

**Diplomarbeit**

**Alternative Frontzahninklinationsmessung ohne  
Fernröntgen**

eingereicht von

**Peter Kerek**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Zahnheilkunde**

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

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit**

**Klinische Abteilung für orale Chirurgie und Kieferorthopädie der  
Zahnklinik Graz**

unter der Anleitung von

Ass.Prof. med.univ. et med dent Dr. Margit Pichelmayer

Univ.-Prof. Dr.med.univ et Dr.med.dent Norbert Jakse

Graz, am 8.8.2021

Eidesstaatliche Erklärung:

*Eidesstaatliche Erklärung*

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

*Graz, am 8.8.2021*

*Peter Kerek eh.*

## Danksagungen:

Ich möchte mich ganz herzlich bei Frau Univ.-Ass.-Prof. Dr. Margit Pichelmayer für die umfassende wissenschaftliche Betreuung, großartige Unterstützung, Geduld und Zeit bedanken.

Vielen Dank auch an Herrn Univ.-Prof. Dr.med.univ et Dr.med.dent Jakse Norbert für die konstruktive Kritik.

Ein großes Dankeschön geht auch an meinen Cousin Kevin Toth für seine Zeit, Hilfsbereitschaft und Unterstützung während der Erstellung dieser Diplomarbeit.

Danke auch an Frau Dipl. Ing. Irene Mischak, die die statistische Auswertung für diese Arbeit durchgeführt hat und an den Herrn Dipl. Ing. Erich Häupel, der mich in der Anfangsphase mit Ideen unterstützt und mir weitergeholfen hat.

Ein Dankeschön geht auch an meine Studienkollegen und Studienkolleginnen, die sich für mich und meine Messungen Zeit genommen haben.

Weiters möchte ich mich auch bei meinen Eltern, für die mentale sowie finanzielle Unterstützung bedanken, die mir überhaupt das Zahnmedizinstudium ermöglicht haben.

Zuletzt möchte ich mich von tiefsten Herzen bei meiner Freundin Maša, Freund und Studienkollegen Lorenz und allen anderen Studienkollegen und Studienkolleginnen, die mir bei allen meinen Höhen und Tiefen beigestanden haben, bedanken.

# Inhaltverzeichnis

Danksagungen: .....	II
Abbildungsverzeichnis: .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VII
Diagrammverzeichnis .....	VII
Zusammenfassung .....	VIII
Abstract .....	IX
1. Einleitung .....	1
1.1. Frontzahnneigung .....	1
1.1.1. Was ist eine Inklination per se? .....	1
1.1.2. Inklination der Frontzähne .....	1
Ad 1.1.2.1. Funktioneller Aspekt der Frontzahnneigung .....	2
Ad 1.1.2.2. Ästhetischer Aspekt der Frontzahnneigung .....	9
1.1.3. Angewendete Methoden der Frontzahnneigungsmessung .....	14
1.1.4. Inklinationsmessung anhand der Fernröntgenseitenbildaufnahme .....	37
Ad 1.1.4.1. Manuelle Durchzeichnung .....	38
Ad 1.1.4.2. Durchzeichnung mittels Computerprogramm .....	39
1.2. Die Referenzebene .....	40
1.2.1. Bekannte Bezugsebenen .....	40
Achse-Orbitale Ebene .....	40
Frankfurter Horizontale .....	40
Camper'sche Ebene .....	41
Kauebene = Okklusionsebene = Okklusalebene .....	41
1.2.2. Bezugsebenen, die für Neigungsmessungen angewendet wurden .....	43
1.2.3. Die neue Bezugsebene .....	45
1.3. Mems .....	47
1.3.1. Was ist ein Mems? .....	47
1.3.2. Wie ist ein Mems aufgebaut? .....	47
1.3.3. Wo wird ein MEMS eingesetzt? .....	48
1.3.4. Was ist ein Beschleunigungssensor? .....	48
1.3.5. Wie funktioniert ein Beschleunigungssensor? .....	48
1.3.6. Medizinische Anwendung von MEMS .....	49
1.4. Ziel .....	51
2. Material und Methode .....	52
Durchführung .....	52
3. Ergebnisse .....	59
3.1. INTRA RATER: .....	61

3.1.1. Untersucher*in 1 - Min/Max/Mittelwert/SD.....	61
3.1.2. Untersucher*in 1 - ICC (Intraclass Correlation Coefficient) .....	62
Streudiagramme des/der Untersuchers*in 1 zum <i>Zeitpunkt 2</i> :.....	65
3.2.1. Untersucher*in 2, 3 und 4 – Min/Max/Mittelwert/SD .....	67
3.2.2. Untersucher*in 2, 3 und 4 - ICC (Intraclass Correlation Coefficient).....	68
3.2. INTER RATER: .....	69
3.2.1. Untersucher*in 1 vs. Untersucher*in 1 .....	69
3.2.2. Untersucher*in 1 vs Untersucher*in 2, 3 und 4 .....	70
3.2.3. Untersucher*in 1 vs. Untersucher*in 2, 3 und 4 - ICC (Intraclass Correlation Coefficient).....	71
Einzelmessungen in Relation zueinander .....	73
4. Diskussion .....	74
5. Konklusion .....	79
6. Literaturverzeichnis.....	80

## Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1 - Links: Physiologische Inklination Rechts: Steilstehende Frontzähne.....	2
Abbildung 2 – Experimental Setup. PC = Personal Computer; DAT = Digital Audio Tape - recorder; R = adjustable resistor.....	4
Abbildung 3 – Haltegerät mit eingespannten Zahn.....	5
Abbildung 4 – Die Abbildungen zeigen die verschieden Einrisse in den Nahrungblöcken, die durch die unterschiedliche Frontzahninklination entstehen. ....	5
Abbildung 5 – Darstellung der verschiedenen Zahninklinationen im Computer Programm .....	6
Abbildung 6 – 0° Inklination.....	7
Abbildung 7 - 10° Inklination .....	7
Abbildung 8 - 20° Inklination .....	7
Abbildung 9 - 30° Inklination .....	8
Abbildung 10 - 40° Inklination .....	8
Abbildung 11 – In den Abbildungen sind die Studienpatienten mit den extremsten Frontzahninklinationen und deren Einfluss auf das Profil dargestellt. 1.) Kleinste Konvexität 2.) Größte Konvexität 3.) Größte Inklination von OK zu UK Incisivi 4.) Kleinste Inklination der OK zur UK Incisivi .....	10
Abbildung 12 - Darstellung der Längsachsen und der Verbindungslinie von Punkt A zu Pogonion ...	11
Abbildung 13 – Königin im Jahr 1954 und 1955.....	11
Abbildung 14 - Ausgangsbild.....	12
Abbildung 15 – 1-4mm Bewegung anterior.....	13
Abbildung 16 – 1-4mm Bewegung posterior .....	13
Abbildung 17 - Sicht von lateral .....	14
Abbildung 18 – Maxillator Body Piece.....	16
Abbildung 19 – Maxillator Body Piece.....	16
Abbildung 20 – Mandibular Base Piece, vertical protractor piece.....	16
Abbildung 21 – Mandibular Base Piece, horizontal fin .....	17
Abbildung 22 – Mandibular Base Piece, incisor-mandibular plane angulator.....	17
Abbildung 23 - Mandibular Base Piece, incisor-mandibular plane angulator (Sicht von lateral).....	18
Abbildung 24 - Mandibular base pice .....	18
Abbildung 25 – Ramus Piece .....	19
Abbildung 26 – Der zusammengesetzte Maxillator .....	19
Abbildung 27 - Schraubensystem.....	20
Abbildung 28 – Anwendung am Patienten.....	21
Abbildung 29 - Positionierung des horizontalen Drahtes.....	22
Abbildung 30 – Incisal Angulator .....	22
Abbildung 31 - Stellung der Zähne im mazerierten Schädel.....	23
Abbildung 32 - Darstellung der Frontzahn Wurzelachsen von lateral und frontal.....	24
Abbildung 33 - Ausführung der Inklinationsmessung .....	25
Abbildung 34 - Kroneninklination nach Andrews L. F.....	26
Abbildung 35 - Zahn mit kleinem Collum Winkel    Abbildung 36 - Zahn mit großem Collum Winkel	
26	
Abbildung 37 - Zahn in der Zahnhalterung    Abbildung 38 - Beleuchtung des Zahnes.....	27
Abbildung 39 - Definierte Punkte .....	28
Abbildung 40 - Stereograph .....	28
Abbildung 41 – Funktionsweise des Stereographs.....	29

Abbildung 42 – Dargestellt ist die Tangente (Maxillary incisor facial line) und die Längsachse des Frontzahnes .....	30
Abbildung 43 – Gleiche Inklination zur vorderen Schädelbasis mit gleichzeitig unterschiedlichen Werten zwischen Längsachse und Tangente .....	30
Abbildung 44 – Tooth inclination protractor.....	31
Abbildung 45 – Anwendung der Intraoralen TIP am Patienten .....	32
Abbildung 46 – Anwendung der intraoralen TIP am Gipsmodell.....	33
Abbildung 47 – Anwendung der extraoralen TIP an Gipsmodellen .....	33
Abbildung 48 - Drahtpositionierung während der Messung .....	33
Abbildung 49 - erste Prototyp .....	34
Abbildung 50 - Endprodukt.....	34
Abbildung 51 - Positionierung des OK Schneidezahnes.....	35
Abbildung 52 - A: Durch das Lineal wird die Frankfurter Horizontalebene widergespiegelt. B: Anwendung des Endproduktes am Patienten .....	36
Abbildung 53 – Fernröntgenseitenbild. Es wurden die Längsachsen der Schneidezähne und die Referenzebene eingezeichnet. ....	37
Abbildung 54 – Durchzeichnung im Computerprogramm.....	39
Abbildung 55 - Bezugsebenen nach Rakosi. SeN: Vordere Schädelbasisebene, „H“: Frankfurter Horizontale, Pal: palatinale Ebene, Occ: Okklusionsebene, MP: Mandibular Ebene .....	41
Abbildung 56 - Interincisalwinkel.....	43
Abbildung 57 – Darstellung der Punkte A, Nasion und Sella sowie die Längsachse des Schneidezahnes .....	44
Abbildung 58 – SAM Außenbogen mit der Einzelteilen .....	45
Abbildung 59 – Neue Bezugsebene. Definiert durch den Außenbogen.....	46
Abbildung 60 - Einzelnde MEMS Komponenten .....	47
Abbildung 61 – der angewendete KX122-1037 Drei-Achsen Beschleunigungssensor .....	50
Abbildung 62 - Mit der Zahlen 1 und 2 sind die angewendete Beschleunigungssensoren KX122-1037 gegenzeichnet, die an einem Chip befestigt wurden .....	50
Abbildung 63 – Die zwei roten Punkte markieren den palatinalen Teil der Incisalkante und das palatinale Tuberculum. Die schwarze Linie zeigt die Ausrichtung des Chip 1 an.....	54
Abbildung 64 – A= Kunststoffzahnkrone B=Verlängerung .....	54
Abbildung 65 - Ausrichtung des Chip 1 am Gipsmodell (Zahn 11) .....	55
Abbildung 66 – Chip 1 .....	55
Abbildung 67 – Chip 2 wurde mit heißen Plastifiziermittel fixiert.....	56
Abbildung 68 – Aufgerüsteter Außenbogen.....	57
Abbildung 69 – Aufbau des Außenbogens und positionieren des Chip 1 am Zahn 11 .....	57
Abbildung 70 – Fehlerquellen.....	78

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Schematische Darstellung der durchgeführten Messungen.....	58
Tabelle 2 - Ermittelte Werte der U1 zum Z1 und Z2 sowie U2, U3 und U4 zum Z3 .....	59
Tabelle 3 – Differenzen zwischen den Messungen .....	61
Tabelle 4 - ICC Untersucher*in 1 zum Zeitpunkt 1 und 2 .....	62
Tabelle 5 - Differenzen zwischen Messungen pro Untersucher*in zum gleichen Zeitpunkt.....	67
Tabelle 6 - ICC des Untersucher*in 2,3 und 4 zum Zeitpunkt 3.....	68
Tabelle 7 - Inter Rater: Abweichung Untersucher*in 1 zwischen dem ersten und zweiten Zeitpunkt .	69
Tabelle 8 – Inter Rater: Abweichungen zwischen den Untersucher*innen und Zeitpunkten .....	70
Tabelle 9 - ICC Auswertung zwischen Z1 und Z3 sowie Z2 und Z3 der Untersucher*in 2,3 und 4 ....	71

## Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 – Untersucher*in 1, Zeitpunkt 1, Messung 1:2 .....	63
Diagramm 2 – Untersucher*in 1, Zeitpunkt 1, Messung 1:3 .....	63
Diagramm 3 – Untersucher*in 1, Zeitpunkt 1, Messung 2:3 .....	64
Diagramm 4 – Untersucher*in 1, Zeitpunkt 2, Messung 1:2 .....	65
Diagramm 5 – Untersucher*in 1, Zeitpunkt 2, Messung 1:3 .....	65
Diagramm 6 – Untersucher*in 1, Zeitpunkt 2, Messung 2:3 .....	66
Diagramm 7 - Streudiagramm der gemittelten Werte des Untersucher*in 1 (Zeitpunkt 1 : Zeitpunkt 2) .....	69
Diagramm 8 - ICC Streudiagramm. Vergleich der gemittelten ICC Werte zwischen Untersucher*in 1 zum Zeitpunkt 1 und Untersucher*in 2, 3 und 4 zum Zeitpunkt 3.....	71
Diagramm 9 - ICC Streudiagramm. Vergleich der gemittelten ICC Werten zwischen Untersucher*in 1 zum Zeitpunkt 2 und Untersucher*in 2, 3 und 4 zum Zeitpunkt 3.....	72
Diagramm 10 - Einzelmessungen in Relation zueinander.....	73

## Zusammenfassung

**Ziel** dieser Arbeit war es, eine strahlenfreie Frontzahninklinationsmessmethode zu entwickeln, die die Kriterien der Reproduzierbarkeit und Messgenauigkeit erfüllt und die in der täglichen kieferorthopädischen Praxis angewendet werden kann.

**Anforderungsprofil:** Die neue medizinisch-diagnostische Methode sollte reproduzierbar sein und die Frontzahninklinationsmessung ohne Fernröntgenseitenbildanalyse ermöglichen. Die Gerätschaft sollte schnell und einfach herstellbar, sowie kostengünstig sein. Außerdem sollte die Gerätschaft leicht in den täglichen Praxisalltag integrierbar und nicht zuletzt auch patientenfreundlich sein.

**Methode:** Die Methode beruht auf der Verwendung selbstgebauter Micro-Chips, welche auf einem Gyroskopsystem basieren. Mithilfe dieser auf neuester Technologie beruhenden Meßabnehmer, ist man in der Lage, die Position bzw. Stellung von Objekten im Raum in Relation zu Referenz-Chips (Bezugsebene) zu messen und so einen Winkel in Grad zu berechnen. Die in dieser Studie zur Vermessung kommenden Objekte waren zentrale Oberkieferschneidezähne, deren Inklination zu einer Bezugsebene gemessen wurde, welche durch den angebrachten Außenbogen des Artikulators definiert war. Diese Ebene verläuft von den äußeren Gehörgängen zum ventralsten und caudalsten Punkt der Sutura Intranasalis. Ein Meßchip befindet sich am rechten oberen zentralen Incisivus, der andere am Außenbogen.

**Material:** Es wurden von 4 Behandlern\*innen jeweils 3 Messungen zu 3 unterschiedlichen Zeitpunkten an 12 Untersuchungs-teilnehmer\*innen (Studenten der Medizinischer Universität Graz) durchgeführt.

**Ergebnisse:** Nach der statistischen Auswertung der Ergebnisse, kann man sagen, dass die neue mikrochipunterstützte Frontzahninklinationsbestimmung gut reproduzierbare Messungen liefert, wenn diese in der Hand eines einzelnen Untersucher\*innen bleibt.

**Schlussfolgerung:** Unsere Meinung nach zeigt die neue strahlenfreie Inklinationsmessungsmethode Potenzial und durch entsprechende Weiterentwicklungen, könnten wir uns vorstellen, dass eines Tages diese strahlenfreie Art der Frontinklinationsmessung routinemäßig verwendet werden könnte.

## Abstract

**The aim** of this thesis is the development of a ray-free front teeth inclination measuring method, which would fulfil the criteria of reproducibility and measurement accuracy and could be used on a daily basis in orthodontic practice.

**Requirements profile:** the new medical diagnostic method should be reproducible and allow front teeth inclination measurement without the use of lateral radiographs. The equipment should be quickly and easily producible as well as cost-effective. Furthermore, the equipment should be easy to integrate into the everyday practice and should, last but not least, be patient-friendly.

**Method:** The method is based on the use of self-constructed microchips, which are based on a gyroscope system. With the aid of these sensors, which are based on the latest technology, one is able to measure the position of an object in the room in relation to the reference chips (reference plane) and thus calculate an angle in degrees. The objects measured in this thesis were maxillary central incisors whose inclination was measured in relation to a reference plane which was defined through the appropriate outside curve of the articulator. This plane runs from the outer auditory canal to the most ventral and caudal point of the Sutura Intranasalis. One measuring sensor is located on the central top right Incisivus, and the other one is located on the outside curve.

**Material:** Four practitioners took three measurements on three separate occasions from twelve study participants (i.e. students from the Medical University of Graz).

**Results:** After a statistical evaluation of the results, it is evident that the new microchip-supported way of determining the inclination of the front teeth yields reproducible measurement values. The gap in the measurement values were smaller with the investigator 1's date 1 and date 2 ( $0.06^\circ$  to  $2.99^\circ$ ) when compared with investigator 2, investigator 3 and investigator 4's date 3, which exhibited a lot bigger fluctuations and gaps ( $0.84^\circ$  to  $10.78^\circ$ ).

**Conclusion:** In our opinion, the new ray-free inclination measuring method shows potential and, through appropriate further development, it would be possible for it to become an established ray-free way of front inclination measurement used in everyday dentistry.

# 1. Einleitung

Ein wichtiger Teil der kieferorthopädischen Diagnostik ist die Beurteilung der Inklination der Frontzähne. Ziel dieser Arbeit war es, eine reproduzierbare Art der Frontzahnneigungsmessung zu entwickeln, die auf Strahlenfreiheit beruht.

Deshalb sind die drei Hauptaspekte dieser Diplomarbeit:

1. die *Frontzahnneigung*, die von therapeutischer und funktioneller Bedeutung ist,
2. eine *neue Bezugsebene*, die reproduzierbar und ohne großen Aufwand darstellbar ist,
3. der *Mikrochip*, der die Position der Referenzebene und der zentralen Schneidezähne wiedergibt und damit die gewünschter Messwerte liefert.

## 1.1. Frontzahnneigung

### 1.1.1. Was ist eine Inklination per se?

Neigung oder Inklination kommt von lateinisch *inclīnātio* und bedeutet „Neigung, Krümmung“. Im menschlichen Gebiss stehen in der Regel sowohl die Seitenzähne wie auch die Frontzähne inkliniert im Verhältnis zur Okklusionsebene.

In der Vergangenheit hat sich vor allem die Gnathologie mit der Bedeutung der Neigung der Zähne befasst. Sie ist jenes Fachgebiet der Zahnmedizin, das sich mit der Funktion des Kauapparates per se beschäftigt. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Okklusion d.h. auf dem genauen Zusammenspiel der Zähne von Oberkiefer und Unterkiefer und deren Einfluss auf die Kiefergelenke und die Kaumuskulatur (Gesellschaft für Zahngesundheit o. D.)

### 1.1.2. Inklination der Frontzähne (2 bis 2)

In der Frontzahnregion sind neben der Funktion noch die ästhetischen Aspekte relevant. Dies hat u.a. damit zu tun, dass der Patient beim Blick von anterior diese Region beim Sprechen und Lachen preisgibt.

#### 1.1.2.1. Funktioneller Aspekt der Frontzahnneigung

#### 1.1.2.2. Ästhetischer Aspekt der Frontzahnneigung

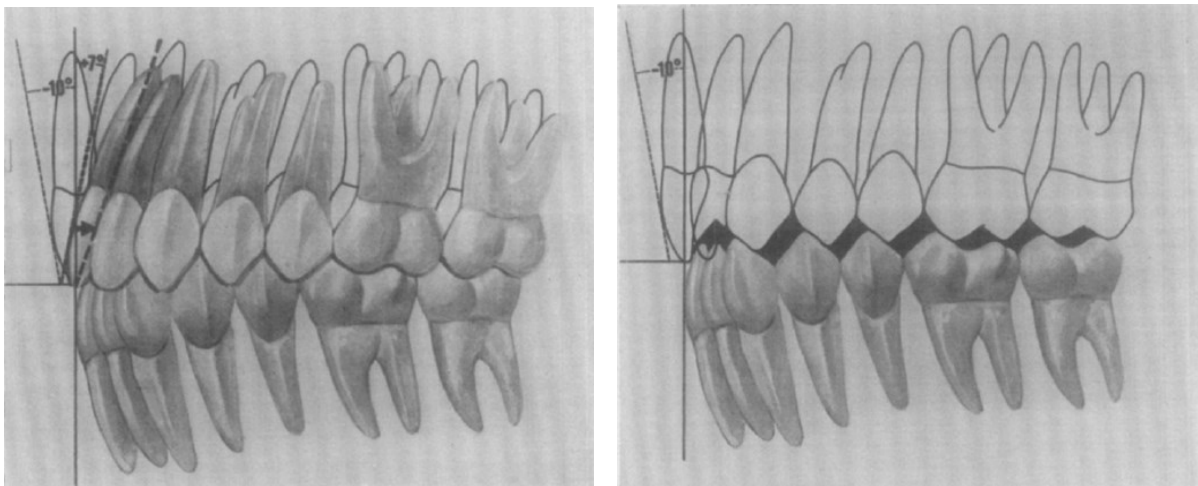
### *Ad 1.1.2.1. Funktioneller Aspekt der Frontzahnneigung*

Die richtige Inklination der Frontzähne spielt im menschlichen Gebiss eine wichtige funktionelle Rolle. Der ideale Winkel, der, in Relation zur vorderen Schädelbasis gemessen,  $103^\circ$  beträgt, hat eine direkte und indirekte Wirkung auf die:

- Phonation: Artikulation von Buchstaben und Wörtern.
- Schutz der Seitenzähne bei Exkursionsbewegungen: Disklusion im Seitenzahnbereich.
- Mastikation: Abbeißen von Nahrung unter richtiger axialer Belastung und die vordere Abgrenzung sowie Halten des Nahrungsbolus in der Mundhöhle.
- Schutz des Parodontalen Ligaments.

(Slavicek 2002)

Laut Andrews beeinflusst die anteriore Kroneninklination den Überbiss und die posteriore Okklusion. Wenn die Frontzähne zu steil oder flach stehen, verlieren sie ihr natürliches Ausmaß der regulären Überlappung und damit droht der Verlust der harmonischen Funktion. Im Fall von steil stehenden Frontzähnen kann die labiolinguale Kroneninklination die reine Vertikale nach innen überschreiten und führt zur einer instabilen Okklusion. Dabei kommt die Eckzahnführung nicht zu Stande und es besteht die Möglichkeit, dass die Seitenzähne nach vorne wandern. In Situationen wo die Frontzähne zu stark prokliniert sind, positionieren sich die Seitenzähne mesialer als bei normal stehenden Frontzähnen. In *Abbildung 1* ist sichtbar, wie sich die Kontaktpunkte mit ändernder Frontinklination verlagern (Andrews 1972).



*Abbildung 1 - Links: Physiologische Inklination Rechts: Steilstehende Frontzähne*

Runte et al. haben (bei 18 Totalprothesenträgern) mit einem Spektralanalyseverfahren den Einfluss der zentralen Oberkieferschneidezähne (TP) auf die Phonation untersucht.

Von diesen Prothesen wurden Abdrücke angefertigt und mit Acryl ausgegossen. Anschließend wurden die zentralen Schneidezähne vom Acrylduplikat getrennt und unter Einbringung eines kieferorthopädischen Drahtes in mesio-distaler Richtung in der palato-cervicalen Region wieder dem Acrylduplikat zugefügt, wobei der Draht als Drehachse für diesen Zahn fungierte. Ein Druck-Zug-Kabel (Pull/Push-cable), das an der labialen Fläche der Zähne fixiert war, ermöglichte eine Bewegung der Zähne in labio-palato Richtung. Das andere Ende des genannten Kabels war mit einem Potentiometer verbunden, das die gewünschte Bewegung ausführte. Das Potentiometer kontrollierte die Frequenz der Sinuswelle, die vom Sound Generator erzeugt wurde (*Abbildung 2*).

Mit einem Kabel wurde der Generator und mit einem anderen das Mikrophon an einen DAT (Digital Audio Tape) - Recorder angeschlossen, der dann die entsprechenden Sprach- und Generatorsignale aufgezeichnet hat. Das Mikrophon wurde 50 cm vom Patienten entfernt positioniert.

Mit jeder Messung wurde die Generatorfrequenz und die TP-Schneidezahnstellung neu kalibriert. Die Ausgangsposition war immer 0°.

Die Messungen wurden so durchgeführt, dass die bearbeiteten und aufgerüsteten TP-duplikate in den Patientenmund gegeben wurden und der Patient aufgefordert wurde, /S/ Laute mehrmals 5 sec lang zu wiederholen. Während der /S/ Wiederholungen wurden die Zähne auf vier verschiedene Arten ausgelenkt und dabei die auftretenden Signaländerungen aufgenommen.

- Ausgangspunkt – Auslenkung 20° nach palatinal
- Ausgangspunkt – Auslenkung 20° nach labial
- Ausgelenkte Position 20° palatinal – Auslenkung 20° nach labial
- Ausgelenkte Position 20° labial – Auslenkung 20° nach palatinal

Die Zahnauslenkung wurde manuell von dem/der Untersucher\*in ausgeführt. Deswegen war es nicht möglich punktgenau reproduzierend die 20° Auslenkungen zu wiederholen. Während der Auslenkung wurden sieben Messungen in sechs gleichen Zeitintervallen durchgeführt.

Die Untersucher\*innen haben mit einem schalldichten Raum dafür gesorgt, dass die Aufnahmen ohne Störungen ablaufen konnten.

Die Ergebnisse der Frequenzmessungen (dB) zeigten, dass sich die untere Frequenzgrenze erhöht und die obere Frequenzgrenze erniedrigt hat, unabhängig davon in welche Richtung der Zahn ausgelenkt wurde. Signifikante Änderungen des höchsten Punktes der Frequenzamplitude sind bei der Auslenkung von 0° bis 20° nach labial aufgetreten. Hierbei hat der „peak“ von 23,7 auf 18,6 dB abgenommen. Ähnlich bei der Auslenkung von 20° palatinal nach 20° labial – hier war die Abnahme von 22,1 auf 17,8 dB.

So wurde nachgewiesen, dass bei TP-Trägern das durch den Prothesenkunststoff und Zahnaufstellung veränderte Relief im Mund die Luftströmung und dadurch die Phonetik beeinflusst. Trotzdem waren die Untersucher\*innen der Meinung, dass allein für die Sprachbildung, die menschliche neuromuskuläre Anpassung von größerer Bedeutung ist als die Aufstellung der Schneidezähne und Ausformung des Kunststoffgaumens.

Die Arbeit von Runte lässt also rückschließen, dass die Frontzahnneigung nicht nur kaufunktionell oder ästhetisch relevant ist, sondern offensichtlich auch einen wichtigen Beitrag zur Phonation von Prothesenträgern leistet. Ob dies auch bei vollbezahnten Menschen relevant ist, kann nur angenommen werden (Runte, Tawana et al. 2002).

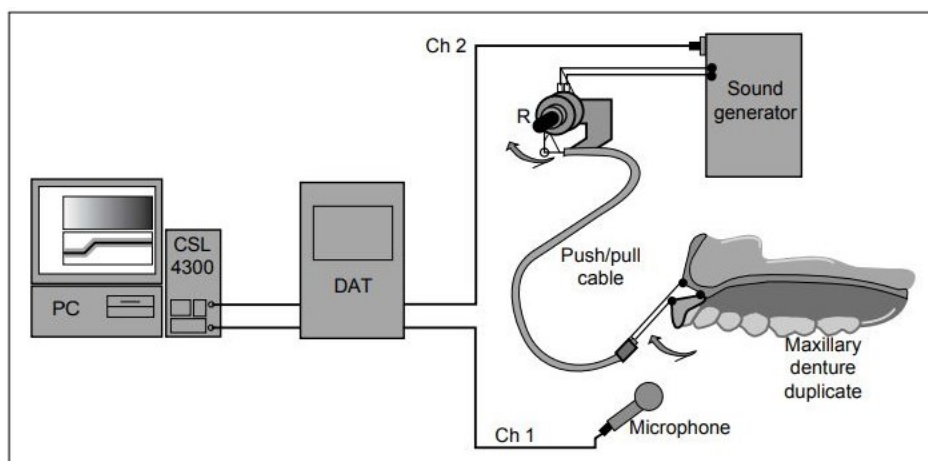
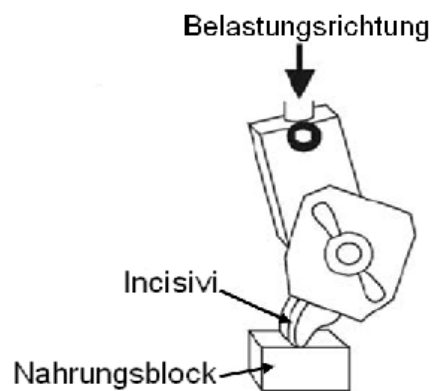
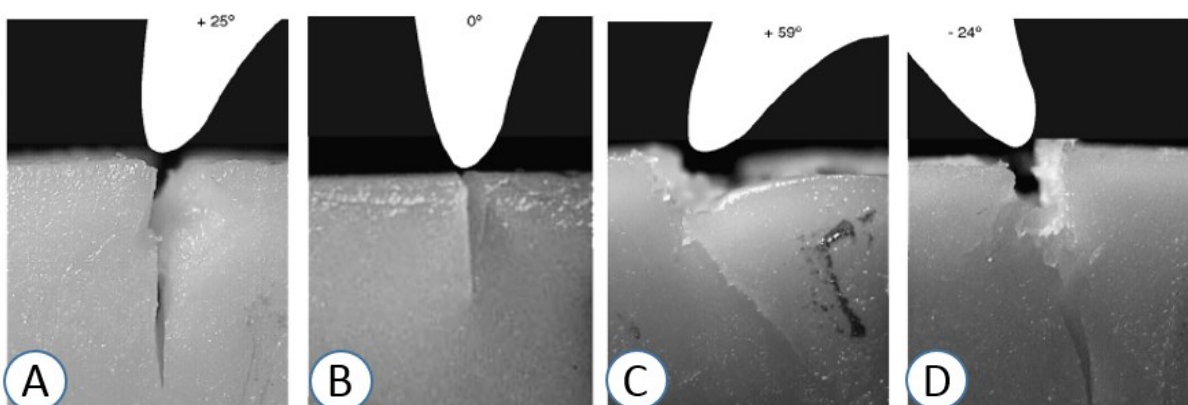


Abbildung 2 – Experimental Setup. PC = Personal Computer; DAT = Digital Audio Tape - recorder; R = adjustable resistor.

Z.Sui et al. untersuchten die Frontzahnneigung und ihre Effizienz beim Abbeißen. Zur Untersuchung wurde ein ideales asiatisches Gebiss herangezogen. Aus der Frontregion wurde ein Kunststoffmodell der Oberkieferincisivi (12-22) hergestellt und in ein Haltegerät (*Abbildung 3*) eingespannt. Mit den eingespannten Incisivi wurden dann Abbeißbewegungen in Käsestücken (Cheddar) ((A), (C), (D)) und 15,3% Weizenstärkegel (B) durchgeführt (*Abbildung 4*). Bei der Ausführung haben die Untersucher\*innen beobachtet, welchen Einfluss die Zahninklination ( $60^\circ$  bis  $-40^\circ$ ) hat und welcher Winkel für die Abbeißbewegung der geeignetste war. Die durchgeführten Tests haben gezeigt, dass die unterschiedlichen Inklinationen der Schneidezähne unterschiedliche Schnitte bzw. Einbrüche in der Nahrung verursachen (*Abbildung 4*).



*Abbildung 3 – Haltegerät mit eingespannten Zahn*



*Abbildung 4 – Die Abbildungen zeigen die verschiedenen Einrisse in den Nahrungsblöcken, die durch die unterschiedliche Frontzahninklination entstehen.*

Die Kaeffizienz hängt von mehreren Faktoren ab. Wichtig sind sowohl die Schaufelform wie auch die Friktion, die zwischen der Krone und der Nahrung entsteht. Wenn man Oberkiefer und Unterkiefer separat betrachtet, spielt die Inklination der Zähne – laut Untersucher\*innen – keine große Rolle bei Abbeißvorgang. Erst wenn man beide Kiefer als eingespieltes System betrachtet, sieht man, dass die Oberkiefer- wie die Unterkiefer- Schneidezahnkronenachse ungefähr die gleiche Richtung einnimmt. In so einem Fall kommt es schneller zur Durchtrennung der Nahrung als bei einer Situation, wo die OK-Incisivi protrudiert und die UK-Incisivi retrudiert stehen. Laut Untersucher\*innen ist es deswegen indiziert, kieferorthopädische Inklinationskorrekturen durchzuführen, weil sie sich positiv auf die Kaeffizienz auswirken (Sui, Agrawal et al. 2006).

Kanjanaouthai et al. untersuchten den Stress auf das Parodontaleligament (PDL) und die daraus resultierende externe Wurzelresorption am Zahn 11, die während der kieferorthopädischen Behandlung auftreten kann. Dafür wurde ein durchschnittliches 3D Schneidezahnmodell mit Alveolarknochen in einem Computerprogramm hergestellt.

In der Untersuchung wurde die Inklination der Schneidezähne geändert und dabei darauf geachtet, wie sich die Zug- und Druckkräfte auf das PDL auswirken. Die angewandten Inklinationen waren  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ , und  $40^\circ$  zur senkrechten Linie auf die Okklusionsebene. Die angewandten Kraftvektoren (1N) wurden aus palatinaler Richtung mittig auf die Zahnkrone (4,5mm Richtung zervikal von der Incisalkante und parallel zur Okklusionsebene) und mit einem Gegendrehmoment an der labialen Fläche ausgeübt.

Die schematische Darstellung und die Dimensionen der verschiedenen Zahninklinationen ist in der unteren Abbildung zu sehen.

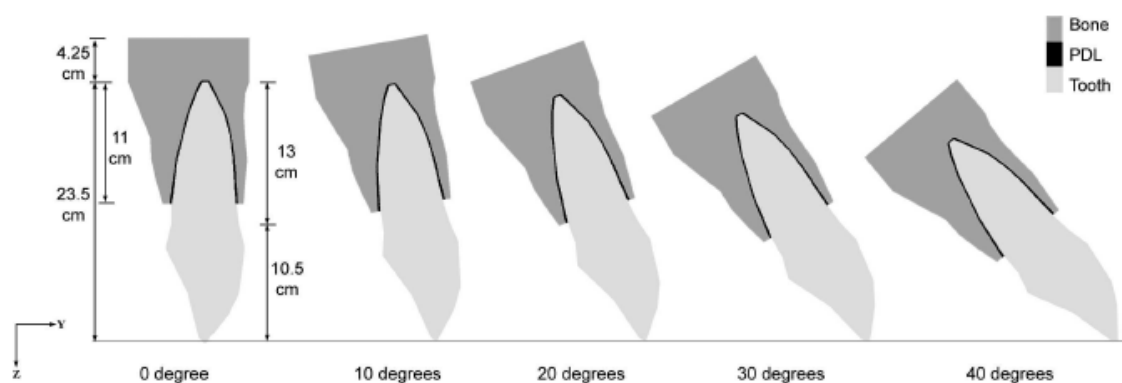


Abbildung 5 – Darstellung der verschiedenen Zahninklinationen im Computer Programm

Bezüglich der palatinalen Kraftvektoren fanden die Autoren folgende Ergebnisse:

0° → die maximale Druckspannung war palatinal / 7 mm vom Apex entfernt. Die maximale Zugspannung war bukkal / 5 mm vom Apex entfernt.

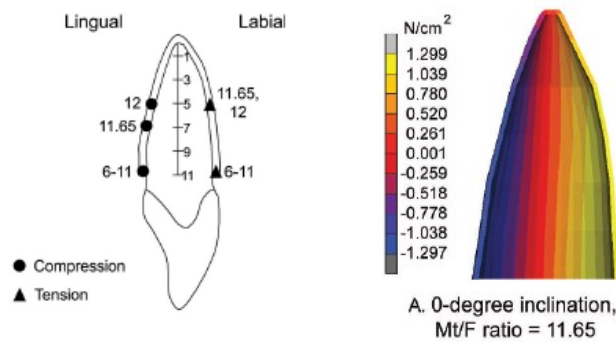


Abbildung 6 – 0° Inklination

10° → die maximale Druckspannung war palatinal / 5 mm vom Apex entfernt. Die maximale Zugspannung war bukkal / 7 mm vom Apex entfernt.

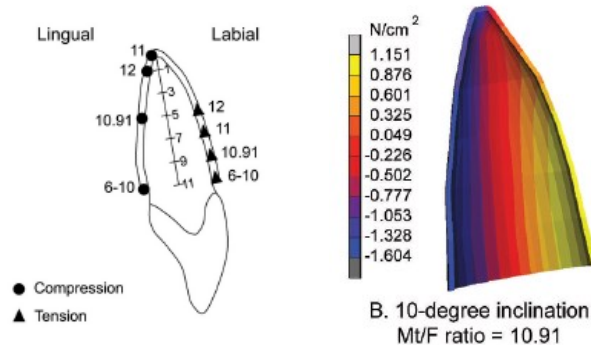


Abbildung 7 - 10° Inklination

20° → die maximale Druckspannung war distal und apikal. Die maximale Zugspannung war bukkal / zervikal.

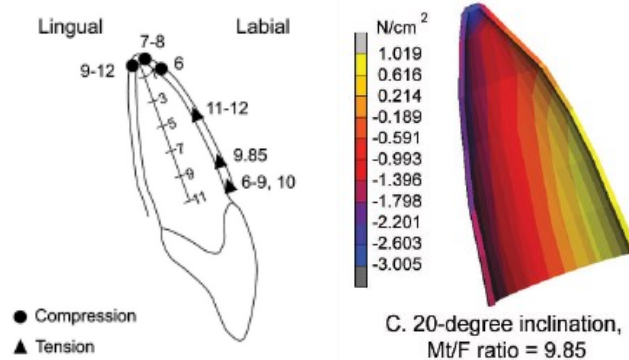


Abbildung 8 - 20° Inklination

30° → die maximale Druckspannung war distal und apikal. Die maximale Zugspannung war bukkal / 5 mm vom Apex entfernt.

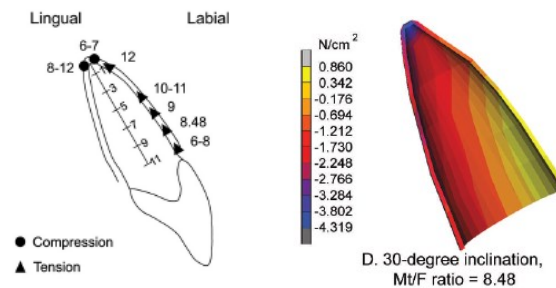


Abbildung 9 - 30° Inklination

40° → die maximale Druckspannung war distal und apikal. Die maximale Zugspannung war bukkal / 7 mm vom Apex entfernt.

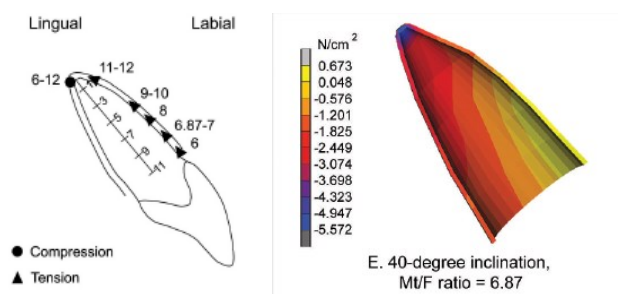


Abbildung 10 - 40° Inklination

Kanjanaouthai et al. sind der Meinung, dass die Ergebnisse darauf hindeuten, dass die Inklination generell das mechanische Verhalten von Schneidezähnen beeinflussen kann. Durch die zunehmende Inklination hat die Druckspannung an Stellen zugenommen, wo die Zugspannung abgenommen hat. Bei niedrigen Inklinationen war so die Zug- wie auch die Druckspannung gleichmäßig an die bukkalen wie palatinalen Flächen verteilt. Im Fall von hohen Inklinationen war die größte Druckspannung am Apex, wobei die Zugspannung am höchsten bukkal entlang der Wurzeloberfläche war. Im Fall von translatorischen Bewegungen mit hohen Inklinationen verschiebt sich das Druckspannungszentrum vom mittleren Teil der Wurzel Richtung Apex. Das Zugspannungszentrum verlagerte sich aus den mittleren Teil der Wurzel in den zervikalen Teil (Kanjanaouthai, Mahatumarat et al. 2012).

### *Ad 1.1.2.2. Ästhetischer Aspekt der Frontzahnneigung*

Das ästhetische Erscheinungsbild ist den Menschen immer wichtig. Durch das moderne Marketing und die Werbung, wo Menschen mit einem perfekten Lächeln und gesunden Zähnen abgebildet werden, hat die Bedeutung von Kieferorthopädie stark zugenommen.

Die Patient\*innen besuchen die kieferorthopädisch tätigen Zahnärzte, weil sie überzeugt sind, dass eine korrigierte Stellung, vor allem der Frontzähne, höheren gesellschaftlichen Rang verleiht, sie besser in eine Gruppe integriert und sie dadurch in größeren Harmonie leben läßt (Karrer 2002, Karrer 2004).

Eine Verbesserung der Attraktivität des Gesichts führt zu größerer Zufriedenheit, zu höheren Selbstwertgefühl und besserer Selbstakzeptanz. Es gibt viele Studien, die die Wirkung von Attraktivität auf zwischenmenschliche Beziehungen untersucht haben (Baldwin 1980). Die als attraktiv eingestufte Personen gelten im Allgemeinen als beliebter, begehrter als Dating-Partner und es wurde ihnen mehr gesellschaftlich erwünschte Eigenschaften zugeschrieben (Perrin 1921, Byrne, London et al. 1968, Miller 1970, Huston 1973). Attraktive Personen bekommen eher Unterstützung von anderen und sind in einer Gruppe eher in der Lage andere zu beeinflussen (Mills and Aronson 1965, Mills and Harvey 1972). Haben bessere Führungsqualität und werden weniger streng beurteilt, erreichen aber auch bessere Noten laut einigen Untersuchungen (Singer 1964, Berscheid, Dion et al. 1971, Dion 1972).

Von großem Interesse und auch für die Zahnmedizin relevant ist das hohe Maß an Besorgnis über Aussehen und Gesichtsattraktivität bei Jugendlichen, insbesondere bei Mädchen (Perrin 1921, Harris 1959). Dies gilt für westliche Nationen und wird nun auch in neueren Industrienationen wie Japan beobachtet. Im Laufe der Jahre haben verschiedene Studien über die Einstellung von Teenagern (17a-21a) deutlich gezeigt, wie sehr sich diese Altersgruppe mit dem Aussehen und dessen Beziehung zu Selbstkonzept und Selbstwertgefühl beschäftigt. Durch diese Untersuchungen kann man sehen wie wichtig die Ästhetik für die Menschen ist und dass sie ein wichtiges Motiv ist, sich kieferorthopädisch behandeln zu lassen (Powell 1955).

Riedel war der Meinung, dass sich Behandler in der Vergangenheit, wenn es um die Ästhetik ging, an drei verschiedener Anhaltspunkten orientiert haben. Der erste Anhaltspunkt waren die Zeichnungen, Gemälde und Skulpturen von bekannten Künstlern. Zweitens, haben sie sich an

einer aufrechten, harmonisch erscheinenden Frontzahnstellung orientiert. Der dritte Punkt waren die kephalometrischen Referenzwerte, die u.a. durch Downs ermittelt wurden.

In der 50er Jahren wurden 30 Teilnehmer\*innen eines amerikanischen Schönheitswettbewerbs zu Studienzwecken herangezogen. Es wurden laterale kephalometrische Aufnahmen sowie Fotos von einem Photographen aus frontaler und lateraler Sichten gemacht. Zusätzlich wurden schrägseitliche Fotos angefertigt (es sollte angeführt werden, dass die Seitenfotos nicht in der „true horizontal“ aufgenommen wurden).



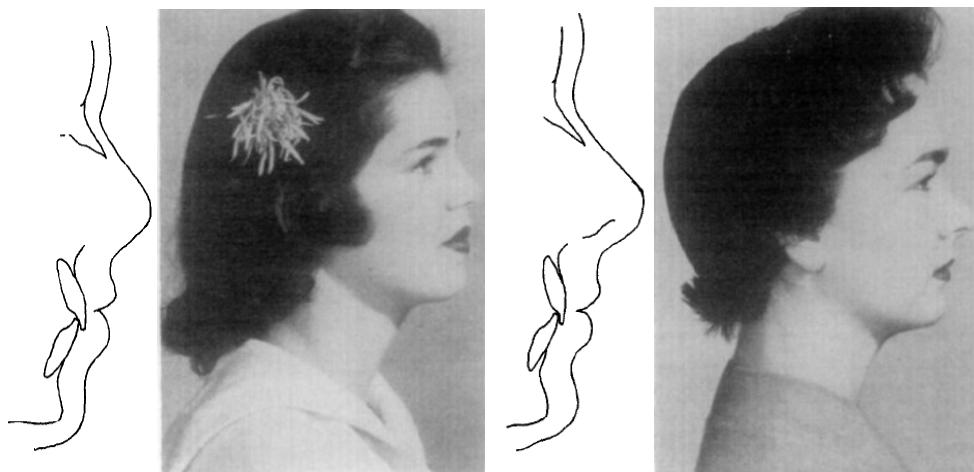
*Abbildung 11 – In den Abbildungen sind die Studienpatienten mit den extremsten Frontzahninklinierungen und deren Einfluss auf das Profil dargestellt. 1.) Kleinste Konvexität 2.) Größte Konvexität 3.) Größte Inklination von OK zu UK Incisivi 4.) Kleinste Inklination der OK zur UK Incisivi*

Nach der Analyse der kephalometrischen Aufnahmen zeigte sich, dass sich die Längsachsen der Oberkiefer- und Unterkiefer-Frontzähne an der Verbindungslinie von Punkt A zu Pogonion oder in deren Nähe, gekreuzt haben (*Abbildung 12*).



*Abbildung 12 - Darstellung der Längsachsen und der Verbindungslinie von Punkt A zu Pogonion*

Die Weichgewebsprofilanalyse zeigte zusätzlich, dass das Kinn, die Oberlippe und die Unterlippe auf einer Linie lagen. Riedel war der Meinung, dass Menschen mit solchen Charakteristika mit großer Wahrscheinlichkeit eine gute faziale Balance haben. Die Vorstellungen der Öffentlichkeit von akzeptabler Gesichtsästhetik stimmen offenbar gut mit den Standards überein, die von Kieferorthopäden auf der Basis einer normalen Okklusion festgelegt wurden.



*Abbildung 13 – Königin im Jahr 1954 und 1955*

Durch die Studie wurde nachgewiesen, dass die Stellung der Zähne das äußere Erscheinungsbild beeinflussen und dies gilt als einer der Hauptmotive, wieso sich die Menschen kieferorthopädisch behandeln lassen (Downs 1948, Riedel 1957).

Wie schon bei der Untersuchung von Riedel sichtbar, beeinflussen die dentoalveolären Änderungen die Weichgewebsform. Eine ähnliche Untersuchung wurde auch von *Nanda R.S.*, *Ghosh J.* und *Stoner M.M.* durchgeführt, die zum selben Endergebnis kamen (Stoner 1955, Nanda and Ghosh 1995).

Schlosser beschrieb, dass die Wahrnehmung der Gesichtsästhetik, insbesondere die Selbstwahrnehmung, wesentlich zur Entscheidung einer Person beiträgt, sich behandeln zu lassen oder nicht. Motiviert werden Menschen durch den Wunsch das Aussehen zu verbessern, unabhängig von strukturellen oder funktionellen Überlegungen.

In seiner Studie wurde ein lachendes Profilfoto von einer 24-jährigen Zahnmedizinstudentin angefertigt, wo die Frontzahnstellung sichtbar war. Diese wurde dann durch ein Computerprogramm variiert. Durch die Bearbeitung des Bildes wurde die Oberkieferbezahnung entlang einer horizontalen Achse 1mm bis 4mm anterior und posterior bewegt (*Abbildung 14* und *15*). Durch die Bearbeitung war sichtbar, wie sehr eine dentoalveoläre Bewegung, die durch Kieferorthopädie ausgeführt wird, das Weichgewebsprofil und Erscheinungsbild beeinflussen kann.



*Abbildung 14 - Ausgangsbild*



*Abbildung 15 – 1-4mm Bewegung anterior*



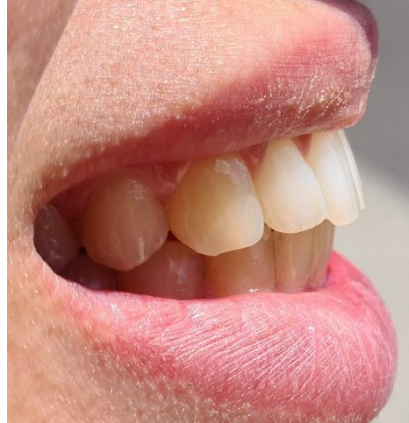
*Abbildung 16 – 1-4mm Bewegung posterior*

Die Bilder wurden von 20 Kieferorthopäd\*innen und 20 Laien beurteilt. Diese Untersuchung zeigte keinen großen Unterschied zwischen den zwei Gruppen. Beide beurteilenden Gruppen hatten ähnliches ästhetisches Empfinden und fanden die Ausgangsposition und die leicht protrudierten Profilbilder ästhetisch am schönsten. Laut Schlosser ist in gewissen Fällen sogar wünschenswert, eine leicht protrudierte Oberkieferfront einzustellen, weil das zu einem ästhetischen schöneren Ergebnis führen kann (Schlosser, Preston et al. 2005).

Damit durch die Therapie die richtige Funktionalität und das erwünschte Erscheinungsbild erreicht werden kann, ist es für kieferorthopädisch tätige Zahnärzt\*innen wichtig, die Neigung der Frontzähne zu Beginn, während und am Ende der Therapie zu messen. Dadurch kann jederzeit eine entsprechende Anpassung des Behandlungsplanes in Richtung ideales Endergebnis erfolgen.

### 1.1.3. Angewendete Methoden der Frontzahnneigungsmessung

Das Problem bei der in vivo-Beurteilung der Frontzahnneigung bei der Sicht von lateral ist die U-Form des OK Bogens d.h. was noch annähernd möglich ist, ist die Beurteilung der Neigung der zentralen Incisivi - bei den lateralen wird es schon schwierig.



*Abbildung 17 - Sicht von lateral*

In der Vergangenheit haben sich schon mehrere Untersucher\*innen damit beschäftigt, auf welche Art und mit welchen Methoden es möglich wäre, eine Frontzahnneigung auszumessen. Neben der klassischen kephalometrischen Frontzahninklinationsbestimmung wurde versucht, anhand von Profildfotos lachender Patient\*innen und an Hand von Gipsmodellen die Inklination durch definierte Linien zu bestimmen. Die Fotoanalyse hat dabei den Vorteil der fehlenden Strahlenbelastung.

Aus der Menge der publizierten Untersuchungen kann jedoch geschlossen werden, dass die ideale strahlenfreie Methode noch nicht wirklich gefunden wurde.

Salzmann entwickelte ein Messgerät, welches er „*Maxillator*“ genannt hat. Dieses Gerät kann in der Kieferorthopädie zur Beurteilung des Gesichtswachstums und zur Entwicklungskontrolle verwendet werden. Es ist aber auch ein Hilfsmittel bei der Diagnostik und bei der Klassifizierung im Rahmen der Behandlungsplanung. Der Maxillator konnte chair-side verwendet werden.

Die Inklination der oberen Zähne wurde zur **Frankfurter Horizontalen** (FH) gemessen. Bei den Messungen wurde darauf geachtet, dass die FH der natürlichen Horizontale (Engl.: *true horizontal*) entspricht.

Die Inklination der Unterkieferschneidezähne wurde zur Unterkieferebene gemessen.

Mit dem Gerät ist es möglich, mehrere Informationen in einer Sitzung zu erfassen:

- Verlauf und Länge der Frankfurter Horizontalen
- Verlauf der Orbitalebene, die von Salzmann als Linie definiert wird, die im Punkt Orbitale senkrecht zur Frankfurter Horizontalen steht
- Gesichtslänge, die als gerade Linie vom Punkt Orbitale zur unteren Grenze der Mandibula verläuft
- Die meso-distale Relation des Oberkieferzahnbogens zur Orbitalebene
- Die Relation von den Unterkieferzähnen zur Orbitalebene
- Winkelmessung zwischen der Frankfurter Horizontalen und der Unterkieferebene
- Gonionwinkel
- Unterkieferscheidezahnwinkel zur Mandibularebene

Bei den folgenden Abbildungen sind alle Messeinheiten in Inch angegeben.

„**Maxillator Body Piece**“ (MxBP) (*Abbildung 17*) ist ein aus Plexiglas gefertigtes rechteckiges Geodreieck, mit den beiden Seitenlängen von 6“. Im oberen rechten Eck des Lineals befindet sich ein Bohrloch, das sich im Bereich des rechten Winkels des Dreieckes befindet, und zwar genau in einem Abstand von  $3/8$ “ von der Eck-Kante entfernt. Unter der sichtbaren Skalierung (*Abbildung 18*) wurde ein Slot (quadratisches Fenster) gefertigt mit der Breite  $3/16$ “ und Länge 4“. Wie am *Abbildung 17* sichtbar, liegen die zwei Slots, wie die Skalierungen, zueinander in einem rechten Winkel. Wenn wir die Slots verlängern würden, würden sie sich im oben genannten Loch treffen. Beide Skalierungen sind von 1 bis 12 beschriftet (entspricht einer mm-Skala). Die Null-Punkte dieser Skalen projizieren sich in den Mittelpunkt des Bohrloches.

Die Slots enden jeweils 1 Inch vor dem Ende des Dreiecks, und auf der dem rechten Winkel zugewandten Seite auch 1 Inch vor dem Ende des Kunststoffes.

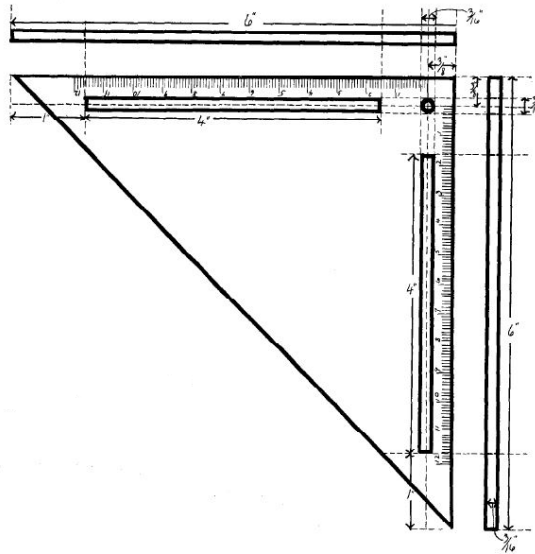


Abbildung 18 – Maxillator Body Piece



Abbildung 19 – Maxillator Body Piece

„**Mandibular Base Piece**“ (MdbP) (Abbildung 20) wurde aus demselben Material gefertigt wie der oben beschriebene maxilläre Teil. Er stellt die Unterkieferebene nach und besteht aus 3 Teilen:

Part 1 – vertical protractor piece

Part 2 – horizontal fin

Part 3 – incisor-mandibular plane angulator

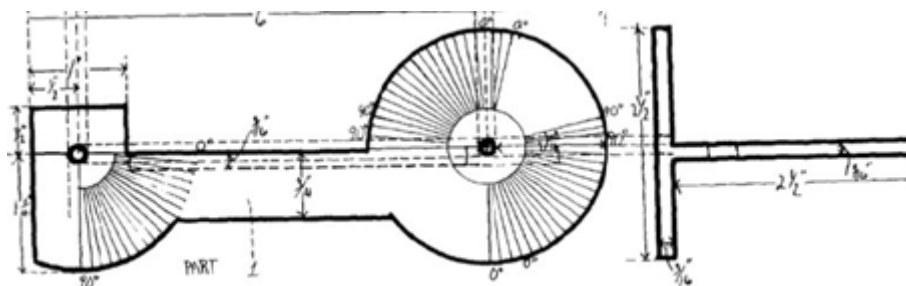
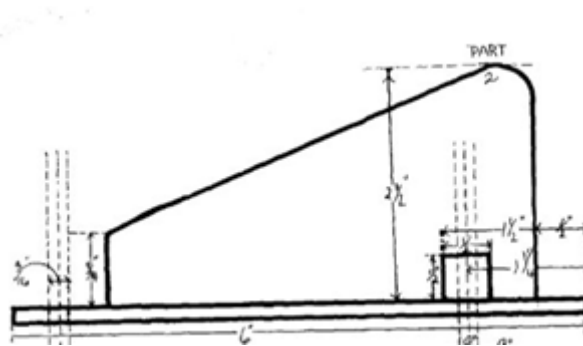


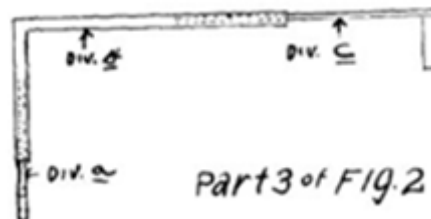
Abbildung 20 – Mandibular Base Piece, vertical protractor piece

Der *Part 1* ist aus einem Kreis, einem horizontalen Verbindungsteil, einem Viertelkreis und zwei kleinen Rechtecken aufgebaut. Die Länge beträgt 6“ und die Breite  $2\frac{1}{2}“ + \frac{3}{16}“$ . Auf der Abbildung sind zwei Bohrlöcher, von derselben Dimension ( $\frac{3}{16}“$ ), sichtbar, die auch auf derselben Höhe liegen. Das rechte Loch liegt im Zentrum des Kreises, der einen Radius von  $1\frac{1}{4}“$  hat. Am selben Kreis ist im oberen linken sowie unteren rechten Viertel eine Skalierung in Graden sichtbar, die jeweils von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  reicht. Der Viertelkreis auf der linken Seite der *Abbildung 20* hat denselben Radius ( $1\frac{1}{4}“$ ) wie der oben genannte Kreis und reicht auch von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$ . An der rechten Seite verläuft die Skalierung umgekehrt, an der linken Seite aber in die gleiche Richtung wie der Uhrzeigersinn.



*Abbildung 21 – Mandibular Base Piece, horizontal fin*

Der *Part 2* ist ein horizontaler floßartiger Teil aus Plexiglas, mit der Breite von  $2\frac{1}{2}“$ , der im rechten Winkel an der Hinterseite des *Part 1* befestigt ist (*Abbildung 21*).



*Abbildung 22 – Mandibular Base Piece, incisor-mandibular plane angulator*



Abbildung 23 - Mandibular Base Piece, incisor-mandibular plane angulator (Sicht von lateral)

Durch diesen Teil wird die Unterkieferschneidezahnstellung erfasst. Durch ein Schraubensystem (Abbildung 27) wird der Incisor Angulator im Loch des rechten Kreises (MdBP - Part 1) befestigt. Durch die Skalierung ist es dann möglich abzulesen, in was für einem Winkel der UK Schneidezahn zur Unterkieferebene steht.

Teil Div. a – Halbrunder Metallstab (Länge von 1 Inch) mit einer Unterlegscheibe (Bohrloch 3/16“) durch welchen die Schraube verläuft.

Teil Div. b – Ist eine rechtwinkelige halbrunde Röhre mit einer ebenen Fläche und Längen von 1 ½ Inch und 2 ¼ Inch.

Teil Div. c – Ist ein halbrunder Draht mit der Länge 2 Inch, an welchem ein weiterer halbrunder Draht im rechten Winkel und einer Länge von ½ Inch angelötet ist.

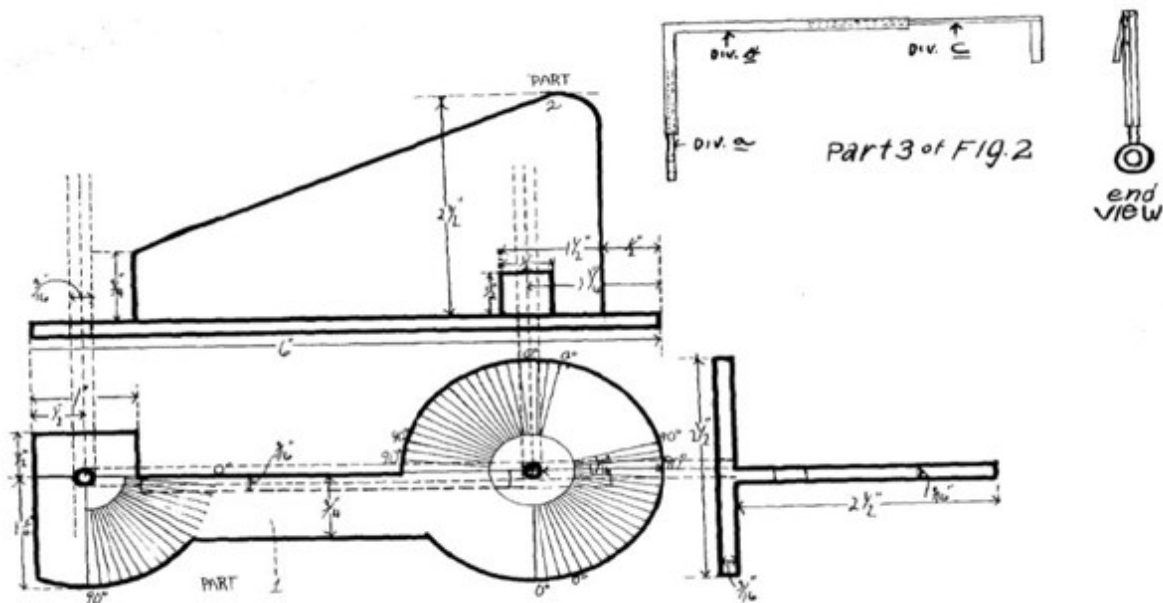
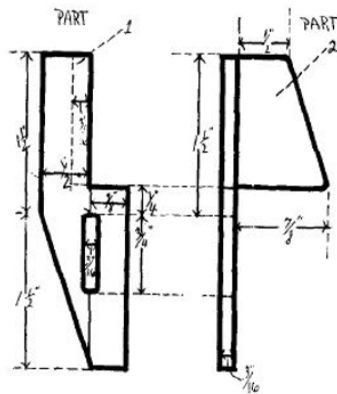


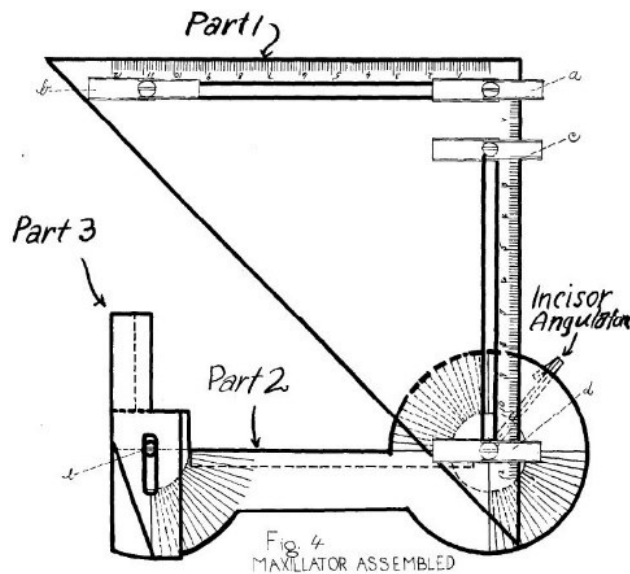
Abbildung 24 - Mandibular base pice

*MdBP* wird an der *Abbildung 23* in 3 verschiedenen Ansichten dargestellt – Seitlich, oben und hinten. *MxBOP* und *MdBP* sind miteinander befestigt. Die genaue Befestigungsweise der *MxBP* mit *MdBP* ist an *Abbildung 26* sichtbar.

„*Ramus Piece*“ (RP) Genauso wie alle anderen Teile war auch der Ramusteil aus Plexiglas gefertigt. Er bestand aus zwei befestigten Teilen, wobei der erste Teil (*Part 1* in *Abbildung 24*) 3 Inch und der zweite Teil (*Part 2* in *Abbildung 24*) 1 ¼ Inch lang waren. *Part 2* war im rechten Winkel am *Part 1* angebracht. Das RP war mit einer Schraube am *MdBP* angebracht.



*Abbildung 25 – Ramus Piece*



*Abbildung 26 – Der zusammengesetzte Maxillator*

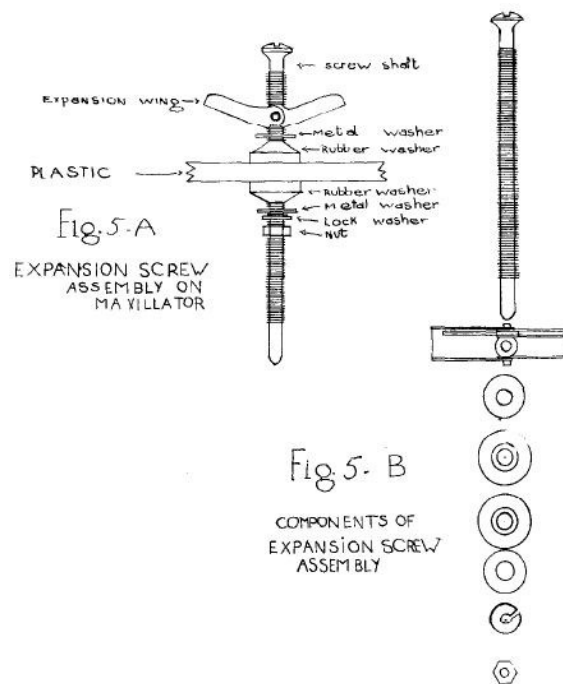


Abbildung 27 - Schraubensystem

Abbildung 27 zeigt die verwendeten Schrauben. Sie sind für die 3/16 Inch Bohrlöcher und Slots gestaltet. Durch diese Schrauben wird ermöglicht, die einzelnen Teile des Maxillators zu einem vollständigen Gerät zusammen zu stellen und bei den Messungen die einzelnen Teile gegen einander zu verschieben. Nach Befestigung derselben erfolgt die Ablesung der Werte.

Wie genau die einzelnen Teile zusammgebaut sind und wie das Gerät am Patient\*in anzuwenden ist, ist in der unteren *Abbildung 28* zu sehen (Salzmann 1945).

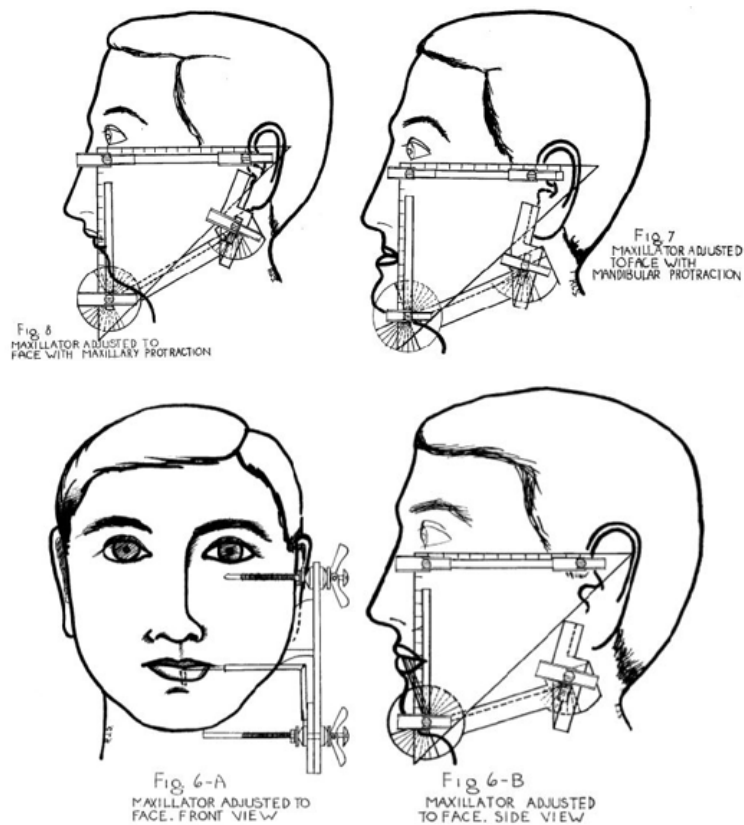
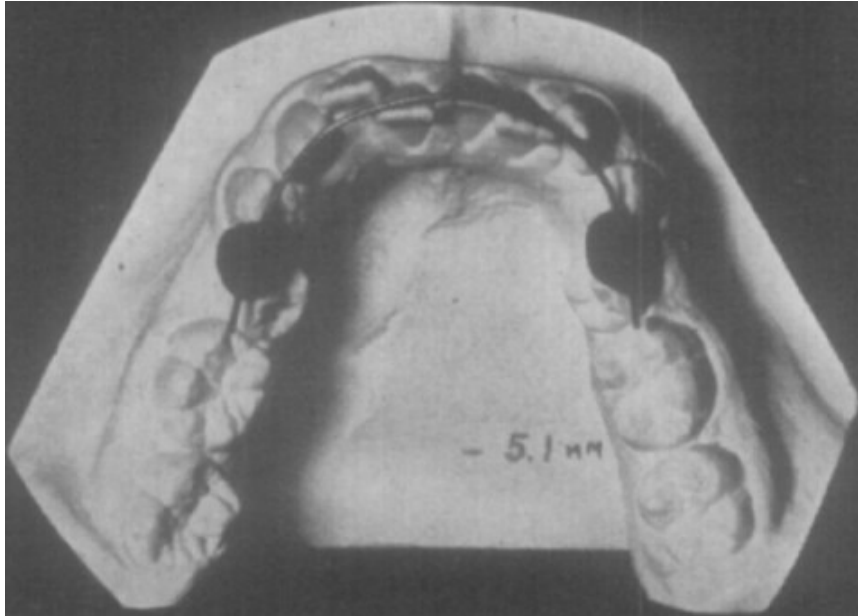


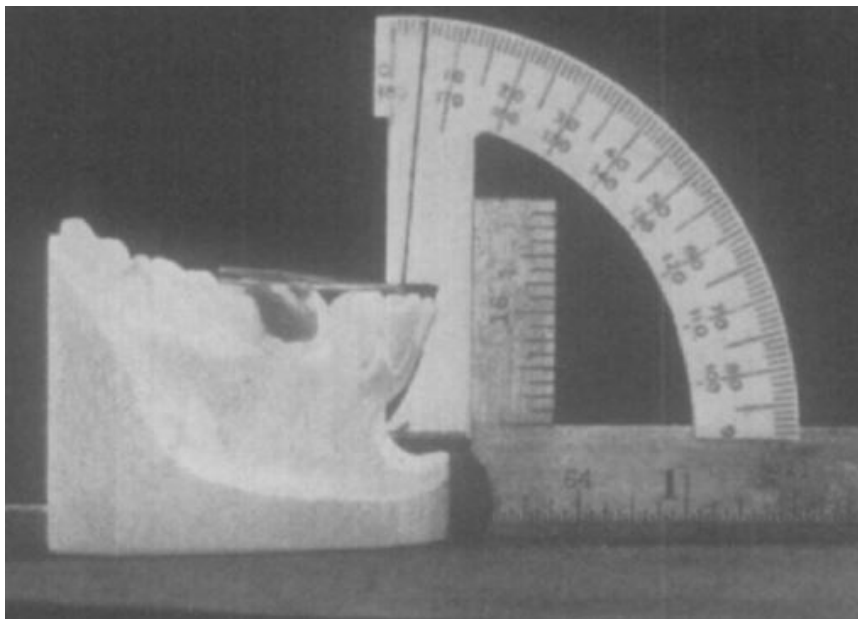
Abbildung 28 – Anwendung am Patienten

Carey hat sich mit der Diagnosestellung, der Gipsmodellvermessung, dem Zeitpunkt des Therapieanfanges und der Indikation sowie Kontraindikation kieferorthopädischer Behandlungen im Wechsel- sowie bleibenden Gebiss beschäftigt. In seiner Untersuchung hat er auch die labio-linguale Neigung der Unterkieferfrontzähne gemessen. Das dafür verwendete Gerät hat er **“incisal angulator”** genannt.

Die Neigungsmessungen wurden an Gipsmodellen durchgeführt, die am Untersuchungstisch positioniert (Abbildung 30) wurden. Die Zahnachse wurde mit einem Draht dargestellt. Für die Inklinationsbestimmung wurde ein Winkelmesser mit Millimetereskalierung angefertigt. Dieser wurde so positioniert, dass der vertikale Teil ( $0^\circ$ ) des Winkelmessers senkrecht zum horizontalen Draht stand und eine Tangente an den labialen Alveolarkamm bildete. Der horizontale Draht wurde am Gipsmodell zwischen dem ersten Molaren des einen Quadranten und den ersten Molaren des anderen Quadranten mit Wachs positioniert. Durch die Drahtposition am Winkelmesser konnte man dann die Grade ablesen (Carey 1952).



*Abbildung 29 - Positionierung des horizontalen Drahtes*

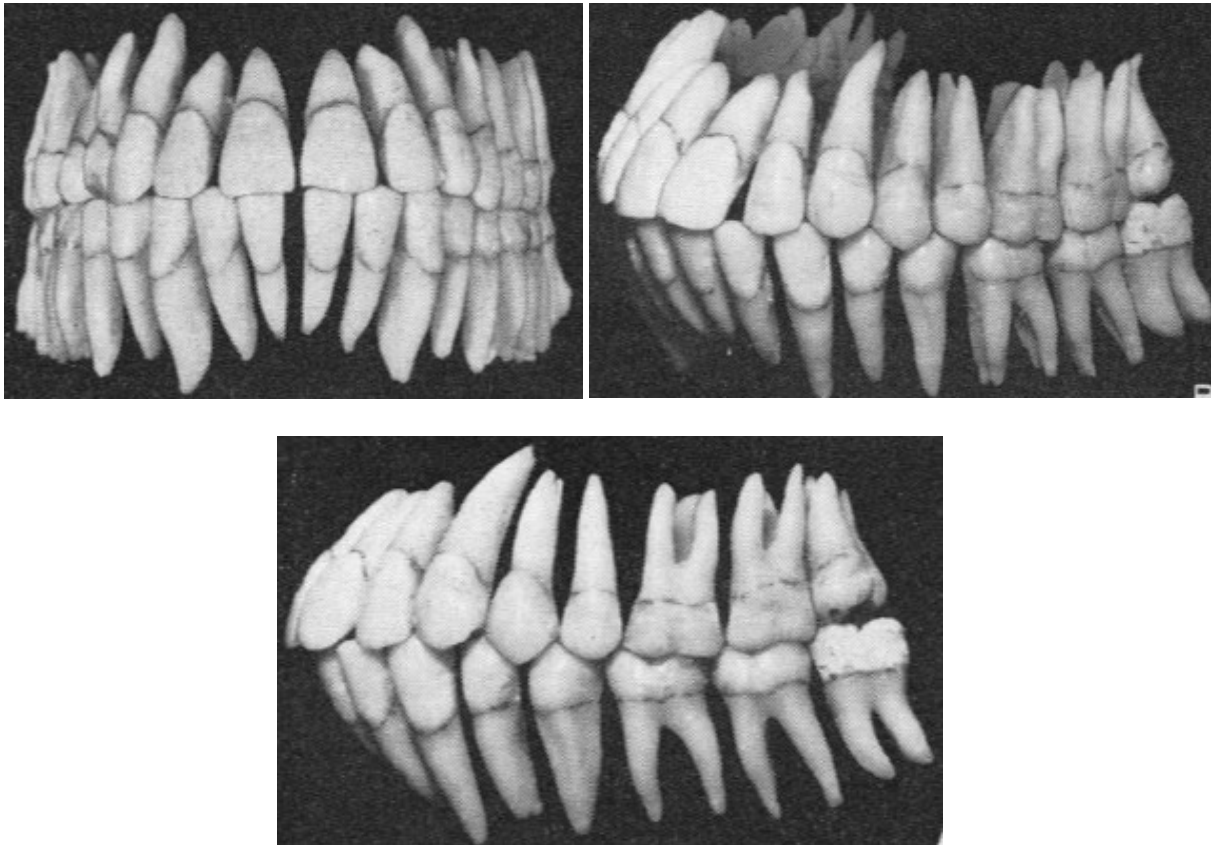


*Abbildung 30 – Incisal Angulator*

Dempster et al. befassten sich mit den durch Knochen und Bindegewebe verdeckten Teilen der Zähne, den Inklinationen sowie Angulationen der Zahnwurzeln bei erwachsenen Personen.

Die Untersuchung wurde an 11 vollbezahnten mazerierten Schädeln durchgeführt. Dabei wurde ein Abdruck der Oberkiefer- sowie Unterkieferzähne gemacht. Danach wurden die Zähne

vorsichtig extrahiert und in Impressionen positioniert und mit Kunststoff fixiert. So ergab sich die Möglichkeit die genaue Stellung der Wurzeln im Knochen anzuschauen und zu analysieren. Wie das Gebiss ausgesehen hat, ist im *Abbildung 31* zu sehen.



*Abbildung 31 - Stellung der Zähne im mazerierten Schädel*

Die Zähne wurden danach apikal gekürzt, damit die Wurzelkanäle sichtbar geworden sind. Die wurden dann mit einem Bohrer erweitert und verlängert bis die Bohrlöcher an der Okklusalfäche des Zahnes sichtbar waren. Danach wurden die Zähne wieder in der Alveole positioniert und in dieser selben Achse wurde dann mit einem langen Bohrer so lange gebohrt bis die Bohrerspitze am Schädel sichtbar geworden ist. Die angefertigten Kanäle wurden danach mit einem kieferorthopädischen Draht versehen, um so die Wurzelachse darzustellen. Damit diese Bearbeitung der Schädel leichter war, wurden dieselben in Glycerin getränkt. In der *Abbildung 32* ist es sichtbar wie die kieferorthopädische Drähte die Wurzelachsen Schädelbezüglich projizieren.

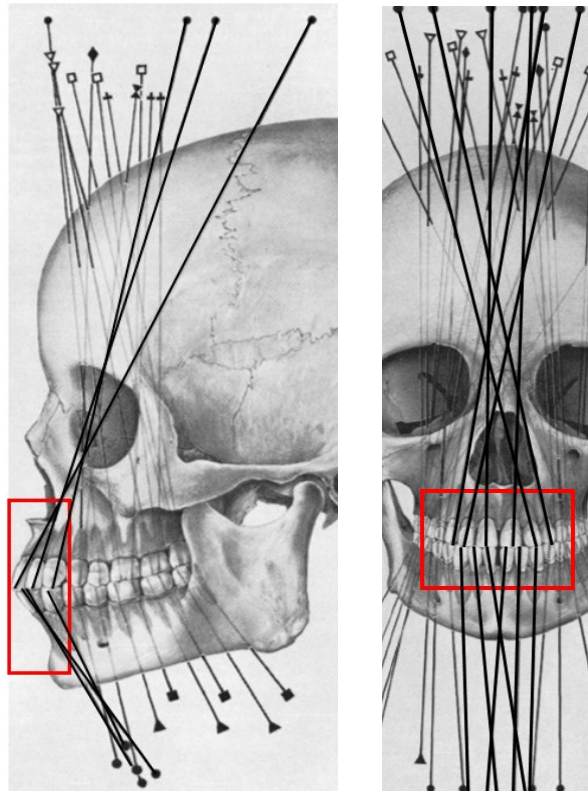


Abbildung 32 - Darstellung der Frontzahn Wurzelachsen von lateral und frontal

Für die Beurteilung der *Inklination* wurde an der Oberfläche des Gipsmodelles ein kreisförmiges Koordinatensystem, mit einer Skalierung von  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$  befestigt (Abbildung 33). Die Verbindungslinie  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$  wurde so gestaltet, dass sie parallel zur Mittesagittale ausgerichtet war.

Aus der Sicht von Okklusal wurden die Inklinationenwerte mit einem kieferorthopädischen Draht bestimmt und vermerkt. Eine direkte anteriore Neigung wurde mit  $0^{\circ}$  sowie eine posteriore Neigung mit  $180^{\circ}$  gekennzeichnet. Die Inklinationen von  $+1$  bis  $+179$  bedeuteten eine Neigung „weg von der Mittellinie“. Dieselben Werte mit einem negativen Vorzeichen bedeuteten eine Inklination „hin zu der Mittellinie“ (Dempster, Adams et al. 1963).

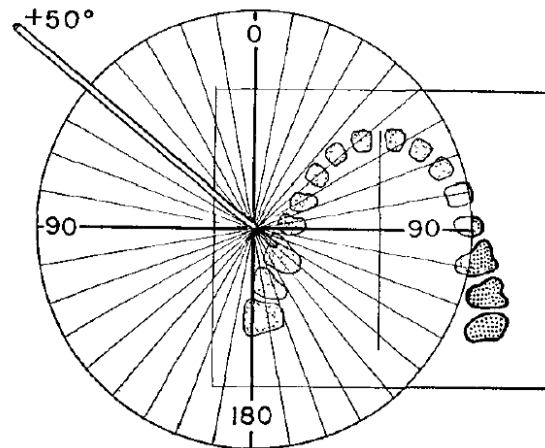


Abbildung 33 - Ausführung der Inklinationsmessung

Andrews F. L. hat in seiner Arbeit „*The six keys to normal occlusion*“ 120 Gipsmodelle von Patient\*innen mit einer unauffälligen Okklusion untersucht. Ziel dieser Studie war es die Gipsmodelle zu analysieren und dabei mehrfach vorkommende Situationen zu vermerken sowie eventuelle Korrelationen zu ermitteln. Die Untersuchung hat gezeigt, dass bei allen 120 Gipsmodellen 6 Charakteristika aufgetreten sind, die er als „six keys“ bezeichnet hat. Einer dieser „Keys“ ist die Kroneninklination. In diesem wird sowohl die Frontinklination als auch die bucco-linguale Zahnneigung beschrieben.

Für die Frontzahninklinationsmessung an den Gipsmodellen hat er eine Tangente in der Mitte der klinischen Krone gezogen (Das ist die jene Position, wo er das Kleben des Breckets bei der festsitzenden kieferorthopädischen Therapie empfiehlt). Dazu hat er die Okklusionsebene und eine senkrechte Linie darauf eingezeichnet. Zwischen dieser vertikalen Linie und der Okklusionsebene hat er den Inklinationswinkel gemessen. Schematisch wird es im *Abbildung 37* dargestellt (Andrews 1972).

Bezüglich der Kroneninklinationen der anterioren Zähne kam Andrews zu dem Schluss, dass die Neigung der oberen und unteren Frontzahnkronen zu einander entscheidend seien, um eine Elongation per se zu verhindern und um eine korrekte distale Positionierung der Kontaktpunkte der oberen Zähne in der Beziehung zu den unteren Zähnen zu ermöglichen, was eine korrekte Okklusion der Seitenzahnkronen erlaubt.

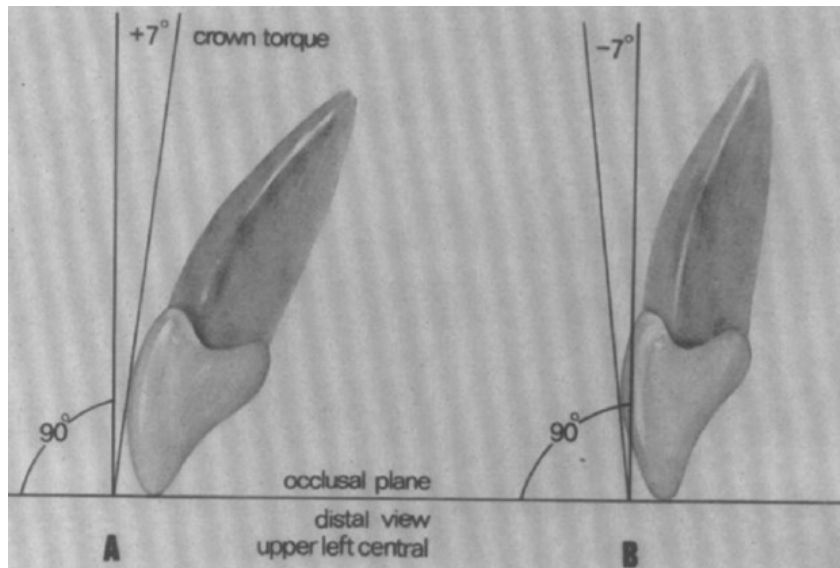


Abbildung 34 - Kroneninklination nach Andrews L. F.

Carlsson und Rönnerman (1973) untersuchten 88 obere zentrale Schneidezähne, bei denen der Winkel zwischen der Wurzelachse und Kronenachse – „Collum Winkel“ – untersucht sowie die Auswirkung der Abrasion auf diesen Winkel analysiert wurde.

Abhängig von diesem Winkel wird auch dann die Zahnachse dementsprechend gebildet. Die Zahnachse wird definiert durch die Verbindungslinie von Apex und Schneidekante. Je größer der „Collum Winkel“ ist, umso weiter oral projiziert sich die Zahnachse und umgekehrt.

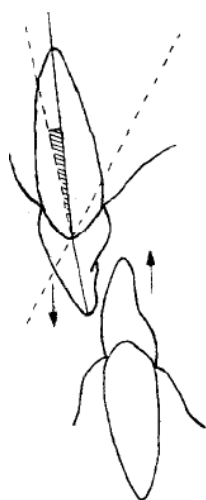


Abbildung 35 - Zahn mit kleinem Collum Winkel



Abbildung 36 - Zahn mit großem Collum Winkel

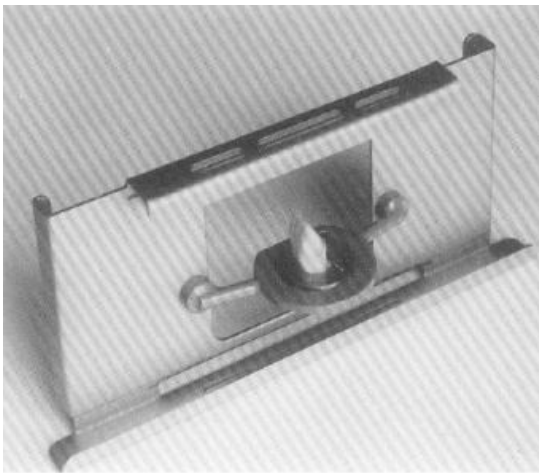
Die untersuchten Zähne wurden in 3 Gruppen eingeteilt. Das Kriterium war das Ausmaß der Abrasion:

Gruppe 1 – Schmelzabrasion (34 Zähne)

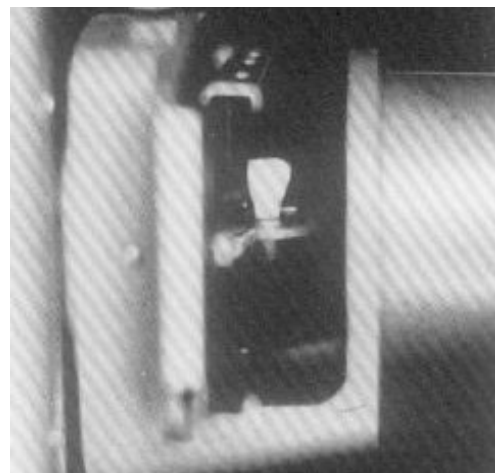
Gruppe 2 – minimale Dentinbeteiligung (20 Zähne)

Gruppe 3 – starke Dentinbeteiligung (25 Zähne)

Bei dieser Untersuchung wurden extrahierte Zähne in einem Zahnhalter fixiert und von mesial nach distal mit einem Projektor beleuchtet. Wie die Zähne fixiert und beleuchtet wurden sind in den folgenden Abbildungen zu sehen.



*Abbildung 37 - Zahn in der Zahnhalterung*



*Abbildung 38 - Beleuchtung des Zahnes*

Auf diese Weise konnte Carlsson die Umrisse der Zähne erfassen und die weiteren Messungen zwischen der Wurzelachse, Kronenachse und der Tangente auf die labiale Fläche durchführen. Mit der Beleuchtung wurden reproduzierbare Punkte definiert (*Abbildung 41*).

Legende der wichtigen Punkte:

F = labiale Fläche (Definiert durch dem Punkt *a* sowie *b*)

*a* = 2,5 mm von der Schneidekante

*b* = 6,9 mm von der Schneidekante

*s* = Schneidekante

L = Längsachse des Zahnes (Verläuft durch das Punkt *c* sowie Punkt *s*)

*c* = Mittelpunkt im apikalen Drittel der Wurzel

C = Längsachse der Krone (Verläuft durch das Punkt *d* sowie Punkt *s*)

*d* = Mittelpunkt der Verbindungslinie der Schmelzzementgrenze  
(Definiert durch den labialen und palatinalen Einziehung)

R = Längsachse der Wurzel

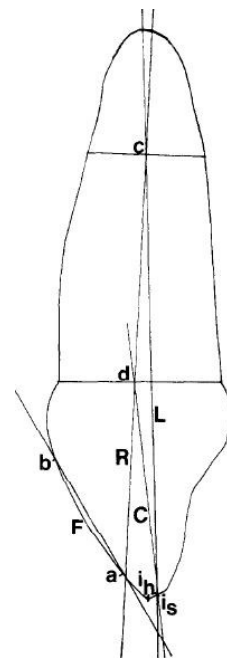


Abbildung 39 - Definierte Punkte

Mit Hilfe dieser Punkte wurde dann ein Messgerät und ein Zahnaufsatz gebaut, womit die weiteren Messungen durchgeführt werden konnten. Die Autoren nannten ihr Gerät „Stereograph“

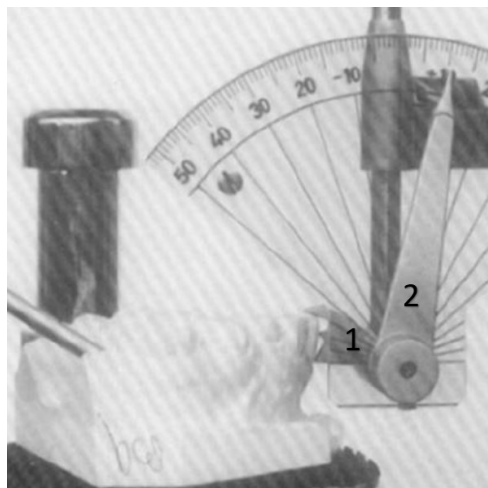
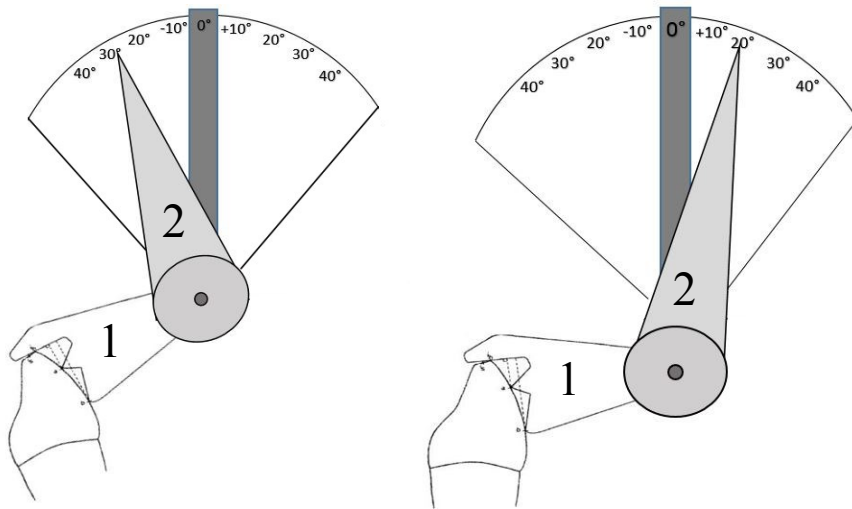


Abbildung 40 - Stereograph

An den *Abbildung 43* ist sichtbar, wie sich der gemessene Winkel mit der Zahnneigung ändert.

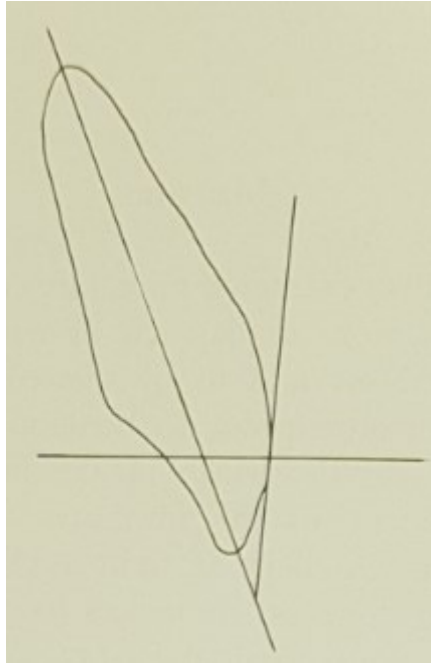


*Abbildung 41 – Funktionsweise des Stereographs*

Laut der Untersucher\*innen hängt der Schweregrad der abradierete mit der Inklination zusammen, weil abradierete Zähne eine Tendenz zu einem labialen Drift zeigen (Carlsson and Rollnerman 1973).

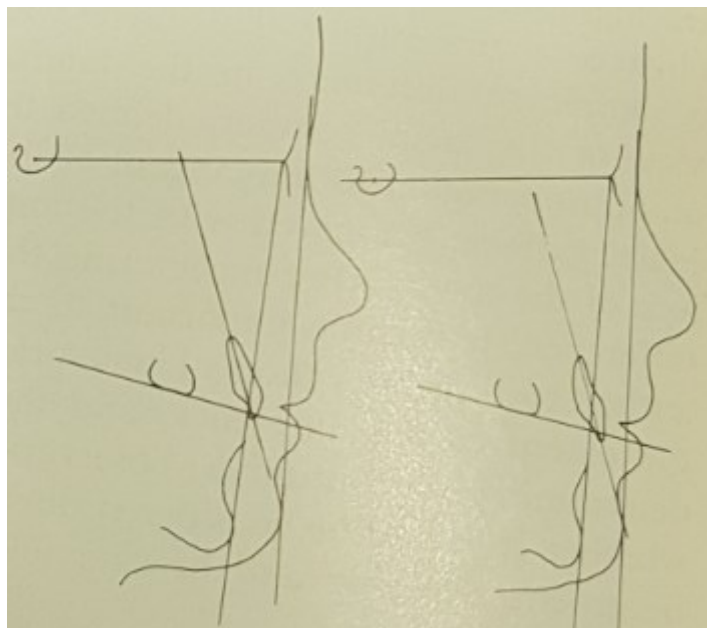
Fredericks war der Meinung, dass die Behandler\*in allgemein angestrebt haben, den zentralen Oberkiefer Schneidezahn in seiner ästhetisch optimalsten Neigung zu positionieren. Allgemein wurden dabei die axiale Inklination der Schneidezähne zu angeführten Referenzlinien verglichen (Sella-Nasion, Frankfurter Horizontale, Nasion-Punkt A, und zum mandibulären Schneidezahn-Längsachse).

Ziel seiner Untersuchung war es, ob die Winkelmessung zwischen einer Tangente, die *maxillary incisor facial line* genannt wurde, zur Längsachse des Zahnes, eine ausschlaggebende Information für die ästhetische Inklinationseinstellung des Schneidezahns liefern könnte. Die Tangente wurde mit Hilfe der Richtlinien der Bracket-Positionierung festgelegt und betrug durchschnittlich 4,2mm von der Schneidekante. In dieser Studie wurden 30 extrahierte Frontzähne von lateral radiologisch aufgenommen.



*Abbildung 42 – Dargestellt ist die Tangente (Maxillary incisor facial line) und die Längsachse des Frontzahnes*

Der Winkel zwischen der Längsachse und der Tangente variierte von  $17^\circ$  bis  $38^\circ$ . Diese Neigung zeigte, dass die bukkale Konvexität sehr unterschiedlich sein kann – auch in Fällen von gleichen Inklinationen (*Abbildung 45*).



*Abbildung 43 – Gleiche Inklination zur vorderen Schädelbasis mit gleichzeitig unterschiedlichen Werten zwischen Längsachse und Tangente*

Laut Autor\*in gibt es viele Behandler\*innen die routinemäßig am Behandlungsende **keine** Fernröntgenaufnahme machen, stattdessen wird meist nur klinisch beurteilt, ob die Inklination des Frontzahnes ästhetisch akzeptabel ist.

Fredericks hat noch zusätzlich, bei der Beurteilung der Zähne, die bukkale Fläche mit der Weichgewebkontur von Nasion bis Pogonion verglichen. In der Untersuchung wurden 25 Patienten mit attraktiven Lächeln ausgewählt, von denen eine laterale radiologische und Profilaufnahme angefertigt wurde. Der Winkel zwischen *Längsachse* und der „*soft tissue facial line*“ an den 30 extrahierten Zähnen betrug  $23,88^\circ$  und bei den 25 lateralen Röntgenaufnahmen  $24,14^\circ$ .

Der Winkelunterschied war so minimal, dass Fredericks entschloss, die Werte zur klinischen Beurteilung während des Behandlung zu verwenden (FREDERICKS 1974).

Richmond S. entwickelte ein neues Gerät, das er als TIP - "*tooth inclination protractor*" bezeichnete. Es handelt sich dabei um einen Winkelmesser, der für Zahngipsmodelle geeignet ist. Der Zeiger ist so positioniert, dass der Anfangsteil auf der labialen Fläche liegt und durch die Verlängerung die Inklination abgelesen werden kann. Die Gipsmodelle sind so beschliffen, dass die horizontale Fläche, auf welcher die Gipsmodelle positioniert sind, gleich der Okklusionsebene bzw. der Kauebene sind. Richmond untersuchte 47 obere und untere Schneidezähne. Die Ergebnisse zeigten, dass bei den oberen Schneidezähnen konstant um  $10,46^\circ$  höhere Werte und bei unteren Schneidezähne um  $2,57^\circ$  niedrigere Werte gemessen wurden als bei der lateralen Fernröntgenaufnahme (Richmond, Klufas et al. 1998).

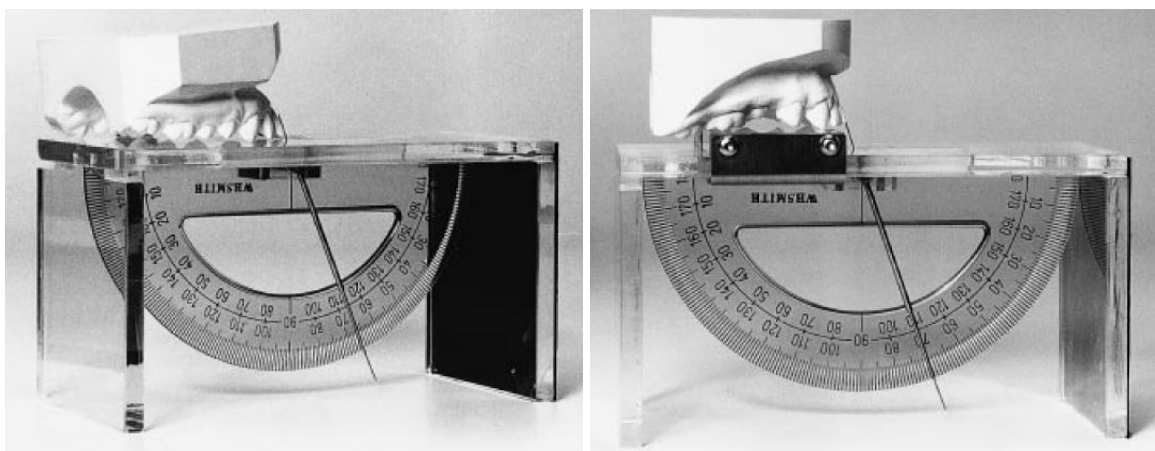


Abbildung 44 – *Tooth inclination protractor*

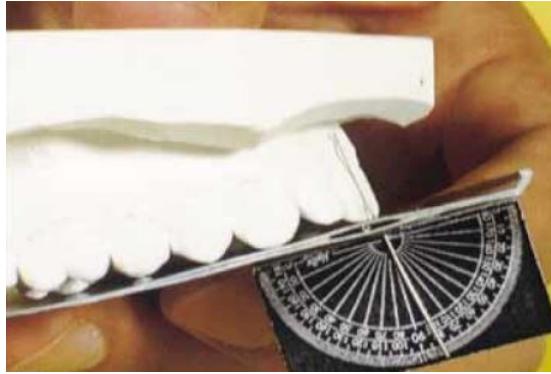
Ghahferokhi et al. haben den von Richmond entwickelten "tooth inclination protractor" (TIP) auf Zuverlässigkeit und Gültigkeit untersucht. In dieser Studie wurde ein *intraoraler* (Abbildung 47, 48) und ein *extraoraler* (Richmond – Abbildung 46) TIP angewendet. Die Ergebnisse wurden mit einer traditionalem Fernröntgenseitenbildanalyse Werten verglichen. Der Untersuchungspool bestand aus 30 Personen, von welchen jeweils ein laterales Fernröntgenseitenbild und ein Oberkiefer Gipsmodell angefertigt wurde. Radiologisch wurde die Oberkieferschneidezahnachse zur Kauebene und zur Oberkieferebene, sowie die Unterkieferschneidezahnachse zu Unterkieferebene und zur Kauebene gemessen. Mit dem intraoralen TIP wurden die Oberkiefer und Unterkiefer Schneidezahnachsen zur Kauebene ermittelt.

Der *intraorale* TIP – der *intraoral* am Patienten (Abbildung 47) sowie *extraoral* am Gipsmodell (Abbildung 46) anwendbar ist und von Ghahferokhi et al. entwickelt wurde – besteht aus einer Papierplattform, die mit Kunststoff beschichtet ist, und einem daran befestigten Winkelmesser. Das Papier ist so auf die Kauebene positioniert, dass es auf der Schneidekantenspitze aufliegt. In der Mitte des Winkelmessers ist ein Draht positioniert, der an den höchsten Punkt der Wölbung der labialen Fläche des Zahnes angelegt wird und an der caudalen Seite durch den geraden Draht den dazugehörigen Winkel zur Okklusionsebene anzeigt. Da jeder Mensch verschieden lange anatomischen Kronen besitzt, war die Länge des Drahtes variabel einstellbar, was die Messung ohne große Änderungen erlaubte. Wie die Messung bei Patienten mit einer tiefen Spee'schen Kurve genau durchgeführt wurde, ist dem Text nicht zu entnehmen. Offensichtlich hatte der aus Kunststoff bestehende *extraorale* TIP eine entfernbare Plattform.

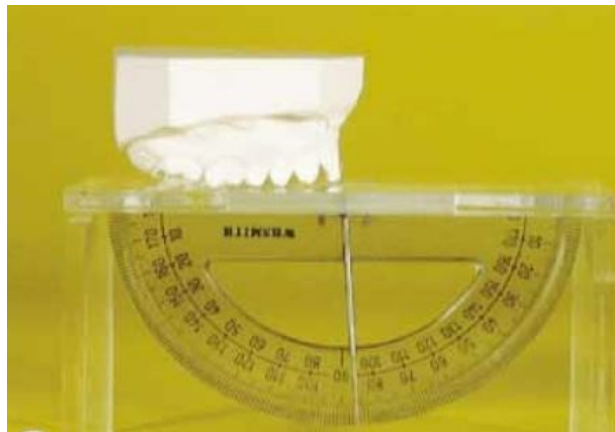
Die Ergebnisse zeigten, dass die durch TIP gewonnenen Werte um  $14^\circ$  im Oberkiefer und um  $19^\circ$  im Unterkiefer kleiner waren als die durch radiologische Methode ermittelten (Ghahferokhi, Elias et al. 2002).



Abbildung 45 – Anwendung der Intraoralen TIP am Patienten



*Abbildung 46 – Anwendung der intraoralen TIP am Gipsmodell*



*Abbildung 47 – Anwendung der extraoralen TIP an Gipsmodellen*

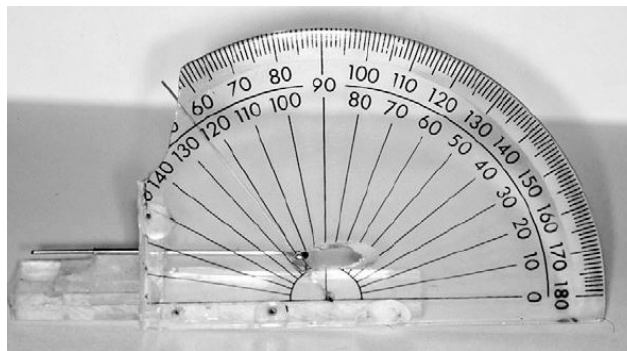


*Abbildung 48 - Drahtpositionierung während der Messung*

N. Shah et al. haben sich auf eine frühere Arbeit von Charles D. Fredericks (1974), welcher ebenfalls Frontzahnstellungen untersuchte, bezogen.

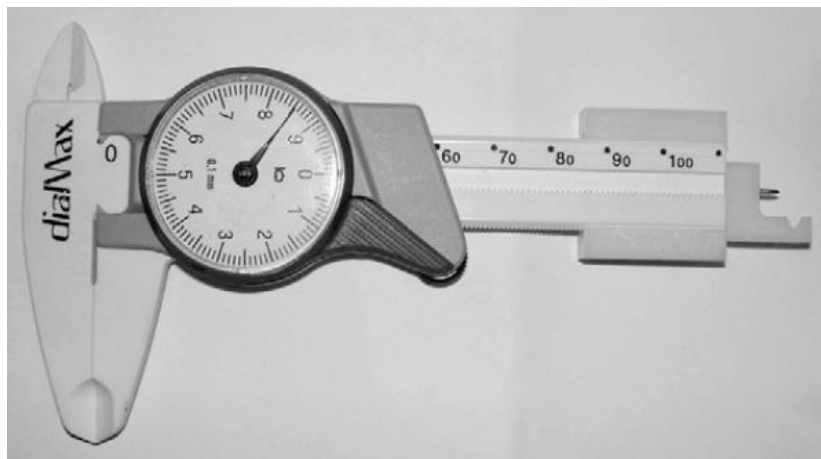
N. Shah hat mehrere Prototypen entwickelt, welche die Messung der zentralen oberen und unteren Frontzahnneigung ermöglichten. Die obere mittlere Schneidezahnneigung wurde zur *Oberkieferebene* (definiert durch die Verbindungslinie zwischen *spina nasalis anterior* und *posterior*) und die der unteren zentralen Schneidezähne zur Unterkieferebene gemessen. Dabei wurde auf folgende Kriterien geachtet wie z.B. die Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Einfachheit, Sterilisierbarkeit und Biokompatibilität.

Der erste Prototyp (*Abbildung 51*) war ein Winkelmesser aus Plexiglas, der nur am zentralen Schneidezahn verwendbar war. Dieses Gerät konnte man nur mit alkoholischen Tüchern desinfizieren – eine Sterilisation war nicht möglich. Bei Patient\*innen mit festsitzender kieferorthopädischer Therapie war das Gerät nicht verwendbar.



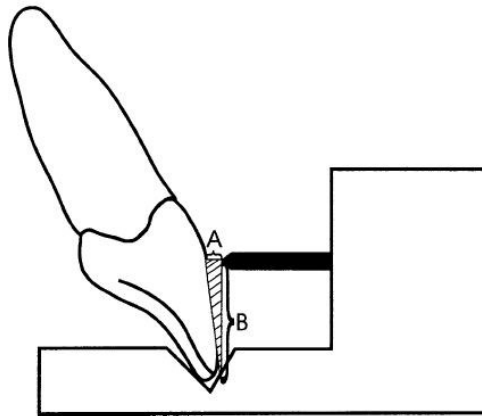
*Abbildung 49 - erste Prototyp*

Das Endprodukt (*Abbildung 52*) wurde aus einer Schiebelehre aus Kunststoff (Ortho Care UK Ltd) gefertigt, mit einer Zeigerablesung in einer 0,1 mm Skalierung.



*Abbildung 50 - Endprodukt*

Am hinteren Teil des Gerätes (Endprodukt) wurde ein weiteres Stück befestigt, das die Positionierung an den OK-Schneidezähnen ermöglichte.



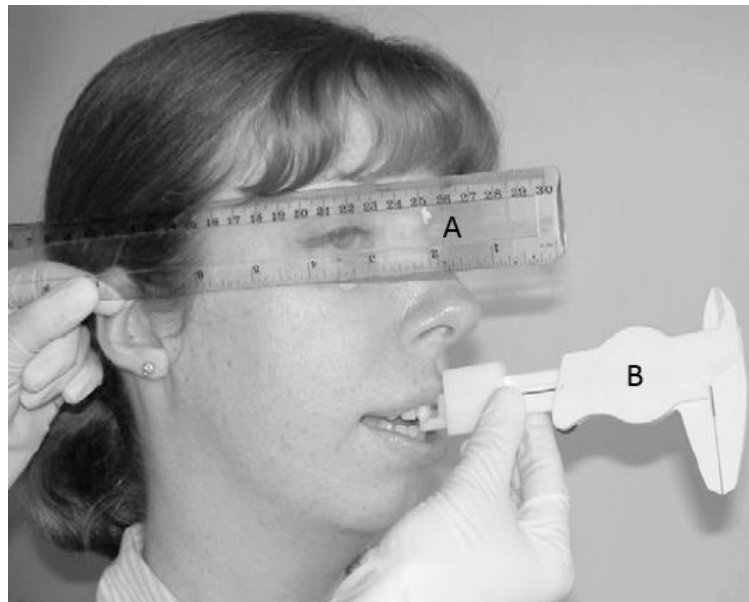
*Abbildung 51 - Positionierung des OK Schneidezahnes*

Soweit aus den Abbildungen zu entnehmen, wurde dieser Teil auf die hinten gekürzte Kunststoffschiebelehre aufgesetzt, unter Belassung des Metallführungsstabes der Schiebelehre. Dieser wurde soweit gekürzt, dass bei geschlossenen Schiebelehrenbranchen das Ende des Führungstabs mit dem Beginn der Positioniereinkerbung in der Sagittalen übereinstimmte. Dies entsprach der Nullposition. Dann wurde der Stab durch Öffnung der Schiebelehrenbranchen so weit vorgeschoben, bis der Stift die labiale Fläche des Schneidezahnes berührte. In dieser Position erfolgte die Ablesung an der Schiebelehrensкала. Dieser Zahlenwert entspricht der Distanz „A“ in der oberen *Abbildung 53*. Die Distanz B ergibt sich aus der Höhe zwischen dem Führungsstab und der Horizontalebene, von der aus die Einkerbung beginnt. Dadurch war es mathematisch möglich ein rechtswinkeliges Dreieck zu konstruieren.

Sobald die Schneidekante in der Vertiefung dieses Endteiles zu liegen kam, hat man diesen Führungsstab soweit Richtung Zahn vorgeschoben, dass er die berührte die labiale Fläche des Zahnes den Hebelarm berührt und so das Zifferblatt aktiviert. Bei dieser Messung wurde als Referenzebene die Frankfurter Horizontale verwendet, die durch ein Lineal dargestellt wurde. Beide Geräte waren nicht fest am Patient\*innen befestigt und mussten bei der Messung mit der Hand festgehalten werden.

Die labiale Fläche wurde mit Hilfe des Satzes von Pythagoras ausgerechnet.

Shah war noch der Meinung, dass eine zuverlässige Frontzahninklinationsmessung von vielen Faktoren abhängt, der wichtigste sei aber die reproduzierbare Horizontale (Shah, Spary et al. 2005).



*Abbildung 52 - A: Durch das Lineal wird die Frankfurter Horizontalebene wiedergespiegelt. B: Anwendung des Endproduktes am Patienten*

#### 1.1.4. Inklinationsmessung anhand der Fernröntgenseitenbildaufnahme

Derzeit wird die Frontzahninklination anhand eines Fernröntgenseitenbildes gemessen. Anwendung findet dies in der Kieferorthopädie im Rahmen der

- Ausgangsdiagnostik
- Therapieplanung
- Verlaufskontrolle
- prä- und postoperativen Beurteilungen und der
- Dokumentation der Behandlungsergebnisse.

Die laterale Kephalometrie liefert Informationen über die sagittale und vertikale skelettale Situation. Aufgrund der seitlichen Aufnahmetechnik ist dieses Diagnoseverfahren zusätzlich dazu prädestiniert, die Neigung der Frontzähne messen zu können. Der Grund liegt vor allem auch darin, dass man relativ leicht Bezugsebenen sieht, zu denen man die Inklinationsmessung durchführen kann.

Dazu kommt noch die Möglichkeit zur Beurteilung der Weichteile, welche vor allem im Lippenbereich eng mit der Schneidezahninklination korreliert ist.

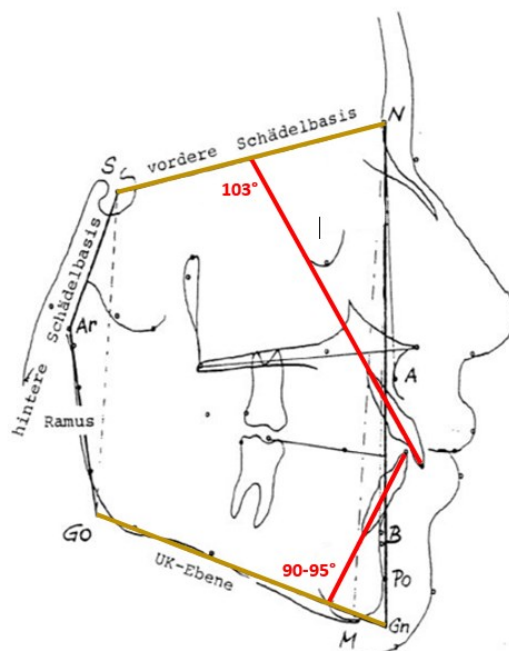


Abbildung 53 – Fernröntgenseitenbild. Es wurden die Längsachsen der Schneidezähne und die Referenzebene eingezeichnet.

### Es gibt 3 Möglichkeiten von Inklinationsbestimmung:

- 1.1.4.1. Manuelle Durchzeichnung
- 1.1.4.2. Durchzeichnung mittels Computerprogramm
- 1.1.4.3. Alternative Möglichkeiten der Analyse

#### *Ad 1.1.4.1. Manuelle Durchzeichnung*

- a) Analoges Fernröntgen →
  - Auflegen einer speziellen Durchzeichenfolie
  - Zeichnen der Konturen und Punkte mittels Minenbleistift auf der Folie
- b) Ausdruck eines digitalen FR
  - Zeichnen der Konturen und Punkte mittels Minenbleistift direkt am Papier

#### **Ausführung der digitalen manuellen Messungsmethode:**

Damit die Kephalemtrie in die tägliche kieferorthopädische Diagnostik verwendet werden kann, muss der Anwender eindeutige Referenzpunkte und Konturen zeichnen können. Dabei sind einfache Auffindbarkeit und Reproduzierbarkeit der Punkte und Linien unbedingte Voraussetzung für eine gute diagnostische Aussagekraft.

Unsere Analysen, die wir auf der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit Graz durchführen, basieren auf der Methode der ARGE Kieferorthopädie Österreich. Diese orientiert sich an der Durchzeichnung nach JARABAK und am BJÖRK'schen Polygon.

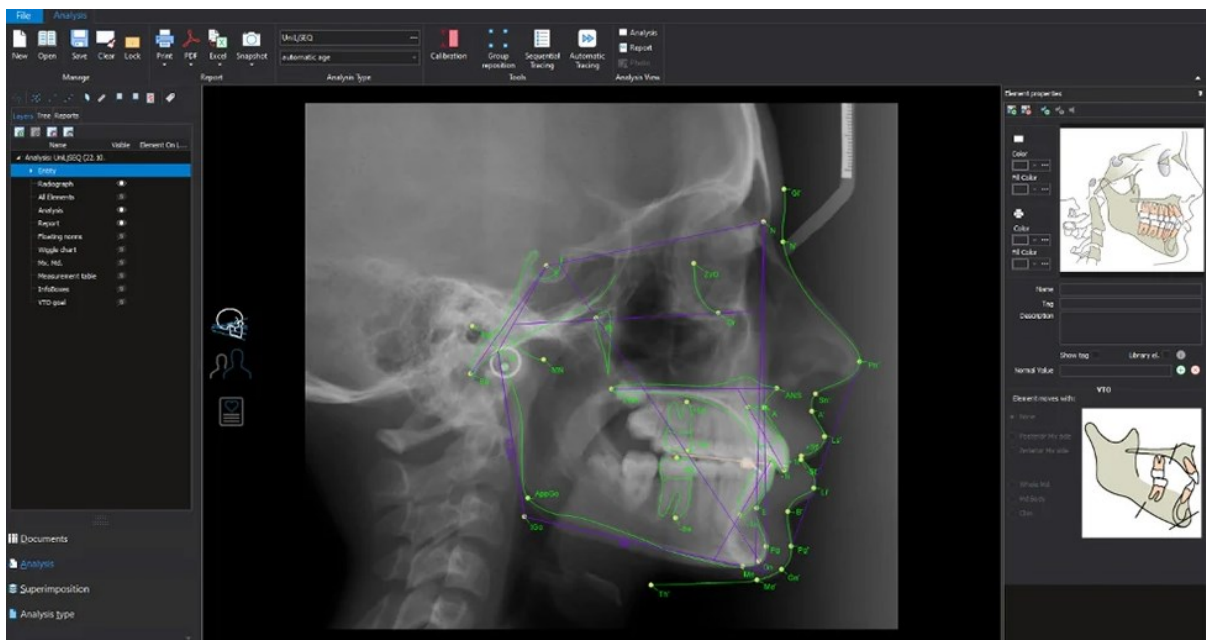
Für die Inklinationsbestimmung der Oberkiefer und Unterkiefer Schneidezähne wird die laterale kephalometrische Aufnahme ausgedruckt und mit einer durchsichtigen Folie bedeckt. Mit einem Minenbleistift werden die definierte knöchernen Strukturen mit Punkten markiert und die mit einer geraden Linie verbunden. Folgt noch die Durchzeichnung des anterioren Weichgewebes.

Für die Inklinationsmessung der Oberkieferzähne ist wichtig, dass die vordere Schädelbasis (Sella – Nasion) und die Längsachse des Schneidezahnes (radiologischer Apex – Schneidekante) eingezeichnet wird. Mit einem Geodreieck wird danach der Winkel zwischen die zwei Linien gemessen. Normwert beträgt  $103^\circ$ . Bei der Inklinationsmessung der Unterkieferzähne wird die Mandibularebene (Gonion – Menton Linie) und die Längsachse des

unteren Schneidezahnes (radiologischer Apex – Schneidekante) eingezeichnet. Mit einem Geodreieck wird danach der Winkel zwischen der zwei Linien ausgewertet. Normwert beträgt 90-95° (Droschl 1984).

#### *Ad 1.1.4.2. Durchzeichnung mittels Computerprogramm*

- Man lädt das digitale Fernröntgen in das Computerprogramm
- Zeichnen der Konturen und Punkte mittels Maus



*Abbildung 54 – Durchzeichnung im Computerprogramm*

(Romexis® Cephalometric Analysis o. D.)

## 1.2. Die Referenzebene

Referenzebenen sind Ebenen auf einem Messobjekt, die während der Messungen immer den gleichen Wert und dieselbe Stellung und Position haben und zu welchen man Änderungen numerisch erfassen kann.

### 1.2.1. Bekannte Bezugsebenen

In der Vergangenheit haben sich viele Fachleute damit beschäftigt das Erscheinungsbild, Profil und die Zahnstellung nicht nur mit Worten zu beschreiben, sondern auch metrisch zu erfassen, was die Voraussetzung für fundiertes wissenschaftliches Arbeiten darstellt, da Zahlen statistisch auswertbar sind. Zur Verifizierung der Frontzahnneigung haben sich Winkelmesssysteme durchgesetzt, bei welchen einerseits die Zahnachsen definiert sind (Achse der Wurzeln oder Achse der Kronen oder Verbindungslinien zwischen Schneidkanten und Wurzelspitze) wie auch spezielle Referenzachsen (2D) bzw. Referenzebenen (3D) festgelegt sind, zu denen in Relation gemessen wird.

Die Referenzebenen, die bisher am Schädel definiert worden sind folgende:

*Achse-Orbitale Ebene* = Achs-Orbital-Ebene = Scharnierachs-Orbitale-Ebene = A-O-Ebene = AOE wird definiert als eine Ebene, die durch den linken untersten Punkt des knöchernen vorderen Orbitarands und dem rechten und linken zentrischen Scharnierachsenpunkt verläuft, welcher den gedachten Durchtrittspunkten der Rotationsachse des Kiefergelenkes durch die Haut entspricht (Slavicek 2000).

*Frankfurter Horizontale* = Frankfurter Horizontalebene = Deutsche Horizontale = Ohr-Augen-Ebene = OAE wird definiert als Linie, die vom oberen Rand des Porus acusticus externus zum tiefsten Punkt des Margo infraorbitalis der knöchernen Orbitae verläuft und bildet mit der Camper'sche Ebene einen Winkel von 10-15° (Hellwig and Lehmann 2005).

*Camper'sche Ebene* Vom untersten Punkt des linken und rechten porus acusticus externus zur Spina nasalis anterior. Vergleicht man die Campersche Ebene mit der Okklusionsebene so nehmen diese ca. einen Winkel von ca. 8° zueinander an (Slavicek 1984).

*Kauebene = Okklusionsebene = Okklusalebene*

Die Definitionen der Kauebene unterscheiden sich in den einzelnen Fachrichtungen der Zahnheilkunde

*Gnathologie*: Nach ihrer Definition verläuft die Kauebene durch den Inzisalpunkt (= Berührungspunkt der Schneidekanten der Zähne 31 und 41) des unteren Incisivus und den höchsten Punkt der disto-bukkalen Höckerspitze der beiden zweiten Unterkiefermolaren (Slavicek 1984, Suckert 1992).

Laut T. Rakosi gibt es im Kieferorthopädie:

- *vPOcP*: „ein konstruierter Punkt, der durch die Halbierung der Strecke des Schneidezahnüberbisses definiert wird, also der Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen den Berührungspunkten der oberen und unteren mittleren Schneidezähne.“
- *hPOcP*: „der distalste Berührungspunkt der letzten in Okklusion stehenden Molaren“

(Rakosi 1988).

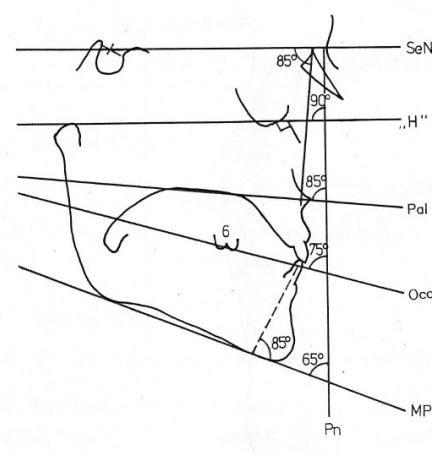


Abbildung 55 - Bezugsebenen nach Rakosi. *SeN*: Vordere Schädelbasisebene, „*H*“: Frankfurter Horizontale, *Pal*: palatinale Ebene, *Occ*: Okklusionsebene, *MP*: Mandibular Ebene

Laut Lehmann, Hellwig und Wenz wird die Okklusionsebene definiert durch die Verbindungslinien zwischen Inzisalpunkt und dem distobukkalen Höcker der zweiten Molaren und verläuft durch die Lippenschlusslinie. Sie ist parallel zur Bipupillarlinie (Verbindungslinie der beiden Pupillen) und etwa parallel zur Camperschen Ebene (Lehmann, Hellwig et al. 2012).

**Vordere Schädelbasis im Fernröntgen** ist als Verbindungslinie zwischen den Punkt Sella und Punkt Nasion definiert und stellt die Referenzebene dar, wozu aktuell die Oberkiefer Frontzahnneigung ermittelt wird.

**Oberkieferebene im Fernröntgen** ist durch die knöchernen Strukturen der Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior definiert. Sie ist eine der möglichen radiologisch sichtbaren Referenzebenen, wozu eine Oberkiefer Frontzahninklination messbar ist.

**Unterkieferebene im Fernröntgen** ist die caudale skelettale Begrenzung, die durch die Punkte Gonion und Menton definiert wird. Menton ist der caudalste und ventralste Punkt der Unterkiefer Symphyse. Gonion ist ein konstruierter Punkt. Er wird lt. Arge Kieferorthopädie Österreich als Schnittpunkt zwischen zwei Tangenten definiert: eine wird von Menton kommend an der Unterkiefer Ast gelegt, die zweite verläuft vom Punkt Articulare zum dorsalsten Rand des aufsteigenden Unterkieferastes (Droschl 1984).

### 1.2.2. Bezugsebenen, die für Neigungsmessungen angewendet wurden

Downs 1948 hat sich mit der Relation der dentalen und skelettalen Strukturen zueinander beschäftigt. Dabei hat er sich neben anderen Achsenrelationen, wie zum Beispiel die UK Schneidezahn Inklination zur Mandibular Ebene und Kauebene, auch die Inklination der OK Schneidezahn Inklination zum UK Schneidezahn angesehen. Die ermittelte Werte lagen zwischen  $130^\circ$  und  $150,5^\circ$ .

Zusätzlich hat er sich noch mit der Protrusion der Oberkieferschneidezähne beschäftigt. Seine Meinung nach sollte jede Zahnachse zu einer funktionellen Ebene gemessen werden, wie zum Beispiel zur Kauebene (Downs 1948).

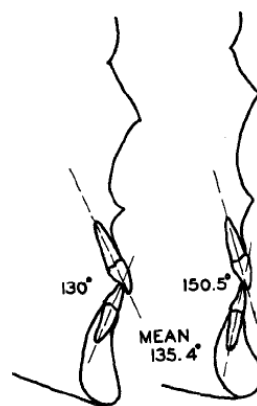


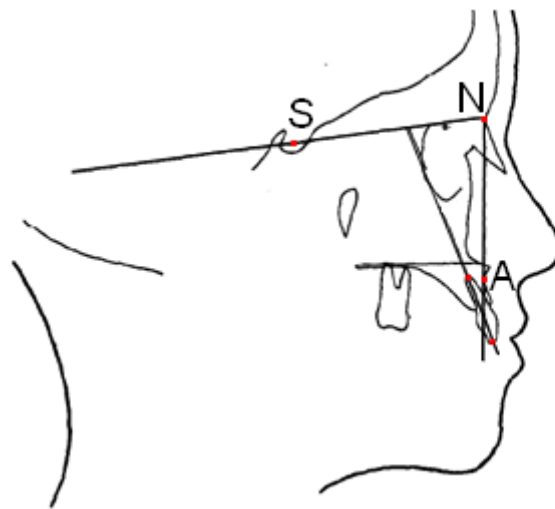
Abbildung 56 - Interincisalwinkel

Wie schon im oberen Kapitel beschrieben hat Riedel die axiale Relation des oberen Schneidezahns zu unterschiedlichen Linien beziehungsweise Strukturen untersucht. Die Inklination wurde zum unteren Schneidezahn, zur Frankfurter Horizontale und Nasion-Punkt A Verbindungslinie ermittelt. Auch andere Untersucher\*innen wie Downs, und Tweed haben die gleiche Referenzebenen für die eigenen Ermittlungen herangezogen (Tweed 1946, Downs 1948, Steiner 1953, Downs 1956, Riedel 1957).

Auch Steiner hat sich mit verschiedenen Referenzlinien beschäftigt, zu denen er die Oberkiefer- und Unterkiefer-Frontinklination gemessen hat. Er beschrieb, dass die Anthropologen deswegen die Frankfurter Horizontale als Basislinie gewählt haben, weil der Porionpunkt und der Infraorbitalpunkt am Schädel ohne radiologische Aufnahme, sichtbar und zugänglich waren. Er selbst war aber der Meinung, dass diese Punkte am lebenden Mensch nicht genau lokalisierbar sind, deswegen hat er die Punkte Sella und Nasion genommen, die am

Röntgenaufnahmen leicht und präzise zu finden sind. Die zwei Punkte liegen an der Mittelsagittalebene und verschieben sich im Falle von Kopfbewegungen nur minimal.

Er erwähnte noch, dass andere Untersucher\*innen die Zahnstellung zu anderen Referenzlinien gemessen haben, wie zum Beispiel zur Facialebene. Selbst war es der Meinung, dass diese Methode ungenau ist, weil dort das Pogonion durch die Unterkieferbewegung variiert. In seinem Fall ist der SNA innerhalb eines Kiefers. Die Punkte sind fix und unbeweglich.



*Abbildung 57 – Darstellung der Punkte A, Nasion und Sella sowie die Längsachse des Schneidezahnes*

Als leichter empfindet er die Messung der Schneidezahnstellung von Oberkiefer und Unterkiefer zur NA und NB Linie. Seiner Meinung nach sollte der zentrale Schneidezahn an der NA Linie stehen, der ventralste Punkt 4mm vor dieser Linie sein und einen Winkel von  $22^\circ$  mit dieser Linie bilden. Genauso sollte der Unterkiefer-Schneidezahn statt zur Mandibular Ebene zur NB - Linie gemessen werden, 4 mm vor diese Linie stehen und einen Winkel von  $25^\circ$  bilden. Kritisch hat er sich über die bisherige Art der Ermittlung geäußert, wie die UK Schneidezahninklination zur Mandibular Ebene ermittelt wurde. Er meinte, dass die Art der Messung inkorrekt sei. Dies hat er so begründet, dass die caudalste mandibuläre Begrenzung keine Gerade, sondern eine geschwungene Linie ist, geschweige denn eine Ebene. Er war der Meinung, dass seine Methode genauer und daher wichtiger ist (Steiner 1953).

### 1.2.3. Die neue Bezugsebene

In unseren Untersuchungen wurde die neue Bezugsebene mit Hilfe von einem SAM Außenbogen, der mit einem Kionix MEMS-Systems aufgerüstet wurde, definiert. Der Gesichtsbogen (Aussenbogen) ist ein zahnärztliches Instrument der von George B. Snow (1835 – 1923) entwickelt wurde und im Bereich der Prothetik eingesetzt wird. Sein Zweck ist es, funktionelle Gebissituationen aus dem Mund des Patient\*innen auf den zahnärztlichen Artikulator zu übertragen, damit die Oberkiefer Gipsmodelle schädelbezüglich in den Artikulator eingebaut werden können.

Der Außenbogen ist aus den folgenden Teilen aufgebaut:

- A. U-förmiger Rahmen
- B. Ohren Anteil
- C. Glabellarolle
- D. Bissgabel
- E. Fixierungs/Übertragungsteil

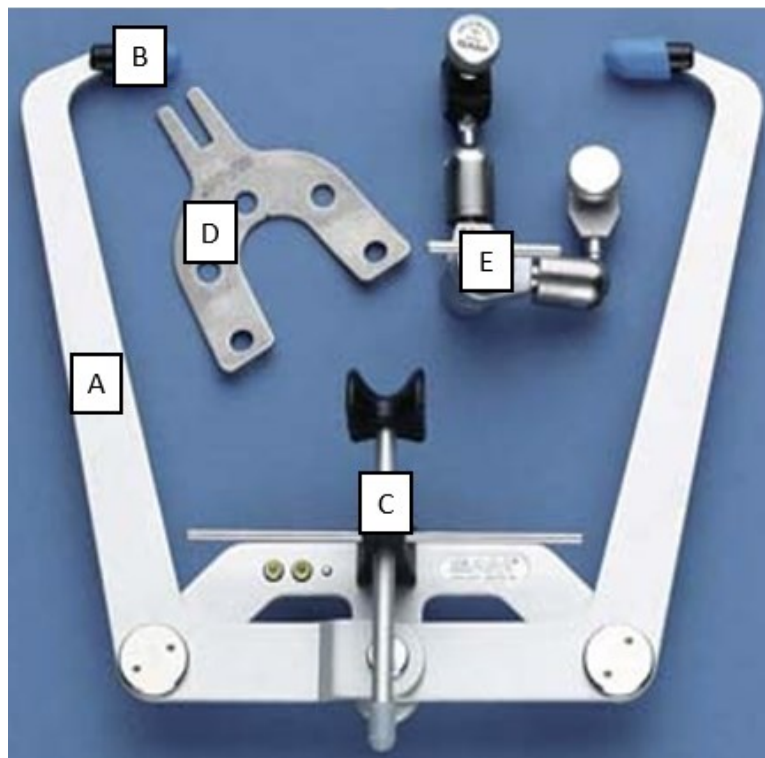
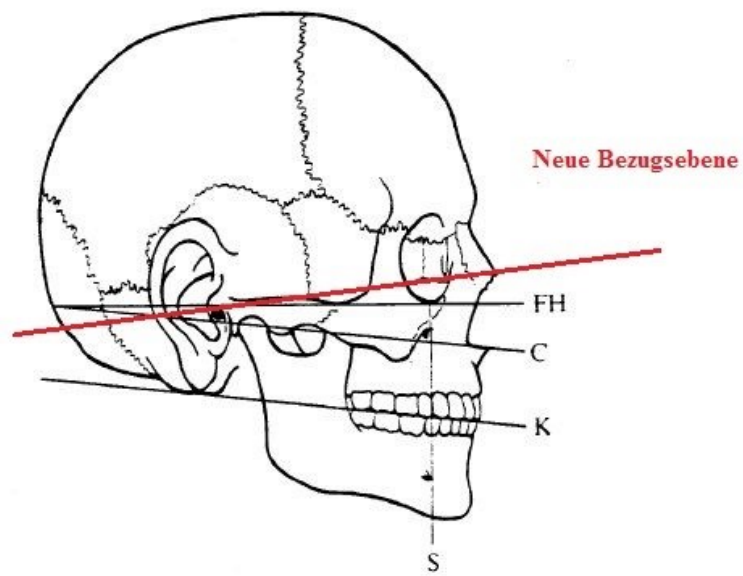


Abbildung 58 – SAM Außenbogen mit der Einzelteilen

Der SAM Außenbogen wurde am Schädel des Patienten im *porus acusticus externus* im hinteren Bereich und am caudalsten und ventralsten Punkt der *sutura intranasalis* im vorderen Bereich fixiert. Durch den Außenbogen wurde eine neue Ebene definiert (*Abbildung 65*).



*Abbildung 59 – Neue Bezugsebene. Definiert durch den Außenbogen*

## 1.3. Mems

### 1.3.1. Was ist ein Mems?

Mems (Micro-Electro-Mechanical System) oder auch Microsystems Technology sind verkleinerte mechanische und elektromechanische Elemente, die unter Verwendung von speziellen Techniken der Mikrofabrikation hergestellt werden. Die Größe der einzelnen Elemente variiert von Mikro- bis Millimeter-Größe. Die einzelnen Teile können aus beweglichen wie unbeweglichen Teilen zusammengesetzt sein.

In den letzten Jahren haben sich die Entwickler\*innen viel mit MEMS beschäftigt und diese weiterentwickelt. So sind viele verschiedene Produkte entstanden, wie zum Beispiel Sensoren für Temperatur, Druck, Kraft, magnetische Felder, Radiation und noch viel Weiteres (MEMS & Nanotechnology Exchange o. D.).

### 1.3.2. Wie ist ein Mems aufgebaut?

Mikro-elektromechanische Systeme werden aus mehreren Komponenten wie zum Beispiel mechanischen Elementen, Sensoren, Aktuatoren und integrierte Schaltungen zusammengesetzt. Diese einzelnen Elemente sind dann in einem Chip vereint und befestigt. Für die Herstellung dieser werden vor allem Silizium und Glas sowie in der Bio- und Medizintechnik Kunststoffe verwendet (Eichler, Michel et al. 2009).

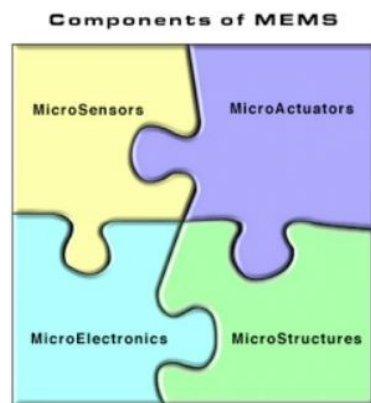


Abbildung 60 - Einzelnde MEMS Komponenten

(MEMS & Nanotechnology Exchange o. D.)

### 1.3.3. Wo wird ein MEMS eingesetzt?

MEMS reagieren auf Umwelteinflüsse und Umweltkräfte wie Vibrationen und werden bei der Diagnostik des Betriebes von Geräten, Maschinen und Robotik angewendet. Ein weiteres bekanntes Beispiel sind die *Beschleunigungssensoren*, die zum Beispiel in der Autoindustrie (ABS, Airbag), in elektronischen Geräten (Scanner, Videoprojektor, Nintendo Wii, Neigungsmessung) und in Geschäften an der Kasse sowie noch an und in weiteren unterschiedlichen Stellen bzw. Geräten vorkommen (Profilvermessung , Johnson 2007, Viecelli, Graf et al. 2020).

### 1.3.4. Was ist ein Beschleunigungssensor?

In die Gruppe des MEMS gehören auch die sogenannten Beschleunigungssensoren (engl. *Acceleration* = Beschleunigung). Diese Erfassen die Beschleunigung kontinuierlich in ein bis drei Achsen über die Zeit im Raum in Form von Rohdaten. Die erfassten Daten werden dann analysiert und in eine elektronische Information umwandelt (von Haaren-Mack 2018).

### 1.3.5. Wie funktioniert ein Beschleunigungssensor?

Ein Akzelerometer oder *Beschleunigungssensor* kann in einer, zwei oder drei Raumrichtungen Messungen durchführen. Üblicherweise besteht ein MEMS System aus drei Beschleunigungssensoren, die in allen 3 Ebenen, die den X, Y und Z Koordiantionssystem-Achsen entsprechen, Bewegungen registrieren und auswerten. Die Beschleunigungen, als Rohdaten, werden kontinuierlich pro Zeiteinheit erfasst, wobei Dauer, Frequenz und Häufigkeit gemessen werden können. Die Maximalwerte und die Genauigkeit der Messungen werden durch den eingestellten Messbereich erfasst, in dem auch die Frequenz der Messungen sowie die Kommastelle der angezeigten Messung bestimmt werden kann.

Diese *Beschleunigungssensoren* ermöglichen uns die Messungen von statischen (Schwerkraft und konstante zentrifugale Beschleunigung) sowie dynamischen Beschleunigungen (Bewegungen, Schlag, Vibrationen) (Hey, Anastasopoulou et al. 2014, von Haaren-Mack 2018).

### 1.3.6. Medizinische Anwendung von MEMS

Lawrence et al haben sich 2002 mit dem elektronischen Monitoring der Osseointegration von dentalen Implantaten befasst. Dabei wurde eine Technik entwickelt, die mit einem Beschleunigungssensor funktioniert. Die klinische Untersuchung zeigte, dass durch diese neue medizinische Methode die Osseointegration des Implantates überwachbar und vorhersagbar ist. Dies wird durch Auswertung der elektronischen Frequenzstabilität und dynamischen Linearität ermöglicht (Dario, Cucchiaro et al. 2002).

Im Rahmen einer Studie von Minami war eine Methode entwickelt worden, um die Laufruhe der Unterkieferbewegung zu messen und zu analysieren. In der Studie wurde ein piezoelektrischer Beschleunigungssensor angewendet, um die Mastikationsbewegung des Unterkiefers ermitteln zu können (Minami, Oogai et al. 2010).

Um Informationen über den Putzvorgang und das Handling mit einer elektrischen Zahnbürste zu erfassen, wurden in einer Studie von Prestel schon vorhandene Zahnbürsten mit MEMS aufgerüstet. Dadurch war es möglich in X-, Y-, Z-Richtung die Bürstenkopfbewegung aufzunehmen und zu untersuchen. Dabei konnte er auch beobachten, welche elementaren Bewegungen bei Patienten während der Zahnreinigung durchgeführt werden, wie z.B. einfache Horizontalbewegungen, Kreisen, Auswischbewegungen sowie Rüttelungen (Prestel 2017).

Birte von Haaren-Mack hat sich mit der körperlichen Aktivität der Bevölkerung und dessen Erfassung beschäftigt. Die technische Weiterentwicklung hat es möglich gemacht die körperliche Aktivität mit Hilfe von Sensoren zu erfassen und zusätzlich die Interaktion mit Smartphones ermöglicht.

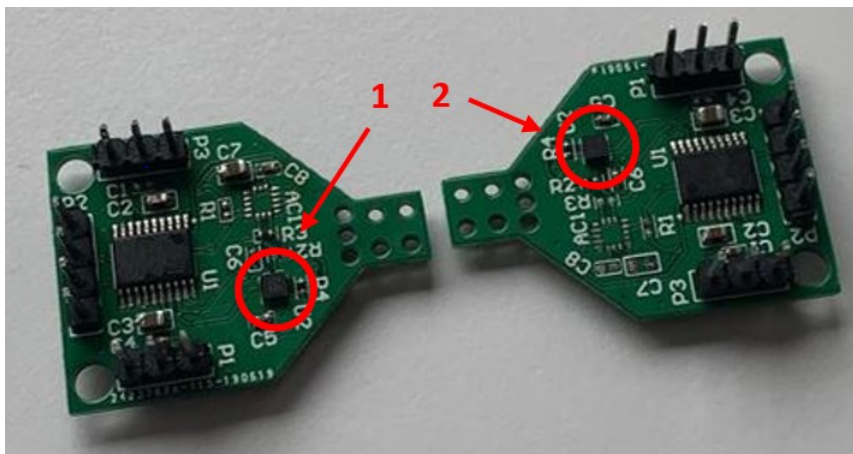
In dieser Arbeit wurden Beschleunigungssensoren, die an den Proband\*innen positioniert wurden (Hüfte, Knöchel, Handgelenk etc.) angewendet, mit dem dann die tägliche Charakteristika des Aktivitätsverhaltens aufgenommen wurden (von Haaren-Mack 2018).

Da sich dieses System in zunehmendem Masse in der Medizin zu etablieren beginnt, und auch in der Kieferorthopädie Messungen durchgeführt werden müssen, hat sich die Idee ergeben, ob nicht ein MEMS System für diesen Zweck eine sinnvolle Hilfe darstellen könnte.

Im *Abbildung 66, 67* sieht man einen Beschleunigungssensor, den wir in unseren Messungen angewendet haben. Es handelt sich um ein KX122-1037 2x2x0,9mm großen drei achsigen Beschleunigungssensor von der Firma Kionix.



*Abbildung 61 – der angewendete KX122-1037 Drei-Achsen Beschleunigungssensor*



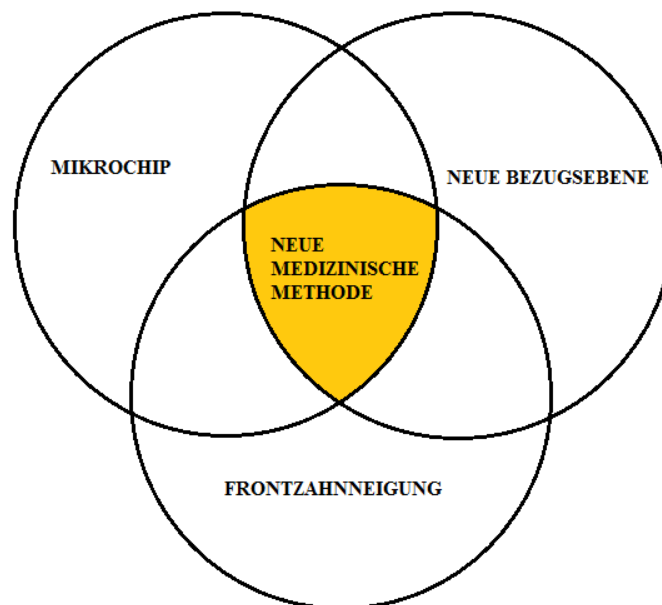
*Abbildung 62 - Mit der Zahlen 1 und 2 sind die angewendete Beschleunigungssensoren KX122-1037 gegenzeichnet, die an einem Chip befestigt wurden*

## 1.4. Ziel

Ziel dieser Arbeit war es,

- 1) eine reproduzierbare Art der Frontzahnneigungsmessung zu entwickeln, die auf einem Prinzip von Strahlenfreiheit funktioniert
- 2) zu ermitteln, ob dieses System klinisch anwendbar ist
- 3) den Unterschied zwischen einer kleinen Gruppe von Anwendern zu ermitteln als Grundlage für weitere Studien.

Der Mikrochip deckt alle 3 aufgezählten Zielgrößen ab, da er Messwerte bezüglich der Position der Referenzebene und der des zentralen Schneidezahnes liefert.



## 2. Material und Methode

### Durchführung

Die Durchführung der Messungen an den Proband\*innen erfolgte in den Phantomräumen der Grazer Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheits. Die Teilnehmer\*innen wurden zuerst über den Verlauf der Messungen und mögliche Risiken aufgeklärt. Einverständnis wurde mit einer unterschriebenen Einwilligungserklärung bestätigt.

Die Untersuchungsgruppe rekrutierte sich aus 12 Zahnmedizin Student\*innen der Med-Uni Graz mit einem Altersspektrum von 23 bis 30 Jahren.

Während der Prototypentwicklung wurden manuelle Messmöglichkeiten, mit Winkelmessern, oder durch elektronische Beschleunigungssensor unterstützte Herangehensweisen durchdacht. Die Prototypen wurden aus verschiedenen zum Teil in der Dentalmedizin vorkommenden Materialien, wie zum Beispiel Tiefziehfolien, kieferorthopädische Drähten aber auch Büroklammern hergestellt. Zu Beginn der Arbeit wurden zwei, eine manuelle und eine elektronische Messungsart, geplant. Der Manuelle Prototyp wurde nicht vervollständigt, weil es schon während der Herstellung Ungenauigkeiten aufwies.

Durch die zunehmende Modernisierung werden immer mehr High-Tech Lösungen bzw. modernste Geräte in der Medizin und auch in der Zahnheilkunde angewendet. Deswegen haben wir uns für diese moderne und nach unserer Beurteilung minimalste elektronische Methode entschieden. Wir haben sie adaptiert und auf diese Weise eine Art „Prototyp“ hergestellt.

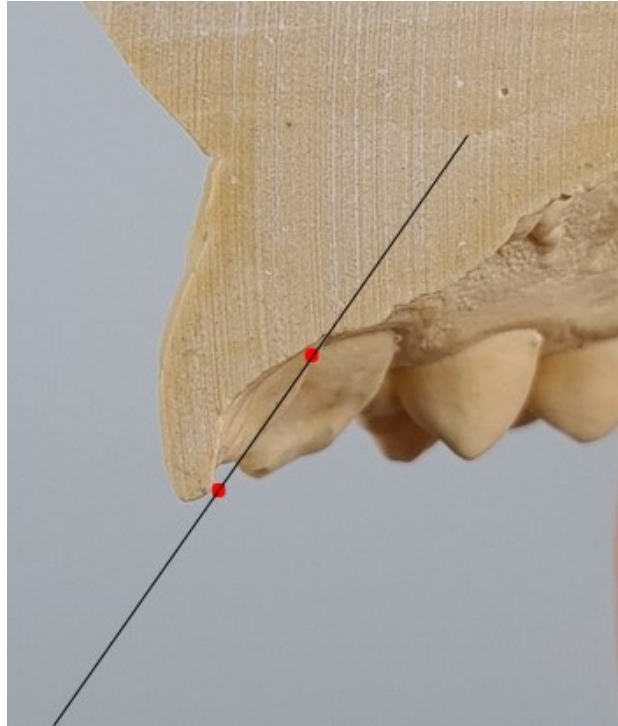
Die elektrische Methode basiert auf dem Prinzip des Akzelerometers, deren Wirkungsweise im oberen Kapitel beschrieben ist. Um die Messungen durchführen zu können, haben wir 2 Chips (*Chip 1* und *Chip 2*) vorbereitet, die mit einem Akzelerometer ausgerüstet wurden.

- Chip 1:

Der 1. Chip (*Abbildung 65, 66*) wurde mit dem individuell angefertigten Adapter (Kunststoffkrone **A**) am Zahn 11 positioniert. Es spiegelt die definierte Achsenneigung des Frontzahnes wieder.

Um den jeweiligen reproduzierbar positionieren zu können, haben wir eine individualisierte Kunststoffkrone aus einer Tiefziehfolie (ERKODENT Erkodur 0,8\*120mm) hergestellt. Dafür war ein vorher angefertigtes Gipsmodell nötig. Bei der Herstellung der Krone wurde darauf geachtet, dass keine spitze Ränder vorhanden sind, um mögliche Verletzungen oder Irritationen am Zahnfleisch und der Schleimhaut, während der Kronenpositionierung und Messungsdurchführung am Patienten, zu verhindern. Danach wurde aus demselben Material, die Verlängerung (**B**) angefertigt die, 5mm breit und 40mm lang war. Diese wurde an der Krone am palatinalen Tuberculum und am palatinalen Teil der Incisalkante mit einem Superkleber befestigt. Durch die palatinale Ausrichtung der Verlängerung/Chips wird eine Messung während einer aktiven kieferorthopädischen Therapie ermöglicht. Durch die 40 mm Länge wird für einen Sicherheitsabstand gesorgt, damit kein Speichel mit dem Chip in Kontakt kommt. Zusätzlich wurde der Chip mit einem Plastifiziermittel bedeckt und damit zusätzlich dafür gesorgt, dass er gegen Feuchtigkeit gut abgedichtet ist.

Die Informationsübertragung Chip - Laptop (HP ProBook 650 G5) erfolgte durch ein USB Kabel, das auch für die Stromversorgung des Chips verantwortlich war.



*Abbildung 63 – Die zwei roten Punkte markieren den palatinalen Teil der Incisalkante und das palatinale Tuberculum. Die schwarze Linie zeigt die Ausrichtung des Chip 1 an*



*Abbildung 64 – A= Kunststoffzahnkrone B=Verlängerung*

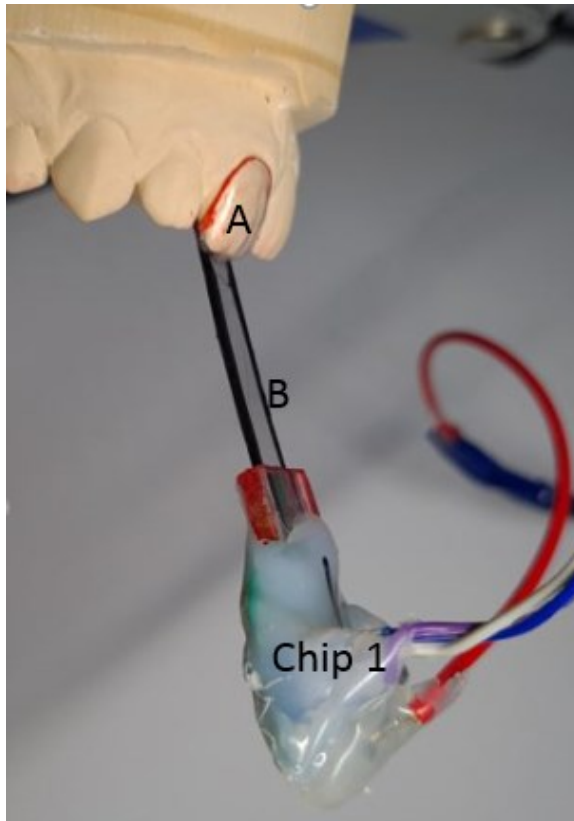


Abbildung 65 - Ausrichtung des Chip 1 am Gipsmodell (Zahn 11)

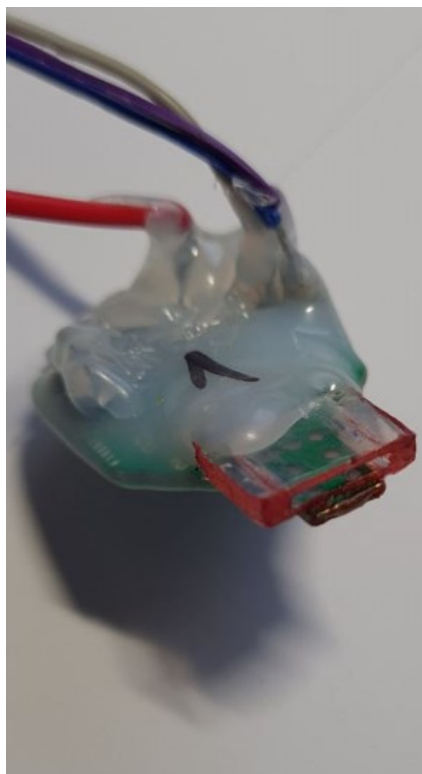


Abbildung 66 – Chip 1

- Chip 2:

Dieser Chip (*Abbildung 67*) wurde an einem SAM Außenbogen, der an den Proband\*innen maximal angenehm und stabil angelegt wurde, mit einem fließenden Plastifizierungsmittel befestigt und lag zudem parallel. Dieser Chip spiegelte die Referenzlinie wider, zu welcher die Neigungsmessung durchgeführt wurde. Letzteres wurde mit einem zweiten USB-Kabel an denselben Laptop angeschlossen.



*Abbildung 67 – Chip 2 wurde mit heißen Plastifizierungsmittel fixiert*

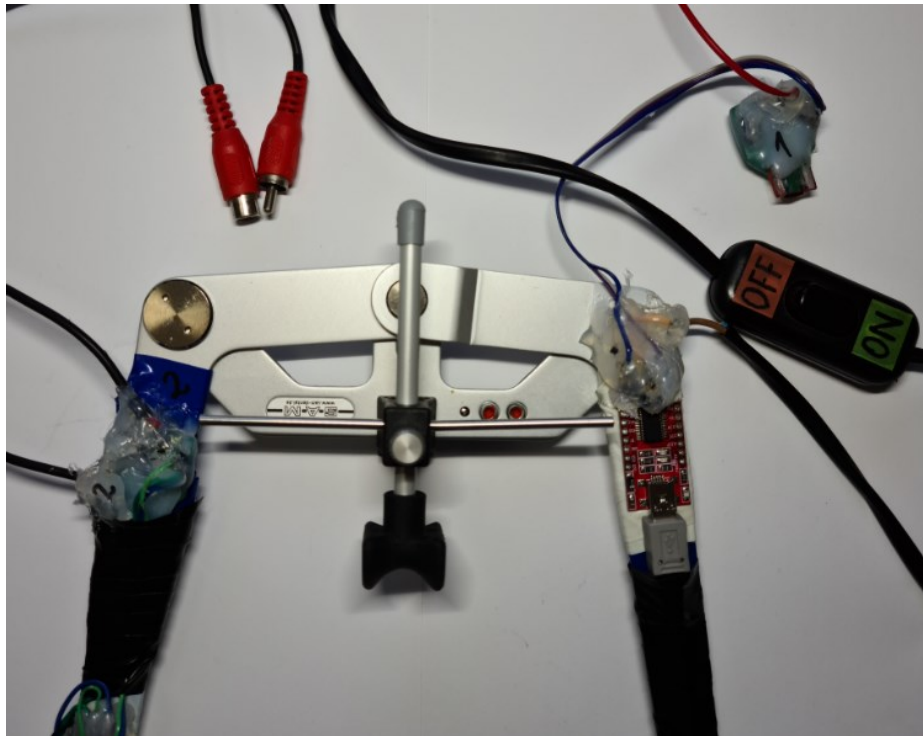


Abbildung 68 – Aufgerüsteter Außenbogen

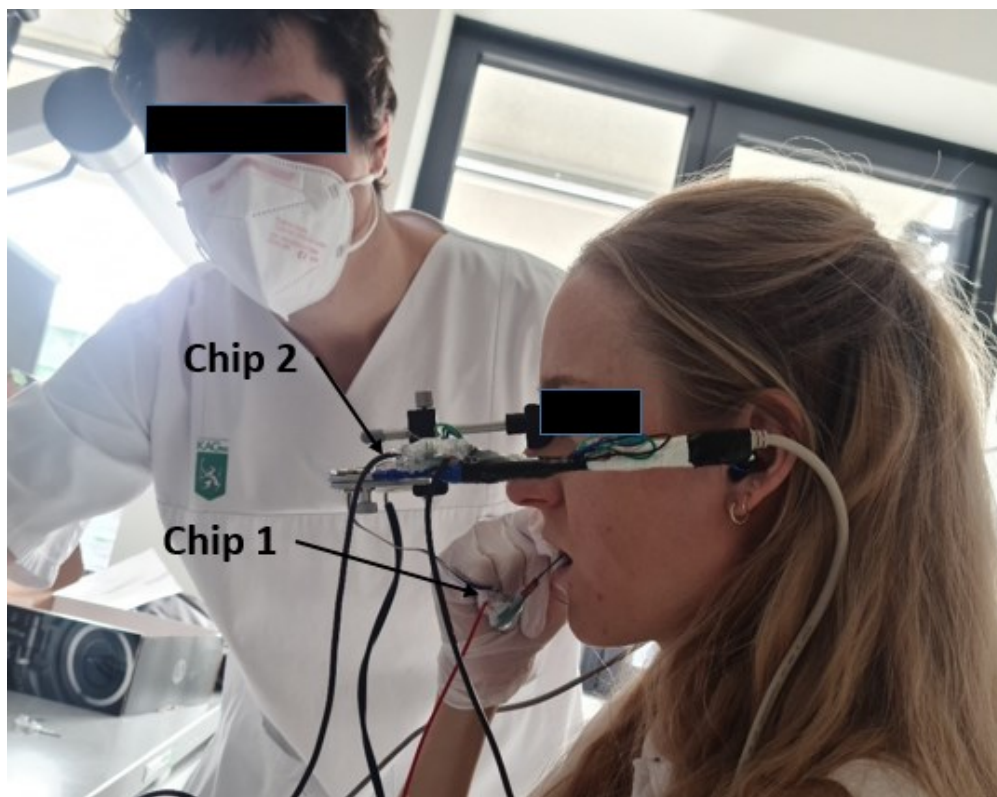


Abbildung 69 – Aufbau des Außenbogens und positionieren des Chip 1 am Zahn 11

Die Messungen wurden von einem Hauptmesser (Verfasser der Diplomarbeit) durchgeführt. Um etwaige Abweichungen der Messungen durch andere Anwender besser aufzeigen zu können, wurden weitere drei Messer zugezogen, die in reduziertem Umfang arbeiteten, wie schematisch in der folgenden Tabelle dargestellt.

Person	Zeitpunkt 1			Zeitpunkt 2			Zeitpunkt 3								
	Untersucher*in 1			Untersucher*in 1			Untersucher*in 2			Untersucher*in 3			Untersucher*in 4		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
A	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
B	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
C	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
D	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
E	■	■	■	■	■	■				■	■	■			
F	■	■	■	■	■	■				■	■	■			
G	■	■	■	■	■	■				■	■	■			
H	■	■	■	■	■	■				■	■	■			
I	■	■	■	■	■	■							■	■	■
J	■	■	■	■	■	■							■	■	■
K	■	■	■	■	■	■							■	■	■
L	■	■	■	■	■	■							■	■	■

*Tabelle 1 – Schematische Darstellung der durchgeführten Messungen*

Bei der Positionierung des Außenbogens sowie des Adapters wurde auf die Hygiene und Desinfektion der mit den Proband\*innen in Kontakt tretender Einzelteile geachtet.

Die Messungsdauer mit einem/einer Untersucher\*in und der einfachen Positionierung der Gerätschaft betrug zwischen 4-8 min.

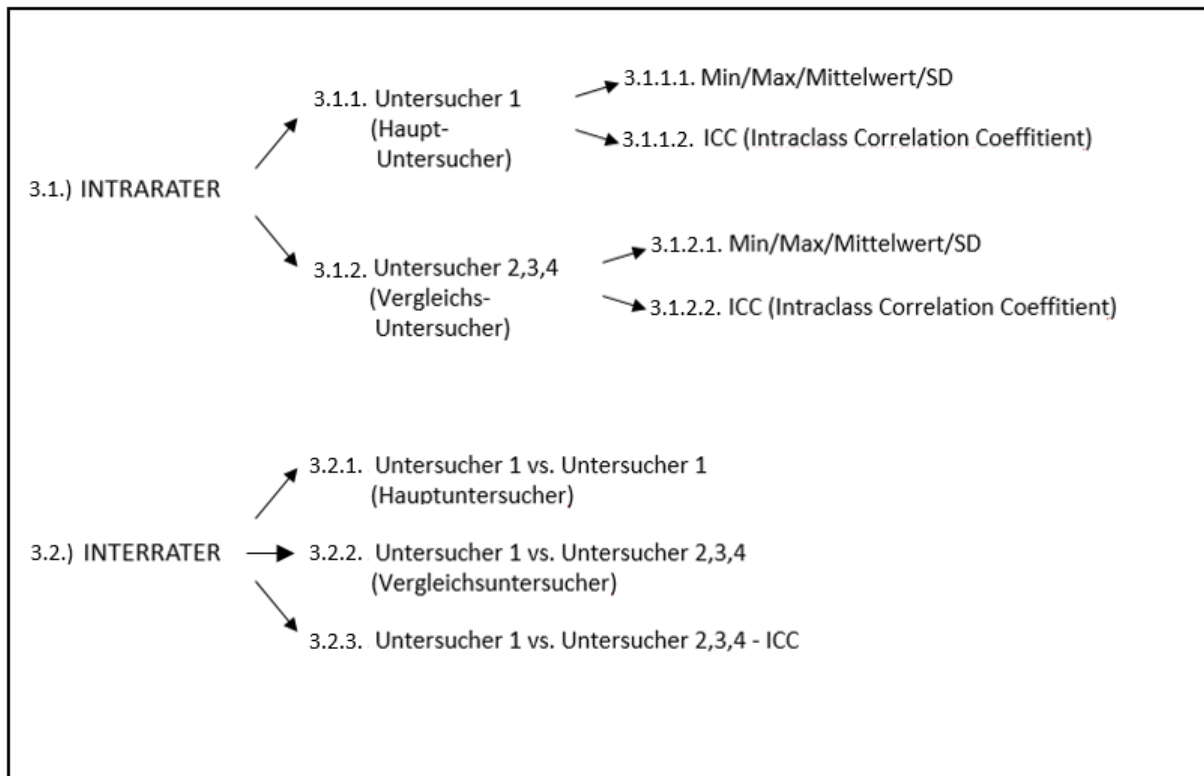
### 3. Ergebnisse

Die gemessene Werte wurden in einer Excel-Tabelle zusammengefaßt.

Dabei ist sichtbar, dass der/die **Untersucher\*in 1 (U1)** zum Zeitpunkt 1 (Z1) und Zeitpunkt 2 (Z2) sowie der/die **Untersucher\*in 2 (U2)**, **Untersucher\*in 3 (U3)** und **Untersucher\*in 4 (U4)** zum Zeitpunkt 3 (Z3) jeweils drei Messungen durchgeführt haben.

Person	Z 1			Z 2			Z 3								
	U 1			U 1			U 2			U 3			U 4		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
A	67,30	69,06	69,04	69,03	70,92	67,94	63,69	67,53	68,82						
B	54,43	53,02	52,88	53,70	52,60	52,55	54,26	54,20	54,41						
C	56,04	55,68	55,36	55,48	55,68	55,74	51,02	51,13	51,01						
D	59,13	60,57	59,25	60,50	59,09	59,07	58,43	59,98	55,34						
E	66,32	66,91	66,83	66,67	66,86	67,09				64,53	65,66	67,34			
F	44,48	44,67	44,59	47,49	47,85	47,37				42,76	43,60	44,59			
G	45,54	45,44	45,57	44,03	44,07	44,96				35,02	34,68	34,51			
H	58,05	57,73	58,07	57,40	57,07	57,71				55,25	57,35	56,80			
I	61,85	62,74	61,78	61,39	61,31	62,19							54,58	54,48	54,44
J	53,27	54,60	54,82	53,22	54,94	54,88							53,13	53,25	53,25
K	57,65	57,69	57,84	57,76	57,25	57,81							57,57	54,70	54,69
L	59,35	58,77	59,20	58,61	58,80	59,16							50,36	50,53	50,65

Tabelle 2 - Ermittelte Werte der U1 zum Z1 und Z2 sowie U2, U3 und U4 zum Z3



Aus der gelieferten Ergebnissen wurden die **INTRA** und **INTER RATER** Differenzen berechnet. Die Differenzen wurden (immer positiv) zwischen dem/der Untersucher\*in und Zeitpunkten pro Patient\*in berechnet.

### 3.1. INTRA RATER:

Es wurden die Differenzen zwischen den einzelnen Messungen pro Untersucher\*in zum jeweiligen Zeitpunkt ermittelt.

#### 3.1.1. Untersucher\*in 1 - Min/Max/Mittelwert/SD

Der/Die Hauptuntersucher\*in hat bei 12 Proband\*innen zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten jeweils drei Messungen durchgeführt. Durch die ermittelten Werte (*Tabelle 2*) wurden die Intra Rater Differenzen berechnet, die in der *Tabelle 3* zu sehen sind.

			Min	Max	Mittelwert	SD
Untersucher*in 1	Zeitpunkt 1	Messung 1 und 2	0,04	1,76	0,75	0,60
		Messung 1 und 3	0,02	1,74	0,56	0,67
		Messung 2 und 3	0,02	1,32	0,35	0,40
Untersucher*in 1	Zeitpunkt 2	Messung 1 und 2	0,04	1,89	0,67	0,67
		Messung 1 und 3	0,05	1,66	0,73	0,53
		Messung 2 und 3	0,02	2,98	0,60	0,81

*Tabelle 3 – Differenzen zwischen den Messungen*

Aus der *Tabelle 3* ist sichtbar, dass zum ersten Zeitpunkt die niedrigsten Abweichungen mit  $0,02^\circ$ , zwischen den ersten und dritten sowie zweiten und dritten Messung ermittelt wurde. Der größte Unterschied betrug  $1,76^\circ$ , der zwischen der ersten und zweiten Messung ermittelt wurde.

Zum zweiten Messzeitpunkt des/der Hauptuntersucher\*in wurde so der niedrigste Wert ( $0,02^\circ$ ) wie die größte Differenz ( $2,98^\circ$ ) zwischen der zweiten und dritten Messung ermittelt.

Zusätzlich wurde noch der Mittelwert und die Standardabweichung für beide Messzeitpunkte berechnet:

Die niedrigste Mittelwertabweichung wurde in beiden Fällen zwischen zweiten und dritten Messung ermittelt.

Die Standardabweichung lag zwischen 0,50° - 0,70°, außer zwischen der zweiten und dritten Messung bei beiden Untersuchungszeitpunkten. Zum Zeitpunkt 1 war sie mit 0,40 die niedrigste und beim zweiten Messzeitpunkt mit 0,81 die höchste.

### 3.1.2. Untersucher\*in 1 - ICC (Intraclass Correlation Coefficient)

Um die Übereinstimmung der Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu bestimmen, wurde der **Intraclass Correlation Coefficient** berechnet (ICC). Je näher der Wert bei 1 ist, desto besser ist dieser.

In der *Tabelle 4* sind die ICC Werte für den/die Untersucher\*in 1 vermerkt.

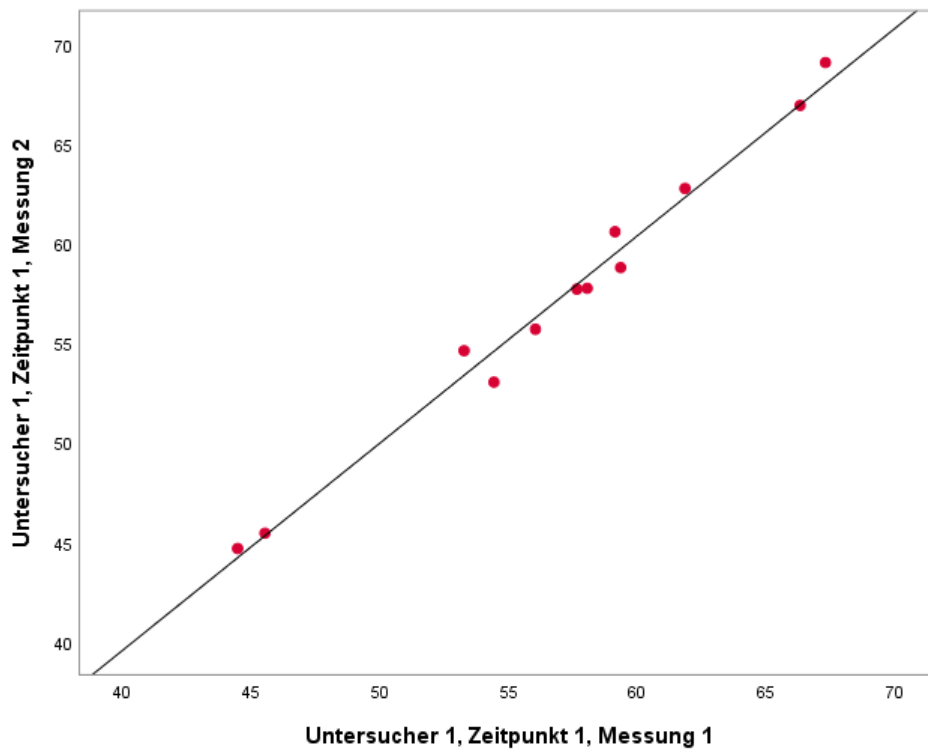
		ICC zum Zeitpunkt 1	ICC zum Zeitpunkt 2
Untersucher*in 1	Messung 1-3	0,998	0,997
	Messung 1 und 2	0,996	0,996
	Messung 1 und 3	0,996	0,996
	Messung 2 und 3	0,999	0,995

*Tabelle 4 - ICC Untersucher\*in 1 zum Zeitpunkt 1 und 2*

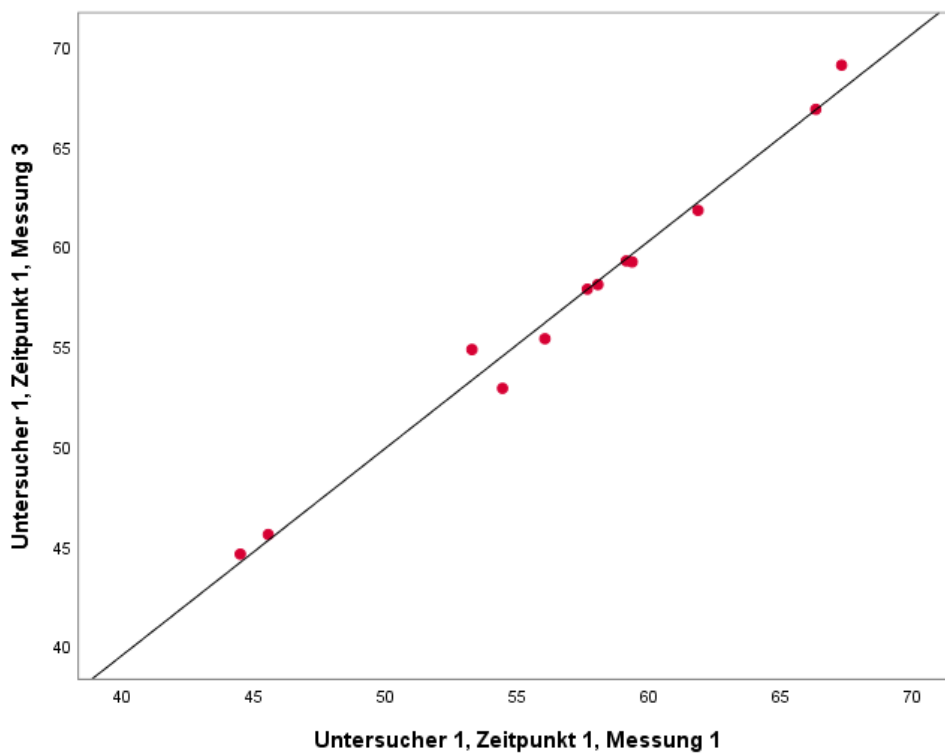
Die Werte lagen zwischen 0,995 und 0,999.

Aus der ermittelten Werten wurden Streudiagramme für den Zeitpunkt 1 und 2 erstellt. Diese graphischen Darstellungen spiegeln uns die Reproduzierbarkeit der Messungen zum jeweiligen Zeitpunkt wieder. Je näher die Punkte an der Linie stehen, desto kleiner sind die Abweichungen. Wenn die Werte der drei Messungen gleich wären, würden die Punkte direkt an der Linie abgebildet werden.

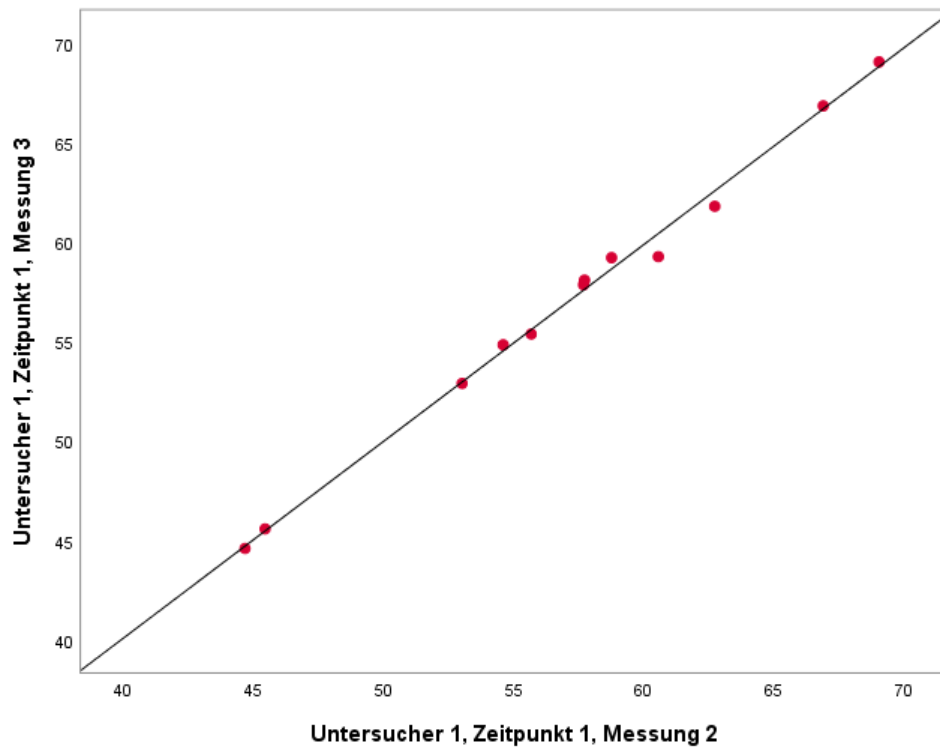
Streudiagramme des/der Untersucher\*in 1 zum Zeitpunkt 1:



*Diagramm 1 – Untersucher\*in 1, Zeitpunkt 1, Messung 1:2*



*Diagramm 2 – Untersucher\*in 1, Zeitpunkt 1, Messung 1:3*



*Diagramm 3 – Untersucher\*in 1, Zeitpunkt 1, Messung 2:3*

Streudiagramme des/der Untersuchers\*in 1 zum Zeitpunkt 2:

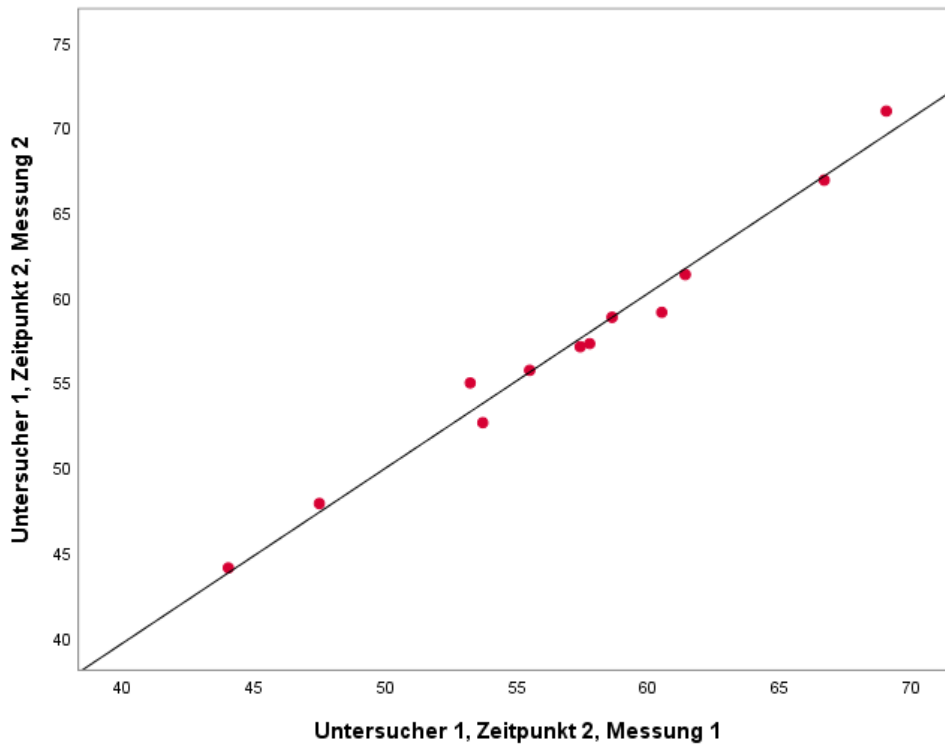


Diagramm 4 – Untersucher\*in 1, Zeitpunkt 2, Messung 1:2

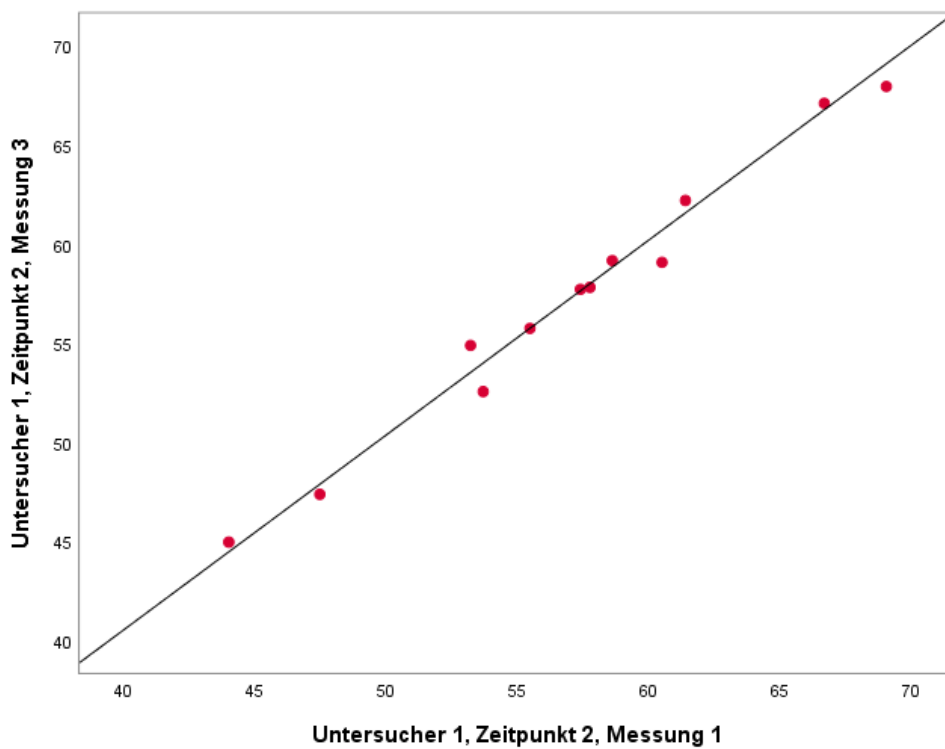
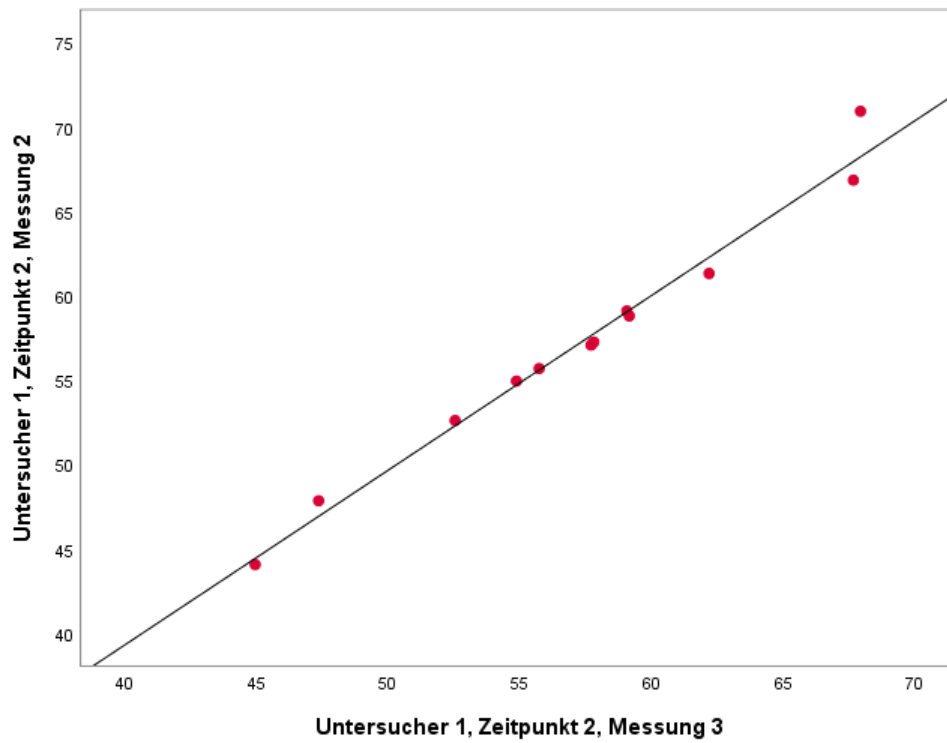


Diagramm 5 – Untersucher\*in 1, Zeitpunkt 2, Messung 1:3



*Diagramm 6 – Untersucher\*in 1, Zeitpunkt 2, Messung 2:3*

Aus *Tabelle 3* und aus den *Diagrammen 1-6* ist ersichtlich, dass die Übereinstimmung des/r Untersucher\*in 1 mit sich selbst zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten sehr hoch ist.

### 3.2.1. Untersucher\*in 2, 3 und 4 – Min/Max/Mittelwert/SD

Die Vergleichsgruppe von drei Untersucher\*innen haben zum dritten Zeitpunkt jeweils drei Messungen, bei unterschiedlichen Proband\*innen durchgeführt (Tabelle 2). Untersucher\*in 2, 3 und 4 haben jeweils an vier Proband\*innen Messungen ermittelt. Aus der Werten wurden gleich wie bei Untersucher\*in 1, die minimale und maximale Abweichung, Mittelwert und Standardabweichung ermittelt. Die Werte sind in der *Tabelle 5* aufgelistet.

			Min	Max	Mittelwert	SD
Untersucher*in 2	Zeitpunkt 3	Messung 1 und 2	0,06	3,84	1,39	1,77
		Messung 1 und 3	0,01	5,13	2,09	2,47
		Messung 2 und 3	0,12	4,64	1,56	2,12
Untersucher*in 3	Zeitpunkt 3	Messung 1 und 2	0,34	2,10	1,10	0,74
		Messung 1 und 3	0,51	2,81	1,68	0,95
		Messung 2 und 3	0,17	1,68	0,85	0,65
Untersucher*in 4	Zeitpunkt 3	Messung 1 und 2	0,10	2,87	0,81	1,37
		Messung 1 und 3	0,12	2,88	0,86	1,35
		Messung 2 und 3	0,00	0,12	0,04	0,05

*Tabelle 5 - Differenzen zwischen Messungen pro Untersucher\*in zum gleichen Zeitpunkt*

Wie schon bei dem/der Hauptuntersucher\*in waren bei dem/der Untersucher\*in 3 und bei dem/der Untersucher\*in 4 die niedrigsten Schwankungen zwischen der zweiten und dritten Messung. Bei Untersucher\*in 2 war der kleinste Wert zwischen der ersten und dritten Messung ermittelt worden. Allerdings wies der/die selbe/r Untersucher\*in die größte Abweichung von 5,13° auf.

Bei Untersucher\*in 3 war die niedrigste Differenz 0,17° und die größte 2,81°.

Untersucher\*in 4 hatte zwischen zwei Messungen die niedrigste Differenz von 0,0°, was bedeutet, dass die zwei Messungen ident waren. Die größte Abweichung bei diesem/dieser Untersucher\*in betrug 2,88°. Untersucher\*in 4 und v.a. Untersucher\*in 2 hatten im Vergleich zu Untersucher\*in 1 sowie Untersucher\*in 3 deutlich größere Schwankungen innerhalb der eigener drei Messungen.

### 3.2.2. Untersucher\*in 2, 3 und 4 - ICC (Intraclass Correlation Coefficient)

		ICC zum Zeitpunkt 3
Untersucher*in 2	Messung 1 – 3	0,973
	Messung 1 und 2	0,980
	Messung 1 und 3	0,933
	Messung 2 und 3	0,969
Untersucher*in 3	Messung 1 – 3	0,999
	Messung 1 und 2	0,999
	Messung 1 und 3	0,997
	Messung 2 und 3	0,999
Untersucher*in 4	Messung 1 – 3	0,950
	Messung 1 und 2	0,907
	Messung 1 und 3	0,901
	Messung 2 und 3	0,999

*Tabelle 6 - ICC des Untersucher\*in 2,3 und 4 zum Zeitpunkt 3*

Die *Tabelle 6* zeigt uns die Korrelation zwischen den Messungen bei Untersucher\*in 2, Untersucher\*in 3 und Untersucher\*in 4 zum dritten Messzeitpunkt. Laut der ermittelten Werte hat der/die Untersucher\*in 3 die geringsten Schwankungen aufgewiesen und somit die reproduktivsten Werte ermittelt.

### 3.2. INTER RATER:

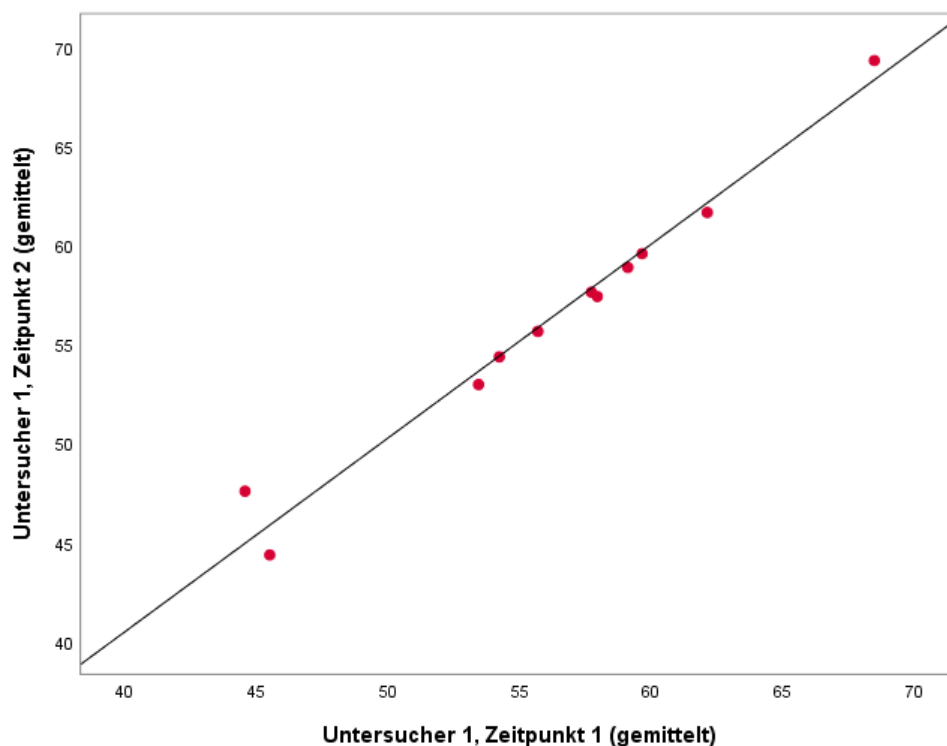
Es wurden die Abweichungen zwischen den einzelnen Untersucher\*innen ermittelt. Der/die Hauptuntersucher\*in wurde mit sich selbst und mit den anderen Untersuchern\*innen verglichen.

#### 3.2.1. Untersucher\*in 1 vs. Untersucher\*in 1

	Min	Max	Mittelwert	SD
Untersucher*in 1 Zeitpunkt 1 / Untersucher*in 1 Zeitpunkt 2	0,06	2,99	0,61	0,82

*Tabelle 7 - Inter Rater: Abweichung Untersucher\*in 1 zwischen dem ersten und zweiten Zeitpunkt*

Untersucher\*in 1 hat zum Zeitpunkt 1 und zum Zeitpunkt 2 bei allen 12 Proband\*innen jeweils 3 Messungen durchgeführt. Die dabei niedrigste ermittelte Abweichung war 0,06° und die größte Abweichung 2,99°.



*Diagramm 7 - Streudiagramm der gemittelten Werte des Untersucher\*in 1 (Zeitpunkt 1 : Zeitpunkt 2)*

### 3.2.2. Untersucher\*in 1 vs Untersucher\*in 2, 3 und 4

	Min	Max	Mittelwert	SD
Untersucher*in 1 Zeitpunkt 1 / Untersucher*in 2 Zeitpunkt 3	0,85	4,64	2,25	1,65
Untersucher*in 1 Zeitpunkt 1 / Untersucher*in 3 Zeitpunkt 3	0,84	10,78	3,51	4,86
Untersucher*in 1 Zeitpunkt 1 / Untersucher*in 4 Zeitpunkt 3	1,02	8,59	4,83	3,83
Untersucher*in 1 Zeitpunkt 2 / Untersucher*in 2 Zeitpunkt 3	1,34	4,58	2,54	1,46
Untersucher*in 1 Zeitpunkt 2 / Untersucher*in 3 Zeitpunkt 3	0,93	9,62	3,87	4,07
Untersucher*in 1 Zeitpunkt 2 / Untersucher*in 4 Zeitpunkt 3	1,14	8,34	4,64	3,62

*Tabelle 8 – Inter Rater: Abweichungen zwischen den Untersucher\*innen und Zeitpunkten*

Die ermittelte Werte von Untersucher\*in 1 wurden mit den ermittelten Werten von Untersucher\*in 2, 3 und 4 verglichen und dabei die Abweichungen berechnet.

Im Vergleich von Untersucher\*in 1 zum ersten Messzeitpunkt mit Untersucher\*in 2, 3, und 4 ist die niedrigste Differenz 0,84° und die höchste 10,78°. Beide Werte kommen bei Untersucher\*in 3 vor.

Im Vergleich von dem/der Hauptuntersucher\*in zum zweiten Messzeitpunkt mit dem/der Vergleichsuntersucher\*innen ist der niedrigster Wert 0,93° und der höchste 9,62°. Die beiden höchsten und niedrigsten Schwankungen zum Zeitpunkt 1 und 2 wurden von Untersucher\*in 3 bei der Person G ermittelt.

Wenn man die *Tabelle 5* mit *Tabelle 6* vergleicht, ist sichtbar, dass die Abweichungen zwischen den ersten und zweiten Messzeitpunkt des/der Hauptuntersucher\*in **kleiner** sind als im Vergleich von Hauptuntersucher\*in mit den/der Untersucher\*in 2, 3 und 4.

Durch die ermittelte Werte zum dritten Messzeitpunkt kann man sehen, dass der die geringsten Abweichungen bei Untersucher\*in 2 und die höchsten Abweichungen bei Untersucher\*in 3 im Vergleich zum dem/der Hauptuntersucher\*in zu finden waren.

### 3.2.3. Untersucher\*in 1 vs. Untersucher\*in 2, 3 und 4 - ICC (Intraclass Correlation Coefficient)

	Untersucher*in 2	Untersucher*in 3	Untersucher*in 4
Untersucher*in 1 / Zeitpunkt 1	0,971	0,959	0,110
Untersucher*in 1 / Zeitpunkt 2	0,968	0,971	0,116

Tabelle 9 - ICC Auswertung zwischen Z1 und Z3 sowie Z2 und Z3 der Untersucher\*in 2,3 und 4

In der *Tabelle 9* ist die Übereinstimmungen zwischen Hauptuntersucher\*in und Vergleichsuntersucher\*innen zu sehen. Die größte Übereinstimmung haben Untersucher\*in 2 im Vergleich mit Untersucher\*in 1 zum ersten, und Untersucher\*in 3 im Vergleich mit Untersucher\*in 1 zum zweiten Messzeitpunkt. Die weit geringste Übereinstimmung zeigte Untersucher\*in 4 im Vergleich zu Untersucher\*in 1 zu beiden Messzeitpunkten.

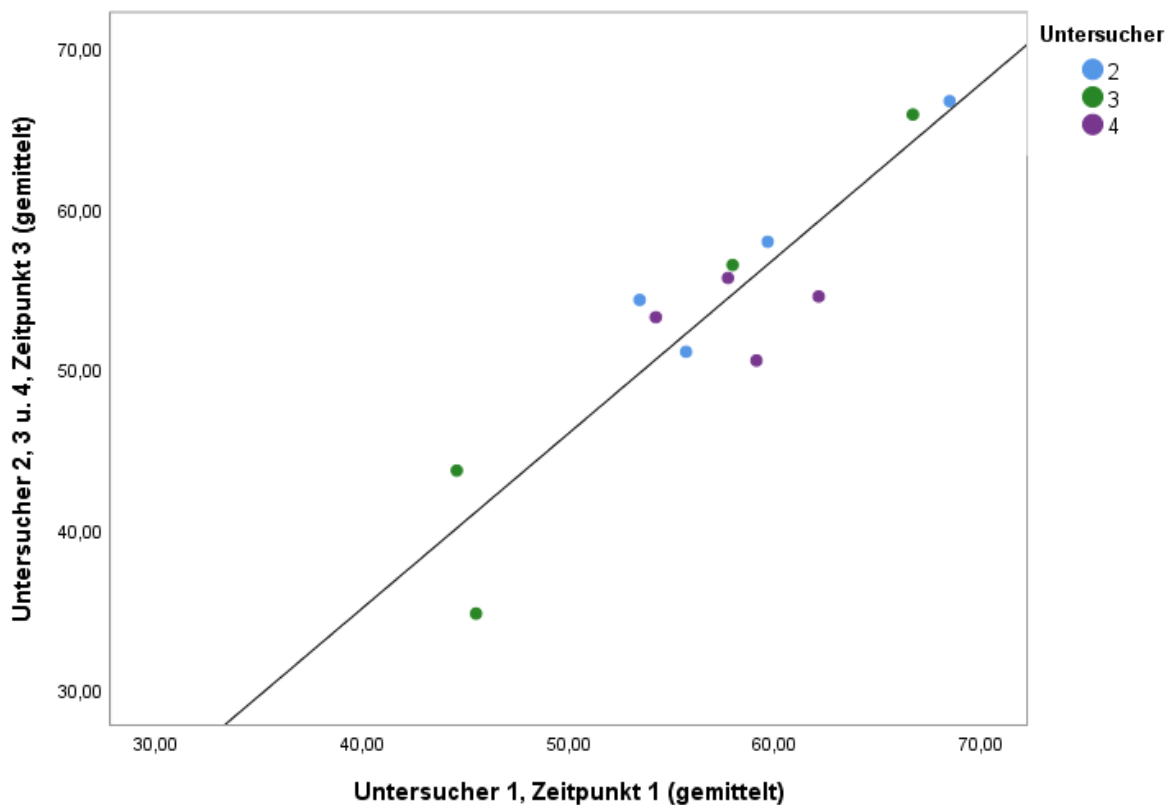


Diagramm 8 - ICC Streudiagramm. Vergleich der gemittelten ICC Werte zwischen Untersucher\*in 1 zum Zeitpunkt 1 und Untersucher\*in 2, 3 und 4 zum Zeitpunkt 3

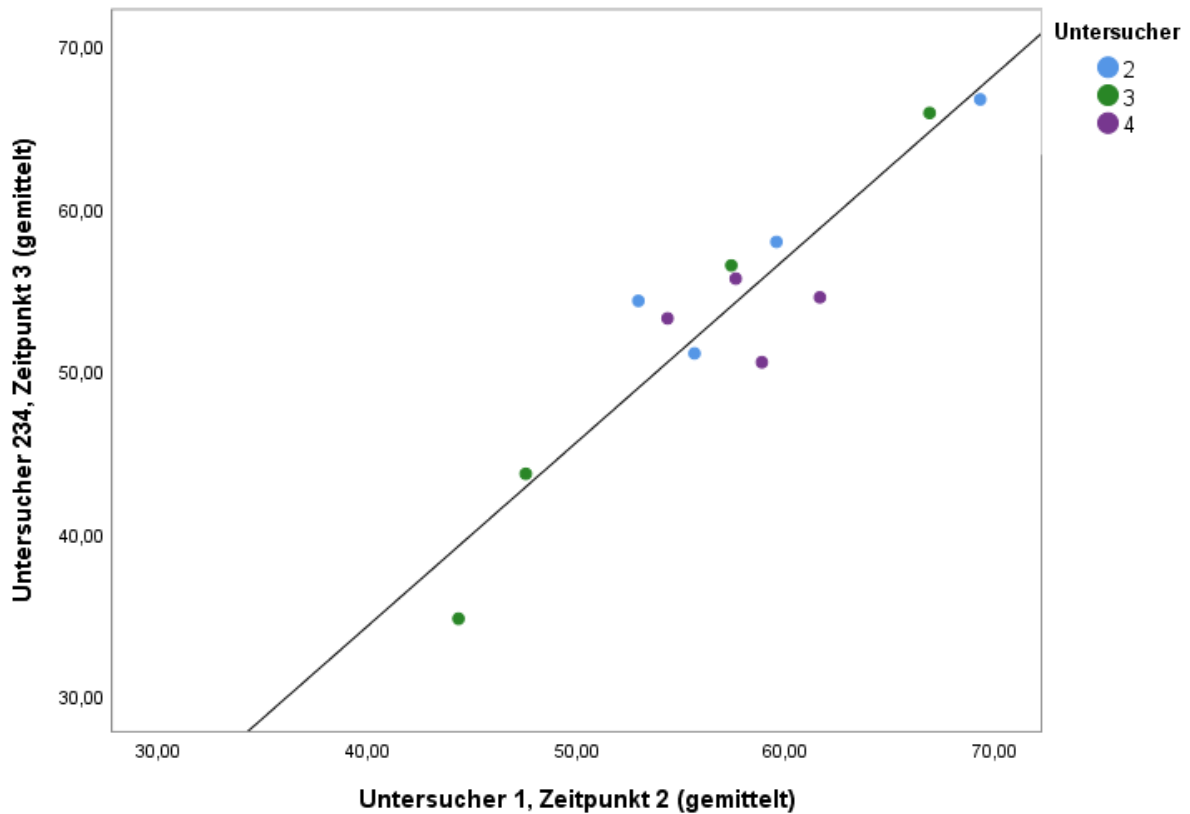
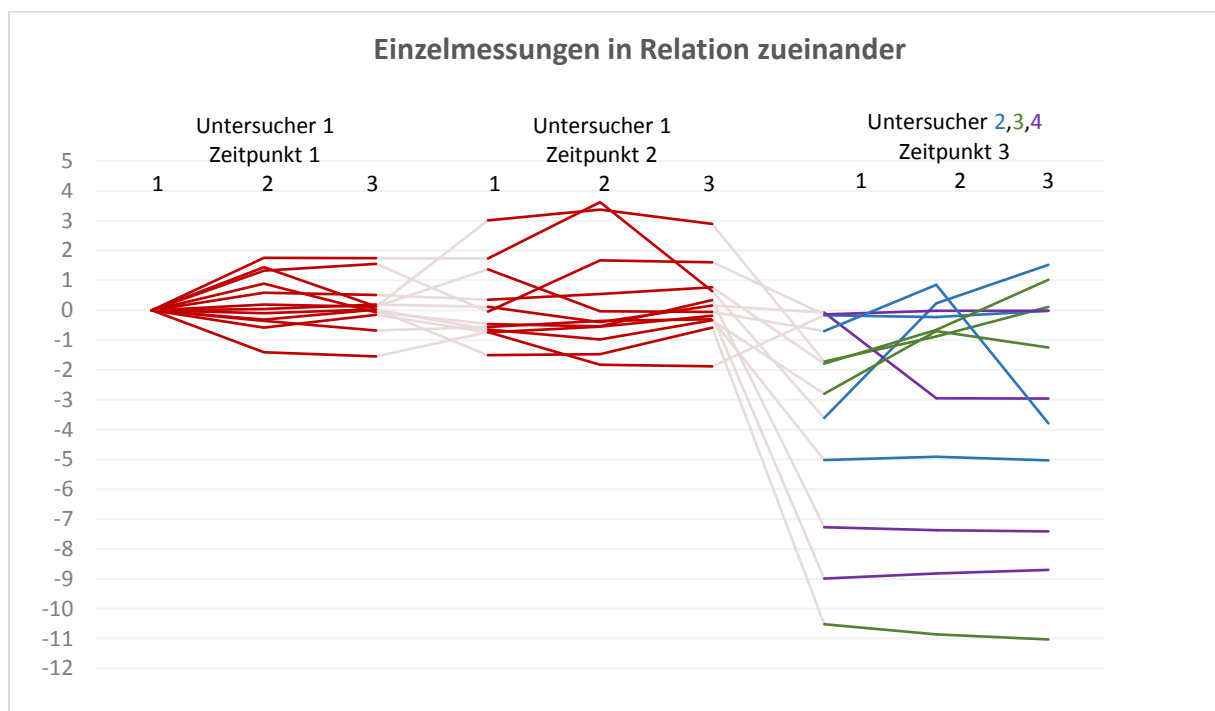


Diagramm 9 - ICC Streudiagramm. Vergleich der gemittelten ICC Werten zwischen Untersucher\*in 1 zum Zeitpunkt 2 und Untersucher\*in 2, 3 und 4 zum Zeitpunkt 3

Grafisch kann die paarweise Gegenüberstellung als **Streudiagramm** dargestellt werden. Im *Diagramm 8* und *9* sieht man eindeutig, dass Untersucher\*in 2, 3 und 4 schwächere Übereinstimmungen haben im Vergleich zu Untersucher\*in 1, bei welchem die Punkte sehr nah an der Linie liegen, wie in *Diagramm 7* aufgezeichnet.

## *Einzelmessungen in Relation zueinander*

In folgendem *Diagramm 10* sieht man alle Einzelmessungen, die zum Vergleich auf den Nullpunkt verschoben sind. Man erkennt, dass die Werte bei Untersucher\*in 2, Untersucher\*in 3 und Untersucher\*in 4 zum dritten Zeitpunkt viel mehr streuen als die Werte des Hauptuntersucher\*in zum Zeitpunkt 2 im Vergleich zum Zeitpunkt 1. Die höchsten Streuungen sind beim Untersucher\*in 4 und v.a. beim Untersucher\*in 3 festzustellen.



*Diagramm 10 - Einzelmessungen in Relation zueinander*

## 4. Diskussion

Die wichtigsten Fragen, die sich in Zusammenhang mit Frontinklinationsmessungen ergeben, sollen in der Diskussion beantwortet werden:

### *Welche Probleme ergeben sich bei der Inklinationsmessung in der Frontregion?*

In der Literatur wurden verschiedene fixe Punkte und Flächen von unterschiedlichen Untersucher\*innen beschrieben, die während der Inklinationsmessung verwendet wurden.

*Carey (1949)* hat die Inklinationsmessung der Unterkieferfrontzähne durch Ausrichtung eines Winkelmessers, der sich als senkrechte Linie zur Okklusionsebene aus lateraler Sicht projiziert hat, gemessen. Diese senkrechte Linie stellt eine Tangente dar, die an den labialen Alveolarkamm angelegt wird (*Abbildung 30*). Die Höhe des Berührungspunktes der Tangente aus der lateralen Sicht wurde nicht genau definiert und kann durch verschiedene Anwender dieser Methode unterschiedlich angesetzt werden. Dadurch kann nicht angenommen werden, dass vergleichbare Ergebnisse zu erwarten sind.

*Andrews L. F. (1972)* nahm für seine Frontinklinationsmessung eine Tangente her, die an die labiale Fläche der Frontzähne an der Stelle gelegt wurde, an der die Bracket später positioniert werden sollten (*Abbildung 36*). Sobald die zu messenden Zähne mit Brackets versehen sind, fällt diese Möglichkeit der Tangentenkonstruktion allerdings weg.

*Carlsson und Rönnerman (1973)* haben mit einem Projektor die Umrisse von Schneidezähnen abgebildet und dabei zwei fixe Punkte definiert. Der erste Punkt wurde 2,5mm von der Schneidekante Richtung zervikal und der zweite Punkt 6,9mm von der Schmelzzementgrenze Richtung incisal gelegt (*Abbildung 41*). Diese Art der Messung wurde an extrahierten Zähnen außerhalb des Mundes durchgeführt und kann Chairside nicht angewendet werden.

*Fredericks (1974) hingegen hat als fixen tangentialen Punkt die Bracketposition (4,2mm von der Scheidekante entfernt) angenommen (Abbildung 44). Gleich wie beim Andrews kann dieser Berührungspunkt während einer festsitzenden Therapie nicht als inklinationsbestimmender fixer Punkt verwendet werden.*

*Richmond (1998) und Ghahferokhi et al. (2002) haben bei der Anwendung ihres „Teeth Inclination Protractors“ (Abbildung 46, 47, 48, 49, 50) keinen fixen Punkt definiert, sondern den inklinationsbestimmenden Draht an die labiale Fläche des Frontzahnes gelegt. Durch nicht genau definierte Punkte an einer konvexen Fläche ist die Wahrscheinlichkeit, dass verschiedene Behandler zu unterschiedlichen Zeitpunkten einen geraden Draht gleich positionieren, sehr gering.*

*Shah (2005) hat in seinen Untersuchungen eine modifizierte Schiebelehre angewendet (Abbildung 53, 54). Hier diente die Ausrichtung des Metallführungsstabes an der labialen Fläche des Frontzahnes für die Inklinationsmessung. Einerseits wurde die Kontakthöhe dieses Führungstabes mit der Zahnoberfläche nicht genau definiert, andererseits kann das reproduzierbare Ansetzen des Messteils an die Schneidekante Probleme machen, wenn sich die Inklination stark ändert, d. h. die Schneidekantenspitze würde unterschiedlich tief in die Kerbe eingreifen. Dadurch würde auch der Metallführungsstab mehr oder weniger ausgelenkt werden.*

### *Vorteile der vorgestellten Chipmessung in der Frontregion?*

In unseren Untersuchungen haben wir uns für zwei fixe Punkte entschieden. Der erste Punkt ist die Mitte des Tuberculum palatinum und der zweite Punkt ist die Mitte des palatinalen Teils der Incisalkante des Zahnes 11 (Abbildung 65). Damit während den Messungen keine Fehler durch verschiedene Untersucher\*innen auftreten wie z.B. falsches Positionieren des Messgerätes oder ungenaue Bestimmung der Tangente, sind wir einen anderen Weg gegangen. Wir haben durch die Anfertigung einer individuellen Kunststoffkrone und einen Verlängerungsteil B (Abbildung 66, 67), die miteinander verklebt waren, dafür gesorgt, dass die durch uns definierte Zahnachse, immer individuell reproduzierbar positioniert werden kann und für Kontrollmessungen geeignet ist.

Vorteile dieser Methode im Vergleich zu den oben beschriebenen ist, dass sie uns ermöglicht, eine fixe, reproduzierbare, individuelle Art der Messung durchzuführen, die auch in vivo bei liegender kieferorthopädischer Apparatur verwendet werden kann. Für die praktische Durchführung wäre angedacht, zu Beginn auf den Gipsmodellzähnen des Patienten individuelle Kunststoffkäppchen anzufertigen, die während der gesamten Therapie für die Inklinationmessungen herangezogen werden können.

### *Warum sind gewisse Referenzebenen für die Messungen nicht ideal?*

Die oben erwähnten Untersucher\*innen haben die Inklination sowie die Stellung der Frontzähne in Relation zu verschiedenen Ebenen sowie knöchernen Strukturen untersucht.

*Salzmann (1945)* hat mit seinem Gerät, in natürlichen Kopfposition, die Inklination der Frontzähne zur Frankfurter Horizontalen (FH) gemessen. Die gleiche Referenzebene (FH) haben auch *Riedel (1957)*, *Downs (1948)* und *Tweed (1944)* in den eigenen Untersuchungen verwendet. *Der Nachteil der FH als Referenzebene ist die Schwierigkeit der Auffindung des Punktes in der Ohrregion ((Chate 1987).*

*Riedel* hat noch zusätzlich die Frontzahnstellung zur Verbindungslinie Nasion – Punkt A ermittelt. *Steiner (1953)* hat ebenfalls die Nasion – Punkt A – Linie verwendet, aber zusätzlich noch die Linie zwischen Nasion und Punkt B. *Die Problematik hier liegt darin, dass zwischen Inklination und den Punkten A und B nach Downs Abhängigkeiten bestehen, d.h. eine objektive Referenzlinie sollte keine Punkte enthalten, die kausal mit dem Messparameter korrelieren.*

*Carey (1952)* hat die Unterkiefer-Frontzahnstellung zu einem horizontal liegenden Draht ermittelt, der an die Kaufläche des unteren Zahnbogens gelegt wurde und die Okklusionsebene widerspiegeln sollte. *Andrews L. F. (1972)* hat bei der Kroneninklinationsuntersuchung die Okklusionsebene ebenfalls als Referenzebene angegeben, gleich wie *Richmond (1998)* und *Ghahferokhi (2002)*. *Die Problematik der Okklusionsebene als Referenz liegt erstens darin, dass sie sehr unterschiedlich definiert wird und zweitens ergibt sich in der Kieferorthopädischen Therapie per se das Problem, dass diese während der gesamten Behandlung Änderungen unterliegt, z.B. durch Spee-Ausnivellierung oder auch durch intermaxilläre Gummizüge.*

*Carlsson and Rönnerman (1973)* haben in ihrer Arbeit die Längsachse des Frontzahnes zur labialen Fläche des Frontzahnes untersucht. *Fredericks (1974)* hat in seinen Untersuchungen die Längsachse des oberen Schneidezahnes zu der Tangente (*maxillary incisor facial line*) und die gleiche Tangente zur knöchernen und weichgewebigen Nasion – Pogonion Linie (Laut *Fredericks: soft tissue facial line*) untersucht. Die Verwendung des Pogonion in Fernröntgen ist deutlich besser als die Punkte A und B nach Downs, da dieser Punkt dentoalveolär unabhängig ist. *Ein großer Nachteil aller drei Punkte ist, dass sie sich mit dem Wachstum ändern, weshalb diese Referenzlinien für Kinder und Jugendliche ungeeignet sind.*

Aufgrund der beschriebenen Nachteile wird in Graz bei der Fernröntgeninklinationsmessung die Verbindungslinie Sella – Nasion (vordere Schädelbasis) zu Inklinationsmessung verwendet, weil diese laut Droschl in ihrer Neigung schon früh konstant bleibt.

#### *Vorteil von uns verwendeten Referenzebene?*

In der vorliegenden Studie wurde, weil die vordere Schädelbasis ohne Röntgen leider nicht sichtbar ist, für die Inklinationsbestimmung des oberen Schneidezahnes eine Referenzebene gesucht, die in einer Schädelregion angesiedelt ist, die in der anatomischen Nähe derselben liegt. Daher fiel die Wahl auf einen SAM Außenbogen, weil dieser eine Referenzebene widerspiegelt, die klar und deutlich definiert ist. Zusätzlich wird der Außenbogen tagtäglich in der Zahnheilkunde verwendet und ist auch Kieferorthopäden in seiner Anwendung vertraut.

#### *Wie gut ist die Reproduzierbarkeit der Vorgestellten Methode?*

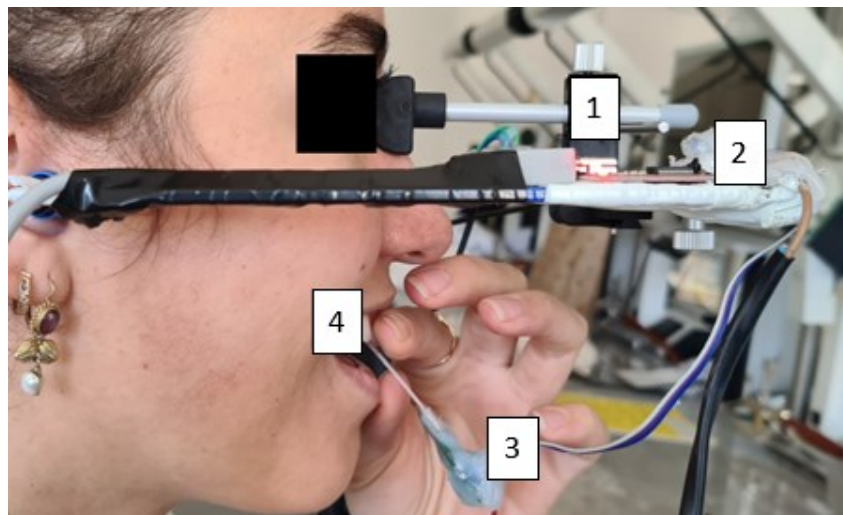
In der statistischen Auswertung wurde die „intra-“ und „interexaminar reliability“ sowie ICC ausgewertet. Dabei wurde festgestellt, dass wenn ein und die/der selbe/r Untersucher\*in misst, die Werte gut reproduzierbar waren, jedoch wenn mehrere andere Untersucher\*innen diese durchführen doch deutlichere Abweichungen auftreten. Für die tägliche Anwendung ist unsererseits empfehlenswert, dass die Messungen immer ausschließlich von einer Person durchgeführt werden, welche außerdem gut geschult sein sollte.

### *Weitere Vorteile der vorgestellten Messart?*

Der Vorteil der Methode ist die direkte Anwendung der Messart am Patienten. Es werden keine belastenden Röntgenstrahlen benötigt. Außerdem braucht man für die Inklinationsmessung nicht jedes Mal ein Gipsmodell anfertigen.

### *Möglicher Fehlerquellen der in dieser Arbeit vorgestellten Methode?*

Mögliche Fehlerquellen, die die Schwankungen der Messergebnisse verursacht haben, kann man grob in *menschliche* und *materielle Faktoren* einteilen.



*Abbildung 70 – Fehlerquellen*

Zu *menschlichen Faktoren* zählen wir den Einfluss des/der Untersucher\*in und/oder des/der Probanden\*innen auf die Messungen. Die Schwankungen, die während der Messungen aufgetreten sind (*Tabelle 1*), ist unserer Meinung nach auf die Positionierung des Außenbogens und Kunststoffkrone durch den/die Untersucher\*in zurückzuführen sowie die Unterlippenberührung der Verlängerung B (*Abbildung 66*) durch die Probanden\*innen. Beim Auflegen des Außenbogens muss daran gedacht werden, dass der Nasensteg gleich stark angezogen wird. Bei lockerer Glabellarolle kann es sein, dass der Bogen etwas nach kaudal abrutscht, was zu einer Änderung der Referenzebene führen würde. Zusätzlich muss darauf geachtet werden, dass der Patient während der Messung mit der Lippe den Messkörper nicht verschiebt.

Zu *materiälen Faktoren* gehören die Stabilität, Elastizität und Qualität der angewendeten Materialien. Man konnte an den Fotos, die während der Messungen angefertigt wurden, sehen, dass sich bei einigen Proband\*innen durch das Gewicht des Chip 1 und die dazu gehörigen Verbindungskabel, die Verlängerung B (*Abbildung 66, 67*) leicht verbogen hat. Teilweise ist es vorgekommen, dass die Kunststoffkrone A (*Abbildung 66, 67*) leicht am Zahn verrutscht ist, weswegen die Proband\*innen dann aufgefordert wurden, die Krone von bukkal, mit leichten Zug Richtung zervikal, fest zu halten. Hin und wieder ist auch vorgekommen, dass bevor wir mit den Messungen anfangen konnten, der Chip neu gestartet und kalibriert werden musste. Um diese Fehlerquellen zu beseitigen, würden wir empfehlen einen anderen, steiferen, Kunststoff zu nehmen, womit die elastische Deformierung der Kunststoffkrone beim Aufstecken auf den Zahn minimiert wird. Durch ein steiferes Material oder kürzeren Verlängerungsteil B, würde auch die eventuelle minimale Biegung desselben eliminiert werden.

## 5. Konklusion

1. Nach der Analyse der Ergebnisse können wir festhalten, dass unsere neue Methode gute reproduzierbare Ergebnisse liefert, wenn ein und der/die selbe/r Untersucher\*innen misst.
2. Es ist anzunehmen, dass die Messgenauigkeit erhöht werden kann, wenn die von uns erwähnten Änderungsvorschläge beachtet werden.
3. Wir können in dieser Studie nur Aussagen bezüglich der Chips der Firma Kionix KX122-1037 machen. Da es am Markt viele verschiedene Chips gibt, wäre es eventuell sinnvoll diese in zukünftigen Studien miteinander zu vergleichen.

Die in dieser Studie vorgestellte strahlenfreie Inklinationsmessung hat Potential zur Weiterentwicklung. Wir könnten uns vorstellen, dass eines Tages diese Art der Messung routinemäßig in der kieferorthopädischen Praxis angewandt werden kann.

## 6. Literaturverzeichnis

Andrews, L. F. (1972). "The six keys to normal occlusion." Am J Orthod **62**(3): 296-309.

Baldwin, D. C. (1980). "Appearance and aesthetics in oral health." Community dentistry and oral epidemiology **8**(5): 244-256.

Berscheid, E., et al. (1971). "Physical attractiveness and dating choice: A test of the matching hypothesis." Journal of experimental social psychology **7**(2): 173-189.

Byrne, D., et al. (1968). "The effects of physical attractiveness, sex, and attitude similarity on interpersonal attraction." Journal of personality.

Carey, C. (1952). "Diagnosis and case analysis in orthodontics." American Journal of Orthodontics **38**(3): 149-161.

Carlsson, R. and A. Roĸnnerman (1973). "Crown-root angles of upper central incisors." American Journal of Orthodontics **64**(2): 147-154.

Chate, R. (1987). "Cephalometric landmark identification within the petrous temporal region." British journal of orthodontics **14**(1): 33-41.

Dario, L. J., et al. (2002). "Electronic monitoring of dental implant osseointegration." The Journal of the American Dental Association **133**(4): 483-490.

Dempster, W., et al. (1963). "Arrangement in the jaws of the roots of the teeth." The Journal of the American Dental Association **67**(6): 779-797.

Dion, K. K. (1972). "Physical attractiveness and evaluation of children's transgressions." Journal of Personality and Social Psychology **24**(2): 207.

Downs, W. B. (1948). "Variations in facial relationships: their significance in treatment and prognosis." American Journal of Orthodontics **34**(10): 812-840.

Downs, W. B. (1956). "Analysis of the dentofacial profile." The Angle Orthodontist **26**(4): 191-212.

Droschl, H. (1984). Die Fernröntgenwerte unbehandelter Kinder zwischen dem 6. und 15. Lebensjahr, Quintessenz-Verlag.

Eichler, M., et al. (2009). "Einsatz von Mikroplasma für die Herstellung von Silizium-Mehrlagenaufbauten." Vakuum in Forschung und Praxis **21**(4): 6-9.

FREDERICKS, C. D. (1974). "A method for determining the maxillary incisor inclination." The Angle Orthodontist **44**(4): 341-345.

Gesellschaft für Zahngesundheit, F. u. Ä. (o. D.). "Funktion des Kauapparates,." from <https://www.gzfa.de/diagnostik-therapie/cmd-craniomandibulaere-dysfunktion/cmd-diagnostik/gnathologie/>.

Ghahferokhi, A. E., et al. (2002). "Critical assessment of a device to measure incisor crown inclination." American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics **121**(2): 185-191.

Harris, D. B. (1959). "Sex differences in the life problems and interests of adolescents, 1935 and 1957." Child Development: 453-459.

Hellwig, E. and K. M. Lehmann (2005). Zahnärztliche Propädeutik, Elsevier, Urban und Fischer.

Hey, S., et al. (2014). "Erfassung körperlicher Aktivität mittels Akzelerometrie–Möglichkeiten und Grenzen aus technischer Sicht." B&G Bewegungstherapie und Gesundheitssport **30**(02): 73-78.

Huston, T. L. (1973). "Ambiguity of acceptance, social desirability, and dating choice." Journal of experimental social psychology **9**(1): 32-42.

Johnson, R. C. (2007). "There's more to MEMS than meets the iPhone." EE Times: 07-09.

Kanjanaouthai, A., et al. (2012). "Effect of the inclination of a maxillary central incisor on periodontal stress: finite element analysis." The Angle Orthodontist **82**(5): 812-819.

Karrer, M. (2002). "Das Schöne, das Gesicht und die Zähne: Blicke in die Ästhetik." Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift **57**(9): 515-525.

Karrer, M. (2004). "Das schöne Gesicht mit schonen Zähnen: Reiz und Grenzen der Gestaltung." Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift **59**(5): 248-256.

Lehmann, K. M., et al. (2012). Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde; mit 32 Tabellen, Deutscher Ärzteverlag.

MEMS & Nanotechnology Exchange (o. D.). "What is MEMS Technology?". from <https://www.mems-exchange.org/MEMS/what-is.html>.

Miller, A. G. (1970). "Role of physical attractiveness in impression formation." Psychonomic Science **19**(4): 241-243.

Mills, J. and E. Aronson (1965). "Opinion change as a function of the communicator's attractiveness and desire to influence." Journal of Personality and Social Psychology **1**(2): 173.

Mills, J. and J. Harvey (1972). "Opinion change as a function of when information about the communicator is received and whether he is attractive or expert." Journal of Personality and Social Psychology **21**(1): 52.

Minami, I., et al. (2010). "Measurement of jerk-cost using a triaxial piezoelectric accelerometer for the evaluation of jaw movement smoothness." Journal of oral rehabilitation **37**(8): 590-595.

Nanda, R. S. and J. Ghosh (1995). Facial soft tissue harmony and growth in orthodontic treatment. Seminars in orthodontics, Elsevier.

Perrin, F. A. (1921). "Physical Attractiveness and Repulsiveness." Journal of Experimental Psychology **4**(3): 203.

Powell, M. (1955). "Age and sex differences in degree of conflict within certain areas of psychological adjustment." Psychological Monographs: General and Applied **69**(2): 1.

Prestel, D. (2017). Informationstechnische Verbesserung des Zahnputzvorgangs, VDI Verlag GmbH.

Profilvermessung, P. "µm-genaue Digital-Messtaster."

Rakosi, T. (1988). Atlas und Anleitung zur praktischen Fernröntgenanalyse, Hanser.

Richmond, S., et al. (1998). "Assessing incisor inclination: a non-invasive technique." The European Journal of Orthodontics **20**(6): 721-726.

Riedel, R. A. (1957). "An analysis of dentofacial relationships." American Journal of Orthodontics **43**(2): 103-119.

Romexis® Cephalometric Analysis (o. D.). "Software for orthodontic treatment planning." from <https://www.planmeca.com/software/software-modules/planmeca-romexis-cephalometric-analysis/>.

Runte, C., et al. (2002). "Spectral analysis of/s/sound with changing angulation of the maxillary central incisors." International Journal of Prosthodontics **15**(3).

Salzmann, J. (1945). "The maxillator: A new instrument for measuring the frankfort-mandibular base angle, the incisor mandibular base angle, and other component parts of the face and jaws." American journal of orthodontics and oral surgery **31**(12): 608-617.

Schlosser, J. B., et al. (2005). "The effects of computer-aided anteroposterior maxillary incisor movement on ratings of facial attractiveness." American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics **127**(1): 17-24.

Shah, N., et al. (2005). "A jig for measuring incisor inclination." The European Journal of Orthodontics **27**(3): 252-257.

Singer, J. E. (1964). "The use of manipulative strategies: Machiavellianism and attractiveness." Sociometry: 128-150.

Slavicek, R. (1984). "Die funktionellen Determinanten des Kauorgans." München: Zahnärztliches medizinisches Schrifttum.

Slavicek, R. (2000). Das Kauorgan: Funktionen und Dysfunktionen, Gamma, Med.-Wiss.-Fortbildungsges.

Slavicek, R. (2002). The masticatory organ: functions and dysfunctions, GAMMA Medizinisch-wissenschaftliche Fortbildung-AG.

Steiner, C. C. (1953). "Cephalometrics for you and me." American Journal of Orthodontics **39**(10): 729-755.

Stoner, M. M. (1955). "A photometric analysis of the facial profile: a method of assessing facial change induced by orthodontic treatment." American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics **41**(6): 453-469.

Suckert, R. (1992). Okklusions-Konzepte, Verlag Neuer Merkur GmbH.

Sui, Z., et al. (2006). "Biting efficiency in relation to incisal angulation." Archives of Oral Biology **51**(6): 491-497.

Tweed, C. H. (1946). "The Frankfort-mandibular plane angle in orthodontic diagnosis, classification, treatment planning, and prognosis." American journal of orthodontics and oral surgery **32**(4): 175-230.

Viecelli, C., et al. (2020). "Using smartphone accelerometer data to obtain scientific mechanical-biological descriptors of resistance exercise training." PloS one **15**(7): e0235156.

von Haaren-Mack, B. (2018). "Erfassung körperlicher Aktivität." B&G Bewegungstherapie und Gesundheitssport **34**(02): 67-72.