschiedlich erfasst und bewertet. Dies erfolgt entweder durch Messung in mm mit unterschiedlichen Methoden oder nur beschreibend mit einem Adjektiv (gering, mäßig, stark oder ähnlich) [39, 42, 43, 48]. Metrische Bewertungen von Engstand gliedern sich nach der Messrichtung in

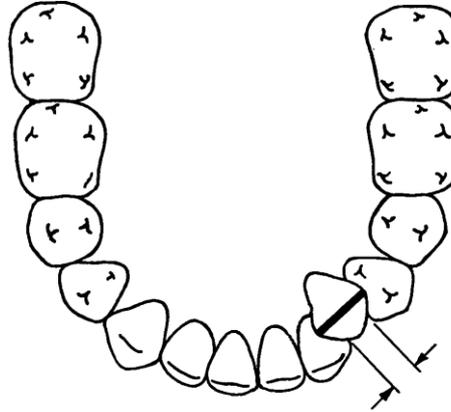
- Zahnbogenlängendiskrepanz / Platzbilanz in mesiodistaler Richtung und
- Abweichung der Zähne in orovestibulärer Richtung von ihrer idealen Position im Zahnbogen.

Da die orovestibuläre Messrichtung auf den ersten Blick keinen Zusammenhang mit der Platzbilanz und damit auch der Engstandsmessung aufweist, stellt sich die Frage, ob diese Messmethode zutreffende Ergebnisse liefert. Daher werden im Folgenden die Methoden zur Messung der Zahnbogenlängendiskrepanz und zur Abweichung der Zähne in orovestibulärer Richtung genauer beschrieben.

### 1.3 Messungen der Zahnbogenlängendiskrepanz

Die Bestimmung der Zahnbogenlängendiskrepanz, das heißt der Platzbilanz, kann abhängig von der Zahl der Zähne auf zwei verschiedene Arten erfolgen.

Man erhält die **Platzbilanz für einen einzelnen Zahn**, indem man von der Breite des vorhandenen Platzes im Zahnbogen den mesiodistalen Kronendurchmesser des betroffenen Zahnes subtrahiert (Abb. 1.2). SEIPEL [64] war wohl der erste, der auf diese Weise vorging.



*Abb. 1.2: Die Bestimmung des Engstandes nach SEIPEL als Differenz zwischen Zahnbreite und vorhandenem Platz im Zahnbogen.*

Die **Platzbilanz für mehrere Zähne** ist folglich die Differenz zwischen Zahnbogenumfang und Breite der vorhandenen Zähne [42, 44].

Die Bogenform hat einen umso größeren Einfluss auf das Ergebnis, je länger der Zahnbogen ist, für den die Platzdiskrepanz bestimmt werden muss. Allerdings wird es mit zunehmendem Engstand immer schwieriger, die eigentliche Bogenform zu bestimmen [4]. Bereits kleine Änderungen des Bogenverlaufs haben eine Auswirkung auf den gemessenen Zahnbogenumfang. Eine Aufteilung der Engstandsmessung in mehrere kleinere Segmente soll deshalb genauer sein [64]. Da es über diese Behauptung jedoch keine Untersuchung gibt, werden in der vorliegenden Arbeit beide Methoden verwendet und ihre Wiederholbarkeit wird überprüft.

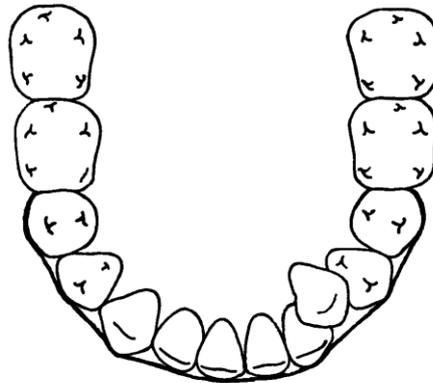
Praktisch erfolgt die Ermittlung des Bogenumfangs auf drei unterschiedliche Arten:

- Messung entlang des Zahnbogens mittels Faden, Draht oder flexiblem Lineal,
- Bestimmung an Hand einer mit Hilfsmitteln gezogenen Linie und
- Ermittlung mit Hilfe eines mathematischen Modells.

Diese drei Verfahren werden nachfolgend erläutert.

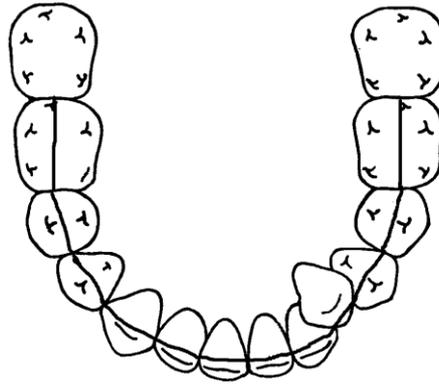
### 1.3.1 Manuelle Messungen des Bogenumfangs

Die Bestimmung des Bogenumfangs entlang des Zahnbogens mittels Faden, Draht oder flexiblem Lineal wurde zuerst von NANCE [54] beschrieben. Dabei wurde ein Faden von der mesiobukkalen Fläche des Zahnes 36 entlang der vestibulären Außenflächen aller Zähne zu der mesiobukkalen Fläche des Zahnes 46 gespannt. Die gemessene Länge war der vorhandene Platz im Zahnbogen (Abb. 1.3). NANCE [54] nannte diese Methode „outside measurement“, nachstehend als „äußere Messung“ bezeichnet. LUNDSTRÖM [41, 43] bezog sich nicht auf NANCE, verwendete aber die gleiche Methode.



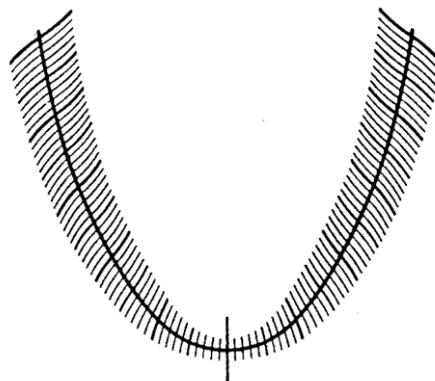
*Abb. 1.3: Die Zahnbogenumfangsmessung nach NANCE und LUNDSTRÖM:  
Die dicke Linie zeigt die Lage des Drahtes oder des Lineals.*

MOORREES und REED [50], KINAST [31] und KAHL-NIEKE et al. [30] maßen den Zahnbogenumfang sehr ähnlich wie NANCE [54] (Abb. 1.4). Sie begannen mit der Messung jedoch distal der 1. Molaren und ließen das Lineal okklusal auf dem Zahnbogen verlaufen.



*Abb. 1.4: Die Zahnbogenumfangmessung nach MOORREES und REED [51], KINAST [31] und KAHL-NIEKE et al. [30]: Dabei wird der Bogenumfang von den Distalflächen der 1. Molaren entlang der Fissurenlinie über die Eckzähne hinweg entlang der Kanten der Schneidezähne gemessen. Im Frontzahnbereich richtete sich die Messlinie bei Engstand nach jenen Zähnen, die die Gesamtbogenform am besten widerspiegeln.*

Eine spezielles Messlineal zum Bestimmen der Platzbilanz ist das **Arcumeter** nach KINAST (Abb. 1.5) [31]. Der Grundgedanke ist, möglichst viele Zahnbogenformen jeweils als einfache parabelähnliche Kurven mit unterschiedlichen Durchmessern darzustellen, mit genauer Millimeterverteilung zu versehen und übereinander auf eine Schablone zu kopieren [32].



*Abb. 1.5: Arcumeter nach KINAST für den Unterkiefer.*



an dieser Stelle nicht relevant und werden daher nicht weiter beschrieben. Das Okklusogramm wurde von FIORELLI und MELSEN [18] in computergestützter Form verwendet. Insgesamt zielen Okklusogramme auf die Behandlungsplanung und nicht auf eine quantitative Bestimmung des Engstandes, deshalb wurden sie im Rahmen dieser Arbeit nicht verwendet.

### 1.3.3 Mathematische Bestimmungen des Bogenumfangs

BONWILL [8], HAWLEY [23], LASHER [34], NANCE [53], MOORREES et al. [50], LU [40], MILLS und HAMILTON [49], TWEED [72], CURRIER [13], SANIN und SAVARA [61], BEAZLEY [4], HERREN [25] und SIATKOWSKY [66] bestimmten den Zahnbogenumfang mathematisch mit Hilfe von exponentiellen, logarithmischen, elliptischen, parabolischen, hyperbolischen, polynomialen und ganztranszendenten Funktionen oder Fourier-Reihen.

Um den Bogenumfang möglichst einfach zu erfassen, empfahl NANCE [54], beidseitig die Distanz von den Kontaktpunkten der mittleren Schneidezähne zu den Kontaktpunkten zwischen den 2. Prämolaren und 1. Molaren zu messen. Er bezeichnete dies als „inside measurement“ (nachfolgend als „innere Messung“ bezeichnet). MOORREES et al. [51] (Abb. 1.7) gingen ähnlich vor, indem sie die Abstände zwischen dem Kontaktpunkt der mittleren Schneidezähne und den Kontaktpunkten von 1. und 2. Molaren maßen. Derartige Strecken können jedoch nur einen Näherungswert für den Umfang des Zahnbogens geben, da dessen gekrümmte Form nicht berücksichtigt wird.

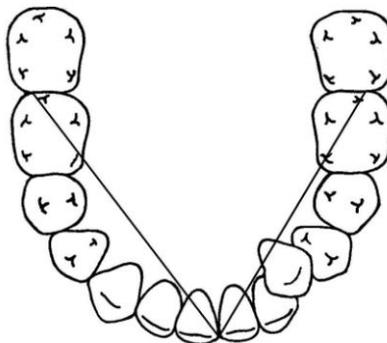


Abb. 1.7: Innere Messung modifiziert nach MOORREES und REED.

## Kapitel 1: Einleitung und Literaturübersicht

LU [40] empfahl, den Unterkieferzahnbogen durch ein Polynom zu beschreiben. Er ermittelte, dass ein Polynom 4. Grades die einfachste Kurve darstellt, die einen Zahnbogen ausreichend genau wiedergibt. CURRIER [13] verglich die Bogenform mit Ellipsen und Parabeln und prüfte deren Übereinstimmung mit dem äußeren, mittleren und inneren Zahnbogen von Ober- und Unterkiefer. Er kam zu dem Schluss, dass eine Ellipse die äußere Kurve des Ober- und Unterkiefers am besten widerspiegelt, während es bei der mittleren Kurve in beiden Kiefern eine Parabel ist. CURRIER machte keine Angaben zur inneren Kurve, ohne das zu erklären. KINAST [31] benutzte für sein Arcumeter ebenfalls die Form einer Parabel.

### **1.3.4 Messungen von Lückenstand**

Platzüberschuss wird in der Regel als positive Bogenlängendiskrepanz bestimmt. Die Messmethoden sind die gleichen wie bei der Engstandsbestimmung. Dabei wurden die Lückenbreiten entweder mit einer Schieblehre oder mittels unterschiedlich dicken Drähten gemessen, die in den interdentalen Zwischenraum eingeführt wurden. Die Genauigkeit dieser Messungen liegt bei 0,1 mm [51, 64].

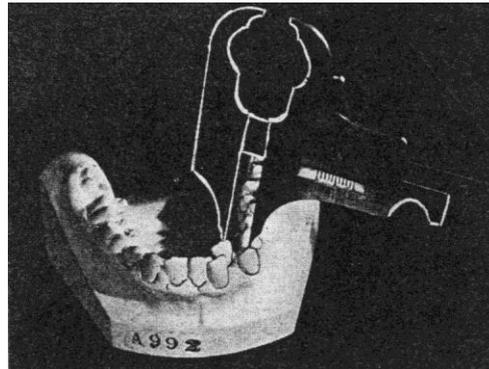
## **1.4 Messungen in orovestibulärer Richtung**

### **1.4.1 Indizes mit vestibulooraler Messrichtung**

Nachfolgend sind die wichtigsten Indizes mit vestibulooraler Messrichtung in chronologischer Reihenfolge aufgelistet; sie werden anschließend kurz beschrieben:

- Handicapping Labio-Lingual Deviation Index (HLD) nach DRAKER [16],
- Occlusal Index nach SUMMERS [70],
- Irregularitätsindex nach LITTLE [39],
- Dental Aesthetic Index (DAI) nach JENNY und CONS [29],
- Index of Treatment Need (IOTN) nach BROOK und SHAW [9],
- PAR-Index nach RICHMOND et al. [57],
- Index of Complexity, Outcome and Need (ICON) nach DANIELS und RICHMOND [14],
- Kieferorthopädische Indikationsgruppen (KIG) nach dem BUNDESAUSSCHUSS DER ZAHNÄRZTE UND KRANKENKASSEN [10].

DRAKER [16] entwickelte 1960 den **Handicapping Labio-Lingual Deviation-Index** (HLD-Index), damit Krankenversicherungen den kieferorthopädischen Behandlungsbedarf möglichst objektiv ermitteln konnten. Sein Index erfasst sieben Parameter, wozu unter anderem Durchbruch im Außenstand und anteriorer Engstand gehören. Er maß Engstand (labiolingual spread) als Abweichung eines jeden einzelnen Schneidezahnes von einem normalen Zahnbogen in Millimetern (Abb. 1.8).



*Abb. 1.8: Messung der Kontaktpunktabweichung im Rahmen des HLD-Indexes mit einer Schieblehre (hier: Messung von der Inzisalkante des Zahnes 33 zur Inzisalkante des lingual stehenden Zahnes 32).*

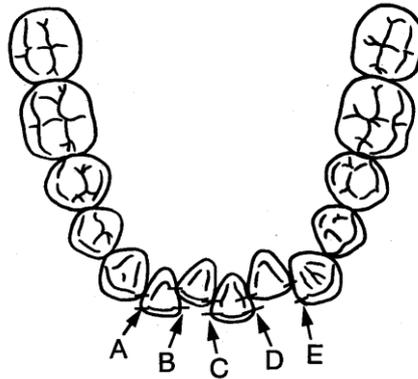
Steht nur ein Zahn außerhalb der Zahnreihe, sollte die Messung von der Inzisalkante dieses Zahnes bis zu der normalen Bogenlinie erfolgen. Bei multiplen Fehlständen wird dagegen die Distanz zwischen dem am meisten protrudiertem und dem am meisten retrudiertem Frontzahn gemessen [16].

Der **Occlusal Index** nach SUMMERS [70] aus dem Jahre 1971 unterscheidet bei oro-vestibulären Kontaktpunktabweichungen nur zwischen kleiner oder größer als 2 mm. Er differenzierte darüber hinaus zwischen Kontaktpunktabweichungen mit und ohne Platzmangel.

LITTLE [39] stellte im Jahre 1975 den **Irregularitätsindex** vor, um Unregelmäßigkeiten der Frontzahnstellung im Unterkiefer zu erfassen. Dabei werden die linearen Abstände der anatomischen Kontaktpunkte jedes unteren Frontzahnes zu den entsprechenden Punkten an seinen Nachbarzähnen mit einer Schieblehre parallel zur Okklusionsebene gemessen (Abb. 1.9). Dadurch erhält man ein Maß für die tatsächlichen Wegstrecken,

## Kapitel 1: Einleitung und Literaturübersicht

die die anatomischen Kontaktpunkte aufeinander zu bewegt werden müssen, um eine ideale Zahnreihe zu bilden.



*Abb. 1.9: Beispiel für das Ermitteln des Irregularitätsindexes: Jede der fünf Messungen A bis E repräsentiert die horizontale gerade Distanz zwischen der vertikalen Projektion der anatomischen Kontaktpunkte der benachbarten Zähne.*

Vertikale Abweichungen der Zähne blieben unberücksichtigt, da deren Korrektur die anteriore Zahnbogenlänge nicht merklich beeinflusst. Bei Lücken und Rotationen wurde nur die vestibulorale Verlagerung erfasst. Der Irregularitätsindex beträgt bei perfekter Anordnung der Zähne 0. Je höher das Ergebnis ist, desto unregelmäßiger stehen die Unterkieferfrontzähne.

MENG, GEBAUER und INGERVALL [47] wiesen darauf hin, dass sich Platzbilanz und Irregularitätsindex unterschiedlich verhalten. Dies wurde von MIETHKE et al. [48] unterstützt, denn ihrer Meinung nach ist es wissenschaftlich nicht korrekt, den Irregularitätsindex mit dem Bestimmen von Engständen oder Lücken gleichzusetzen. Genau dies erfolgt jedoch in vielen Untersuchungen.

Beim **Dental Aesthetic Index** (DAI) wird unter anderem die maximale Schneidezahnirregularität und die anteriore Zahnbogenlängendiskrepanz visuell durch den Vergleich mit einer Beispieltafel ermittelt [29].

BROOK und SHAW [9] entwickelten 1989 den **Index of Treatment Need** (IOTN), der unterschiedliche Zahn- und Kieferfehlstellungssymptome anhand ihrer vermuteten

## Kapitel 1: Einleitung und Literaturübersicht

Bedeutung für ein gesundes orofaziales System und für das ästhetische Erscheinungsbild in fünf Kategorien gliederte (1 = keine, 5 = hohe Behandlungsnotwendigkeit). Alle Messungen erfolgen am Patienten oder an Modellen mit einer speziellen Messlehre. Die ästhetische Beurteilung basierte auf einer 10-Punkte-Skala, der Fotografien zu Grunde liegen, mit denen der jeweilige Patient verglichen wird. Für den IOTN wird die stärkste Kontaktpunktabweichung und die Zahnbogenlängendiskrepanz in einem Zahnbogen gemessen.

Der **Peer-Assessment-Rating-Index** (PAR-Index) wurde 1992 von RICHMOND et al. [57] entwickelt, um Dysgnathien im Wechsel- und vor allem im bleibenden Gebiss zu bewerten. Bei idealer Zahn- und Kieferstellung ist der Indexwert 0. Alle Messungen erfolgen mit dem sogenannten PAR-Lineal (Abb. 1.10).

<b>ANT-POST</b>	
0	None
1	< 1/2 unit dis
2	= 1/2 unit dis
<b>TRANSVERSE</b>	
0	None
1	Xbite tend > = 1t
2	1 tooth in xbite
3	> 1 tooth in xb
4	> 1 tooth in ab
<b>VERTICAL</b>	
0	None
1	openb 2t > 2mm
<b>CENTRELINE</b>	
0	< = 1/4
1	1/4 - 1/2
2	> 1/2
<b>OVERBITE</b>	
0	0 - 1/3 open b
1	1/3 - 2/3 -
2	> 2/3 -
3	> = FTC -
4	→
<b>CONTACT Pt</b>	
0	-
1	-
2	-
3	-
4	→
5	Impacted tooth
<b>THE PAR INDEX</b> <i>Manchester</i>	
<b>OVERJET</b>	
4	> 2t xb
3	2t xb
2	1t xb
1	e (e)
0	

Abb. 1.10: PAR-Index Lineal zum Bestimmen des Ausmaßes der Fehlstellungen nach sieben Aspekten (unter anderem Kontaktpunktabweichung). Bei idealer Zahnstellung ist der Indexwert 0.

## Kapitel 1: Einleitung und Literaturübersicht

Obwohl RICHMOND et al. den Irregularitätsindex nicht ausdrücklich erwähnten, ist das Erfassen von Unregelmäßigkeiten im Frontzahnbereich identisch. Sie bezeichneten den dabei erhobenen Wert als „orovestibular displacement“, was im Grunde nichts anderes als eine Kontaktpunktabweichung ist. Alle gemessenen Werte werden auf volle Millimeter abgerundet.

Der **Index of Complexity, Outcome and Need (ICON)** von DANIELS und RICHMOND [14, 58, 59] aus dem Jahre 2000 bewertet den Behandlungsbedarf und -aufwand sowie das Therapieresultat. Der Behandlungsbedarf wird nach 20 Aspekten beurteilt, denen je nach Ausprägungsgrad ein Zahlenwert zugeschrieben wird. Die Beurteilung erfolgt sowohl nach morphologischen als auch nach ästhetischen Gesichtspunkten. Im Rahmen des ICON werden unter anderem die Zahnbogenlängendiskrepanz und die stärkste Kontaktpunktabweichung innerhalb eines Zahnbogens gemessen und in die Auswertung einbezogen.

In den **Kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG)** wurde Engstand explizit mit Kontaktpunktabweichung gleich gesetzt (Abb. 1.11) [10, 63].

Behandlungsbedarf		Grad
Kraniofaziale Anomalien		A
Zahnunterzahl (Aplasie oder Zahnverlust)		U
Durchbruchstörungen		S
Sagittale Stufe	distal	D
	mesial	M
Vertikale Stufe	offen (auch seitlich)	O
	tief	T
Transversale Abweichung		B
		K
Kontaktpunktabweichung Engstand		E
Platzmangel		P

Abb. 1.11: KIG-Gruppen: Zusätzlich zu der Indikationsgruppe Engstand E wurde eine Indikationsgruppe P für Platzmangel eingeführt.

## Kapitel 1: Einleitung und Literaturübersicht

Jeder gesetzlich versicherte kieferorthopädische Patient unter 18 Jahren wird vor Behandlungsbeginn in den elf Indikationsgruppen in eine von fünf Stufen eingeordnet. Die Kontaktpunktabweichungen werden wie beim Irregularitätsindex zwischen den anatomischen Kontaktpunkten der Schneidezähne sowohl im Unter- wie auch im Oberkiefer in der Horizontalebene gemessen, das heißt, die Approximalkontakte werden in diese Ebene projiziert. Die Eck- und Seitenzähne sind explizit ausgeschlossen [10].

### **1.4.2 Irregularitätsindex als Synonym für Engstand**

Nachdem LITTLE seinen Irregularitätsindex vorgestellt hatte, wurde dieser häufig mit Engstand gleichgesetzt. So geschehen bei TANER et al. [71], HUCK et al. [27], MOCKERS et al. [50], FREITAS et al. [19] und WELLENS [74]. An der geographischen Herkunft der Untersuchungen zeigt sich, dass es sich dabei nicht um ein lokales Phänomen handelt.

Da Engstand und Irregularitätsindex nicht zwangsläufig identisch sind, verglichen HARRIS, VADEN und WILLIAMS [22] bei 70 Patienten die Platzbilanz im Bereich der Unterkieferfrontzähne mit dem Irregularitätsindex. In ähnlicher Weise untersuchten BERNABE und FLORES [6] anhand von 200 Modellen die Fähigkeit des Irregularitätsindexes, die Zahnbogenlängendiskrepanz zu bestimmen.

## **1.5 Messverfahren**

### **1.5.1 Vermessungen von Zahnbögen**

STANTON [67] entwickelte 1931 einen Okklusographen, mit dessen Hilfe es möglich war, Zahnbögen im Maßstab 1:5 exakt nachzuzeichnen. KINAST stellte 1982 [32] die Durchzeichnung von Kiefermodellen mittels eines Polygraphen vor. Er erklärte jedoch, dass die Genauigkeit von der Gewissenhaftigkeit und Geschicklichkeit des Zeichners abhängt. Abweichungen der Bilder lagen bei einem geübten Zeichner bei wiederholter Durchzeichnung im Bereich der Bleistiftstrichdicke.

Ein Messmikroskop zum Vermessen von Modellen wurde von HERREN [25], GEBAUER [21] sowie MENG, GEBAUER und INGERVALL [47] verwendet.

Computerunterstützte Modellauswertungen beruhen entweder auf Scanbilder oder elektronischen Tastern, mit denen die relevanten Messpunkte angesteuert werden. FIORELLI und MELSEN [18] bestätigten die schon von SANIN und SAVARA [62] postulierten Vorteile des computergestützten Arbeitens. So können mittels Datenverarbeitung die komplexen Zusammenhänge dreidimensional berechnet werden.

### **1.5.2 Abweichungen manueller und computergestützter Messungen**

Für diese Arbeit ist bedeutungsvoll, wie stark die Ergebnisse manueller und computergestützter Messungen von einander abweichen.

SAVARA und SANIN [62] nahmen einen derartigen Vergleich an 50 Kiefermodellen für die Zahnbreite vor. Sie kamen dabei zu dem Schluss, dass die Genauigkeit von Computermessungen ausreichend ist.

TRAN et al. [72] maßen den Irregularitätsindex nach LITTLE einmal an 30 Unterkiefermodellen mit einer Schieblehre und ein zweites Mal an Scanbildern mittels ImageJ Software. Nach einer Woche wurden diese Messungen wiederholt. Die Untersucher kamen zu dem Schluss, dass die computerbasierte Messmethode eine hohe Validität und Reproduzierbarkeit aufwies. Sie räumten jedoch ebenso wie RUSSEL [60] ein, dass manuelle und computergestützte Messmethode nicht austauschbar seien. Computergestützte Messungen von Abständen ergaben laut TRAN et al. Werte, die im Mittel um  $0,18 \text{ mm} \pm 0,34$  kleiner waren als die manuell ermittelten.

ZILBERMAN et al. [75] verglichen die Vermessung von 20 physischen Kiefermodellen mit einer digitalen Schieblehre mit der Vermessung derselben 20 virtuellen Kiefermodelle mit dem Programm OrthoCAD. Dabei erfassten sie die Zahnbreiten sowie die anteriore und posteriore Zahnbogenbreite. Beide Methoden erwiesen sich als valide, doch war das Messen mit einer digitalen Schieblehre etwas genauer und reproduzierbarer.

AL-DASHTI et al. [1] vermaßen 14 Modelle dreifach: Erstens direkt mit einer digitalen Schieblehre, zweitens auf Fotokopien der Modelle ebenfalls mit einer digitalen Schieblehre und drittens auf Fotokopien der Modelle mit dem Programm Magiscan Image Analysis. Die direkte Messung mittels Schieblehre auf dem Kiefermodell stellte

sich als am zuverlässigsten heraus. Die Messung anhand von Fotokopien und des Bildanalyseprogramms waren insgesamt nicht zuverlässig.

STEVENS et al. [68] vermaßen 24 Kiefermodelle mit einer digitalen Schieblehre (Auflösung 0,01 mm) und digitale Abbilder derselben Modelle mittels emodel software (Version 6.0, GeoDym, Chanhassen, Minn.). Dabei ermittelten sie den Bolton Index und den PAR-Index. In den meisten Fällen ergab sich eine exzellente mindestens jedoch eine gute Reproduzierbarkeit. Weder bei der Bolton Analyse noch beim PAR-Index zeigte sich ein klinisch signifikanter Unterschied der Ergebnisse. Daher sind STEVENS et al. überzeugt, dass ein Kieferorthopäde mit computergestützten Messungen zu keiner anderen Diagnose kommt, als wenn er reale Kiefermodelle auswerten würde.

### **1.5.3 Manuelles Messinstrument**

Die Exaktheit von Messungen hängt hochgradig von der Präzision des Messinstruments ab [64]. Für manuelle Messungen werden in der Regel Dentalschieblehren mit geraden langen Messspitzen und einer Noniuskala verwendet; somit beträgt die Ablesegenauigkeit mindestens 0,1 mm [15, 28, 30, 39, 43, 51, 55]. Messungen mit einem Messzirkel dürften dagegen deutlich unpräziser ausfallen [2, 7, 53].

MOORREES et al. [51] fanden bei Doppelmessungen der mesiodistalen Kronendurchmesser von einzelnen bleibenden Unterkieferzähnen eine Differenz von 0,09 mm (n=360) beziehungsweise von 0,41 mm für die Breitensumme von 10 Zähnen (Zahn 35 bis Zahn 45) (n=30).

In ähnlicher Weise ermittelten HUNTER und PRIEST [28] beim doppelten Messen der Zahnbreiten von Zahn 16 bis Zahn 26 sowie Zahn 36 bis Zahn 46 bei 24 Patienten eine mittlere Abweichung der einzelnen Zahnbreite von 0,15 mm  $\pm$ 0,03 mm.

MANKE und MIETHKE [45] erhielten bei doppelten manuellen Messungen der Zahnbreiten der Frontzähne bei 10 Patienten einen mittleren Messfehler von 0,04 mm  $\pm$ 0,06.

## **1.6 Ziel dieser Arbeit**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 59 Patientenmodellen manuell und computergestützt vermessen. An jedem Modell wurden die Zahnbreitensumme, der Irregularitätsindex, der anteriore Bogenumfang und der Engstand bestimmt.

Auf dieser Datenbasis wurde untersucht, welche Aussagekraft die einzelnen Ergebnisse und Messmethoden haben und zu welchen Abweichungen Parallelmessungen führen.

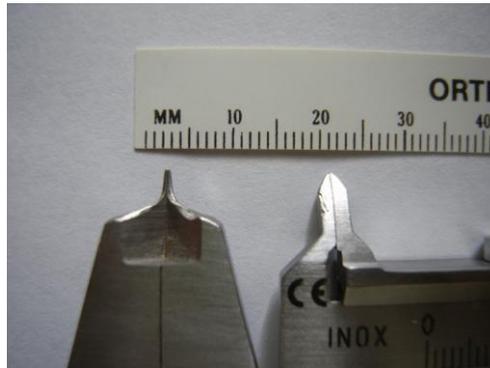
Abschließend wurde anhand der erzielten Messergebnisse die Korrelation zwischen dem Irregularitätsindex nach LITTLE und dem frontalen Engstand (als Platzdefizit gemessen) ermittelt.

## 2 Material und Methode

### 2.1 Materialien

#### 2.1.1 Materialien für manuelle Messungen

Schieblehre: Es wurde eine digitale Schieblehre benutzt, deren Ablesegenauigkeit bei 0,01 mm liegt. Die Branchen wurden so beschliffen, dass sie auf ihren ersten drei Millimetern nicht dicker als 0,5 mm waren (Abb. 2.1).



*Abb. 2.1: Die in dieser Arbeit verwendete Schieblehre (links) im Vergleich zu einer Schieblehre „Münchener Modell“ (rechts); darüber zur Verdeutlichung ein flexibles Lineal mit Millimeterskala.*

Millimeterpapier: 0,1 mm Raster

Flexibles Lineal: Messbereich 150 mm in 1 mm Skalierung (Abb. 2.1)

#### 2.1.2 Materialien für computergestützte Messungen

Personalcomputer mit Intel-Pentium-3-Prozessor (500MhZ)

Drucker:	Hewlett Packard HP Desk Jet 720 C
Scanner:	Canon CanoScan D1250U2
Monitor:	Samsung SyncMaster 700p plus Color

#### **Anwendungsprogramme:**

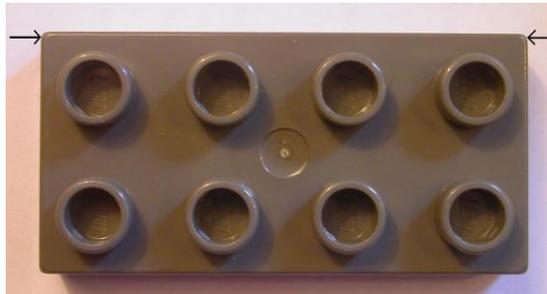
Betriebssystem:	Microsoft Windows XP Professional
Textverarbeitung:	Microsoft Office Word 2003

## Kapitel 2: Material und Methode

Scanner-Treiber (TWAIN-Treiber):	ScanGear CS-U
Scanner Anwendungsprogramm:	Canon ScanGear Toolbox 3.1
Graphisches Analyseprogramm:	SigmaScan Pro 2.0
Tabellenkalkulation:	Microsoft Office Excel 2003
Programm für mathematische Funktionen:	Mathematica 5.1
Programm für statistische Funktionen:	SPSS® Version 15.0 für Windows

### **Kalibrierungsobjekt:**

Leg Duplo Stein mit Kantenlänge  $63,52 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ . Zur Kalibrierung wurde die äußere Kantenlänge des Steins verwendet und zwar an der Stelle, wo er in die Kantenabrundung übergeht (Pfeile in Abb. 2.2).



*Abb. 2.2: Kalibrierungsobjekt: Die Pfeile zeigen auf die verwendeten Messpunkte am Kalibrierungsobjekt.*

## **2.2 Methode Vorversuche**

### **2.2.1 Grundsätzliche Vorgehensweise bei den Computermessungen**

Das Ablaufdiagramm für die computergestützten **M**essungen (CM) ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Zunächst wurden die Modelle in der Okklusionsebene eingescannt. Die Scanbilder wurden als TIF-Dateien in das graphische Analyseprogramm SigmaScan Pro importiert. Dort wurden die Kontaktpunkte vom Untersucher mit dem Cursor markiert. Das Programm ermittelte an Hand der Markierungen und eines virtuellen Koordinatensystems die Abstände der Kontaktpunkte voneinander. Die ermittelten Werte wurden in die Tabellenkalkulation MS Excel (Excel-Datei 1) exportiert. Die Tabellenkalkulation berechnete anhand der Koordinaten der gewählten Zahnkontaktpunkte und der Höckerspitzen die näherungsweise am besten passende

Parabel. Aus der Excel-Datei 1 wurden die Koordinaten der distalen Eckzahnkontaktpunkte in das mathematische Programm Mathematica exportiert; gleiches geschah mit der Parabelfunktion.

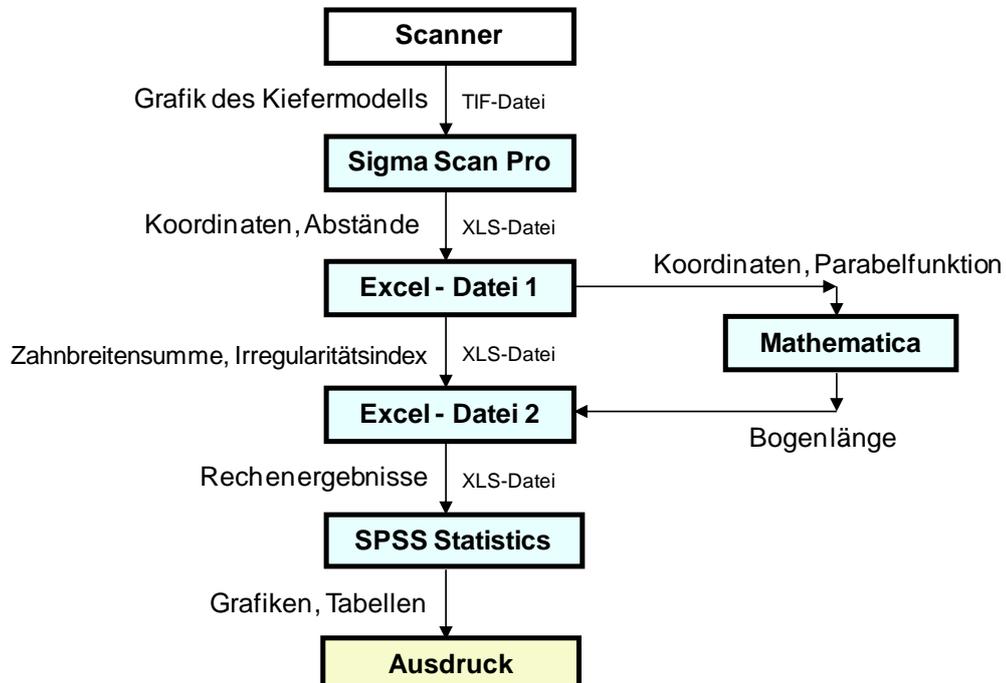


Abb. 2.3: Ablaufdiagramm für die Computermessungen.

An Hand der Pixelkoordinaten der distalen Eckzahnkontaktpunkte und der per Tabellenkalkulation ermittelten Parabelfunktionen berechnete das Programm Mathematica die Länge des Zahnbogens im Frontzahnbereich. Die erhaltenen Werte wurden in der (Ergebnis)-Excel-Datei 2 händisch in die Ergebnisliste eingetragen. Sämtliche Rechenergebnisse wurden in das Statistikprogramm SPSS Statistics exportiert, dort ausgewertet und in Form von Diagrammen sowie Tabellen ausgedruckt.

### 2.2.2 Zweidimensionale Darstellung der Approximalkontakte

Die mesiodistale Zahnbreite wird definiert als die größte Distanz zwischen den seitlichen Oberflächen eines Zahnes (vergl. Abb. 1.1). Bei einem ideal ausgeformten Zahnbogen entspricht diese Distanz im Allgemeinen dem Abstand der anatomischen Kontaktpunkte eines Zahnes projiziert auf die Okklusionsebene [43]. Bei einem nicht ideal ausgeformten Zahnbogen kann man sich daran orientieren, dass die Verbindungslinie der Kontaktpunkte von okklusal betrachtet im Verlauf der

Schneidekanten liegt [35]. Da die Schneidekanten selbst eine Breite von etwa 1 mm haben, musste hier eine genauere Definition geschaffen werden. Als Approximalkontaktpunkte wurden alle Schnittpunkte der oralen Begrenzung der Schneidekante mit dem Approximalkontakt gewählt.

### **2.3 Methode Hauptversuche**

#### **2.3.1 Patientenmodelle**

Für diese Studie wurden die Unterkiefermodelle von 59 Patienten nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- 1) Alle Zähne mussten genau dargestellt sein.
- 2) Die Frontzähne mussten eine ausgeprägte unregelmäßige Stellung aufweisen.
- 3) Sämtliche Schneidezähne mussten bleibende Zähne sein; bei den Eckzähnen durfte es sich auch um Milchzähne handeln.
- 4) Sämtliche Frontzähne mussten vollständig durchgebrochen sein.
- 5) In jedem Quadranten durfte maximal ein Prämolare fehlen; die 1. Molaren mussten vollständig durchgebrochen sein.

An allen 59 Modellen wurden der Irregularitätsindex sowie der Engstand mittels manueller und computergestützter Messung ermittelt. Zur Kontrolle wurden an 11 zufällig ausgewählten Modellen die computergestützten Messungen des Irregularitätsindex und des Engstandes wiederholt.

#### **2.3.2 Manuelle Messungen (MM)**

##### **2.3.2.1 MM des Irregularitätsindex**

Um den Irregularitätsindex nach LITTLE [39] zu bestimmen, wurde das Unterkiefermodell von okklusal betrachtet. Die Messlehre wurde parallel zur Okklusionsebene gehalten, so dass ihre Spitzen auf einer geraden Linie auf den zu messenden Kontaktpunkten lagen. Jede der fünf Messungen repräsentierte die Distanz zwischen der vertikalen Projektion der anatomischen Kontaktpunkte der benachbarten Zähne. Obwohl diese Kontaktpunkte vertikal variieren können, verändert dies die einzelnen Messungen nur unwesentlich [39, 63].

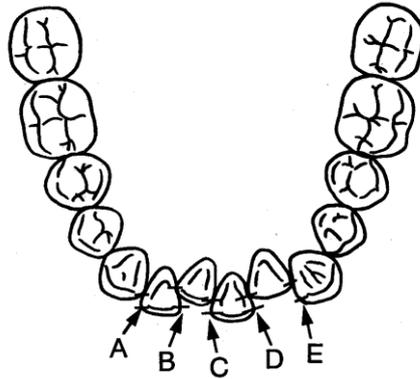


Abb. 2.4: LITTLE's Irregularitätsindex: Summe der Messungen  $A + B + C + D + E$ .

Gemäß Abbildung 2.4 ergibt sich der Irregularitätsindex nach LITTLE aus der Summe der Messungen  $A + B + C + D + E$  der Kontaktpunktabweichungen, die vom anatomischen Kontaktpunkt des einen Zahnes zu dem Kontaktpunkt des benachbarten vorliegen.

### 2.3.2.2 Manuelle Messung des Engstandes nach SEIPEL (MMS)

Dabei wurde der Engstand als der fehlende Platz für den jeweiligen Zahn im Zahnbogen gemessen (Abb. 2.5).

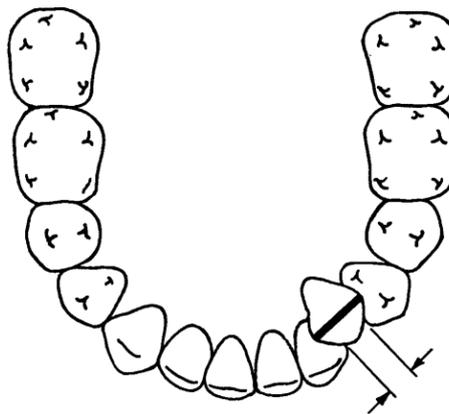


Abb. 2.5: Engstand nach SEIPEL [64]: mesiodistaler Kronendurchmesser des Zahnes minus vorhandener Platzes im Zahnbogen.

## Kapitel 2: Material und Methode

Bei Lückenstand wurde der dafür ermittelte Platzüberschuss von dem insgesamt ermittelten Engstand aller Zähne subtrahiert. Die Lückenbreite wurde ebenfalls an den Approximalkontakten mit einer Schieblehre gemessen [51].

### 2.3.2.3 Manuelle Messung der Bogenlängendiskrepanz (MMB)

Hierbei wurde der frontale Engstand als Zahnbogenlängendiskrepanz bestimmt, so wie von LUNDSTRÖM beschrieben. Das Ausmaß des Engstands beziehungsweise des Lückenstandes ergibt sich dabei aus der Differenz des Zahnbogenumfangs und der Summe der Zahnbreiten; Engstand wurde durch ein negatives Vorzeichen und Lückenstand durch ein positives gekennzeichnet.

Die Breiten der Zähne 32, 31, 41, 42 sowie 73 und 83 bzw. 33 und 43 wurden mit einer Dentalschieblehre auf 0,01 mm genau gemessen und addiert [15, 35, 43, 47, 51].

Der Bogenumfang wurde nach der Methode von NANCE [60], MOORREES und REED [51], KINAST [31] und KAHL-NIEKE et al. [30] mit einem flexiblen Lineal (Abb 2.6) von der Distalfläche des Zahnes 33 beziehungsweise 73 bis zur Distalfläche des Zahnes 43 beziehungsweise 83 durch Schätzung auf 0,5 mm genau gemessen. Das Lineal lag dabei auf der Verbindungslinie der bukkalen Höckerspitzen der Seitenzähne, auf den Eckzahnsitzen und auf den Kanten der Schneidezähne. Im Frontzahnbereich richtete sich die Messlinie bei Engstand nach der Mehrzahl der Zähne.

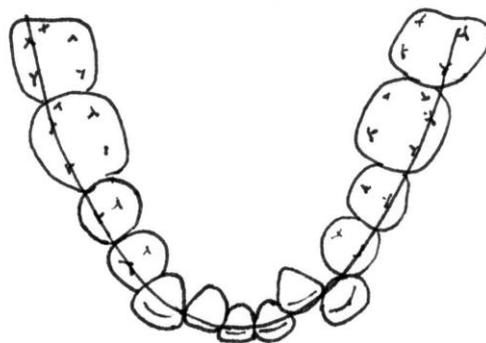


Abb. 2.6: Messung des Bogenumfangs.

### **2.3.3 Computergestützte Messungen (CM)**

#### **2.3.3.1 Grundprinzip der computergestützten Messungen**

Für diese Messungen wurden die Modelle mit einem Scanner in der Okklusionsebene eingescannt. Die entstandenen Abbildungen wurden in das graphische Analyseprogramm SigmaScan Pro importiert. Hier wurden die Kontaktpunkte durch die Untersucherin pixelgenau markiert. Zuvor erfolgte eine Eichung, um die Pixelkoordinaten metrisch zu erfassen. Das Programm ermittelte so die direkten Abstände der Kontaktpunkte voneinander in mm. Alle errechneten Werte (Koordinaten und Abstände) wurden automatisch als Excel-Datei aufgelistet.

Der „ideale“ Zahnbogen wurde in dieser Arbeit in Form einer Parabel dargestellt [13, 31, 40], die von Excel anhand der vorgegebenen Koordinaten der Kontaktpunkte beziehungsweise Höckerspitzen der Zähne 36 bis 46 als Parabel 2. Grades errechnet wurde. Der Scheitelpunkt der Parabel war der Kontaktpunkt der beiden mittleren Schneidezähne (Ursprung). Der zweite und dritte Punkt waren die distobukkale Höcker der 1. Molaren. Weiterhin wurden die Kontaktpunkte sämtlicher Front- und Seitenzähne in die Parabelbestimmung einbezogen.

An Hand der berechneten Parabel bestimmte das Programm Mathematica den Umfang des Zahnbogens.

#### **2.3.3.2 Scannen der Modelle**

Alle Modelle wurden mit einem Scanner CanoScan D1250U2 von okklusal eingescannt. Die ScanGear Tool-Box und ScanGear SC-U wurden als Twain Treiber benutzt, um die eingescannte Fläche zu reduzieren. Die Scangerauigkeit wurde dabei auf 300 dpi eingestellt. Sämtliche Scans wurden als TIF-Dateien abgespeichert. Die Eichung der Pixel im metrischen System (mm) erfolgte über das gleichzeitig eingescannte Kalibrierungsobjekt (vergleiche 2.1.2; Abb. 2.7).



Abb. 2.7: Typisches gescanntes Modell mit Kalibrierungsobjekt.

### 2.3.3.3 Vermessen der Scanbilder

Auf allen digitalen Abbildungen wurden die gewünschten Punkte durch Anklicken markiert, deren x/y-Koordinaten automatisch in einer Excel-Tabelle aufgelistet wurden. Ab dem zweiten angeklickten Punkt wurde auch die direkte Distanz zwischen den zwei nacheinander angeklickten Punkten errechnet und übernommen.

Folgende Punkte wurden markiert:

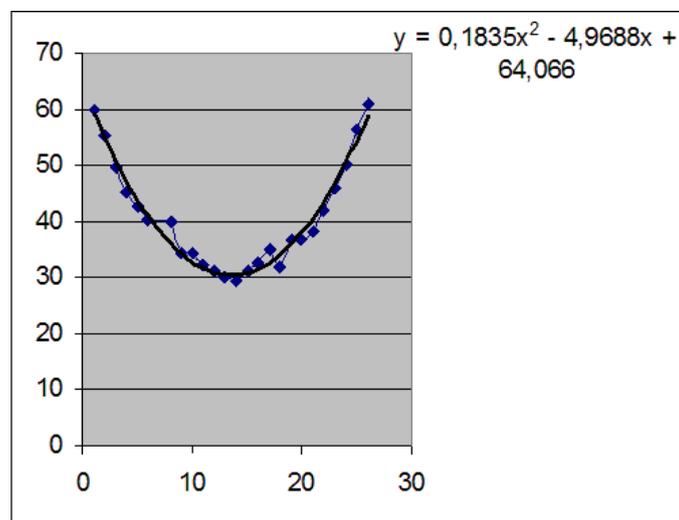
- Distobukkale Höckerspitze des Zahnes 36,
- Berührungspunkt der Zähne 36 und 35 auf der Verbindungslinie ihrer bukkalen Höckerspitzen,
- Berührungspunkt der Zähne 35 und 34 auf der Verbindungslinie ihrer bukkalen Höckerspitzen,
- mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 34 auf der Verbindungslinie der bukkalen Höckerspitzen der Prämolaren,
- distaler Kontaktpunkt des Zahnes 33,
- mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 33,
- distaler Kontaktpunkt des Zahnes 32,
- mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 32,
- distaler Kontaktpunkt des Zahnes 31,
- mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 31,
- mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 41,
- distaler Kontaktpunkt des Zahnes 41,
- mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 42,

## Kapitel 2: Material und Methode

- distaler Kontaktpunkt des Zahnes 42,
- mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 43,
- distaler Kontaktpunkt des Zahnes 43,
- mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 44 auf der Verbindungslinie der bukkalen Höckerspitzen der Prämolaren,
- Berührungspunkt der Zähne 44 und 45 auf der Verbindungslinie ihrer bukkalen Höckerspitzen,
- Berührungspunkt der Zähne 45 und 46 auf der Verbindungslinie ihrer bukkalen Höckerspitzen und
- distobukkale Höckerspitze des Zahnes 46.

Die mitlaufende Markierungslinie der Cursorspitze half bei der Platzierung der Kontaktpunktmarkierung streng parallel zum Verlauf der Schneidekante. Wichen zwei Kontaktpunkte mehr als 15° Grad in orovestibulärer Richtung voneinander ab, wurde der Abstand zu einem konstruierten Punkt gewählt, der exakt in gleicher orovestibulärer Höhe lag. Erfolgt dies nicht, so ergibt sich ein Messfehler von 0,2 mm.

Excel berechnete die Parabelfunktion und stellte sie bildlich (fette schwarze Linie) in ihrem Verlauf zwischen den markierten Koordinaten dar (Abb. 2.8).



*Abb. 2.8: Beispiel für das Messen der Zahnbreiten und der Kontaktpunktabweichungen im Frontzahnggebiet sowie in Excel errechnete Parabel 2. Grades (einschließlich Funktion). ♦ = angeklickte Punkte im mm-Koordinatensystem, Verbindungslinien = Zahnbreiten beziehungsweise Kontaktpunktabweichungen.*

### 2.3.3.4 Bestimmen des Engstandes

Der von Mathematica berechnete Wert des Bogenumfangs wurde manuell in die Excel-Tabelle 1 eingefügt, um danach als Excel-Tabelle 2 gespeichert zu werden. Von dem errechneten Bogenumfang wurde die gemessene Zahnbreitensumme abgezogen; daraus ergab sich das Ausmaß des Engstandes/der Lückenbildung im Bereich der Zähne 33 bis 43.

### 2.3.3.5 Statistische Auswertung

Alle Messungen wurden mit SPSS® Version 15.0 analysiert.

Um die Abweichung zwischen Computermessung und herkömmlicher manueller Messung zu bewerten, wurden der Mittelwert, das Minimum, das Maximum und die Standardabweichung zwischen jeweils zwei Messungen (CM minus MM; CM minus MMS; CM minus MMB) bestimmt. Darüber hinaus wurde die Häufigkeit der Differenzen im Bereich von  $\pm 1$  mm,  $\pm 2$  mm und  $\pm 3$  mm ermittelt. Zur Bewertung der Validität wurden die Interklassenkorrelationskoeffizienten zwischen MM, MMS, MMB, CM und CMK für die Zahnbreitensumme, den Irregularitätsindex und den Engstand berechnet.

Der Interklassenkorrelationskoeffizient (IKK) wurde mit der Formel

$$\text{IKK}_{\text{Lin}} = r \cdot \frac{2}{s_x/s_y + s_y/s_x + \frac{(m_x - m_y)^2}{s_x \cdot s_y}} \quad \text{berechnet [38].}$$

Dabei sind:

- r der Korrelationskoeffizient nach PEARSON,
- $s_x$  die Standardabweichung der x-Werte,
- $s_y$  die Standardabweichung der y-Werte,
- $m_x$  der Mittelwert der x-Variablen und
- $m_y$  der Mittelwert der y-Variablen.

## Kapitel 2: Material und Methode

Um die Unterschiede zwischen zwei Messmethoden graphisch zu verdeutlichen, wurden die Abbildungen nach BLAND und ALTMAN genutzt. Dabei werden die Differenzen auf der y-Achse eingetragen und die Standardmessungen auf der x-Achse.

Um die Reliabilität der computergestützten Messung zu kontrollieren, wurden 11 zufällig ausgewählte Modelle nach mehreren Monaten erneut vermessen (CMK). Danach wurde die Differenz zwischen CM und CMK der Zahnbreitensumme, des Bogenumfangs, des Irregularitätsindex und des Engstandes errechnet. Diese Differenzen wurden in Streudiagrammen dargestellt. Dies erfolgte auch für die Differenzen der Messergebnisse des Engstandes von CMK zu MMS und MMB sowie für die Differenz der Messergebnisse des Irregularitätsindex von CMK zu MM.

Zusätzlich wurden die Korrelationen nach PEARSON zwischen dem Irregularitätsindex und dem Engstand innerhalb einer Messmethode für MM, MMS, MMB, CM und CMK bestimmt.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Allgemeines**

Alle Messergebnisse (bis auf den Irregularitätsindex) sind in Millimeter angegeben. Der Irregularitätsindex ist ein dimensionsloser Index, dessen Größe jedoch durch Addition von Abstandsmessungen berechnet wird, deren Einheit wiederum Millimeter sind.

In den Kapiteln 11.1 bis 11.4 sind die Messergebnisse aller manuellen und computergestützten Messungen tabellarisch aufgelistet. Am Ende der Tabellen sind die Ergebnisse der deskriptiven Statistik für die jeweiligen Messmethoden dargestellt.

In den Kapiteln 11.5 bis 11.13 sind die Differenzen zusammengestellt, die sich auf Grund der unterschiedlichen Messmethoden für die einzelnen Zahnbreiten, die Zahnbreitensumme, den Irregularitätsindex, den Bogenumfang und den Engstand ergeben. Am Ende der Tabellen sind die dazugehörigen Ergebnisse der deskriptiven Statistik aufgelistet.

Die Kapitel 11.14 bis 11.17 belegen die Interklassenkorrelationskoeffizienten nach LIN für die Zahnbreitensumme, den Irregularitätsindex, den Bogenumfang und den Engstand bei den unterschiedlichen Messverfahren.

An Hand der Messergebnisse für die Zahnbreitensumme, den Irregularitätsindex und den Engstand werden nachfolgend die Unterschiede zwischen den manuellen Messungen und den Computermessungen sowie die Reproduzierbarkeit der Computermessungen dargestellt und erläutert. Danach wird der ermittelte Zusammenhang zwischen den Messergebnissen für den Irregularitätsindex und den Engstand qualitativ sowie quantitativ beschrieben.

### **3.2 Einzelergebnisse**

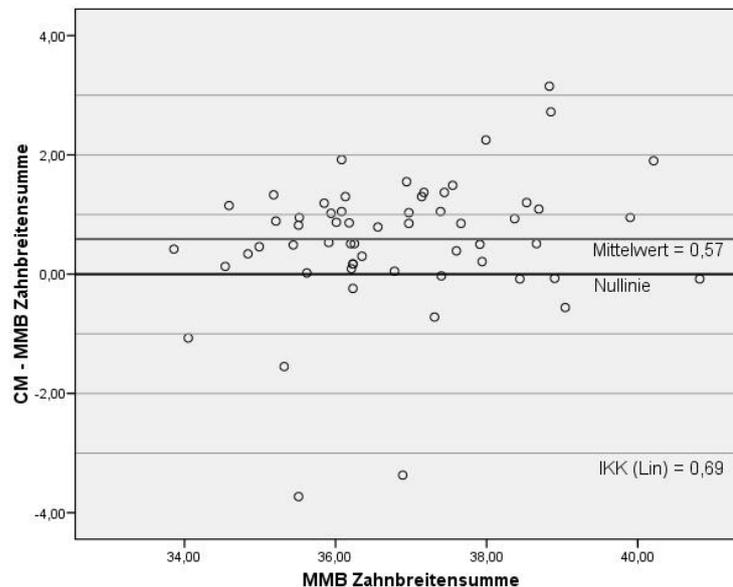
#### **3.2.1 Validität der Computermessungen**

Als erstes wurden die manuellen und die computergestützten Messergebnisse für die **Zahnbreitensumme** auf Abweichungen überprüft.

### Kapitel 3: Ergebnisse

Die Messung MMB der Zahnbreitensumme ergab einen Mittelwert von 36,83 mm, der nah an dem mit CM erhobenen Wert von 37,40 mm lag. Die minimale Zahnbreitensumme betrug bei MMB 33,86 mm und bei CM 31,78 mm. Der größte Wert der Zahnbreitensumme betrug bei MMB 40,82 mm und bei CM 42,11 mm. Die Standardabweichung lag bei MMB bei  $\pm 1,52$  mm und bei CM bei  $\pm 2,10$  mm.

Die Ergebnisse für MMB und CM für die Zahnbreitensumme sind in den Abbildungen 3.1 und 3.2 dargestellt. Insgesamt wurden bei der CM im Mittel um 0,57 mm  $\pm 1,13$  höhere Werte erzielt. Die maximale Abweichung belief sich auf 3,73 mm, die minimale Abweichung auf -3,15 mm. Bei den Differenzen der Zahnbreitensumme von CM und MMB lagen 60 % im Bereich von  $\pm 1$  mm, 92 % im Bereich von  $\pm 2$  mm und 95 % im Bereich von  $\pm 3$  mm.



*Abb. 3.1: Differenz der Messergebnisse der mittels CM und MMB festgestellten Zahnbreitensumme in mm; die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (0,57 mm) der Differenzen.*

Als nächstes wurden MM und CM für die Zahnbreitensumme auf ihre Korrelation überprüft. Dabei zeigte sich, dass der Interklassenkorrelationskoeffizient (IKK) nach LIN [38] 0,69 betrug, das heißt, es bestand eine mittlere Korrelation.

### Kapitel 3: Ergebnisse

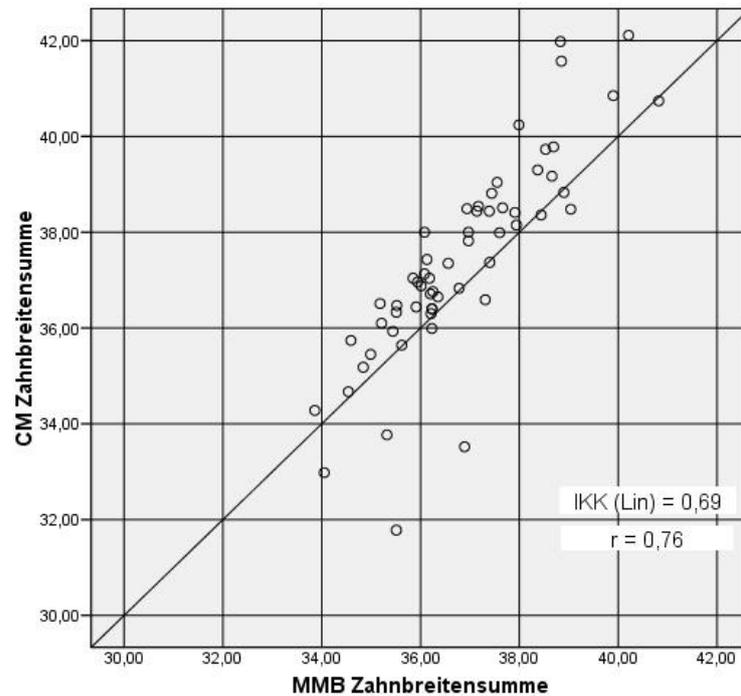


Abb. 3.2: Korrelation zwischen der Zahnbreitensumme CM und MMB in mm.

Um zu überprüfen, ob es bei bestimmten Zähnen zu besonders hohen Differenzen bei der Breitenmessung kommt, wurden alle Differenzen MMB – CM nach einzelnen Zähnen sortiert (Tab. 3.1). Danach sind die Abweichungen bei den Zähnen 33, 42 und 43 deutlich höher als bei allen übrigen.

Zahn	33	32	31	41	42	43
Mittelwerte	-0,19	-0,07	-0,05	-0,09	-0,14	-0,12
Minimum	-2,13	-0,66	-0,43	-0,73	-0,82	-0,97
Maximum	0,42	0,57	0,74	0,60	0,56	0,56
Stand. Abw.	0,38	0,24	0,20	0,23	0,31	0,35
Summe	-11,24	-4,19	-3,05	-5,08	-8,18	-7,14
Anzahl N	59	59	59	59	59	59

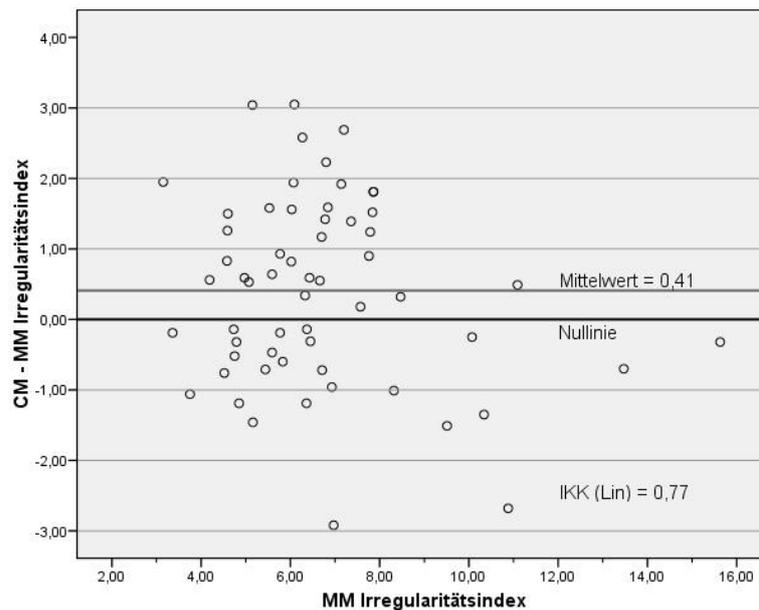
Tab. 3.1: Differenz MMB - CM der einzelnen Zahnbreiten nach Zähnen geordnet in mm; Stand. Abw. = Standardabweichung.

Die Ergebnisse für MM und CM für den **Irregularitätsindex** sind in den Abbildungen 3.3 und 3.4 dargestellt. Die Messung MM des Irregularitätsindex ergab einen Mittelwert von  $6,69 \pm 2,28$ , der nah an dem mit CM erhobenen Wert von  $7,09 \pm 2,41$  lag. Der

### Kapitel 3: Ergebnisse

minimale Irregularitätswert betrug bei MM 3,15 und bei CM 2,69. Der größte Wert des Irregularitätsindex betrug bei MM 15,63 und bei CM 15,31.

Die Differenzen zwischen MM und CM für den Irregularitätsindex zeigen, dass CM im Durchschnitt zu  $0,41 \pm 1,33$  größeren Werten führt. Die minimale Abweichung zwischen MM und CM belief sich auf -3,05 und die maximale Abweichung auf 2,92. CM führte also zu leicht höheren Messergebnissen. 51 % der Differenzen von MM und CM des Irregularitätsindex lagen im Bereich von  $\pm 1$ , 88 % im Bereich von  $\pm 2$  und 97 % im Bereich von  $\pm 3$ .



*Abb. 3.3: Differenz der Messergebnisse des mittels CM und MM festgestellten Irregularitätsindex; die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (0,41) der Differenzen an.*

Als nächstes wurden MM und CM für den Irregularitätsindex auf ihre Korrelation überprüft. Dabei zeigte sich, dass der Interklassenkorrelationskoeffizient zwischen MMB und CM 0,77 betrug, das heißt, er war hoch.

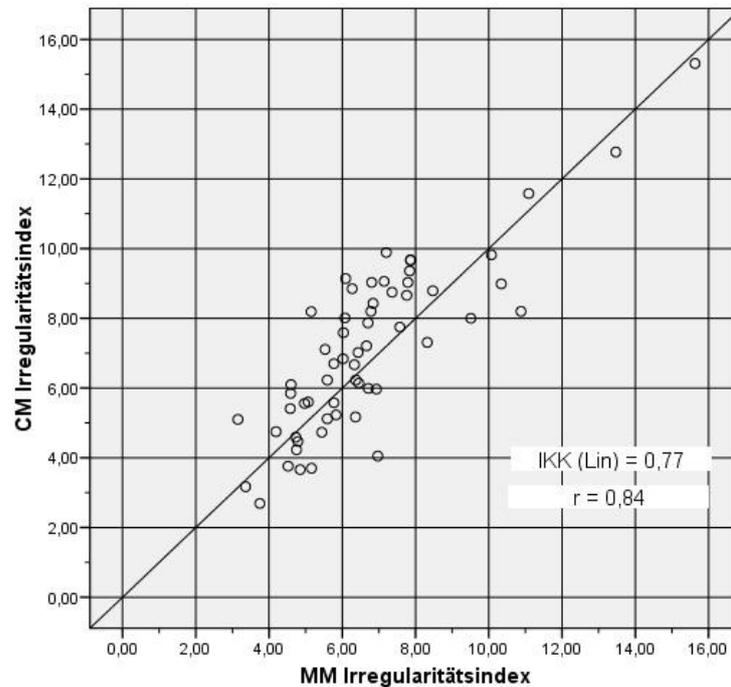


Abb. 3.4: Korrelation zwischen dem Irregularitätsindex MM und CM.

Die Ergebnisse für MMS, MMB und CM für den **Engstand** sind in den Abbildungen 3.5 bis 3.8 dargestellt. Der Mittelwert beträgt bei MMS  $-2,32 \text{ mm} \pm 2,44$ , bei MMB  $-0,59 \text{ mm} \pm 2,34$  sowie bei CM  $0,24 \text{ mm} \pm 3,44$ . Der größte gemessene Engstandswert (Minimum) betrug bei MMS  $-9,80 \text{ mm}$ , bei MMB  $-5,85 \text{ mm}$  und bei CM  $-7,58 \text{ mm}$ . Der kleinste gemessene Engstand (Maximum; Platzüberschuss) betrug bei MMS  $2,22 \text{ mm}$ , bei MMB  $4,45 \text{ mm}$  und bei CM  $9,26 \text{ mm}$ .

Die Differenzen zwischen CM und MMS beziehungsweise MMB für den Engstand zeigen, dass CM den Engstand als negative Zahnbogenlängendiskrepanz im Durchschnitt um  $2,56 \text{ mm} \pm 2,66$  positiver maß als MMS und  $0,83 \text{ mm} \pm 2,37$  positiver als MMB. Die minimale Abweichung belief sich zwischen CM und MMS auf  $-4,43 \text{ mm}$  sowie zwischen CM und MMB auf  $-7,41 \text{ mm}$ . Die maximale Abweichung belief sich zwischen CM und MMS auf  $9,99 \text{ mm}$  und zwischen CM und MMB auf  $5,27 \text{ mm}$ . Die Differenzen von CM und MMB für den Engstand lagen zu 17 % im Bereich von  $\pm 1 \text{ mm}$ , zu 34 % im Bereich von  $\pm 2 \text{ mm}$  und zu 61 % im Bereich von  $\pm 3 \text{ mm}$ . Bei den Differenzen von CM und MMB des Engstandes lagen 27 % im Bereich von  $\pm 1 \text{ mm}$ , 68 % im Bereich von  $\pm 2 \text{ mm}$  und 77 % im Bereich von  $\pm 3 \text{ mm}$ .

### Kapitel 3: Ergebnisse

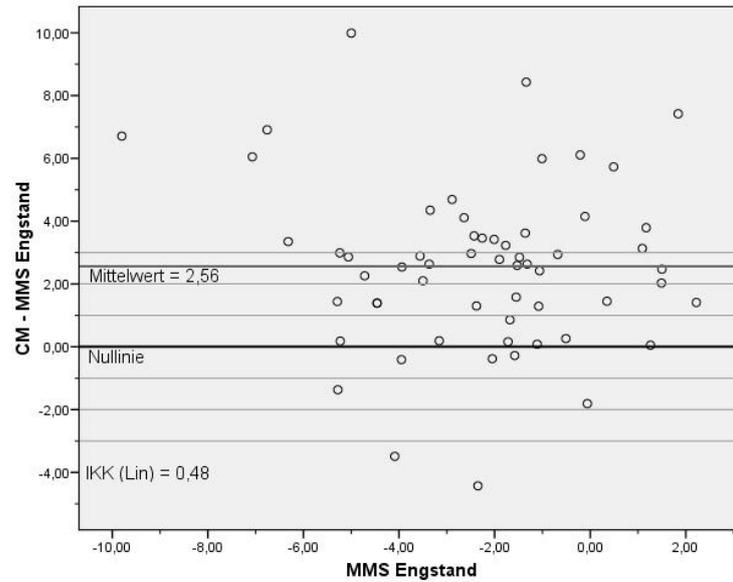


Abb. 3.5: Differenz der Messergebnisse des mittels CM und MMS festgestellten Engstandes in mm; die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (2,56 mm) der Differenzen an.

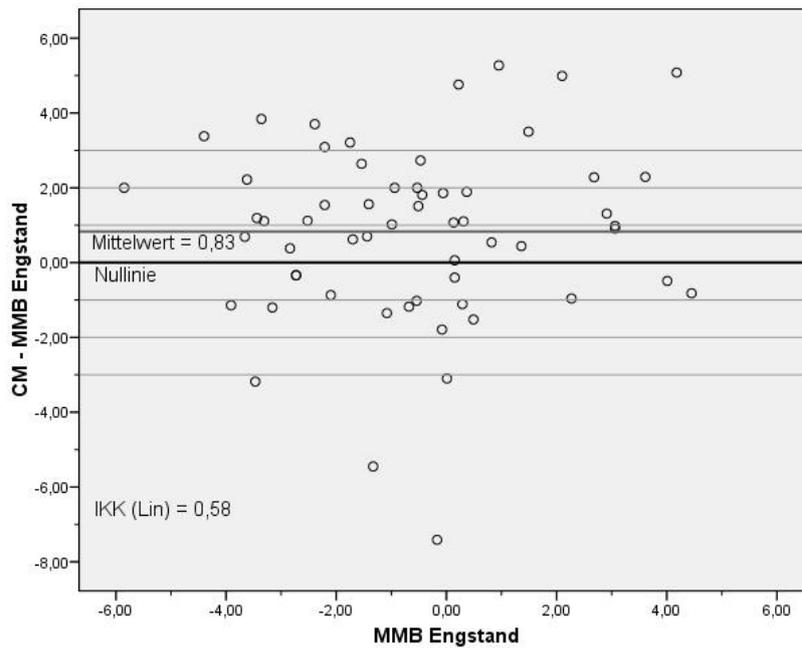


Abb. 3.6: Differenz der Messergebnisse des mittels CM und MMB festgestellten Engstandes in mm; die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (0,83 mm) der Differenzen an.

### Kapitel 3: Ergebnisse

Als nächstes wurden MMS, MMB und CM auf ihre Korrelation überprüft. Dabei zeigte sich, dass der Interklassenkorrelationskoeffizient zwischen MMS und CM 0,48 betrug und zwischen MMB und CM 0,58, das heißt, er war mittlerer Ausprägung.

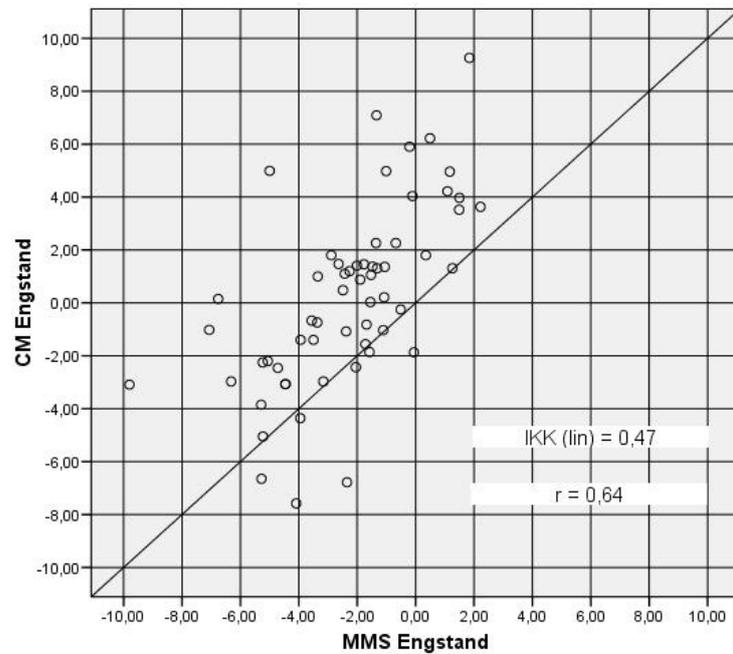


Abb. 3.7: Korrelation zwischen dem Engstand MMS und CM in mm.

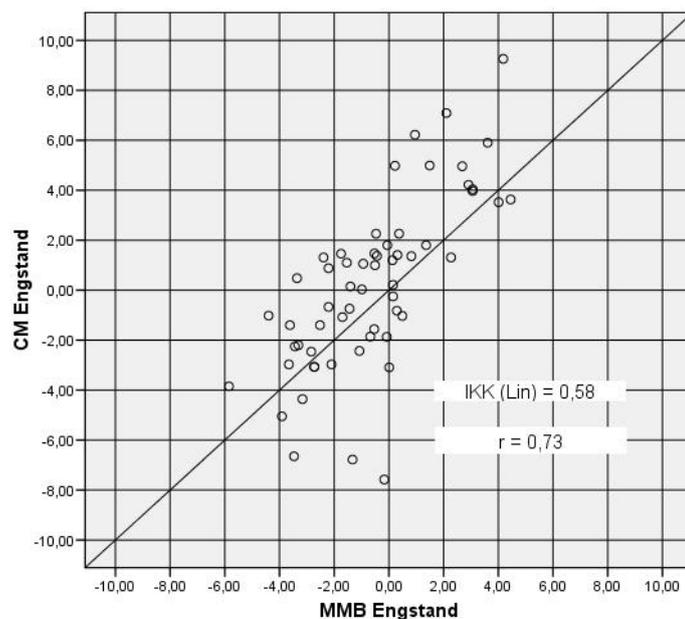
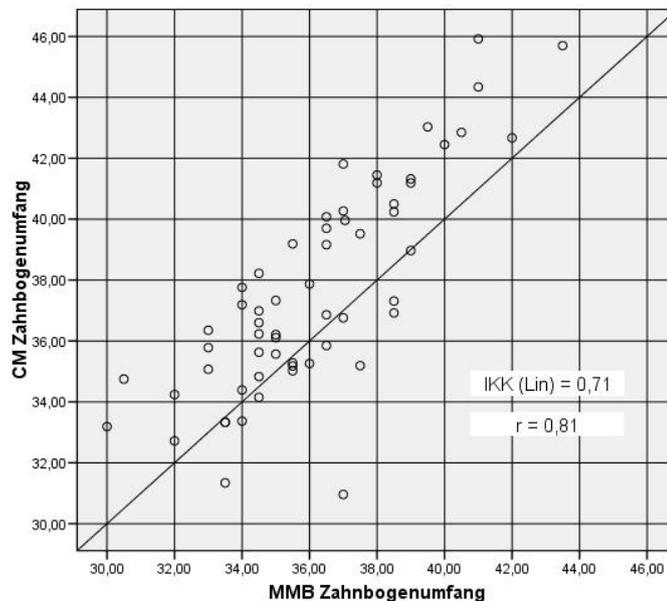


Abb. 3.8: Korrelation zwischen des Engstandes mittels MMB und CM in mm.

### Kapitel 3: Ergebnisse

Die Ergebnisse für MMB und CM für den Zahnbogenumfang sind in den Abbildungen 3.9 und 3.10 dargestellt. Die Messung MMB ergab einen Mittelwert von 36,15 mm  $\pm$ 2,76, der nah an dem mit CM erhobenen Wert von 37,64 mm  $\pm$ 3,47 lag. Der minimale Zahnbogenumfang betrug bei MMB 30,0 mm und bei CM 30,96 mm. Der größte Wert des Zahnbogenumfangs betrug bei MMB 43,5 mm und bei CM 45,92 mm.

Die Differenzen zwischen MMB und CM für den Zahnbogenumfang zeigen, dass CM im Mittel um 1,49 mm  $\pm$ 2,02 höhere Werte erzielte. Die minimale Abweichung belief sich auf -6,04 mm und die maximale auf 4,92 mm. Bei den Differenzen des Zahnbogenumfangs von CM und MMB lagen 29 % im Bereich von  $\pm$ 1 mm, 43 % im Bereich von  $\pm$ 2 mm und 61 % im Bereich von  $\pm$ 3 mm.



*Abb. 3.9: Korrelation zwischen dem Zahnbogenumfang CM und MMB in mm.*

Als nächstes wurden MMB und CM für den Zahnbogenumfang auf ihre Korrelation überprüft. Dabei zeigte sich, dass der Interklassenkorrelationskoeffizient (IKK) nach LIN [38] 0,71 betrug, das heißt, es bestand eine mittlere Korrelation.

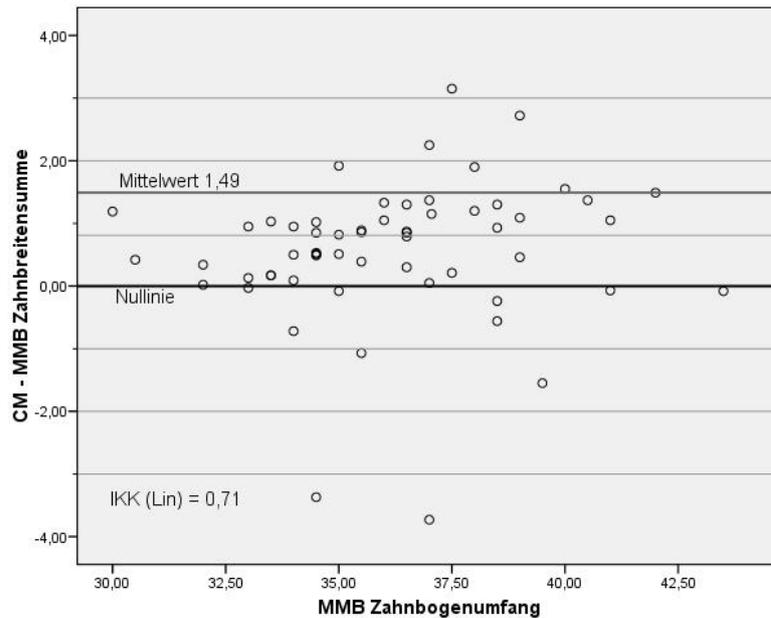


Abb. 3.10: Differenz der Messergebnisse des mittels CM und MMB festgestellten Zahnbogenumfangs in mm; die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (1,49 mm) der Differenzen.

### 3.2.2 Reproduzierbarkeit der Computermessungen

Zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit von CM wurden 11 der 59 Modelle nach vier Monaten erneut eingescannt und computergestützt gemessen (CMK). Die dabei ermittelten Koordinaten wurden benutzt, um den Engstand und die Werte des Irregularitätsindex erneut zu berechnen und mit den Ergebnissen von CM zu vergleichen. Die detaillierten Ergebnisse von CMK sind in Kapitel 11.4 zu finden.

Für die **Zahnbreitensumme** betrug die Differenz zwischen CMK und CM im Mittel 0,62 mm  $\pm$ 2,15. Die minimale Differenz betrug -1,16 mm, die maximale 5,99 mm. 64 % der Ergebnisse lagen im Bereich von  $\pm$ 1 mm, 82 % im Bereich von  $\pm$ 2 mm und 91 % im Bereich von  $\pm$ 3 mm.

### Kapitel 3: Ergebnisse

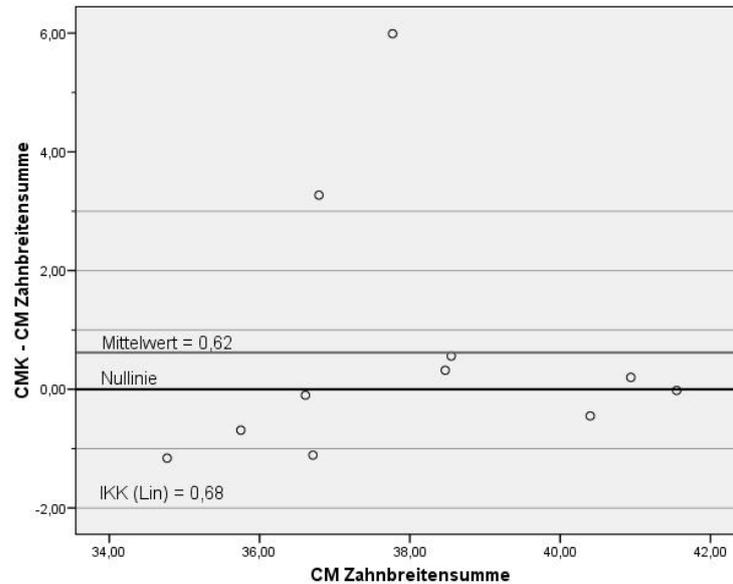


Abb. 3.11: Differenz der Ergebnisse der Zahnbreitensumme von CM und CMK bei der Kontrollmessung ( $n = 11$ ) in mm; die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (0,62 mm) der Differenzen der Messergebnisse für die Zahnbreitensumme bei CM und CMK.

Als nächstes wurden CM und CMK für die Zahnbreitensumme auf ihre Korrelation überprüft. Dabei zeigte sich, dass der Interklassenkorrelationskoeffizient (IKK) nach LIN [38] 0,68 betrug, das heißt, es bestand eine mittelhohe Korrelation.

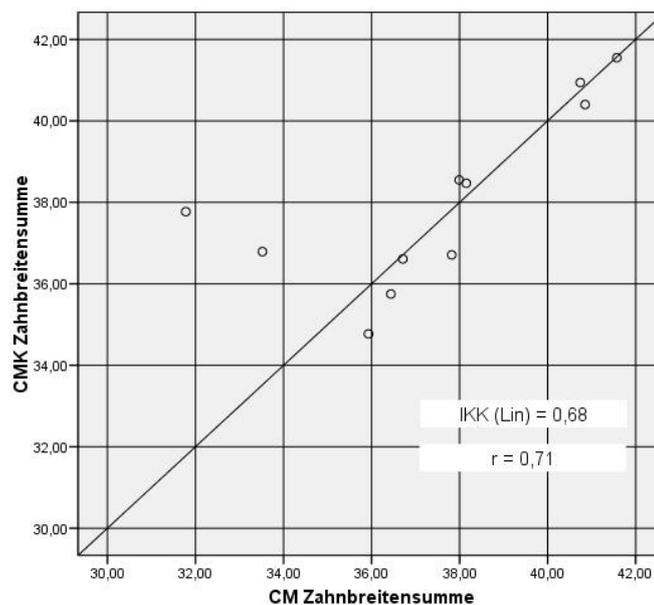
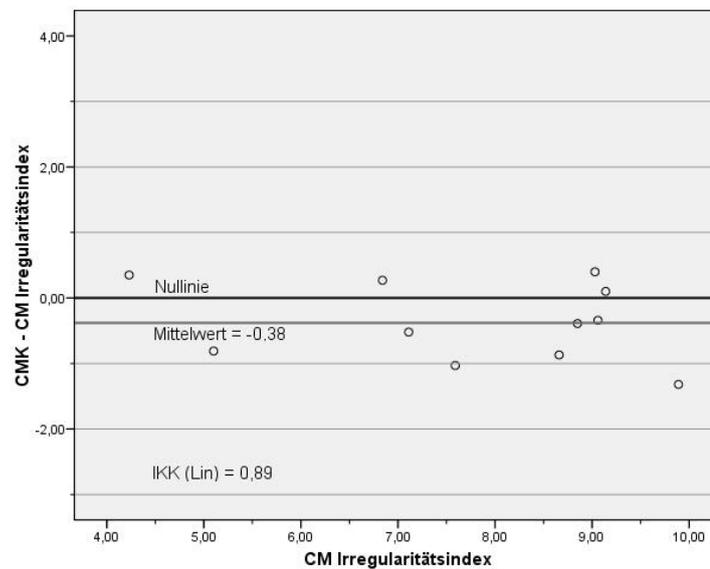


Abb. 3.12: Korrelation zwischen der Zahnbreitensumme CM und Kontrollmessung CMK ( $n=11$ ) in mm.

### Kapitel 3: Ergebnisse

Für den **Irregularitätsindex** betrug die Differenz zwischen CM und CMK im Mittel  $-0,38 \pm 0,60$ . Die minimale Differenz betrug  $-1,32$ , die maximale  $0,40$ . 82 % der Ergebnisse lagen im Bereich von  $\pm 1$ , 100 % im Bereich von  $\pm 2$  und 100 % im Bereich von  $\pm 3$ .



*Abb. 3.13: Differenz der Messergebnisse des mittels Kontrollmessung CM und CMK festgestellten Irregularitätsindex (n=11); die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (-0,38) an.*

Als nächstes wurden CMK und CM für den Irregularitätsindex auf ihre Korrelation überprüft. Dabei zeigte sich, dass der Interklassenkorrelationskoeffizient (IKK) nach LIN [38] 0,89 betrug, das heißt, es bestand eine hohe Korrelation.

### Kapitel 3: Ergebnisse

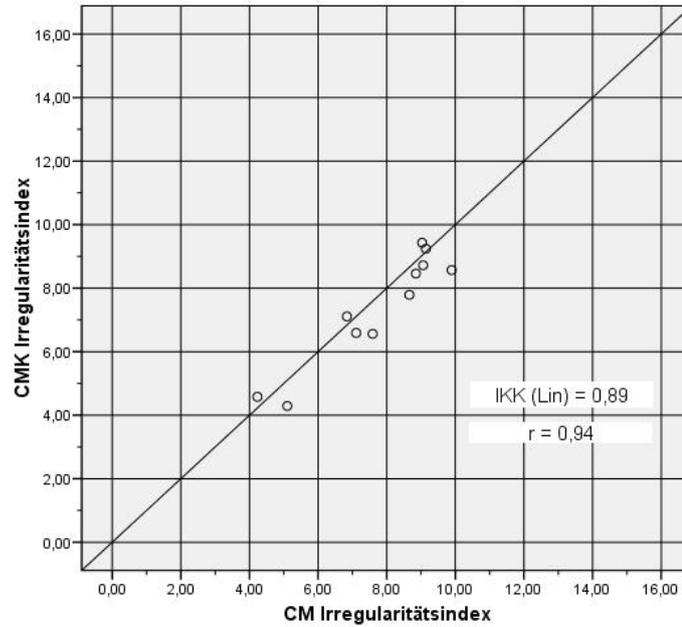


Abb. 3.14: Korrelation zwischen dem Irregularitätsindex CM und Kontrollmessung CMK (n=11).

Für den **Engstand** betrug die Differenz zwischen CM und CMK im Mittel -1,21 mm  $\pm$ 4,29. Die minimale Differenz betrug -12,69 mm, die maximale 3,89 mm. 27 % der Ergebnisse lagen im Bereich von  $\pm$ 1 mm, 36 % im Bereich von  $\pm$ 2 mm und 55 % im Bereich von  $\pm$ 3 mm.

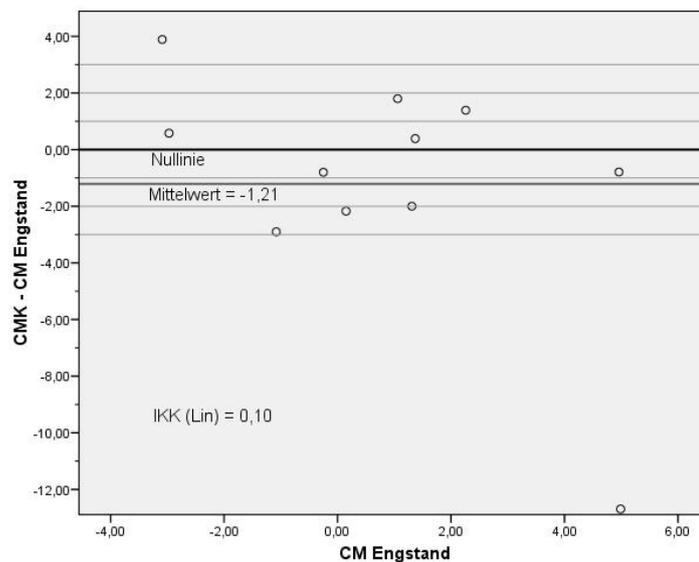
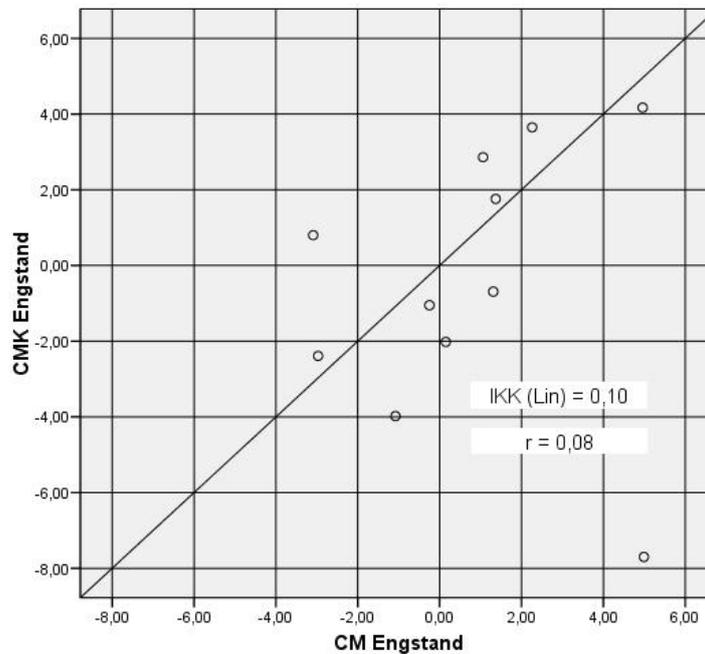


Abb. 3.15: Differenz der Messergebnisse des mittels Kontrollmessung CM und CMK festgestellten Engstandes (n=11) in mm; die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (-1,21 mm) der Differenzen an.

### Kapitel 3: Ergebnisse

Als nächstes wurden CM und CMK für den Engstand auf ihre Korrelation überprüft. Dabei zeigte, sich, dass der Interklassenkorrelationskoeffizient (IKK) nach LIN [38] 0,10 betrug, das heißt, es besteht eine niedrige Korrelation.



*Abb. 3.16: Korrelation zwischen dem Engstand CM und Kontrollmessung CMK (n=11) in mm.*

Für den **Bogenumfang** betrug die Differenz zwischen CM und CMK im Mittel  $-0,59 \text{ mm} \pm 2,74$ . Die minimale Differenz betrug  $-6,69 \text{ mm}$ , die maximale  $3,45 \text{ mm}$ . 46 % der Ergebnisse lagen im Bereich von  $\pm 1 \text{ mm}$ , 64 % im Bereich von  $\pm 2 \text{ mm}$  und 82 % im Bereich von  $\pm 3 \text{ mm}$ .

### Kapitel 3: Ergebnisse

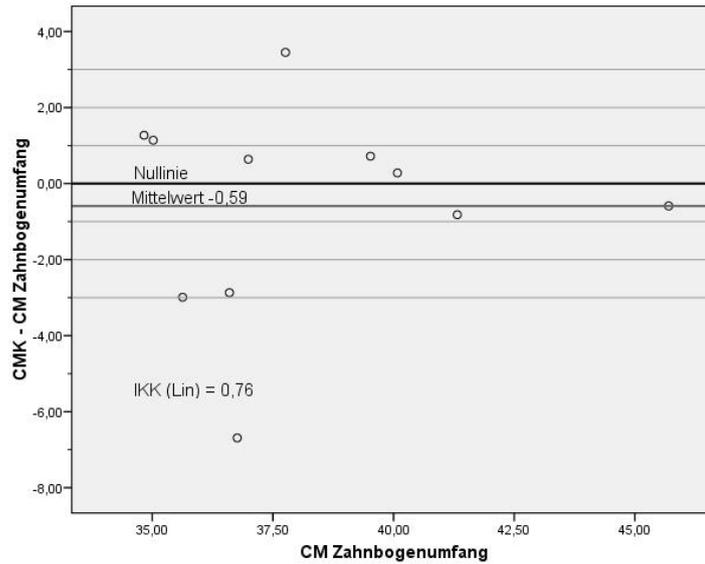


Abb. 3.17: Differenz der Messergebnisse des mittels Kontrollmessung CM und CMK festgestellten Bogenumfangs ( $n=11$ ) in mm; die halbfette waagerechte Linie zeigt den Mittelwert (-0,59 mm) an.

Als nächstes wurden CM und CMK für den Bogenumfang auf ihre Korrelation überprüft. Dabei zeigte sich, dass der Interklassenkorrelationskoeffizient (IKK) nach LIN [38] 0,76 betrug, das heißt, es bestand eine mittlere Korrelation.

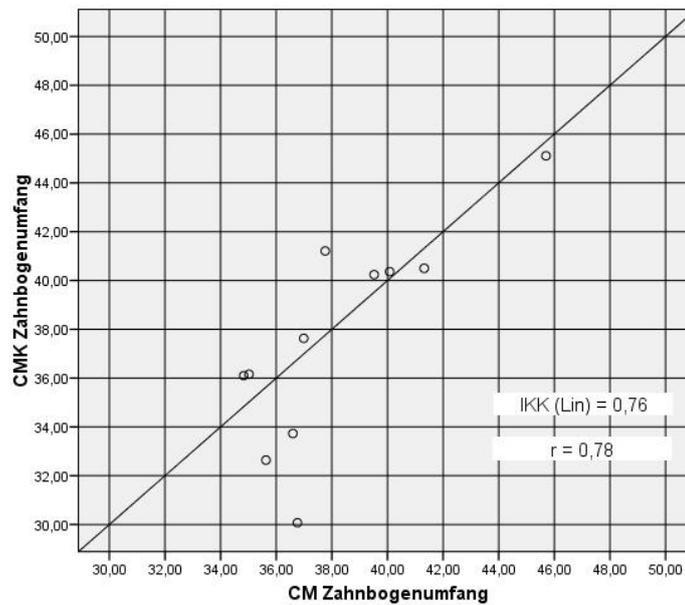
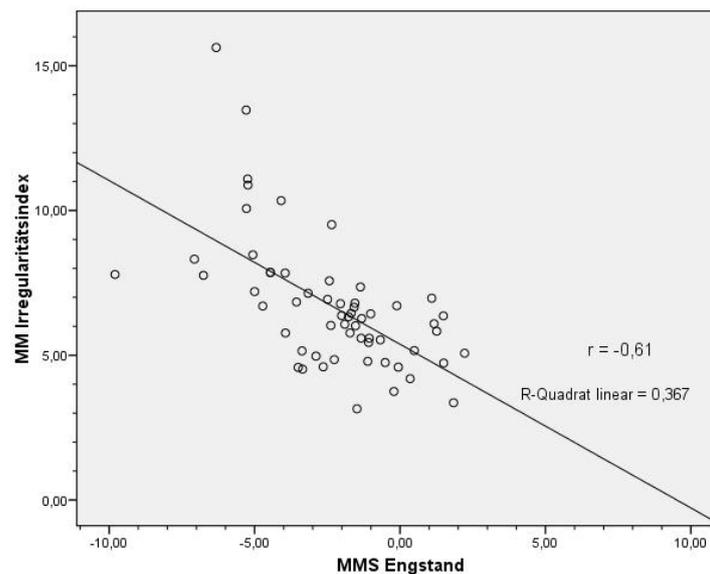


Abb. 3.18: Korrelation zwischen dem Bogenumfang CM und Kontrollmessung CMK ( $n=11$ ) in mm.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Computermessungen CM und CMK beim Irregularitätsindex eine deutlich höhere Übereinstimmung und damit auch eine bessere Reproduzierbarkeit aufwiesen als bei der Zahnbreitensumme, dem Zahnbogenumfang und besonders beim Engstand.

### 3.3 Korrelation Irregularitätsindex und Engstand

Abbildung 3.19 zeigt graphisch den Zusammenhang zwischen MMS Engstand und MMS Irregularitätsindex.



*Abb. 3.19: Korrelation zwischen Irregularitätsindex MM und Engstand MMS einschließlich Korrelationskoeffizient  $r$  und  $R$ -Quadrat linear.*

Der Korrelationskoeffizient nach PEARSON für den Engstand MMS und für den manuell gemessenen Irregularitätsindex MM betrug -0,61.

Abbildung 3.20 zeigt graphisch den Zusammenhang zwischen MMB Engstand und MM Irregularitätsindex. Der Korrelationskoeffizient nach PEARSON für den Engstand MMB und den Irregularitätsindex MMS betrug -0,58 (Tab. 3.3).

### Kapitel 3: Ergebnisse

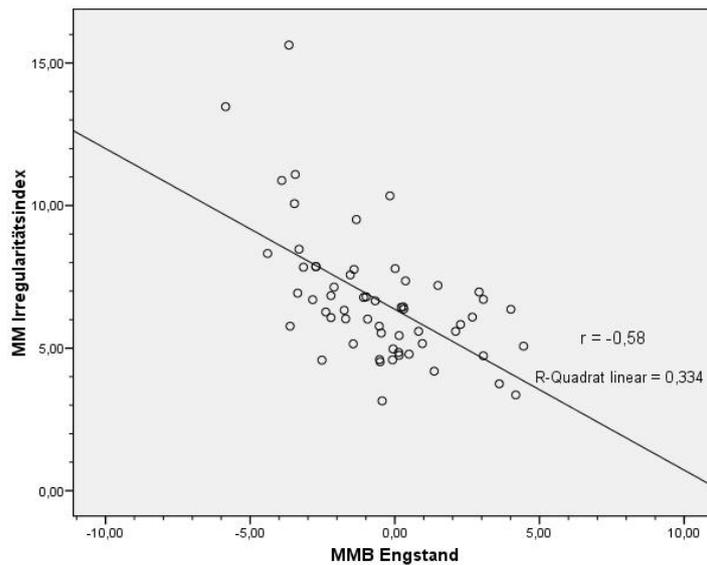


Abb. 3.20: Korrelation zwischen Irregularitätsindex MM und Engstand MMB einschließlich Korrelationskoeffizient  $r$  und  $R$ -Quadrat linear.

Abbildung 3.21 zeigt graphisch den Zusammenhang zwischen CM Engstand und CM Irregularitätsindex. Der Korrelationskoeffizient nach PEARSON von Engstand CM und Irregularitätsindex CM betrug -0,55.

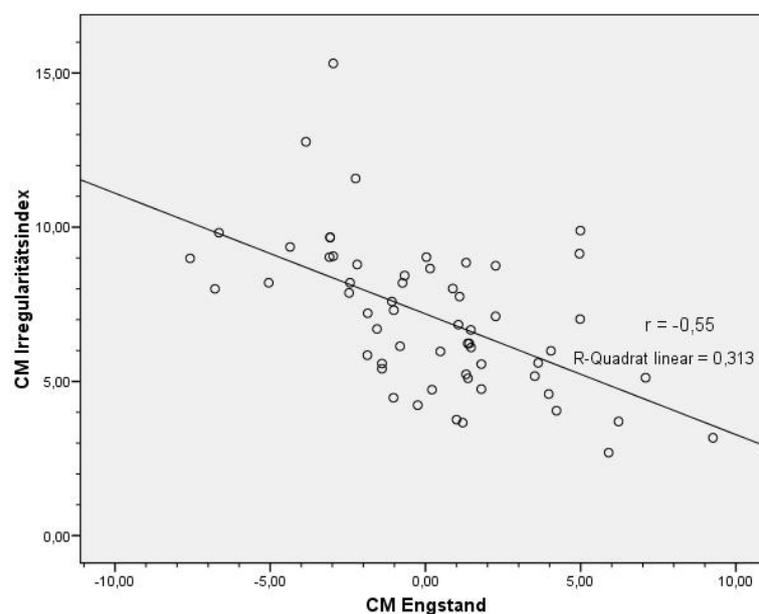


Abb. 3.21: Korrelation zwischen Irregularitätsindex CM und Engstand CM einschließlich Korrelationskoeffizient  $r$  und  $R$ -Quadrat linear.

### Kapitel 3: Ergebnisse

Alle Korrelationskoeffizienten lagen zwischen -0,55 und -0,61. Das heißt nach den Definitionen dieser Arbeit, dass mit Zunahme des Engstandes auch der Irregularitätsindex zunimmt. Die gegenläufige Ausrichtung ist durch die Engstandsbeschreibung (Minuswert) und die Kennzeichnung des Irregularitätsindex (Pluswerte) bedingt.

Änderungen des frontalen Engstandes wirken sich also zu 31 % bis 37 % auf eine Änderung des Irregularitätsindex aus.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Auswahl der Modelle**

Der Irregularitätsindex dient zur Bestimmung von Fehlständen der Unterkieferfrontzähne. Daher müssen diese Zähne vollständig durchgebrochen sein. Es ist zwar unerheblich, ob es sich bei den vorhandenen Zähnen um Milch- oder bleibende Zähne handelt, doch waren bei hier verwendeten Modellen alle Schneidezähne bleibende Zähne.

Da die Seitenzähne für die computergestützte Bestimmung der Bogenform notwendig sind, wurden nur Modelle analysiert, auf denen pro Kieferhälfte maximal ein Prämolare fehlte und sämtliche anderen Zähne vom 1. Molaren der einen Seite bis zum 1. Molaren der Gegenseite vorhanden waren.

### **4.2 Auswahl der Geräte**

#### **4.2.1 Computer**

Die Ergebnisse dieser Arbeit unterstützen die Aussagen von SAVARA und SANIN [62] sowie FIORELLI et al. [18], dass Messungen mittels Computer einfach und schnell durchführbar sind. Die digital verfügbaren Daten erlauben eine Vielzahl graphischer und statistischer Auswertungen.

Da in dieser Arbeit mehrere Bearbeitungsprogramme verwendet wurden, bestand potentiell das Problem von Übertragungsfehlern. Das wurde teilweise durch ein automatisches Übertragen vermieden.

#### **4.2.2 Instrumente zur Datenerfassung**

Die Verwendung eines Scanners [18, 72] bewährte sich auch in dieser Arbeit gut. Die Bilddarstellung ist exzellent und dimensionsgetreu. Das lediglich zweidimensionale Bild ist in diesem Fall akzeptabel, da alle Kontaktpunkte in die Okklusionsebene zu projizieren sind.

## Kapitel 4: Diskussion

KINAST [32] kritisierte, dass ein vertikal gekrümmter Zahnbogen (Speesche Kurve) bei Aufsichtdarstellung verkürzt wird. Seiner Meinung nach beträgt diese Verkürzung etwa 2 mm, wenn der Abstand Okklusionsebene - tiefster Punkt der Speeschen Kurve 3 mm übersteigt. In der vorliegenden Arbeit wies kein Patient eine derart tiefe Speesche Kurve auf. Außerdem beschränkte sich die vorliegende Arbeit auf den anterioren Zahnbogen.

Die hier gewählte Auflösung des Scanners von 300 dpi stellte sich als ausreichend dar, denn ein Pixel hat dann eine Größe von 0,086 mm, beziehungsweise auf 0,1 mm kommen 1,181 Pixel [69]. Ähnlich wie hier benutzten TRAN et al. [72] eine Auflösung von 360 dpi. Wenn WELLENS [74] eine Auflösung von 2400 dpi wählte, scheint dies übertrieben, denn Fehler bei der Abformung, Modellherstellung und -auswertung übersteigen diese Genauigkeit um ein Vielfaches.

Schon TRAN et al. stellten fest, dass die Ausrichtung des Modells beim Scannen entscheidend ist. Diese Autoren wiesen ferner auf eine erforderliche Eichung des Messinstruments hin. In der vorliegenden Arbeit wurden alle Modelle gleich ausgerichtet, und es erfolgte die geforderte Eichung.

Messmikroskope erlauben im Allgemeinen zwar genauere Messungen, doch ist der Zeitaufwand sehr groß. Darüber hinaus sind die Anschaffungskosten gegenüber einem Scanner sehr hoch. Dieser zweite Aspekt war ausschlaggebend dafür, dass hier dem wesentlich schnelleren und preiswerteren Einscannen der Vorzug gegeben wurde.

Die Verwendung einer digitalen Fotokamera empfahl sich wegen der begrenzten Auflösung ebenfalls nicht. Die maximal verfügbare Anzahl der Bildpunkte (Pixel) ist je nach Apparat begrenzt. Wird die dargestellte Fläche vergrößert, sinkt dadurch die Auflösung. Hochauflösende Kameras haben eine ähnliche hohe Anzahl von Bildpunkten pro Bild wie gering auflösende, allerdings setzen sie intern mehrere Bilder übereinander. Grundsätzlich kann es im Grenzbereich der einzelnen Aufnahmen zu Ungenauigkeiten kommen; darüber hinaus stellt die Tiefenschärfe ein Problem dar.

### 4.2.3 Schieblehre

Für die manuelle Messung wurde eine Dentalschieblehre gewählt, deren Ablesegenauigkeit von 0,01 mm im international anerkannten Bereich lag. Durch die sehr spitz zulaufenden Messbranchen (vergl. Abb. 2.1) waren die Interdentalräume gut zugänglich. Alternativ hätte ein Messzirkel verwendet werden können, doch stellten schon HUNTER und PRIEST [22] fest, dass Messzirkel durchschnittlich zu hohe Messwerte bei der Bestimmung der Zahnbreite ergeben. Vorteilhaft ist ferner, dass digitale Schieblehren mit einer entsprechenden Schnittstelle ihre Daten direkt zum Computer übertragen können.

## 4.3 Messmethoden

### 4.3.1 Validität der Computermessungen von Abständen

Bei der manuellen Messungen von Zahnbreiten differierten die Werte bei HUNTER et al. [28] um 0,15 mm. Dieser Wert war der Mittelwert aller Doppelmessungen. Nach der Auswertungsmethode der vorliegenden Arbeit würde dies einer Differenz von 0,31 mm entsprechen. Da in der vorliegenden Arbeit sechs Zahnbreiten addiert wurden, war die Messvarianz dementsprechend höher. So betrug der Messfehler zwischen manueller und computergestützter Messung einzelner Zahnbreiten  $0,09 \text{ mm} \pm 0,29$  und bei der Zahnbreitensumme  $0,57 \text{ mm} \pm 1,13$ .

Bei MANKE und MIETHKE [45] differierten die Zahnbreitenmessungen der Frontzähne bei wiederholter manueller Messung im Mittel um  $0,036 \text{ mm} \pm 0,059$  ( $n=10$ ).

SAVARA und SANIN [62] fanden zwischen manueller und computerbasierter Messung der Zahnbreite eine Differenz von  $0,04 \text{ mm} \pm 0,01$  ( $n = 30$ ). Ihre computerbasierte Messung erfolgte jedoch über ein direktes Abgreifen der Messpunkte am Modell und nicht über das Vermessen eines Scanbildes.

TRAN et al. [72] untersuchten die Validität einer manuellen und einer computergestützten Messung des Irregularitätsindex. Nach diesen Autoren beträgt die mittlere Differenz  $-0,18 \pm 0,34$  ( $n = 30$ ), wobei die computergestützte Messung

grundsätzlich die kleineren Messwerte ergab. In der vorliegenden Arbeit ergab sich eine Differenz von  $-0,40 \pm 1,33$  ( $n = 59$ ).

Der ausgesprochen hohe Grad der Validität ( $r = 0,996$ ) bei TRAN et al. steht jedoch in starkem Gegensatz zu SCHOPF [63], nach dem die Kontaktpunktlokalisation trotz Kalibrierung problematisch bleibt. Dies bestätigt auch die eigene Untersuchung. Nach Hopfenmüller [26] ist eine derart perfekte Übereinstimmung wie bei TRAN et al. extrem selten. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund, dass sich der Irregularitätsindex aus fünf einzelnen Messwerten zusammensetzt. Pro Kontaktpunktabweichung wäre dann lediglich eine mittlere Abweichung von 0,04 mm zulässig, die erheblich unter der Pixelgröße von 0,07 mm liegt.

Die Interklassenkorrelationskoeffizienten sowie die Korrelationskoeffizienten des Irregularitätsindex in der Arbeit von TRAN et al. und in der vorliegenden Arbeit zeigten, dass auf jeden Fall die manuelle und die computergestützte Messmethode nicht austauschbar sind [60].

### **4.3.2 Methoden der Engstandmessungen im Vergleich**

Zwischen den vier Engstandmessungen waren deutliche Abweichungen festzustellen (Tab. 4.2). In der Literatur ist bisher keine Untersuchung zu finden, die diesen Sachverhalt behandelt. Der Interklassenkorrelationskoeffizient des Engstandes betrug bei CM zu MMS 0,48, bei CMK zu MMS 0,40, bei CM zu MMB 0,58 und bei CMK zu MMB 0,36 (Kap. 11.17). Selbst zwischen MMS und MMB ergab sich lediglich eine Korrelation von 0,61. Dies ist allerdings nicht durch Ausreißer bedingt, sondern beruht auf der generellen Streubreite der Differenzen. Die niedrigen Korrelationskoeffizienten zwischen den verschiedenen Messmethoden weisen insgesamt auf systemische Fehler hin.

	<b>MMS Engstand</b>	<b>MMB Engstand</b>	<b>CM Engstand</b>	<b>CMK Engstand</b>
<b>Mittel</b>	-2,32	-0,59	0,24	0,42
<b>Minimum</b>	-9,80	-5,85	-7,58	-7,70
<b>Maximum</b>	2,22	4,45	9,26	4,17
<b>Standardabweichung</b>	2,44	2,34	3,44	3,57

*Tab. 4.2 : **Mittelwert (Mittel)**, **Minimum**, **Maximum**, und **Standardabweichung** für die gemessenen Engstände des Materials dieser Arbeit mit unterschiedlichen Methoden; Angaben in mm.*

Der Mittelwert des Engstandes nach MMS betrug  $-2,32$  mm. Dies entsprach dem subjektiven Eindruck, dass es sich durchschnittlich um Patienten mit einer negativen Zahnbogenlängendiskrepanz handelte. Der entsprechende Mittelwert der Messungen nach CM betrug  $0,24$  mm und nach CMK  $0,42$  mm, was beides einem Platzüberschuss entspricht. In Anbetracht der Tatsache, dass nahezu alle Modelle subjektiv einen Platzmangel aufwiesen, sind diese Messergebnisse eher unwahrscheinlich. Der Grund für die positiven Messwerte ist vermutlich der Verlauf der Parabel meist bukkal des wahren Zahnbogens (vergl. Abb. 2.8). Dies wird dadurch bestätigt, dass der Zahnbogenumfang durch den Computer im Mittel  $1,49$  mm größer gemessen wurde als bei der manuellen Messung.

Der Mittelwert der Messung MMB des Engstandes lag bei  $-0,59$  mm; dieser Wert ist geringer als bei MMS. Die Werte von MMB sind jedoch tendenziell fehlerbehaftet, da bereits kleine Verschiebungen des flexiblen Lineals in sagittaler und/oder transversaler Richtung eine deutliche Auswirkung auf den gemessenen Bogenumfang haben. Deutlich wird dies, wenn man die Modelle des mit MMS gemessenen größten und kleinsten Engstandes nimmt und sich anschaut, welche Ergebnisse die anderen Messungen an ihnen ergeben (Abb. 4.1).

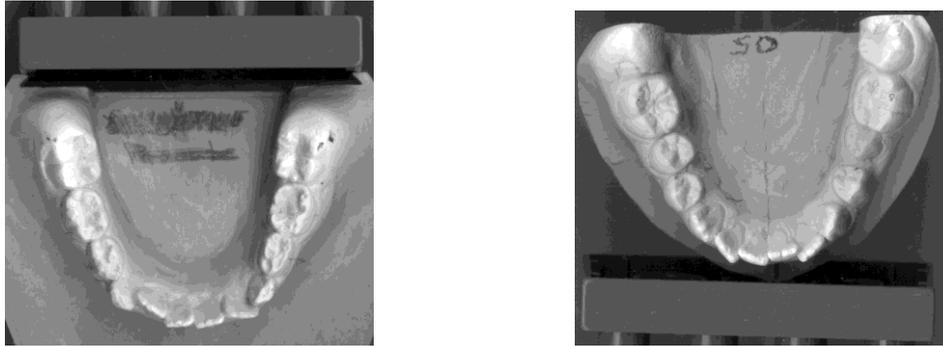


*Abb. 4.1: Modell 8 (links) mit dem größten (-9,8 mm) und Modell 30 (rechts) mit dem geringsten „Engstand“ der Frontzähne (+1,5 mm) = Platzüberschuss nach MMS.*

MMS ergab bei Modell 8 eine Zahnbogenlängendiskrepanz von -9,8 mm, MMB eine von +0,01 mm und CM eine von +9,03 mm! Bei Modell 30 lautete das Ergebnis bei MMS +1,5 mm, bei MMB +3,06 mm und bei CM +3,97 mm. Beide Beispiele belegen klar, dass sowohl MMB als auch CM generell zu positive Werte ergeben. Da sämtliche Patienten praktisch keine Lücken aufwiesen, ist anzunehmen, dass MMS die korrektesten Werte für die Zahnbogenlängendiskrepanz ergibt.

#### **4.3.3 Reproduzierbarkeit der Computermessungen**

Abbildung 4.2 zeigt, dass die vergleichsweise schlechte Korrelation zwischen CM und CMK durch zwei Ausreißer zustande kam. Sie zeichnen sich beide durch eine deutlich konische Form der Eckzähne und eine Kippung der seitlichen Schneidezähne aus, die im zweidimensionalen Bild eine korrekte Bestimmung der Zahnbreite erschwerte. In solchen Situationen fordert MARCOTTE [46] die Zähne nicht auf einer Abbildung, sondern direkt auf dem Modell zu messen.



*Abb. 4.2: Die beiden Modelle, bei denen eine konische Eckzahnform und eine Kippung der seitlichen Schneidezähne dazu führte, dass die Korrelation für die Messung der Zahnbreitensumme nach CM und CMK niedrig war.*

Die mittlere Differenz von CM und CMK beim **Irregularitätsindex** war geringer als die bei der Zahnbreitensumme; sie betrug 0,38. Dies entspricht einer Abweichung von 0,08 pro Messung und damit der Validität von MM. Der Mittelwert der Differenzen gleicht auch der Pixelgröße von 0,09 mm. Deshalb ist anzunehmen, dass sich diese Differenz durch eine höhere Auflösung eventuell noch verringern ließe.

Der Interklassenkorrelationskoeffizient des Irregularitätsindex von CM und CMK zeigt mit 0,89 einen starken Zusammenhang. Dies belegt eine hohe Reproduzierbarkeit von computergestützten Messungen.

Bei der Untersuchung von TRAN et al. (2003) [72] ergab sich für computergestützte Doppelmessungen des Irregularitätsindex eine mittlere Differenz von  $0,01 \pm 0,28$ ; das Minimum betrug -0,89 und das Maximum 0,43. Auch hier erzielten TRAN et al. einen extrem hohen Interklassenkorrelationskoeffizienten nach LIN von 0,99 und einen Korrelationskoeffizienten nach PEARSON von 0,99. Für beide Werte gilt, was bereits in Kapitel 4.3.2 ausgeführt wurde.

Die relativ hohen Differenzen von CM und CMK beim Bestimmen des **Engstandes** mit einem Mittelwert von 1,21 mm und einem Interklassenkorrelationskoeffizienten von 0,10 lassen sich darauf zurückführen, dass sich hier Messfehler summieren. So entspricht die Zahnbogenform als Parabelfunktion nicht immer exakt dem realen Zahnbogenverlauf. Bestätigt wird dies durch den vergleichsweise geringen Interklassenkorrelationskoeffizienten zwischen CMK und MMB von 0,48; beide

Zahnbogenvermessungen beruhen auf grundlegend verschiedenen Prinzipien. Insgesamt scheint das Vermessen kürzerer Zahnbogenabschnitte wie bei MMS zu den korrektesten Werten für die Platzbilanz zu führen. Die hier verwendete Computermessmethode zur Bestimmung des Engstands ist auf Grund der oben ausgeführten Kritik nicht empfehlenswert. Günstiger wäre es vermutlich, auch mit dem Computer eine segmentierte Messung ähnlich MMS vorzunehmen.

### **4.4 Ergebniskritik: Engstand vs. Irregularitätsindex**

Wie in Kapitel 4.3.3 erläutert, stellt die Methode der segmentierten manuellen Messung MMB vermutlich den Goldstandard der Engstandsmessung dar. Setzt man die Ergebnisse der Engstandsmessung von MMS in Beziehung zu den Ergebnissen der Irregularitätsindexmessung MM, ergibt sich eine negative mittlere lineare Korrelation von  $r = -0,61$ .

Die Engstandsmessmethoden MMB und CM, die subjektiv zu positive Werte aufwiesen, zeigten in der Korrelation zum Irregularitätsindex ähnlich niedrigere Werte ( $r = -0,58$  und  $r = -0,55$ ).

Dies zeigt, dass der Irregularitätsindex - wenn überhaupt - dann ausschließlich in epidemiologischen Studien Tendenzen der Zahnbogenlängendiskrepanz darstellen kann. Für genaue klinische Fragestellungen sind die beiden Parameter auf gar keinen Fall synonym zu verwenden.

Die hohe Korrelation von  $r = 0,81$ , die LITTLE [39] bei 50 subjektiv durch 7 Untersucher beurteilten Modellen zwischen Engstand und dem Irregularitätsindex ermittelte, kann nicht bestätigt werden. Der Grund für diesen hohen Korrelationskoeffizienten ist, dass LITTLE in seiner Arbeit eine 10 Punkte-Skala verwendete, bei der ein hochgradiger Engstand den Wert 10 erhielt, ein leichter den Wert von 1; dies erklärt auch, warum die Korrelation im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit positiv war.

HARRIS, VADEN und WILLIAMS [22] verglichen die Platzbilanz der Unterkieferzähne mit dem Irregularitätsindex und kamen auf eine Korrelation nach SPEARMAN von  $r_s = 0,53$  ( $P < 0,001$ ). Allerdings maßen sie auch bei gut ausgeformten Zahnbögen mit

## Kapitel 4: Diskussion

Lückenstand die direkten Distanzen der anatomischen Kontaktpunkte, was der Definition des Irregularitätsindex (orovestibuläre Kontaktpunktabweichungen) nicht entspricht. Außerdem verwendeten sie den absoluten Wert der Zahnbogenlängendiskrepanz. Der größte Platzüberschuss entsprach dem Wert 0, während der größte Platzmangel gleich der Differenz zu 0 gesetzt wurde. Deshalb wurde auch hier eine positive Korrelation ermittelt. Außerdem wiesen 21 der 70 untersuchten Patienten von HARRIS et al. einen Platzüberschuss von maximal 8,9 mm auf. Es ist sehr zu bezweifeln, ob bei diesen Patienten überhaupt ein Messen des Irregularitätsindex hätte erfolgen dürfen. Darüber hinaus widersprechen die Abbildungen bei HARRIS et al. dem Text so stark, dass die Korrektheit sämtlicher Fakten überprüft werden sollte.

Auch BERNABE und FLORES [6] untersuchten, in wie weit Irregularitätsindex und Zahnbogenlängendiskrepanz übereinstimmen. Sie benutzten dazu 200 Modelle mit vollständiger bleibender Bezahnung (außer der 3. Molaren) von 12 bis 16 Jahre alten Schulkindern aus Lima/Peru. Der Irregularitätsindex und die Zahnbogenlängendiskrepanz wurden manuell mittels Schieblehre und Draht ermittelt, wobei der Zahnbogenumfang nach LUNDSTRÖM [41] für den gesamten Zahnbogen gemessen wurde. Die Korrelation zwischen beiden Parametern betrug  $r = -0,68$  ( $P < 0,001$ ). Aufgrund ihrer Ergebnisse meinten die beiden Autoren, dass es zutreffend und zeitsparend sei, Engstand mittels des Irregularitätsindex und nicht mittels der Bogenlängendiskrepanz zu bestimmen. Hier sind Zweifel angebracht, denn BERNABE et al. ermittelten einen nicht viel höheren Korrelationskoeffizienten ( $r = -0,68$ ) als in der vorliegenden Arbeit.

Da die Messungen des Engstandes nach MIETHKE et al. [48] in mesiodistaler Richtung erfolgen, den Messungen des Irregularitätsindex aber eine orovestibuläre Messrichtung zugrunde liegt, können die Ergebnisse schon prinzipiell nicht äquivalent sein. Einzig bei einer perfekten Zahnreihe ergibt sich sowohl für den Irregularitätsindex als auch für die Zahnbogenlängendiskrepanz ein Wert von „0“. Die in dieser Arbeit ermittelten Korrelationskoeffizienten belegen, dass eine gleiche Ausrichtung beider Verfahren (bei umgekehrtem Vorzeichen) begrenzt existiert, dass beide aber zu einem guten Teil von einander unabhängig sind.

## Kapitel 4: Diskussion

Die vorliegende Arbeit zeigt am Rande, dass Messungen in orovestibulärer Richtung wie zum Beispiel beim Irregularitätsindex, HLD-Index oder bei der Kieferorthopädischen Indikationsgruppe Engstand nur eine ergänzende Aussage über das Ausmaß des Behandlungsaufwandes treffen können und dass sie in keinem Fall synonym mit Engstand sind.

## **5 Klinische Hinweise**

Als die Richtlinien des Bundesausschusses der Zahnärzte und Krankenkassen [10] für die kieferorthopädische Behandlung am 01.01.2002 in Kraft traten, wurde die Bewertung von Kontaktpunktabweichungen einbezogen. Dabei wurde der Irregularitätsindex zugrunde gelegt. Platzmangel ist die Differenz zwischen Zahnbogenumfang und Zahngröße. Diese Differenz gibt eine hinreichend genaue Aussage über das Ausmaß der erforderlichen Zahnbewegungen. Daher ist der Kategorienname „Engstand“ des KIG-Systems nicht angemessen. Kontaktpunktabweichungen der Zähne können unabhängig davon vorliegen, ob ein Platzmangel oder -überschuss besteht.

Da Irregularitätsindex und Engstand tendenziell von einander unabhängig sind, sollten beide Parameter in Untersuchungen als sich ergänzende Parameter verwendet werden, um Behandlungsbedarf, -erfolg und –rezidiv zu bestimmen. Dies erfolgt auch in den neueren Untersuchungen durch das Messen von sowohl mesiodistalen als auch orovestibulären Abweichungen [17, 30, 65].

Werden Scanbilder vermessen, empfiehlt sich bei stark gekippten Zähnen oder Zähnen, deren Approximalkontakte außerhalb der Scanebene liegen, ein manuelles Nachmessen.

## **6 Schlussfolgerungen**

Computergestützte Messungen von Abständen an eingescannten Modellen ergaben Ergebnisse, die der Genauigkeit von Messungen mittels Schieblehre entsprechen, allerdings sind diese Werte durchschnittlich etwas größer.

Eine computergestützte Messung des Irregularitätsindex führt zu einem Interklassenkorrelationskoeffizienten von 0,89, ist also sehr gut reproduzierbar und deshalb empfehlenswert.

Eine computergestützte Messung des frontalen Engstandes unter Anwendung einer Parabelfunktion 2. Grades ist praktisch nicht reproduzierbar und deshalb nicht empfehlenswert.

An Hand der Messungen MM, MMS, MMB und CM wurden die Korrelationskoeffizienten nach PEARSON für den Engstand und den Irregularitätsindex ermittelt. Sie lagen zwischen -0,55 und -0,61, das heißt sie sind lediglich mittelhoch.

Änderungen des frontalen Engstandes oder des Irregularitätsindex wirken sich zu 31% bis 37 % aufeinander aus.

Irregularitätsindex und Engstand können deshalb einander nicht ersetzen, sondern nur einander sinnvoll ergänzen.

## **7 Zusammenfassung**

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu prüfen, welche Art von Korrelation zwischen dem Irregularitätsindex nach LITTLE einerseits und dem Ausmaß des frontalen Engstandes im Unterkiefer andererseits besteht. Das Untersuchungsgut bestand aus 59 Patienten, die eine deutlich unregelmäßig ausgeformte Unterkieferfront aufwiesen. Sämtliche Frontzähne waren vollständig vorhanden, und im Seitenzahnbereich fehlte maximal ein Prämolare pro Kieferhälfte.

Engstand der Zähne 33 bis 43 wurde als Summe des fehlenden Platzes für die einzelnen Zähne manuell gemessen (MMS). Weiterhin wurde der Engstand sowohl manuell (MMB) als auch computergestützt (CM) als Differenz zwischen Zahnbreitensumme und dem Zahnbogenumfang von der Distalfläche des Zahnes 33 bis zur Distalfläche des Zahnes 43 gemessen. Zusätzlich wurde der Irregularitätsindex nach LITTLE manuell (MM) und computergestützt (CM) gemessen.

Die manuellen Messungen MM, MMS und MMB erfolgten mit einer angespitzten digitalen Schieblehre mit 0,01 mm Ablesegenauigkeit beziehungsweise mit einem flexiblen Lineal, das Schätzungen auf 0,5 mm genau zuließ.

Für die computergestützten Messungen wurden die Modelle mit einem handelsüblichen Flachbettscanner in der Okklusionsebene mit 300 dpi Auflösung eingescannt. Die Darstellung der Approximalkontakte in der zweidimensionalen Darstellung wurde getestet; sie lagen lingual in der Verlängerung der Schneidekanten. Nachfolgend wurden die eingescannten Abbildungen in das Graphikprogramm SigmaScan Pro 2.0 importiert, wo die Kontaktpunkte mit einem Cursor markiert wurden. An Hand dieser Markierungen wurden die Abstände der Kontaktpunkte voneinander gemessen. Die ermittelten Werte wurden in das Tabellenkalkulationsprogramm Excel exportiert, wo anhand der Koordinaten der Kontaktpunkte beziehungsweise Höckerspitzen der Zähne 36 bis 46 die näherungsweise am besten passende Parabel (Polynom 2. Grades) berechnet wurde. Mittels der gemessenen Abstände wurde die Zahnbreitensumme der Zähne 33 bis 43 und der Irregularitätsindex erhoben. An Hand der Pixelkoordinaten der Kontaktpunkte der Zähne 33/34 und 43/44 und der per Tabellenkalkulation ermittelten Parabelfunktion errechnete das Programm Mathematica den Umfang des anterioren

## Kapitel 7: Zusammenfassung

Zahn Bogens. In Excel wurde die Zahnbreitensumme vom Zahnbogenumfang subtrahiert, um das Ausmaß der Zahnbogenlängendiskrepanz zu bestimmen.

Die Genauigkeit der computergestützten Messmethode wurde durch erneutes Messen an elf zufällig ausgewählten Modellen überprüft (CMK).

Die statistische Auswertung aller Messergebnisse erfolgte mit den Programmen Excel und SPSS-Statistics. Für alle Messergebnisse wurden die arithmetischen Mittelwerte, Standardabweichungen und Streubreiten ermittelt. Die Validität und Reproduzierbarkeit wurden durch den Interklassenkorrelationskoeffizient nach LIN dargestellt.

An Hand der drei Messreihen MMS, CM und MMB wurden die Korrelationskoeffizienten nach PEARSON für den frontalen Engstand und für den Irregularitätsindex ermittelt. Sie lagen bei allen Messmethoden zwischen  $r = -0,55$  und  $r = -0,61$ . Änderungen des frontalen Engstandes hatten also zwischen 31 % und 37 % eine Auswirkung auf den Irregularitätsindex und vice versa.

Nach den Ergebnissen dieser Untersuchung ist eine Korrelation mittleren Grades zwischen einem Engstand der Unterkieferfront und dem Irregularitätsindex vorhanden.

## **8**      **Summary**

The aim of the present study was to evaluate the correlation between LITTLE's irregularity index and the amount of mandibular anterior crowding. The sample comprised of 59 consecutive patients, which exhibited an irregularity of the lower anterior segment. Only one premolar per quadrant was allowed to be missing.

Mandibular study casts of all patients were used to measure the sum of the mesiodistal crown diameters of the teeth 33 to 43 manually (MMS). The perimeter of the dental arch from the distal surface of the left canine to the distal surface of the right canine and the amount of anterior crowding as a negative arch length discrepancy were measured manually, too (MMB). Both measuring methods were additionally executed by a computer-based method with digital scans of the casts (CM). The irregularity index was calculated by measuring manually the original casts (MMS) and also by using the computer-based method (CM).

All manual measurements (MMS and MMB) were made using a pointed digital dial caliper with a 0.01 mm scale and a flexible ruler which allowed an estimation of 0.5 mm.

For the computer-based measurements (CM) all casts were scanned in the occlusal plane using a common flat bed scanner with a resolution of 300 dpi. The position of the proximal contact points in the two-dimensional picture was analysed. It became obvious, that generally the contact points are located at the lingual side of the incisal edge. The digitized 2-dimensional scans of the casts were imported into the graphic program SigmaScan Pro 2.0. Here the examiner marked all anatomical contact points with a cursor. Their distance from each other was then calculated and the respective values were transferred into the spread sheet analysis of Excel. Here the best fitting parabolic curve was calculated using the coordinates of the contact points of all teeth from tooth 36 to tooth 46. The irregularity index resulted from the added orovestibular distances of the contact points from the right to the left mandibular canine. The program Mathematica calculated the perimeter of the dental arch using the coordinates of the contact points of the teeth 33/34 and 43/44 and the given parabolic curve. Within the program Excel, the sum of the width of teeth was subtracted from the arch perimeter to define the amount of arch length discrepancy.

## Kapitel 8: Summary

For error evaluation all computer-based measurements were repeated independently on eleven randomly selected study casts.

The data were statistically analyzed with the programs EXCEL and SPSS-statistics. For all parameters arithmetic means, standard deviations and ranges were calculated. The validity and the reliability were controlled by using the concordance correlation coefficient of LIN.

To compare the results of three groups MMS, CM and MMB the correlation coefficient according to PEARSON between crowding and irregularity index was calculated. The indices ranged between -0.55 to -0.61. Thus only 31 % to 37 % of the total variation is explained by the linear relationship between these two parameters.

According to this study there is a medium high correlation between mandibular anterior crowding and the Irregularity Index.

## 9 Literaturverzeichnis

- (1) Al-Dashti AA , Cook PA , Curzon ME. A comparative study on methods of measuring mesiodistal tooth diameters for interceptive orthodontic space analysis. Eur J Paediatr Dent 2005;6:97-104
- (2) Ballard ML. Assymetry in tooth size: A factor in the etiology, diagnosis and treatment of malocclusion. Angle Orthod 1944;14:65-70
- (3) Barthel A. persönliche Mitteilung 2003
- (4) Beazley WW. Assessment of mandibular arch length discrepancy utilizing an individualized arch form. Angle Orthod 1971;41:45-54
- (5) BeGole EA. A computer program for the analysis of dental arch form using the catenary curve. Comput Programs Biomed 1981;13:93-99 (abstract)
- (6) Bernabe E , Flores-Mir C. Estimating arch length discrepancy through Little´s Irregularity Index for epidemiological use. Eur J Orthod 2006;28:269-273
- (7) Bolton WA. Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. Angle Orthod 1958;28:113-130
- (8) Bonwill WGA. Geometrical and mechanical laws of articulation. Trans Odont Soc Penn 1884-1885:119-133 In: Cordato M. A simple mathematical study of anterior dental relations: part 1. Aust Orthod J 1995;13:249-252
- (9) Brook PH , Shaw WC. The development of an index of orthodontic treatment priority. Eur J Orthod 1989;11:309-320
- (10) Bundesausschuss der Zahnärzte und Krankenkassen: Richtlinien des Bundesausschuss der Zahnärzte und Krankenkassen für die kieferorthopädische Behandlung vom 05.11.1993 in der am 17.08.2001 beschlossenen und ab 01.01.2002 gültigen Fassung
- (11) Burstone CJ. Personal communication. In: Marcotte RM. The use of the occlusogramm in planning orthodontic treatment. Am J Orthod 1976;69: 665-667
- (12) Carlos J. Evaluation of indices of malocclusion. Int Dent J 1970;20:606-617

## Kapitel 9: Literaturverzeichnis

- (13) Currier JH. A computerized geometric analysis of human dental arch form. Am J Orthod 1969;56:164-179
- (14) Daniels C , Richmond S. The development of the index of complexity, outcome and need (ICON). J Orthod 2000;27:149-162
- (15) Doris JM , Bernard BW , Kuflinec MM. A biometric study of tooth size and dental crowding. Am J Orthod 1981;79:326-336
- (16) Draker H. Handicapping labio-lingual deviations: a proposed index for Public Health purposes. Am J Orthod 1960;46:295-305
- (17) Eslambolchi SE , Woodside DG , Roussouw PE. A descriptive study of mandibular incisor alignment in untreated subjects. Am J Orthod 2008;133:343-353
- (18) Fiorelli G , Melsen B. The „3-D occlusogram“ software. Am J Orthod Dentofac Orthop 1999;116:363-368
- (19) Freitas KM , de Freitas MR , Henriques JF , Pinzan A , Janson G. Postretention relapse of mandibular anterior crowding in patients treated without mandibular premolar extraction. Am J Orthod Dentofac Orthop 2004;125:480-487
- (20) Freunthaller P. Der Engstand der unteren Frontzähne. Österr Z Stomatol 1973;70:257-269
- (21) Gebauer U. Elektronische Mess- und Rechanlagen zur ARCPogrammetrischen Modelldiagnostik und zum Auswerten von Fernröntgenbildern. Schweiz Mschr Zahnheilk 1977;87:1170-1180
- (22) Harris EF , Vaden JL , Williams RA. Lower incisor space analysis: A contrast of methods. Am J Orthod Dentofac Orthop 1987;92:375-380
- (23) Hawley CH. Determination of the normal arch, and its application in orthodontia. Dental Cosmos 1905;XLVII:541-553
- (24) Hayashi T. A mathematical analysis of the curve of dental arch. Bull Tokyo Med Dent Univ 1956;3:175-218

## Kapitel 9: Literaturverzeichnis

- (25) Herren P , Schmoker R , Jordi Th. Arch shape and space balance determined by arcogramme technique. Trans Eur Orthod Soc 1973;49:61-73
- (26) Hopfenmüller W. Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie Campus Charité Mitte Berlin: Persönliche Mitteilung. 2008
- (27) Huck L , Kahl-Nieke B , Schwarze CW , Schüssele B. Postretention changes in canine position. J Orofac Orthop 2000;61:199-206
- (28) Hunter WS , Priest WR. Errors and discrepancies in measurement of tooth size. J Dent Res 1960;39:405-414
- (29) Jenny J , Cons NC. Comparing and contrasting two orthodontic indices, the index of orthodontic treatment need and the dental aesthetic index. Am J Orthod Dentofac Orthop 1996;110:410-416
- (30) Kahl-Nieke B , Fischbach H , Schwarze, CW. Post-retention crowding and incisor irregularity: a long-term follow-up evaluation of stability and relapse. Br J Orthod 1995;22:249-257
- (31) Kinast H. Herstellungstechnische Grundlagen des Arcumeters und sein Gebrauch Fortschr Kieferorthop 1978;39:248-252
- (32) Kinast H. Die Okklusographie. Berlin: Quintessenz, 1982
- (33) Korkhaus G. Gebiss-, Kiefer- und Gesichtorthopädie. Aus: Bruhn C. Handbuch der Zahnheilkunde, 1939:4, 2.-4. Aufl.
- (34) Lasher MCA. Consideration of the principles of mechanical arches as applied to the dental arch. Angle Orthod 1934;4:248-268
- (35) Lehmann KL , Hellwig E. Einführung in die restaurative Zahnheilkunde. München: Urban & Schwarzenberg, 1993:23-24,168
- (36) Leighton BC , Hunter WS. Relationship between lower arch spacing / crowding and facial height and depth. Am J Orthod 1982;82:418-425
- (37) Lestrel PE , Takahashi O , Kanazawa E. A quantitative approach for measuring crowding in the dental arch: Fourier descriptors. Am J Orthod Dentofac Orthop 2004;125:716-725

## Kapitel 9: Literaturverzeichnis

- (38) Lin LI. A concordant correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 1989;45:255-268
- (39) Little RM. The Irregularity Index: A quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod* 1975;68:554-563
- (40) Lu KH. Analysis of Dental Arch Asymmetry. University of Oregon Dental School, Portland Oregon. *J Dent Res* 1964;43:780 Nr.84
- (41) Lundström A. An investigation of 202 pairs of twins regarding fundamental factors in the aetiology of malocclusion. *The Dental Record* 1949;69:251-266  
In: Bernabe E , Flores-Mir C. Estimating arch length discrepancy through Little´s Irregularity Index for epidemiological use. *Eur J Orthod* 2006;28:269-273
- (42) Lundström A. The aetiology of crowding of the teeth and its bearing on orthodontic treatment. *Transactions of the European Orthodontic Society* 1951:176-191
- (43) Lundström A. Intermaxillary tooth width ratio and tooth alignment and occlusion. *Acta Odontol Scand* 1954;12:265-292
- (44) Lundström A. Crowding of the teeth in twins. *European Orthodontic Society Report of the Congress* 1964;40:470-480
- (45) Manke M , Miethke R-R. Die Größe des Bolton-Index und die Häufigkeit von Boltondiskrepanzen im Frontzahnsegment bei unbehandelten kieferorthopädischen Patienten. *J Orofac Orthop* 1983;44:59-65
- (46) Marcotte RM. The use of the occlusogramm in planning orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1976;69:665-667
- (47) Meng HP , Gebauer U , Ingervall B. Die Entwicklung des tertiären Engstandes der unteren Incisiven im Zusammenhang mit Veränderungen der Zahnbögen und des Gesichtsschädel bei Individuen mit guter Okklusion von der Pubertät bis zum Erwachsenenalter. *Schweiz Mschr Zahnmed* 1985;95:762-777
- (48) Miethke R-R , Sergl HG , Sernetz F. Lexikon kieferorthopädischer Begriffe. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin 2003:55-56,194,271

## Kapitel 9: Literaturverzeichnis

- (49) Mills LF , Hamilton PM. Epidemiological studies of malalignment, a method for computing dental arch circumference. *Angle Orthod* 1965;35:244-248
- (50) Mockers O , Aubry M , Mafart B. Dental crowding in prehistoric population. *Eur J Orthod* 2004;26:151-156
- (51) Moorrees C , Reed R. Biometrics of crowding and spacing of the teeth of the mandible. *Am J Phys Anthropol* 1954;12:77-88
- (52) Moorrees CFA , Thomsen SO , Jensen E , Kai-Jen Yen P. Mesiodistal crown diameters of the deciduous and permanent teeth in individuals. *Am J Dent Res* 1957;36:39-47
- (53) Moorrees CFA , Reed RB. Correlation among crown diameters of human teeth. *Arch Oral Biol* 1964;9:685-697
- (54) Nance HN. The limitations of orthodontic treatment. I. Mixed dentition diagnosis and treatment. *Am J Orthod* 1947;33:177-223
- (55) Peck S , Peck H. A crown dimensions and mandibular incisor alignment. *Angle Orthod* 1972;42:148-153
- (56) Remane A. Zur Messtechnik der Primatenzähne. *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abderhalden*. Aus: Seipel CM. Variation of tooth position. *Sven Tandlaek Tidskr* 1946;39 Supplementum:24
- (57) Richmond S , Shaw WC , O'Brien KD , Buchanan I , Jones R , Stephens CD , Roberts CT , Andrews M. The development of the PAR-Index (Peer-Assessment-Rating): reliability and validity. *Eur J Orthod* 1992;14:125-139
- (58) Richmond S , Daniels CP. International comparisons of professional assessments in orthodontics: Part 1 – Treatment need. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1998;113:180-185
- (59) Richmond S , Daniels CP. International comparisons of professional assessments in orthodontics: Part 2 – Treatment outcome. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1998;113:324-328
- (60) Russel CM. Letters to the Editor. Reliability and validity of a computer-based Little irregularity index. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2003;124:13A-14A

## Kapitel 9: Literaturverzeichnis

- (61) Sanin C , Savara S , Thomas , Clarkson. Arc Length of the Dental Arch estimated by Multiple Regression. J Dent Res 1970;49:885
- (62) Savara BS , Sanin C. A new data acquisition method for measuring dentition and test for accuracy. Am J Phys Anthropol 1969;30:315-318
- (63) Schopf, P. Die kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG), Berufsverband der Deutschen Kieferorthopäden e.V. 2001
- (64) Seipel CM. Variation of tooth position. Sven Tandlaek Tidskr 1946;39 Supplementum:23-25
- (65) Shah AA , Elcock C , Brook AH. Incisor crown shape and crowding. Am J Orthod Dentofac Orthop 2003;123:abstract
- (66) Siatkowski ER. Incisor uprighting: Mechanism for late secondary crowding in the anterior segment of dental arches. Am J Orthod 1974;66:398-410
- (67) Stanton FL , Fish GD , Ashley-Montagu MF. Description of three instruments for use in orthodontic and cephalometric investigations, with some remark on map construction. J Dent Res 1931;11:885-902
- (68) Stevens DR , Flores-Mir C , Nebbe B , Raboud DW , Heo G , Major DW. Validity, reliability and reproducibility of plaster vs. digital study models: comparison of peer-assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. Am J Orthod Dentofac Orthop 2006;129:794-803
- (69) Stiftung Warentest August 2001;8:23-24
- (70) Summers CJ. The occlusal index: a system for identifying and scoring occlusal disorders. Am J Orthod 1971;59:552-566
- (71) Taner TU , Haydar B , Kavuklu I , Korkmaz A. Short-term effects of fiberotomy on relapse of anterior crowding. Am J Orthod Dentofac Orthop 2000;118:617-623
- (72) Tran AM , Rugh JD , Chacon JA , Hatch JP. Reliability and validity of a computer-based Little irregularity index. Am J Orthod Dentofac Orthop 2003;123:349-351

## Kapitel 9: Literaturverzeichnis

- (73) Tweed CH. Clinical Orthodontics. The C V Mosby Company, St. Louis 1966:84-93
- (74) Wellens H. Applicability of mathematical curve-fitting procedures to late mixed dentition patients with crowding: A clinical-experimental evaluation. Am J Orthod Dentofac Orthop Am J Orthod Dentofac Orthop 2007;131:160e17-160e25
- (75) Zilberman O , Huggare JA , Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth sizes and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. Angle Orthod 2003;73:301-306

## **10 Verwendete Geräte und Materialien**

Digital-Schieblehre: HaWe 222.36 Digital Caliper

Werner GmbH & CO., Hans

Uhlmannstraße. 35, 88471 Laupheim

[www.hawe.de](http://www.hawe.de)

Millimeterpapier: folia Nr. 8200/25

Max Bringmann KG

Johann-Höllfritsch-Str. 37, D-90530 Wendelstein

[www.folia.de](http://www.folia.de)

Flexibles Lineal: Ortho Organizers – Time Saver Arches ©

Messbereich 150 mm

ORTHO ORGANIZERS GmbH

Business Park Lindenberg

Lauenbühlstraße 59, 88161 Lindenberg

[www.orthoorganizers.de](http://www.orthoorganizers.de)

PC: Personalcomputer mit Intel-Pentium-3-Prozessor (500MhZ)

Drucker: Hewlett Packard HP Desk Jet 720 C (includes KODAK Image Enhancements)

Hewlett-Packard GmbH

Herrenberger Str. 140 71034 Böblingen

[www.welcome.hp.com](http://www.welcome.hp.com)

Scanner: Canon CanoScan D1250U2

Canon Deutschland GmbH

Europark Fichtenhain A10 D-47807 Krefeld

[www.canon.de](http://www.canon.de)

Monitor: Samsung SyncMaster 700p plus Color Monitor

Samsung Electronics GmbH Samsung-Haus

Am Kronenberger Hang 6

## Kapitel 10: Verwendete Geräte und Materialien

765824 Schwalbach /Ts.

[www.monitor.samsung.de](http://www.monitor.samsung.de)

### Software:

Microsoft Windows XP Professional SP2

Microsoft Office Word 2003

Microsoft Office Excel 2003

[www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)

ScanGear CS-U

Canon ScanGear Toolbox 3.1

Canon Deutschland GmbH

Europark Fichtenhain A10 D-47807 Krefeld

[www.canon.de](http://www.canon.de)

SigmaScan Pro Version 2.0

Systat Software Inc. (SSI) San Jose, California, USA

[www.systat.com](http://www.systat.com)

WolframMathematica Version 5.1

Wolfram Research Europe Ltd.

10 Blenheim Office Park

Lower Road

Long Hanborough

Oxfordshire OX29 8RY

UNITED KINGDOM

[www.wolfram.com](http://www.wolfram.com)

SPSS® Version 15.0

SPSS GmbH Software

Theresienhöhe 13

80339 München

[www.spss.com](http://www.spss.com)

## 11 Tabellen und Bildanhang

### 11.1 Ergebnisse der manuellen Messungen MMS und MM

Alle 59 Messungen MMS und MM wurden manuell durchgeführt. Ergebnisse in Millimetern.

Fall - Nr.	MMS Engstand	MMS Irregularitätsindex
1	-1,53	6,02
2	-6,76	7,76
3	-5,00	7,2
4	-1,48	3,15
5	-1,32	6,27
6	-0,51	4,75
7	-0,68	5,53
8	-9,80	7,79
9	1,17	6,09
10	-3,16	7,14
11	-2,38	6,03
12	-1,11	4,79
13	-3,37	5,15
14	-2,43	7,57
15	-4,72	6,7
16	-5,24	11,09
17	-2,64	4,6
18	-1,34	5,59
19	-4,46	7,86
20	-2,31	4,76
21	-0,06	4,59
22	-1,90	6,07
23	-1,06	5,59
24	-2,05	6,78
25	-1,36	7,36
26	-3,56	6,84
27	-1,58	6,66
28	-3,95	7,84
29	0,35	4,19
30	1,50	4,73
31	-0,11	6,71
32	-2,89	4,97

## Kapitel 11: Tabellen und Bildanhang

33	-1,77	6,33
34	-1,01	6,43
35	-3,5	4,58
36	-1,08	5,44
37	-3,35	4,52
38	-7,07	8,32
39	-1,72	5,77
40	-1,55	6,8
41	-2,35	9,51
42	-2,49	6,93
43	-1,68	6,45
44	1,49	6,36
45	1,26	5,83
46	-3,94	5,77
47	-6,32	15,63
48	-4,09	10,34
49	-5,29	13,47
50	-5,23	10,88
51	-5,28	10,07
52	-5,06	8,47
53	2,22	5,07
54	-2,01	6,37
55	-2,26	4,85
56	0,49	5,16
57	1,09	6,97
58	1,84	3,36
59	-0,21	3,75

	<b>MMS Engstand</b>	<b>MM Irregularitätsindex</b>
<b>Mittel</b>	-2,32	6,69
<b>Minimum</b>	-9,80	3,15
<b>Maximum</b>	2,22	15,63
<b>Standardabweichung</b>	2,44	2,28
<b>Anzahl N</b>	59	59

## 11.2 Ergebnisse der manuellen Messungen MMB

Die manuellen Messungen MMB von Zahnbreitensumme, Bogenumfang und Engstand als Differenz zwischen Zahnbreitensumme und Bogenumfang wurden an allen 59 Modellen durchgeführt. Ergebnisse in Millimetern.

<b>Fall-Nr.</b>	<b>MMB Zahnbreitensumme</b>	<b>MMB Bogenumfang</b>	<b>MMB Engstand</b>
1	35,44	34,5	-0,94
2	35,91	34,5	-1,41
3	35,51	37,0	1,49
4	37,94	37,5	-0,44
5	36,89	34,5	-2,39
6	38,85	39,0	0,15
7	36,97	36,5	-0,47
8	39,9	34,0	0,01
9	40,82	43,5	2,68
10	37,6	35,5	-2,1
11	36,2	34,5	-1,7
12	36,01	36,5	0,49
13	35,94	34,5	-1,44
14	34,54	33,0	-1,54
15	34,84	32,0	-2,84
16	38,44	35,0	-3,44
17	38,53	38,0	-0,53
18	38,9	41,0	2,1
19	36,23	33,5	-2,73
20	37,33	37,0	-0,33
21	36,08	36,0	-0,08
22	36,21	34,0	-2,21
23	35,18	36,0	0,82
24	36,08	35,0	-1,08
25	36,13	36,5	0,37
26	40,21	38,0	-2,21
27	36,18	35,5	-0,68
28	37,66	34,5	-3,16
29	37,14	38,5	1,36
30	36,94	40,0	3,06
31	37,44	40,5	3,06
32	36,56	36,5	-0,06

Kapitel 11: Tabellen und Bildanhang

33	36,25	34,5	-1,75
34	36,78	37,0	0,22
35	35,52	33,0	-2,52
36	36,35	36,5	0,15
37	35,51	35,0	-0,51
38	37,4	33,0	-4,4
39	39,04	38,5	-0,54
40	37,99	37,0	-0,99
41	38,83	37,5	-1,33
42	33,86	30,5	-3,36
43	35,21	35,5	0,29
44	34,99	39,0	4,01
45	36,23	38,5	2,27
46	35,62	32,0	-3,62
47	38,66	35,0	-3,66
48	37,17	37,0	-0,17
49	35,85	30,0	-5,85
50	37,91	34,0	-3,91
51	36,97	33,5	-3,47
52	37,31	34,0	-3,31
53	37,55	42,0	4,45
54	38,69	39,0	0,31
55	38,37	38,5	0,13
56	34,05	35,5	0,95
57	34,59	37,5	2,91
58	35,32	39,5	4,18
59	37,39	41,0	3,61

	<b>MMB Zahnbreitensumme</b>	<b>MMB Bogenumfang</b>	<b>MMB Engstand</b>
<b>Mittel</b>	36,83	36,15	-0,59
<b>Minimum</b>	33,86	30,00	-5,85
<b>Maximum</b>	40,82	43,50	4,45
<b>Standard-</b>	1,52	2,76	2,34
<b>Anzahl N</b>	59	59	59

### 11.3 Ergebnisse der computergestützten Messungen CM

Die Messungen CM von Zahnbreitensumme, Bogenumfang, Engstand als Differenz zwischen Zahnbreitensumme und Bogenumfang, sowie Irregularitätsindex wurden an allen 59 Modellen durchgeführt. Ergebnisse in Millimetern.

Fall-Nr.	CM Zahnbreitensumme	CM Bogenumfang	CM Engstand	CM Irreg.-Index
1	35,93	36,99	1,06	6,84
2	36,44	36,60	0,15	8,66
3	31,78	36,76	4,99	9,89
4	38,15	39,52	1,37	5,10
5	33,52	34,83	1,31	8,85
6	41,57	41,32	-0,25	4,23
7	37,82	40,08	2,26	7,11
8	40,85	37,76	-3,09	9,03
9	40,74	45,70	4,96	9,14
10	37,99	35,02	-2,97	9,06
11	36,71	35,63	-1,08	7,59
12	36,88	35,85	-1,03	4,47
13	36,96	36,23	-0,74	8,19
14	34,67	35,78	1,10	7,75
15	35,18	32,72	-2,46	7,87
16	38,36	36,11	-2,25	11,58
17	39,73	41,19	1,47	6,10
18	38,83	45,92	7,09	5,12
19	36,40	33,33	-3,07	9,67
20	39,40	37,07	-2,32	6,94
21	37,13	35,26	-1,87	5,85
22	36,30	37,19	0,88	8,01
23	36,51	37,87	1,36	6,23
24	38,00	35,57	-2,43	8,20
25	37,43	39,70	2,26	8,75
26	42,11	41,45	-0,67	8,43
27	37,04	35,18	-1,86	7,21
28	38,51	34,15	-4,36	9,36
29	38,44	40,24	1,80	4,75
30	38,49	42,45	3,97	4,59
31	38,81	42,85	4,04	5,99
32	37,35	39,16	1,80	5,56

## Kapitel 11: Tabellen und Bildanhang

33	36,76	38,22	1,46	6,67
34	36,83	41,81	4,98	7,02
35	36,47	35,07	-1,40	5,41
36	36,65	36,86	0,21	4,73
37	36,33	37,33	1,00	3,76
38	37,37	36,35	-1,02	7,31
39	38,48	36,92	-1,56	6,70
40	40,24	40,27	0,03	9,03
41	41,98	35,19	-6,78	8,00
42	34,28	34,75	0,48	5,97
43	36,10	35,28	-0,82	6,14
44	35,45	38,97	3,52	5,17
45	35,99	37,31	1,31	5,23
46	35,64	34,24	-1,40	5,58
47	39,17	36,21	-2,97	15,31
48	38,54	30,96	-7,58	8,99
49	37,04	33,19	-3,85	12,77
50	38,41	33,37	-5,05	8,20
51	38,00	31,34	-6,65	9,82
52	36,59	34,39	-2,20	8,79
53	39,04	42,67	3,63	5,60
54	39,78	41,19	1,41	6,23
55	39,30	40,50	1,20	3,66
56	32,98	39,19	6,22	3,70
57	35,74	39,96	4,22	4,05
58	33,77	43,03	9,26	3,17
59	38,44	44,34	5,90	2,69

	<b>CM Zahnbreitensumme</b>	<b>CM Bogenumfang</b>	<b>CM Engstand</b>	<b>CM Irreg.-Index</b>
<b>Mittel</b>	37,40	37,64	0,24	7,09
<b>Minimum</b>	31,78	30,96	-7,58	2,69
<b>Maximum</b>	42,11	45,92	9,26	15,31
<b>Stand.abw</b>	2,09	3,47	3,44	2,41
<b>Anzahl N</b>	59	59	59	59

*Irreg.-Index = Irregularitätsindex; Stand.abw. = Standardabweichung.*

### 11.4 Ergebnisse der computergestützten Messung CMK

Die computergestützten Messungen CMK von Zahnbreitensumme, Bogenumfang, Engstand als Differenz zwischen Zahnbreitensumme und Bogenumfang, sowie Irregularitätsindex wurden an 11 nach dem Zufallsprinzip ausgewählten Modellen durchgeführt. Ergebnisse in Millimetern.

<b>Fall-Nr.</b>	<b>CMK Zahnbreitensumme</b>	<b>CMK Bogenumfang</b>	<b>CMK Engstand</b>	<b>CMK Irreg.-Index</b>
1	34,77	37,63	2,86	7,11
2	35,75	33,73	-2,02	7,79
3	37,77	30,07	-7,70	8,57
4	38,47	40,24	1,76	4,29
5	36,79	36,10	-0,69	8,46
6	41,55	40,50	-1,05	4,58
7	36,71	40,36	3,65	6,59
8	40,40	41,21	0,80	9,43
9	40,94	45,11	4,17	9,24
10	38,55	36,16	-2,39	8,72
11	36,61	32,64	-3,98	6,56

	<b>CMK Zahnbreitensumme</b>	<b>CMK Bogenumfang</b>	<b>CMK Engstand</b>	<b>CMK Irreg.-Index</b>
<b>Mittel</b>	38,03	37,61	0,42	7,40
<b>Minimum</b>	34,77	30,07	-7,70	4,29
<b>Maximum</b>	41,55	45,11	4,17	9,43
<b>Stand.abw.</b>	2,19	4,39	3,57	1,76
<b>Anzahl N</b>	11	11	11	11

### 11.5 Differenzen CM – MMB der einzelnen Zahnbreiten

Die Differenzen CM - MMB der Zahnbreiten der Zähne 33, 32, 31, 41, 42 und 43 wurden an allen 59 Fällen ermittelt [12]. Ergebnisse in Millimetern.

Differenzen MMB - CM						
Fall Nr.	Zahn 33	Zahn 32	Zahn 31	Zahn 41	Zahn 42	Zahn 43
1	-0,40	0,08	0,08	0,11	0,54	0,09
2	0,33	-0,16	0,11	0,02	-0,52	0,75
3	0,32	-0,29	-0,05	-0,06	-0,04	0,03
4	-0,42	0,46	-0,14	0,10	-0,20	0,40
5	-0,40	-0,57	-0,74	-0,60	-0,56	-0,49
6	2,13	-0,08	0,09	-0,01	0,33	0,25
7	0,26	0,14	0,23	0,20	0,52	-0,50
8	0,13	0,21	-0,16	0,32	0,05	0,39
9	0,15	0,10	0,21	0,19	-0,20	-0,51
10	0,11	0,08	0,01	-0,15	-0,05	0,39
11	0,12	0,07	-0,01	0,03	0,15	0,15
12	0,46	0,06	-0,07	-0,08	0,35	0,16
13	0,04	0,30	0,06	0,18	0,18	0,26
14	-0,01	0,20	-0,33	0,43	0,40	-0,56
15	-0,04	-0,12	-0,16	0,02	0,33	0,32
16	-0,04	-0,10	0,23	-0,11	0,23	-0,30
17	-0,15	-0,13	0,28	0,30	0,58	0,32
18	0,43	-0,20	0,07	-0,22	0,06	-0,20
19	0,13	-0,01	-0,18	0,20	0,09	-0,04
20	0,23	0,19	0,32	0,16	0,82	0,35
21	-0,00	-0,02	-0,02	0,41	0,45	0,34
22	-0,13	-0,06	0,40	-0,44	0,26	0,06
23	0,46	0,09	0,14	0,01	0,29	0,34
24	0,07	0,26	-0,08	0,33	0,38	0,97
25	0,14	0,29	0,30	-0,05	0,21	0,07
26	0,50	0,03	-0,04	0,11	0,52	0,78
27	0,10	-0,06	0,17	-0,05	0,08	0,62
28	0,49	0,04	-0,04	0,32	-0,01	0,05
29	1,07	0,18	-0,27	0,25	-0,14	0,21
30	0,17	0,28	0,36	0,09	0,35	0,29
31	0,19	-0,31	0,43	0,18	0,40	0,47
32	0,08	0,46	0,04	0,06	0,33	-0,17

## Kapitel 11: Tabellen und Bildanhang

33	-0,05	-0,23	0,11	0,27	0,14	0,28
34	0,02	-0,06	0,01	0,25	0,18	-0,28
35	0,23	0,11	0,04	0,26	0,03	0,29
36	0,36	-0,00	0,08	-0,28	-0,23	-0,08
37	0,35	0,41	-0,02	-0,01	-0,13	0,22
38	0,02	,02	0,14	0,13	-0,37	0,09
39	-0,33	-0,25	0,04	-0,01	-0,05	0,04
40	0,13	0,47	-0,04	0,38	0,82	0,49
41	0,83	0,66	0,24	0,73	0,01	0,66
42	0,19	-0,02	-0,06	0,12	0,24	-0,06
43	0,24	-0,12	0,22	0,06	0,26	0,22
44	0,13	0,08	-0,04	0,16	-0,22	-0,08
45	-0,27	0,18	0,04	0,17	0,14	-0,49
46	0,03	-0,03	-0,03	0,06	0,24	-0,25
47	0,11	0,10	0,20	0,02	-0,24	0,33
48	0,25	0,40	0,09	0,44	0,17	0,01
49	-0,01	0,27	0,43	0,15	0,40	-0,05
50	0,08	0,35	0,40	-0,15	0,27	-0,44
51	0,25	0,06	0,05	0,45	-0,38	0,60
52	0,09	-0,25	0,05	0,05	-0,41	,26
53	0,69	0,24	0,03	-0,05	0,25	0,32
54	0,40	0,19	-0,03	0,08	0,27	0,18
55	0,48	0,38	-0,00	0,07	0,10	-0,11
56	-0,10	0,04	-0,07	-0,18	-0,28	-0,49
57	-0,00	0,37	0,09	0,15	0,43	0,12
58	-0,05	-0,50	-0,19	-0,51	-0,43	0,13
59	0,69	-0,06	0,02	0,05	-0,12	0,49

Zahn	33	32	31	41	42	43
<b>Mittelwert</b>	0,19	0,07	0,05	0,09	0,14	0,12
<b>Minimum</b>	-0,42	-0,57	-0,74	-0,60	-0,56	-0,56
<b>Maximum</b>	2,13	0,66	0,43	0,73	0,82	0,97
<b>StandAbw</b>	0,38	0,24	0,20	0,23	0,31	0,35
<b>Anzahl N</b>	59	59	59	59	59	59

*StandAbw = Standardabweichung.*

## 11.6 Differenzen CM – MMB der Zahnbreitensumme

Die Differenzen CM – MMB der Zahnbreitensumme wurden von allen 59 Fällen ermittelt. Ergebnisse in Millimetern.

<b>Fall Nr.</b>	<b>Differenzen CM – MMB der Zahnbreitensumme der Zähne 33-43</b>
1	0,49
2	0,53
3	-0,09
4	0,21
5	-3,37
6	2,72
7	0,85
8	0,95
9	-0,08
10	0,39
11	0,51
12	0,87
13	1,02
14	0,13
15	0,34
16	-0,08
17	1,20
18	-0,07
19	0,18
20	2,07
21	1,15
22	0,09
23	1,33
24	1,92
25	0,97
26	1,90
27	0,86
28	0,85
29	1,30
30	1,55
31	1,37
32	0,79

## Kapitel 11: Tabellen und Bildanhang

33	-0,51
34	0,11
35	0,95
36	0,30
37	0,82
38	-0,03
39	-0,56
40	2,25
41	3,15
42	0,42
43	0,89
44	0,46
45	-0,24
46	0,02
47	0,51
48	1,37
49	1,19
50	0,50
51	1,03
52	-0,72
53	1,49
54	1,09
55	0,93
56	-1,07
57	1,15
58	-1,55
59	1,05

	<b>Differenzen CM – MMB</b>
<b>Mittelwert</b>	0,57
<b>Minimum</b>	-3,37
<b>Maximum</b>	3,15
<b>Standardabweichung</b>	1,13
<b>Anzahl N</b>	59

### 11.7 Differenzen CM - MMS des Engstandes

Ergebnisse in Millimetern.

<b>Fall Nr.</b>	<b>Differenzen CM – MMS Engstand</b>
1	2,00
2	1,56
3	6,50
4	1,81
5	3,70
6	-0,40
7	2,73
8	-3,10
9	2,28
10	-0,87
11	0,62
12	-1,52
13	0,70
14	2,64
15	0,38
16	1,19
17	2,00
18	4,99
19	-0,34
20	-1,99
21	-1,79
22	0,88
23	0,54
24	-1,35
25	1,89
26	1,54
27	-1,18
28	-1,20
29	0,44
30	0,91
31	0,98
32	1,86

## Kapitel 11: Tabellen und Bildanhang

33	3,21
34	4,76
35	1,12
36	0,06
37	1,51
38	3,38
39	-1,02
40	1,02
41	-5,45
42	3,84
43	-1,11
44	-0,49
45	-0,96
46	-1,40
47	0,69
48	-7,41
49	2,00
50	-1,14
51	-3,18
52	1,11
53	-0,82
54	1,10
55	1,07
56	5,27
57	1,31
58	5,08
59	2,29

	<b>Differenzen CM – MMS Engstand</b>
<b>Mittelwert</b>	2,56
<b>Minimum</b>	-4,43
<b>Maximum</b>	9,99
<b>Standardabweichung</b>	2,66
<b>Anzahl N</b>	59

### 11.8 Differenzen CM - MMB des Engstandes

Ergebnisse in Millimetern.

<b>Fall Nr.</b>	<b>Differenzen CM – MMB Engstand</b>
1	2,00
2	1,56
3	3,50
4	1,81
5	3,70
6	-0,40
7	2,73
8	-3,10
9	2,28
10	-0,87
11	0,62
12	-1,52
13	0,70
14	2,64
15	0,38
16	1,19
17	2,00
18	4,99
19	-0,34
20	-1,99
21	-1,79
22	3,09
23	0,54
24	-1,35
25	1,89
26	1,54
27	-1,18
28	-1,20
29	0,44
30	0,91
31	0,98
32	1,86

## Kapitel 11: Tabellen und Bildanhang

33	3,21
34	4,76
35	1,12
36	0,06
37	1,51
38	3,38
39	-1,02
40	1,02
41	-5,45
42	3,84
43	-1,11
44	-0,49
45	-0,96
46	2,22
47	0,69
48	-7,41
49	2,00
50	-1,14
51	-3,18
52	1,11
53	-0,82
54	1,10
55	1,07
56	5,27
57	1,31
58	5,08
59	2,29

	<b>Differenzen CM – MMB Engstand</b>
<b>Mittelwert</b>	0,83
<b>Minimum</b>	-7,41
<b>Maximum</b>	5,27
<b>Standardabweichung</b>	2,37
<b>Anzahl N</b>	59

**11.9 Differenzen CM - MM des Irregularitätsindex**

<b>Fall-Nr.</b>	<b>Differenzen CM – MM Irregularitätsindex</b>
1	0,82
2	0,90
3	2,69
4	1,95
5	2,58
6	-0,52
7	1,58
8	1,24
9	3,05
10	1,92
11	1,56
12	-0,32
13	3,04
14	0,18
15	1,17
16	0,49
17	1,50
18	-0,47
19	1,81
20	2,18
21	1,26
22	1,94
23	0,64
24	1,42
25	1,39
26	1,59
27	0,55
28	1,52
29	0,56
30	-0,14
31	-0,72
32	0,59
33	0,34
34	0,59

## Kapitel 11: Tabellen und Bildanhang

35	0,83
36	-0,71
37	-0,76
38	-1,01
39	0,93
40	2,23
41	-1,51
42	-0,96
43	-0,31
44	-1,19
45	-0,60
46	-0,19
47	-0,32
48	-1,35
49	-0,70
50	-2,68
51	-0,25
52	0,32
53	0,53
54	-0,14
55	-1,19
56	-1,46
57	-2,92
58	-0,19
59	-1,06

	<b>Differenzen CM - MM Irregularitätsindex</b>
<b>Mittelwert</b>	-0,40
<b>Minimum</b>	-3,05
<b>Maximum</b>	2,92
<b>Standardabweichung</b>	1,33
<b>Anzahl N</b>	59

### 11.10 Differenzen CMK – CM der Zahnbreitensumme

Ergebnisse in Millimetern.

<b>Fall Nr.</b>	<b>Differenzen CMK – CM der Zahnbreitensumme der Zähne 33-43</b>
1	-1,16
2	-0,69
3	5,99
4	0,32
5	3,27
6	-0,02
7	-1,11
8	-0,45
9	0,20
10	0,56
11	-0,10

	<b>Differenzen CMK – CM Zahnbreitensumme</b>
<b>Mittelwert</b>	0,62
<b>Minimum</b>	-1,16
<b>Maximum</b>	5,99
<b>Standardabweichung</b>	2,15
<b>Anzahl N</b>	11

**11.11 Differenzen CMK – CM des Irregularitätsindex**

<b>Fall Nr.</b>	<b>Differenzen CMK – CM Irregularitätsindex</b>
1	0,27
2	-0,87
3	-1,32
4	-0,81
5	-0,39
6	0,35
7	-0,52
8	0,40
9	0,10
10	-0,34
11	-1,03

	<b>Differenzen CMK – CM Irregularitätsindex der Zähne 33-43</b>
<b>Mittelwert</b>	-0,38
<b>Minimum</b>	-1,32
<b>Maximum</b>	0,4
<b>Standardabweichung</b>	0,60
<b>Anzahl N</b>	11

## 11.12 Differenzen CMK – CM des Engstandes

Ergebnisse in Millimetern.

<b>Fall Nr.</b>	<b>Differenzen CMK – CM des Engstandes der Zähne 33-43</b>
1	1,80
2	-2,17
3	-12,69
4	0,39
5	-2,00
6	-0,80
7	1,39
8	3,89
9	-0,79
10	0,58
11	-2,90

	<b>Differenzen CMK – CM des Engstandes</b>
<b>Mittelwert</b>	-1,21
<b>Minimum</b>	-12,69
<b>Maximum</b>	3,89
<b>Standardabweichung</b>	4,29
<b>Anzahl N</b>	11

### 11.13 Differenzen CMK – CM des Bogenumfangs

Ergebnisse in Millimetern.

<b>Fall Nr.</b>	<b>Differenzen CMK – CM des Bogenumfangs der Zähne 33-43</b>
1	0,64
2	-2,87
3	-6,69
4	0,72
5	1,27
6	-0,82
7	0,28
8	3,45
9	-0,59
10	1,14
11	-2,99

	<b>Differenzen CMK – CM der Bogenumfangs</b>
<b>Mittelwert</b>	0,59
<b>Minimum</b>	6,69
<b>Maximum</b>	3,45
<b>Standardabweichung</b>	2,74
<b>Anzahl N</b>	11

### 11.14 Korrelationen Zahnbreitensumme MMB, CM und CMK

Zahnbreiten- summe		MMB	CM	CMK
<b>MMB</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	1	0,685	0,717
	Anzahl N	59	59	11
<b>CM</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,685	1	0,677
	Anzahl N	59	59	11
<b>CMK</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,717	0,677	1
	Anzahl N	11	11	11

### 11.15 Korrelationen Irregularitätsindex MM, CM und CMK

Irregularitäts- index		MMS	CM	CMK
<b>MMS</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	1	0,772	0,774
	Anzahl N	59	59	11
<b>CM</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,772	1	0,891
	Anzahl N	59	59	11
<b>CMK</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,774	0,891	1
	Anzahl N	11	11	11

### 11.16 Korrelationen Engstand MMS, MMB, CM und CMK

Engstand		<b>MMS</b>	<b>MMB</b>	<b>CM</b>	<b>CMK</b>
<b>MMS</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	1	0,609	0,475	0,403
	Anzahl N	59	59	59	11
<b>MMB</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,609	1	0,581	0,364
	Anzahl N	59	59	59	11
<b>CM</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,475	0,581	1	0,100
	Anzahl N	59	59	59	11
<b>CMK</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,403	0,364	0,100	1
	Anzahl N	11	11	11	11

### 11.17 Korrelationen Bogenumfang MMB, CM und CMK

Bogen- umfang		<b>MMB</b>	<b>CM</b>	<b>CMK</b>
<b>MMB</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	1	0,707	0,482
	Anzahl N	59	59	11
<b>CM</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,707	1	0,761
	Anzahl N	59	59	11
<b>CMK</b>	Interklassenkorrelationskoeffizient	0,482	0,761	1
	Anzahl N	11	11	11

## 12 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all denen danken, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. R.-R. Miethke für die Überlassung des Dissertationsthemas und viele konstruktive Ratschläge.

Herrn PD Dr. med. Dr. rer. nat. W. Hopfenmüller danke ich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dipl. Ing. Andreas Bartels und Herrn Thomas Keller für die Unterstützung bei der Beschaffung geeigneter Auswertungs-DV-Programme und für die Beratung in Fragen der EDV bedanken.

Vielen Dank auch an Ilka Hardkop, die mich bei schwierigen mathematischen Fragestellungen beraten hat.

Zum Schluss gilt mein Dank meiner Familie, die mir in jedweder Hinsicht zur Seite stand. Aus diesem Grunde widme ich diese Arbeit meiner Familie.

## 13 **Curriculum Vitae**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## 14 **Erklärung**

„Ich, Yvonne Hardkop, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:  
ÜBER DEN ZUSAMMENHANG ZWISCHEN IRREGULARITÄTSINDEX UND  
ENGSTAND selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und  
Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine  
Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift