

Rotationsformen des Unterkiefers bei der Herbst- Behandlung

Eine röntgenkephalometrische Untersuchung der
Langzeitveränderungen der Total-, Matrix- und Intramatrix-Rotation

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Jörn Heinz Kruse
aus Neumünster

Gießen 1999

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Abteilung Kieferorthopädie
Leiter: Prof. Dr. Pancherz
des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Pancherz
Gutachter: Prof. Dr. Alzen

Tag der Disputation: 03.04.2000

*Meiner Familie und
meinen Freunden gewidmet*

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1	EINLEITUNG	1
1.1	Prä- und postnatales Unterkieferwachstum	1
1.2	Rotation des Unterkiefers	2
1.2.1	Beschreibung der Unterkieferrotation nach BJÖRK	2
1.2.2	Beschreibung der Unterkieferrotation nach ISAACSON und SOLOW	7
1.3	Der Distalbiß (Klasse II/1)	8
1.3.1	Morphologie und Wachstumsmuster	8
1.3.2	Kieferorthopädische Behandlung mit konventionellen abnehmbaren und festsitzenden Geräten	9
1.3.3	Kieferorthopädische Behandlung mit der Herbst-Apparatur	11
2	ZIEL	14
3	MATERIAL	15
3.1	Probanden und Röntgenbilder	15
3.1.1	Herbst-Patientengruppe	15
3.1.2	Dysgnathe Kontrollgruppe	16
3.1.3	Eugnathe Kontrollgruppe (Bolton-Standards)	17
4	METHODE	19
4.1	Vermessung der Röntgenbilder	19
4.2	Superponierung der Röntgenbilder	19
4.3	Referenzlinien	20
4.4	Untersuchungsvariablen	21
4.5	Gesichtstypgruppierung	22
5	STATISTISCHE METHODEN	26

5.1	Bestimmung des Methodenfehlers	26
6	ERGEBNISSE	28
6.1	Herbst-Patienten - gesamtes Probandengut	30
6.1.1	Total-Rotation des Unterkiefers	30
6.1.2	Matrix-Rotation des Unterkiefers	30
6.1.3	Intramatrix-Rotation des Unterkiefers	30
6.2	Herbst-Patienten - die drei Gesichtstypgruppen	31
6.2.1	Hypodivergente Gruppe	31
6.2.1.1	Total-Rotation des Unterkiefers	31
6.2.1.2	Matrix-Rotation des Unterkiefers	31
6.2.1.3	Intramatrix-Rotation des Unterkiefers	32
6.2.2	Normodivergente Gruppe	32
6.2.2.1	Total-Rotation des Unterkiefers	32
6.2.2.2	Matrix-Rotation des Unterkiefers	32
6.2.2.3	Intramatrix-Rotation des Unterkiefers	33
6.2.3	Hyperdivergente Gruppe	33
6.2.3.1	Total-Rotation des Unterkiefers	33
6.2.3.2	Matrix-Rotation des Unterkiefers	33
6.2.3.3	Intramatrix-Rotation des Unterkiefers	34
6.3	Dysgnathe Kontrollgruppe	34
6.3.1	Total-Rotation des Unterkiefers	34
6.3.2	Matrix-Rotation des Unterkiefers	34
6.3.3	Intramatrix-Rotation des Unterkiefers	34
6.3.4	6.4 Eugnathe Kontrollgruppe (Bolton-Standards)	35
6.4.1	Total-Rotation des Unterkiefers	35
6.4.2	Matrix-Rotation des Unterkiefers	35
6.4.3	Intramatrix-Rotation des Unterkiefers	35
6.5	Vergleich der drei Gesichtstypgruppen	41
6.5.1	Vergleich hypo- und normodivergente Gruppe	41
6.5.1.1	Total-Rotation des Unterkiefers	41

6.5.1.2	Matrix-Rotation des Unterkiefers	41
6.5.1.3	Intramatrix-Rotation des Unterkiefers	41
6.5.2	Vergleich normo- und hyperdivergente Gruppe	42
6.5.3	Vergleich hypo- und hyperdivergente Gruppe	42
7	DISKUSSION	47
7.1	Material	47
7.2	Methode	48
7.3	Ergebnisse	49
7.3.1	Veränderungen während der Herbst-Behandlung	49
7.3.2	Veränderungen nach der Herbst-Behandlung	53
7.3.3	Vergleich der drei Gesichtstypgruppen	55
7.3.4	Veränderungen in der dys- und eugnathen Kontrollgruppe	56
7.3.5	Vergleich männlicher und weiblicher Herbst-Patienten	56
8	SCHLUßFOLGERUNG	58
9	ZUSAMMENFASSUNG	59
10	SUMMARY (Zusammenfassung in Englisch)	62
11	LITERATUR	64
12	ANHANG	78

1 EINLEITUNG

1.1 Prä- und postnatales Unterkieferwachstum

Die embryonale Entwicklung des Unterkiefers ist gekennzeichnet durch die Ausbildung des Meckel'schen Knorpels innerhalb des ersten Pharyngealbogens, dem Mandibularbogen. Er entsteht in der 6. Schwangerschaftswoche und stellt eine Art Leitschiene für die Verknöcherung der Mandibula dar, trägt jedoch selbst kaum zu deren Knochenbildung bei. Lateral des Meckel'schen Knorpels formen sich desmale Knochenplatten, aus denen der spätere Unterkiefer entsteht. Aus dem dorsalen Anteil des Knorpels geht das primäre Kiefergelenk hervor, welches später seine Beziehung zur Mandibula verliert und sich mit der Ausbildung des Mittelohres zum Malleus-Incus Gelenk entwickelt. In der 10. Schwangerschaftswoche beginnt mit der Entstehung der Kondylen die Entwicklung des eigentlichen, sogenannten sekundären Kiefergelenks. An dessen Gelenkflächen entsteht unter funktioneller Belastung sekundärer Faserknorpel. Die Mandibula wächst intrauterin bis zum Alter von 6-8 Monaten durch Apposition in alle Richtungen.⁹²

Nach der Geburt erfolgt die Größenzunahme des Unterkiefers durch enchondrale Ossifikation im Bereich des Processus condylaris und desmale Ossifikation an den von Periost und Endost umkleideten Knochenflächen. An der Außen- und Innenseite der Mandibula können charakteristische appositionelle und resorptive "Wachstumsfelder" unterschieden werden. Apposition und Resorption an den jeweils gegenüberliegenden Knochenflächen kennzeichnen gemeinsam den Prozeß der Remodellation, einem fundamentalen Wachstumsvorgang, der nötig ist, da alle Teilkomponenten eines Knochens infolge ihrer Größenzunahme gegeneinanderbewegt und fortlaufend in neue Positionen verlagert werden. Die Verlagerung, von ENLOW³⁵ als "displacement" bezeichnet, findet ebenso an den artikulierenden und suturalen Flächen zweier Knochen statt. So wird die Mandibula im Verlaufe ihres Wachstums von ihren Artikulationsflächen in den Fossae glenoidales nach anterior und inferior transloziert. Ihre Größenzunahme

erfährt die Mandibula durch Knochenanlagerung posterior und superior am Ramus und am Kondylus. Es wird davon ausgegangen, daß die Translation des Knochens durch die expansive Kraft der ihn umgebenden Weichteile hervorgerufen und neuer Knochen gleichzeitig auf der Kontaktfläche bei Beibehaltung der artikulären Verbindung angelagert wird.³⁵ Die Entwicklung der definierten morphologischen Struktur und die Einnahme einer bestimmten Position des Unterkiefers werden durch die funktionellen Einflüsse der umgebenden Weichgewebe bewirkt. Die periostale funktionelle Matrix bewirkt durch Appositions- und Resorptionsprozesse direkt die Größenzunahme und Transformation des Knochens, die kapsuläre funktionelle Matrix gibt den äußeren Rahmen vor und führt indirekt über Translationsvorgänge zur Größenzunahme ihrer skelettalen Einheit.⁶⁰

1.2 Rotation des Unterkiefers

Aufgrund der Ergebnisse früherer röntgenkephalometrischer Longitudinalstudien war man lange der Auffassung, daß die Form des wachsenden Unterkiefers nahezu unverändert bleibt und der Unterrand der Mandibula parallel nach kaudal wandert.^{20,81} BJÖRK¹⁴ fand jedoch anhand von Knochenimplantaten als Referenzmarker heraus, daß der Unterkieferkörper während des Wachstums rotiert und Remodellationsprozesse am Unterrand dies größtenteils verdecken (Abb. 1, S. 3).

1.2.1 Beschreibung der Unterkieferrotation nach BJÖRK

BJÖRK¹⁴ beobachtete, daß die Mandibula während des Wachstums nach anterior oder posterior rotiert. Daneben bemerkte er ein jeweils charakteristisches Kondyluswachstum in Richtung und Größe: Die anteriore Unterkieferrotation, bei der man auch von einem horizontalen Wachstumsmuster spricht, beinhaltet ein nach superior und anterior gerichtetes Kondyluswachstum, die posteriore Unterkieferrotation hingegen, bei der man von einem vertikalen Wachstumsmuster

spricht, ein nach posterior gerichtetes Kondyluswachstum. Ein neutrales Wachstumsmuster kennzeichnet den Normalfall und beinhaltet eine leichte anteriore Unterkieferrotation mit einem nach superior und leicht nach anterior gerichtetem Kondyluswachstum:¹⁶

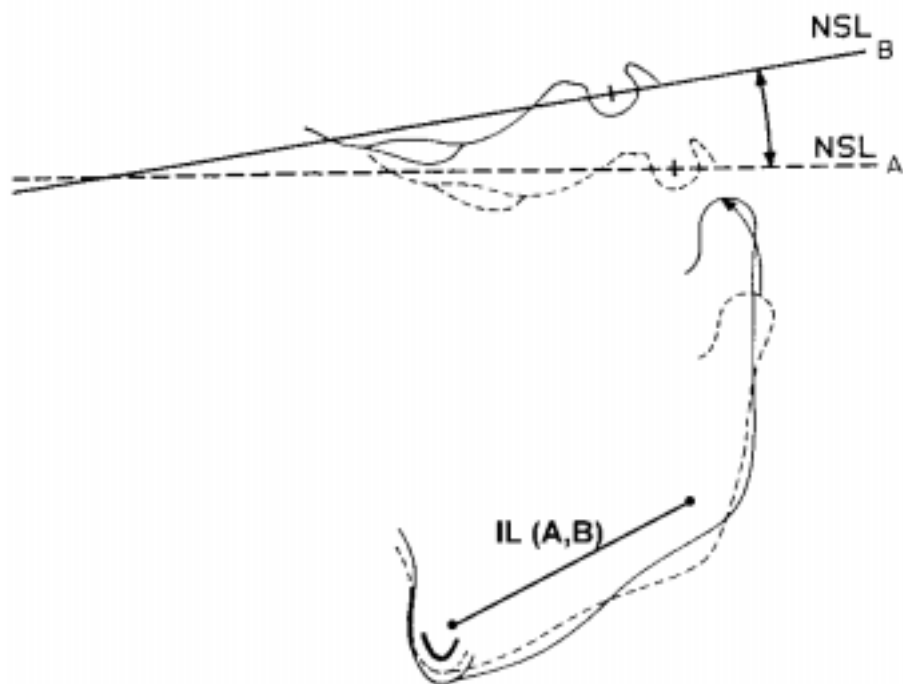


Abb. 1: Messung der Unterkieferrotation mit Hilfe von Knochenimplantaten. Zwei Implantate werden in Fernröntgenseitenbildern des Kopfes mit einer Linie (Implantatlinie IL) verbunden und zwei zeitlich unterschiedliche Röntgenbilder (A und B) über IL überlagert. Die Rotation des Unterkiefers wird in Bezug zur Nasion-Sella-Linie gemessen. Die appositionellen und resorptiven Veränderungen des Mandibula-Unterrandes und das Kondyluswachstum während des Zeitraumes A bis B sind sichtbar. Das Beispiel zeigt eine anteriore Unterkieferrotation bei einem anterior gerichtetem Kondyluswachstum (Modifiziert nach BJÖRK¹⁶).

Eine ausgeprägte Rotation des Unterkiefers hat einen großen Einfluß auf die Entwicklung des Gesichts und der Dentition, insbesondere in vertikaler Richtung.¹⁴ Dabei spielt die Lage des Rotationszentrums eine Rolle, das nicht nur im Kiefergelenk, sondern auch im Bereich des Unterkieferknochens liegen kann. BJÖRK¹⁶ unterschied diesbezüglich fünf Rotationstypen, drei vom anterioren Typ, zwei vom posterioren:

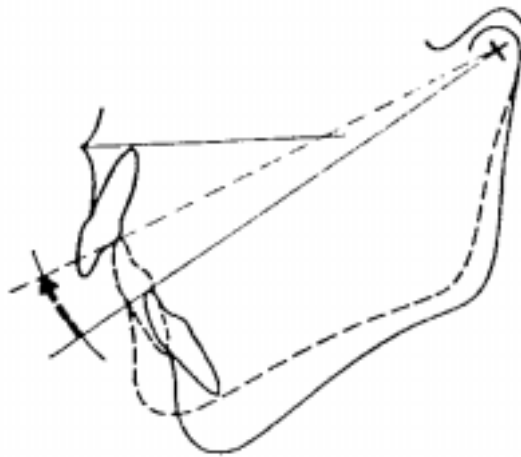


Abb. 2: *Anteriore Rotationstyp 1:* Unterkieferrotation mit Rotationszentrum im Kondylus, verursacht durch Bißsenkung z. B. infolge von Zahnverlust (nach BJÖRK¹⁶).

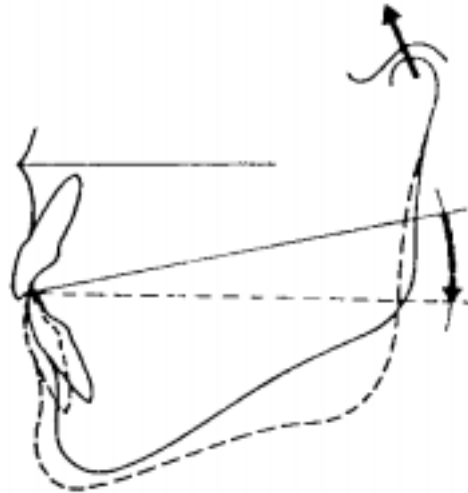


Abb. 3: *Anteriorer Rotationstyp 2:* Unterkieferrotation bei anteriorem Kondyluswachstum mit Rotationszentrum im Bereich der Frontzähne durch gute inzisale Abstützung, typisch für die normale Entwicklung der Mandibula (nach BJÖRK¹⁶).

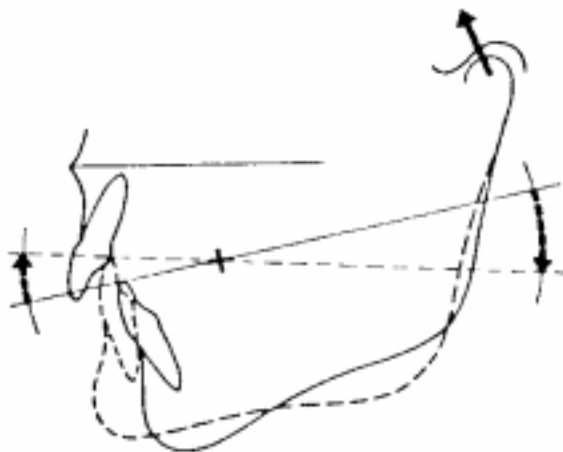


Abb. 4: *Anteriorer Rotationstyp 3:* Unterkieferrotation bei anteriorem Kondyluswachstum mit Rotationszentrum im Bereich der Praemolaren durch schlechte inzisale Abstützung, führt zum skelettalen Tiefbiß (nach BJÖRK¹⁶).

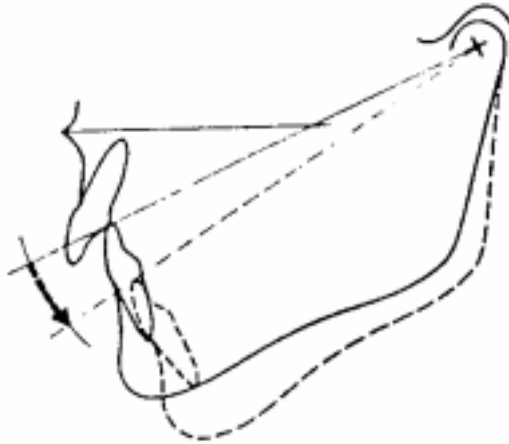


Abb. 5: *Posteriorer Rotationstyp 1:* Unterkieferrotation mit Rotationszentrum im Bereich der Kondylen, verursacht durch Bißhebung, z. B. infolge von Molarenextrusion (nach BJÖRK¹⁶).

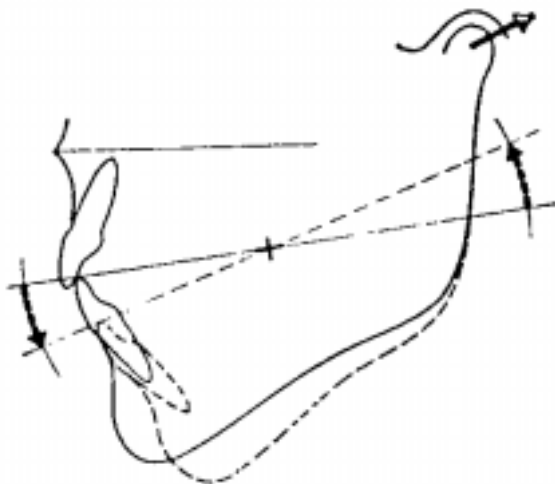


Abb. 6: *Posteriorer Rotationstyp 2:* Unterkieferrotation bei posteriorem Kondyluswachstum mit Rotationszentrum im Bereich der Molaren, führt zum skelettal offenen Biß (nach BJÖRK¹⁶).

In einer späteren Untersuchung gingen BJÖRK und SKIELLER¹⁷ der Frage nach, wie sich die durch Knochenremodellationsvorgänge bedingten Veränderungen des Mandibulaunterrandes zur Rotation des Unterkiefers verhalten. Sie definierten dazu drei Rotationsformen des Unterkiefers: (1) Total-Rotation: Veränderung einer Implantatlinie im Corpus mandibulae relativ zur vorderen Schädelbasis; (2) Matrix-Rotation: Veränderung der Tangente am Unterrand der Mandibula relativ zur vorderen Schädelbasis. Die Matrix-Rotation wird von der Weichgewebematrix bestimmt; (3) Intramatrix-Rotation: Veränderung der Implantatlinie relativ zur Mandibulartangente. Die Intramatrix-Rotation ist die Differenz zwischen der totalen und der Matrix-Rotation und repräsentiert Remodellationsvorgänge am Mandibulaunterränd.

BJÖRK und SKIELLER¹⁷ und später auch DIBBETS³¹ fanden, daß die Total-Rotation des Unterkiefers mit dem kondylären Wachstum korreliert und sich infolgedessen zur Voraussage des Wachstumsmusters nutzen ließe. Die Matrix-Rotation ist identisch mit der Total-Rotation, wenn keine Umbauprozesse am Mandibulaunterränd stattfinden (Abb. 5, S. 6). In der Regel macht die Matrix-Rotation jedoch lediglich etwa 60 % der totalen Rotation aus und korreliert nicht mit dem Kondyluswachstum, ist daher vom Wachstumsmuster unabhängig.¹⁷

1.2.2 Beschreibung der Unterkieferrotation nach ISAACSON und SOLOW

ISAACSON⁴⁷ und SOLOW⁹⁰ meinen, daß die Total-Rotation des Unterkieferkörpers die rotierenden Momente aller Knochen zwischen der Referenzlinie in der vorderen Schädelbasis und dem Corpus mandibulae beinhaltet. Dazu gehören neben dem Kondylus die hintere Schädelbasis und der temporale Knochen mit der Fossa glenoidalis. Das Wachstum dieser Knochen bestimmt die hintere Gesichtshöhe. Die vordere Gesichtshöhe ergibt sich aus dem vertikalen Wachstum des nasomaxillären Komplexes und der Alveolarfortsätze des Ober- und Unterkiefers sowie der Molareneruption. Übertrifft das Wachstum im posterioren Gesichtsbereich das im anterioren Gesichtsbereich, so kommt es zu

einer anterioren Unterkieferrotation. Ist das Wachstum im posterioren Gesichtsbereich gegenüber dem im anterioren Gesichtsbereich vermindert, so resultiert daraus eine posteriore Unterkieferrotation. Im Normalfalle übertrifft das Vertikalwachstum des Kondylus dasjenige des nasomaxillären Komplexes und der Alveolarfortsätze des Ober- und Unterkiefers mit der Folge, daß die Mandibula nach anterior rotiert.

1.3 Der Distalbiß (Klasse II/1)

1.3.1 Morphologie und Wachstumsmuster

ANGLE³ klassifizierte erstmals die sagittale Fehllage von Oberkiefer zu Unterkiefer. Dabei unterschied er anhand der Lagebeziehung der oberen und unteren Zähne zueinander zwei Formen des Distalbisses: die Klasse II/1 mit proklinierten oberen Schneidezähnen und die Klasse II/2 mit retroklinierten oberen Schneidezähnen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden ausschließlich Patienten mit einer Klasse II/1 untersucht.

BUSCHANG ET AL.²⁴ sowie BISHARA ET AL.¹² stellten fest, daß bezogen auf das Wachstumsmuster nur geringe Unterschiede zwischen eugnathen Individuen und Klasse-II/1-Fällen bestehen. Die Hauptunterschiede sind in der geringeren Mandibulalänge, dem vergrößerten ANB-Winkel und der Tendenz zu einem mehr vertikalen Wachstumsmuster mit posteriorer Rotation der Mandibula in Klasse-II-Fällen zu sehen. Diese Unterschiede sind vor allem in frühen Entwicklungsstadien zu erkennen und verlieren mit zunehmendem Alter immer mehr an Deutlichkeit. Dagegen fanden ENLOW³⁵ und HOYER⁴⁵, daß Klasse-II-Dysgnathien von einer vergrößerten oberen Gesichtshöhe und einer verringerten unteren bei normaler totaler Gesichtshöhe begleitet sind. ISAACSON^{47,48} fand in der Verteilung der Rotationszentren des Unterkiefers zwischen Klasse-II-Fällen und eugnathen Individuen keine Unterschiede. Auch bei den Klasse-II-Fällen fand in der Regel

eine anteriore Rotation des Unterkiefers mit günstiger Verlagerung der Dentition nach anterior inferior statt.

Die kieferorthopädische Behandlung des Distalbisses bei horizontalem Wachstumsmuster ist allgemein günstig, weil der Unterkiefer nach anterior in die therapeutische Richtung rotiert.^{16,27,48} Funktionskieferorthopädische Apparaturen (si. Seite 10) sind daher das Mittel der Wahl.⁷⁹ Beachtet werden muß eine gute Frontzahnabstützung, um die Entstehung eines skelettalen Tiefbisses zu vermeiden (Abb. 3,4, S. 5).^{64,65}

Die kieferorthopädische Behandlung des Distalbisses ist dagegen bei vertikalem Wachstumsmuster (posteriore Rotation der Mandibula) erschwert bis unmöglich.^{27,63,83,96,103} Ursache dafür ist einerseits das deutlich geringere Wachstum des Kondylus,^{16,65} andererseits die mehr nach inferior und weniger nach anterior gerichtete Verlagerung der Dentition und des Kinns.^{47,48} Darüberhinaus weisen der überwiegende Anteil der Patienten dieses Wachstumstyps Dysfunktionen und Habits auf, die das posteriore Wachstum des Unterkiefers fördern.^{65,98} Außerdem hat die Langzeitstabilität der Distalbißbehandlung bei diesem Wachstumstyp eine schlechte Prognose. Befürwortet wird daher in diesen Fällen, das Wachstumsende abzuwarten und die Therapie mit Extraktion von Zähnen und fester Apparatur zu planen oder die Vorverlagerung der Mandibula chirurgisch anzugehen.^{17,27,55,64}

1.3.2 Kieferorthopädische Behandlung mit konventionellen abnehmbaren und festsitzenden Geräten

Bereits 1877 sind von KINGSLEY⁵¹ Distalbißbehandlungen (Klasse II/1) durchgeführt worden, um durch sogenanntes "jumping the bite" das Unterkieferwachstum anzuregen. In Tierversuchen, bei welchen die Mandibula zwangsweise beim Zusammenbeißen vorverlagert wurde, konnte die

Stimulierbarkeit des kondylären Wachstums bewiesen werden.^{18,34,58,94}

Das Prinzip des "jumping the bite" zur Distalbißbehandlung hat sich im wesentlichen bis heute nicht verändert. Die in der Funktionskieferorthopädie verwendeten Apparaturen, wie zum Beispiel der Aktivator², Bionator⁴ und Funktionsregler³⁷ sind bei guter Patientenkooperation sehr effektiv und führen im allgemeinen nach zwei- bis dreijähriger Behandlung zu einer Normalisierung der Okklusion.

Röntgenkephalometrische Untersuchungen einiger Autoren deuten auf eine Förderung des kondylären Wachstums bei der Aktivatorbehandlung hin.^{10,33} Andere Studien hingegen sehen die Okklusionsveränderungen als Folge dentoalveolärer Umbauvorgänge.^{13,41,49} Radiologische Untersuchungen der Kiefergelenke nach Aktivator-Behandlung konnten auch einen Knochenanbau im posterioren Anteil der Fossa glenoidalis zeigen.²⁹ BIRKEBAEK ET AL.¹⁰ bestätigten in einer implantatgestützten Studie diese Ergebnisse.

Die Behandlung des Distalbisses mit konventionellen festsitzenden Geräten basiert auf der dentoalveolären Wirkung von Klasse-II-Gummizügen^{27,36,80} und dem Headgear.^{26,53,59,80,100} Meist ist aber die Extraktion von zwei Praemolaren im Oberkiefer oder vier Praemolaren, zwei im Ober- und zwei im Unterkiefer, unumgänglich,⁷ um genügend Platz innerhalb des Zahnbogens für die nötigen Zahnbewegungen zu erhalten. Der Headgear hat außer der dentalen Wirkung auf die Oberkieferzähne einen hemmenden Effekt auf das Oberkieferwachstum.^{21,50,52,80,95,100} Die Auswirkung der Behandlung mit festsitzender Apparatur auf die Rotationsformen des Unterkiefers wurde von einigen Autoren an Einzelfällen untersucht. BJÖRK und SKIELLER¹⁷ zeigten mit Hilfe von Implantaten an einem Patienten vom anterioren Wachstumstyp, daß sich die Matrix-Rotation während der Behandlung deutlich nach posterior und die Intramatrix-Rotation entgegengesetzt im gleichen Umfang nach anterior änderte, während keine Total-Rotation zu finden war. Nach der Behandlung wechselte die Matrix-Rotation wieder nach anterior und es setzte eine anteriore Total-Rotation ein, ohne daß

eine Intramatrix-Rotation auftrat. Bei einem anderen Implantat-Patienten¹⁷ vom posterioren Wachstumstyp hatte die nach dem Wachstumsende eingesetzte Apparatur den Effekt, daß Total- und Matrix-Rotation stärker posterior waren und keine Intramatrix-Rotation zu finden war. In einem weiteren Fall mit beidseitiger Kondylusfraktur wurde die in der Pubertät einsetzende posteriore Total- und Matrix-Rotation durch die Behandlung verstärkt und die Intramatrix-Rotation zunächst posteriorer, dann anterior gerichtet.¹⁷ RUNE⁸⁷ und OEDEGAARD⁶⁶ ermittelten ebenfalls in Fällen mit durchschnittlichem Wachstumsmuster, daß die Total-Rotation unter dem Einfluß der Behandlung mit festsitzender Apparatur reduziert wurde, sich aber nicht in der Richtung änderte.

1.3.3 Kieferorthopädische Behandlung mit der Herbst-Apparatur

Im Jahre 1909 wurde von E. HERBST⁴³ eine bimaxilläre festsitzende Apparatur zur Vorverlagerung des Unterkiefers entwickelt. Die Herbst-Apparatur hält den Unterkiefer weitgehend unabhängig von der Patientenkooperation ununterbrochen in Vorschubstellung und führt in der Regel nach durchschnittlich 7 Monaten zu einer Normalisierung der sagittalen Okklusionsabweichung.^{69,72,74} Die Apparatur wirkt dentoalveolär und skelettal.^{72,78,86,102} Die skelettale Wirkung zur Korrektur der Klasse II ist günstig, da der Knochenanbau am Kondylus mehr posterior erfolgt^{54,75,78} und das Kinn im Vergleich zur Aktivatorbehandlung weiter nach anterior und weniger nach inferior verlagert wird.⁵

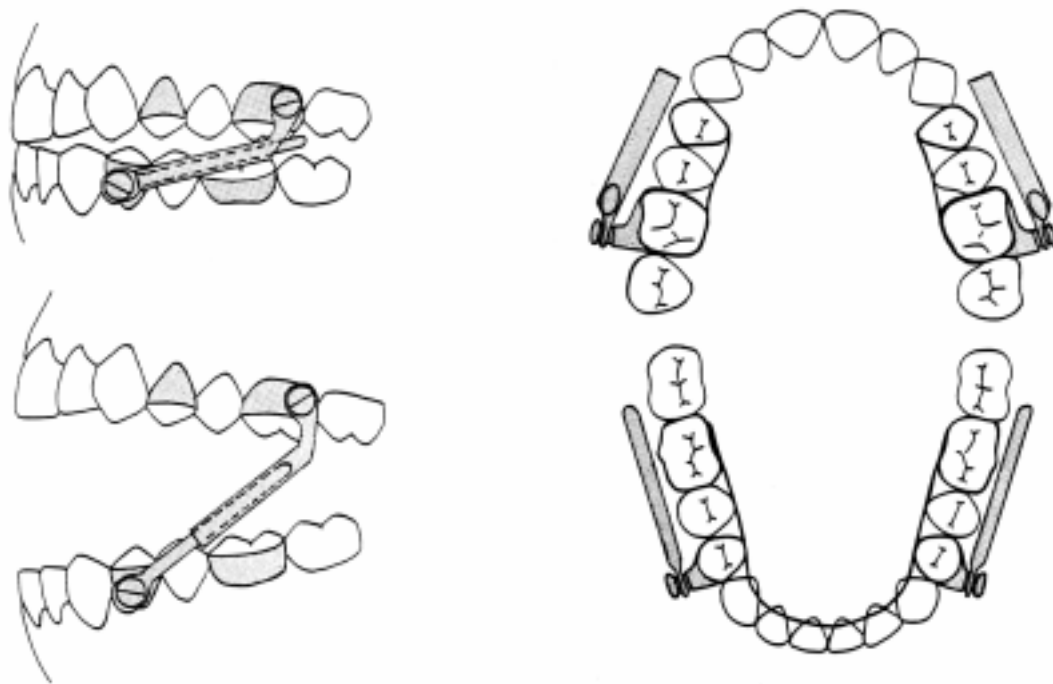


Abb. 7: Die Herbst-Apparatur.

Die Wirkung des Herbst-Gerätes auf die vertikalen Gesichtsp Parameter wurde eingehend von PANCHERZ⁷³, PANCHERZ und ANEHUS- PANCHERZ⁷⁷ und RUF und PANCHERZ⁸⁴ untersucht. Auf lange Sicht zeigte die Herbst-Apparatur sowohl bei hypo- als auch bei hyperdivergenten Fällen keinen Einfluß auf den Mandibularbasiswinkel.⁸⁴ Im einzelnen veränderte sich der Winkel folgendermaßen: Nach Einsetzen der Apparatur vergrößerte er sich durch die Einstellung des Unterkiefers in Kopfbiß und der damit einhergehenden Öffnungsrotation. Nach der Behandlung war eine Verringerung des Winkels feststellbar, was als anteriore Rotation des Unterkiefers gewertet wurde. Erklärt wurde dies durch die Intrusion der oberen Molaren und der unteren Incisivi.^{73,77} 6 Monate nach der Behandlung erfolgte eine weitere Abnahme des Mandibularbasiswinkels, vermutlich als Zeichen der anterioren Rotation des Unterkiefers infolge des Setzens der Okklusion. 5 Jahre später verringerte sich der Winkel weiter, was auf den normalen Wachstumsprozeß mit anteriorer Unterkieferrotation zurückgeführt wurde.

HÄGG³⁹ fand dagegen an einem Patienten des posterioren Wachstumstyps, daß der Mandibularbasiswinkel vor der Behandlung zunahm, sich während der Herbst-Behandlung nicht veränderte, anschließend in der Phase mit festsitzender Apparatur und in der Zeit nach der Behandlung wieder größer wurde, was HÄGG als Rückkehr zum alten Wachstumsmuster wertete.

Auch wenn viel über Unterkieferrotation, Wachstumsmuster und kieferorthopädische Behandlung geschrieben worden ist, fällt bei der Durchsicht der Literatur auf, daß keine Untersuchung der verschiedenen Rotationsformen unter Berücksichtigung von Knochenremodellationsvorgängen (Intramatrix-Rotation) im Zuge einer einheitlichen kieferorthopädischen Behandlungsmethode an einem größeren Patientengut mit unterschiedlichen Wachstumstypen bisher vorgenommen ist.

2 ZIEL

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Auswirkungen der Herbst-Apparatur auf die Total-, Matrix- und Intramatrix-Rotation des Unterkiefers während und nach der Behandlung zu ermitteln. Im einzelnen sollte die Untersuchung folgende Fragen klären:

- 1) Gibt es Unterschiede zwischen dem hypo-, normo- und hyperdivergenten Gesichtstyp?

- 2) Wie verhalten sich die verschiedenen Gesichtstypen in der Herbst-Patientengruppe zu denen in einer eugnathen sowie dysgnathen, unbehandelten Gruppe?

- 3) Liegen Geschlechtsunterschiede vor?

3 MATERIAL

3.1 Probanden und Röntgenbilder

3.1.1 Herbst-Patientengruppe

Das ursprüngliche Probandengut bestand aus 118 konsekutiven Dysgnathien vom Typ Angle Klasse II/1 mit einer mehr oder weniger ausgeprägten Unterkieferretrognathie. Die Patienten wurden in der kieferorthopädischen Abteilung der Odontologischen Fakultät Malmö in Schweden mit der Herbst-Apparatur behandelt. Bei allen Patienten wurde eine neutrale Verzahnung erreicht. Von diesen Patienten wurden 70 (44 Jungen und 26 Mädchen) im Alter von durchschnittlich 12,7 Jahren (10-16 Jahre) ausgewählt, bei welchen Fernröntgenseitenbilder des Kopfes (FRS) zu vier definierten Zeitpunkten existierten:

- T1 : Vor der Herbst - Behandlung
- T2 : Nach durchschnittlich 0,6 jähriger (0,4 - 1-jähriger) Herbst -
Behandlung
- T3 : Durchschnittlich 1 Jahr (0,9 - 1,8 Jahre) nach der Behandlung
- T4 Durchschnittlich 5 Jahre (4,3 - 6,2 Jahre) nach der
Behandlung

Die röntgenkephalometrischen Veränderungen wurden während folgender Untersuchungszeiträume festgehalten:

- T2 - T1 : Behandlungszeitraum von durchschnittlich 0,6 Jahren

- T3 - T2 : Zeitraum nach der Behandlung bis durchschnittlich 1 Jahr nach der Behandlung („Setzen der Okklusion“)
- T4 - T2 : Zeitraum nach der Behandlung bis durchschnittlich 5 Jahre nach der Behandlung
- T4 - T1 : Gesamter Untersuchungszeitraum von vor der Behandlung bis durchschnittlich 5 Jahre nach der Behandlung

Die typischen Okklusionsveränderungen während und nach der Herbst-Behandlung sind in der Abbildung 8 (Seite 18) an einem klinischen Fall dargestellt.

Das Alter, die Untersuchungszeitpunkte und -zeiträume jedes einzelnen Patienten sind in den Tabellen 5, 6 und 7 im Anhang (Seite 79-81) aufgeführt.

3.1.2 Dysgnathe Kontrollgruppe

Als dysgnathe Kontrollprobanden dienten 17 unbehandelte Jungen mit einer Klasse-II/1-Dysgnathie im Alter von durchschnittlich 11,4 Jahren (9,7-13,8 Jahre), bei denen FRS vor (T1) und nach (T2) einem durchschnittlichen Zeitraum von 0,6 Jahren (0,5-0,7 Jahre) vorlagen.

Die Röntgenbilder der Herbst-Patienten und der dysgnathen Kontrollprobanden wurden in der Röntgenabteilung der Odontologischen Fakultät Malmö nach standardisierten Aufnahmetechniken in der habituellen Okklusion angefertigt.

3.1.3 Eugnathe Kontrollgruppe (Bolton-Standards)

Bei den Bolton-Standards¹⁹ handelt es sich um ein Kollektiv von 32 unbehandelten, eugnathe Individuen (16 Jungen und 16 Mädchen). Diese sind aus einer Gruppe von 5000 Probanden gewonnen, die von Geburt bis zum Erwachsenenalter kontinuierlich radiologisch dokumentiert wurden. In den ersten Lebensjahren wurden Röntgenbilder im dreimonatigen, später im halbjährlichen und im frühen Erwachsenenalter im jährlichen Abstand angefertigt.

Die Probanden der Bolton-Standards hatten folgende Anforderungen zu erfüllen:

- (1) ideale Verzahnung
- (2) gute körperliche Verfassung
- (3) ansprechende faciale Ästhetik
- (4) gute Gesichts-Proportionen

Aus den Röntgenunterlagen der 32 Individuen wurde für jedes Lebensjahr eine gemeinsame Seitenbilddurchzeichnung (Tracing), „Bolton-Standard“, erstellt. Die gemessenen Werte der Bolton-Kontrollgruppe wurden, entsprechend dem Alter der Herbst-Patienten zum Zeitpunkt T1 und T2, interpoliert.

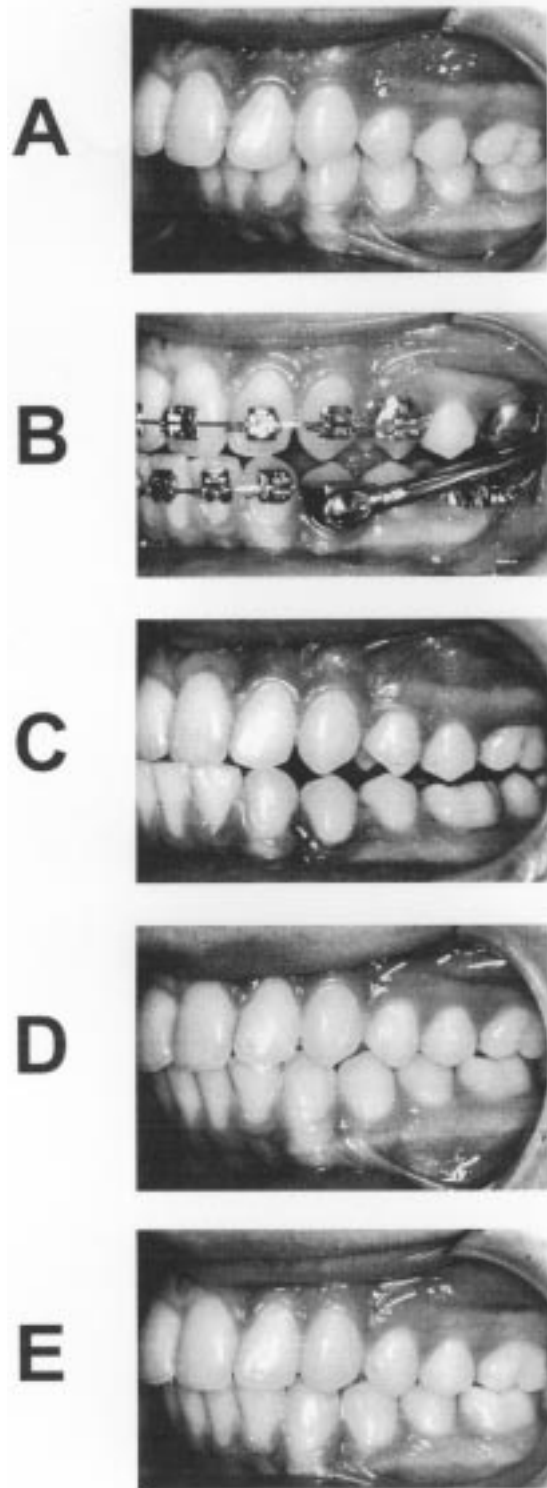


Abb. 8: 14-jähriger Junge, der mit der Herbst-Apparatur behandelt wurde.
A: Vor der Behandlung.
B: Während der Behandlung.
C: Direkt nach der Behandlung. Zu beachten ist die Überkorrektur.
D: 1 Jahr nach der Behandlung. Die Okklusion hat sich „gesetzt“.
E: 5 Jahre nach der Behandlung. Das Ergebnis ist stabil.

4 METHODE

4.1 Vermessung der Röntgenbilder

Alle Röntgenbilder der Herbst-Patienten und der dysgnathen Kontrollprobanden sowie der Tracings der Bolton-Standards wurden unter Verwendung von Lichtkasten, Acetat-Tracing-Folie und Druckbleistift (0,3 Millimeter) im abgedunkelten Raum durchgezeichnet. Die Winkelmessungen erfolgten mit einem Geodreieck mit Gradeinteilung. Die Meßgenauigkeit betrug 0,5 Grad.

Um den Methodenfehler bei der Definition der Meßpunkte und Meßlinien zu reduzieren, wurden alle Bilder eines Patienten / Probanden in einer Sitzung durchgezeichnet und vermessen. Darüberhinaus erfolgte die Durchzeichnung und Messung aller Röntgenbilder jedes Patienten / Probanden zweimal und es wurde der Mittelwert der beiden Messungen für die Auswertung herangezogen.

4.2 Superponierung der Röntgenbilder

Zur Darstellung der Rotationsformen des Unterkiefers wurde im ersten FRS eine „Implantatlinie“ konstruiert (siehe S. 21) und auf die darauffolgenden FRS (Herbst-Patienten, dysgnathe bzw. eugnathe Kontrollprobanden) nach Superponierung der Bilder über die stabilen Knochenstrukturen des Unterkiefers übertragen.¹⁷ Des weiteren wurde auf allen Bildern (Herbst-Patienten, dysgnathe bzw. eugnathe Kontrollprobanden) eine Mandibularlinie bestimmt (siehe S. 20). Die Rotationsformen des Unterkiefers wurden nach Überlagerung der Bilder über die stabilen Knochenstrukturen der vorderen Schädelbasis ermittelt.

Für die Superponierung über den Unterkiefer kamen folgende stabile Knochenstrukturen zur Anwendung:

- vorderer Kinnumriß
- innere Kontur des Symphysenrands (nicht Bolton-Standards)
- Trabekularstruktur in der Symphyse (nicht Bolton-Standards)
- Kontur des Canalis mandibularis (nicht Bolton-Standards)
- unterer Umriß eines mineralisierten Molarenkeims vor der Wurzelbildung

Für die Superponierung über die vordere Schädelbasis wurden folgende stabile Knochenstrukturen verwendet:

- Vorderwand der Sella turcica
- Umriß der Lamina cribriformis
- Konturen des frontoethmoidalen Knochenrandes beidseits
- Vorderwände der medianen cranialen Fossa

4.3 Referenzlinien

1) NSL : Nasion-Sella-Linie. Die Linie verbindet die Punkte N und S (N = Nasion; der am weitesten anterior gelegene Punkt der Sutura nasofrontalis, S = Sella; Mittelpunkt der knöchernen Krypte der Sella turcica).

2) ML : Mandibularlinie. Die Linie verbindet die Punkte Go und Gn (Go = Gonion; der am weitesten caudal gelegene Punkt des Corpus mandibulae im Bereich des Kieferwinkels, Gn = Gnathion; der am weitesten kaudal gelegene Punkt der Unterkiefersymphyse).

3) IL : „Implantatlinie“ - siehe unten.

Konstruktion der „Implantatpunkte“ (IP) und der „Implantatlinie“ (IL)

Im ersten FRS (T1) wurden zwei feste Referenzpunkte („Implantatpunkte“) in der Mandibula im Bereich der Symphyse (IP-S) und im Bereich des Angulus (IP-A) markiert. Das zweite bzw. dritte und vierte Bild (der Zeitpunkte T2, T3, T4) wurden über das erste Bild mit Hilfe der stabilen Knochenstrukturen im Unterkiefer überlagert und die „Implantatpunkte“ des ersten Bildes wurden auf die anderen Bilder übertragen (Abb. 9, S. 23). Der vordere und hintere „Implantatpunkt“ jedes Bildes wurden mit einer Linie verbunden und entsprachen somit der „Implantatlinie“ (IL) (Abb. 9, S. 23).

4.4 Untersuchungsvariablen

Total-Rotation des Unterkiefers

Bei der Ermittlung der Total-Rotation des Unterkiefers wurden das zweite bzw. dritte und vierte FRS (der Zeitpunkte T2, T3, T4) über das erste FRS (des Zeitpunktes T1) mit Hilfe der stabilen Knochenstrukturen der vorderen Schädelbasis überlagert und die Nasion-Sella-Linie (NSL) des T1 - Bildes auf die anderen Bilder übertragen.

Der Winkel zwischen der „Implantatlinie“ und der NSL (IL/NSL) wurde für jedes Bild gemessen.

Die Total-Rotation des Unterkiefers während der Zeiträume T2-T1, T3-T2, T4-T2, T4-T1 wurde durch die Veränderung des Winkels zwischen IL und NSL gemessen (Abb. 10, S. 24).¹⁷

Die Total-Rotation entspricht der gesamten Rotation des Corpus mandibulae.

Matrix-Rotation des Unterkiefers

Die Matrix-Rotation während der Zeiträume T2-T1, T3-T2, T4-T2, T4-T1 wurde durch die Veränderung des Winkels zwischen ML und NSL gemessen (Abb. 11, S. 25).¹⁷

Die Matrix-Rotation entspricht der Rotation der Weichgewebematrix des Unterkiefers, repräsentiert durch ML.

Intramatrix-Rotation des Unterkiefers

Die Intramatrix-Rotation während der Zeiträume T2-T1, T3-T2, T4-T2, T4-T1 wurde durch die Veränderung des Winkels zwischen IL und ML gemessen.

Die Intramatrix-Rotation ergibt sich aus der Differenz zwischen der totalen Rotation und der Matrix-Rotation und entspricht der Remodellierung des Knochens am Unterrand der Mandibula.¹⁷

4.5 Gesichtstyp-Gruppierung

Die 70 Herbst-Patienten wurden anhand des Mandibularbasiswinkels (ML/NSL) von vor der Behandlung (T1) in folgende drei Gesichtstyp-Gruppen eingeteilt :

Hypodivergent (10 Jungen, 7 Mädchen):	ML/NSL $\leq 26^\circ$ (Mittelwert = $22,7^\circ$)
Normodivergent (26 Jungen, 14 Mädchen):	ML/NSL = $26,5^\circ - 36,5^\circ$ (Mittelwert = $32,2^\circ$)
Hyperdivergent (8 Jungen, 5 Mädchen):	ML/NSL $\geq 37^\circ$ (Mittelwert = $39,8^\circ$)

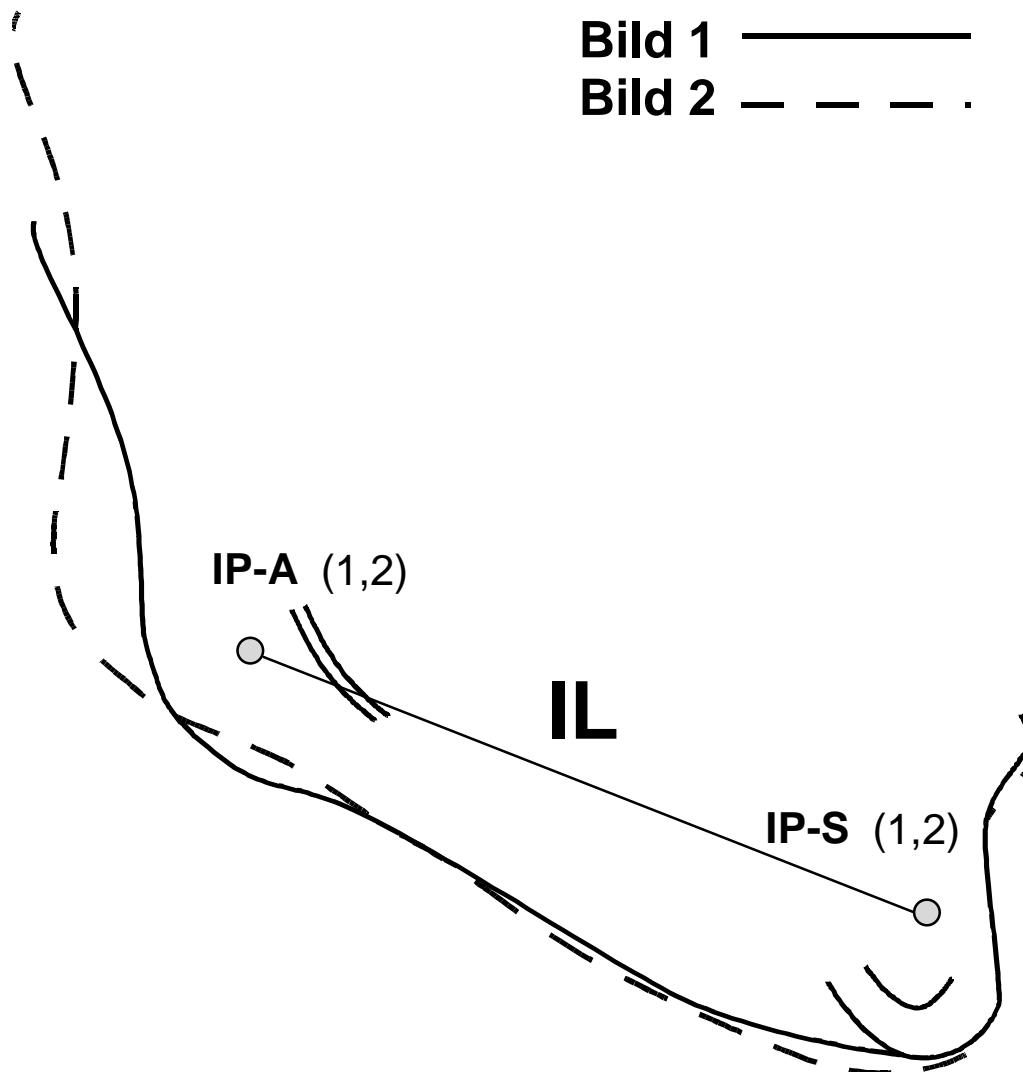


Abb. 9: Prinzip der Übertragung der Implantatpunkte IP-A (Punkt im Bereich des Angulus) und IP-S (Punkt im Bereich der Symphyse) des ersten Bildes (1) auf das zweite Bild (2) nach Überlagerung der Bilder über die stabilen Knochenstrukturen des Unterkiefers. Zur Darstellung der Implantatlinie (IL) werden die Punkte jeweils auf jedem Bild miteinander verbunden.

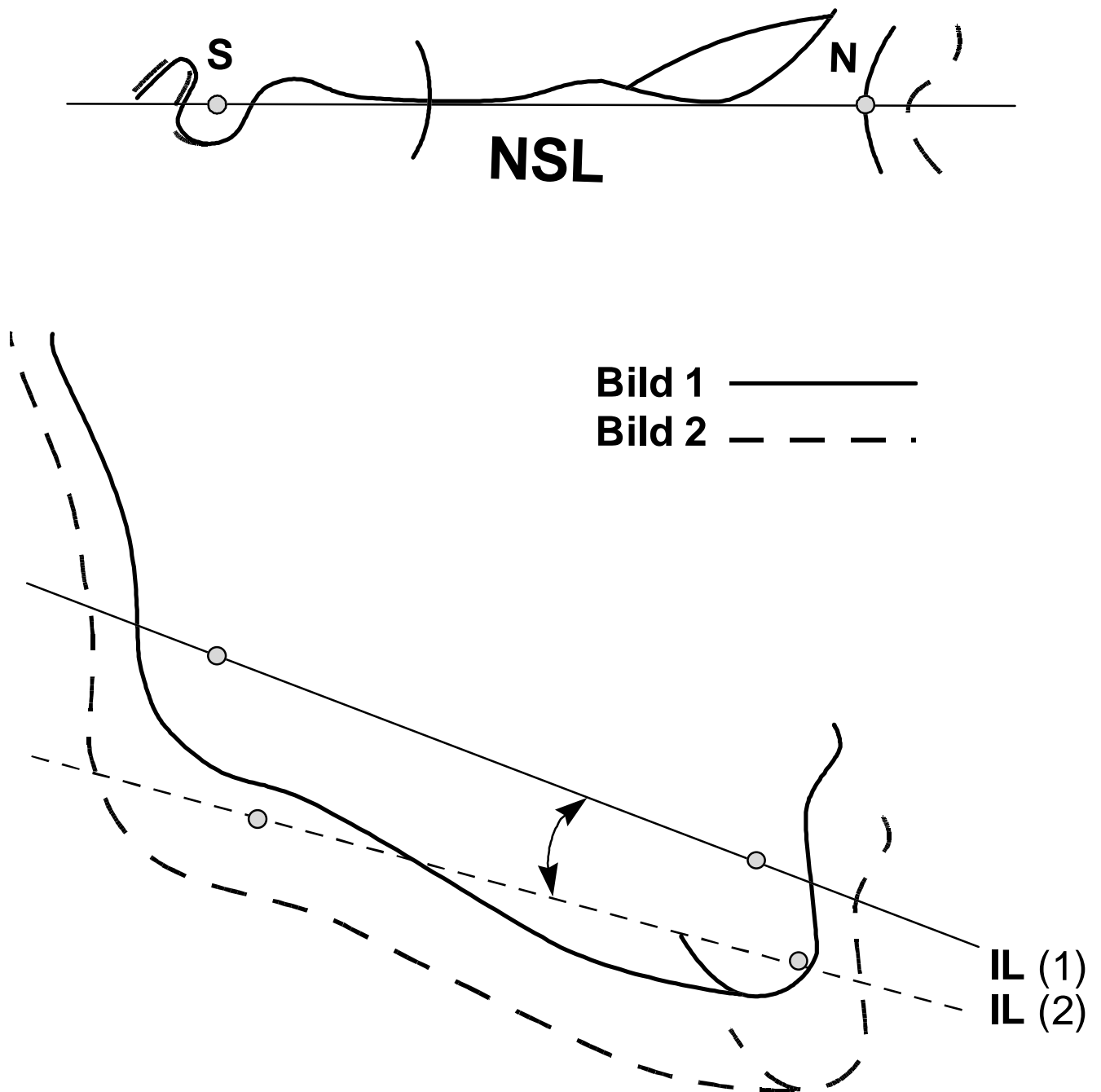


Abb. 10: Prinzip zur Ermittlung der *Total-Rotation* des Unterkiefers. Sie entspricht dem Winkel zwischen der Implantatlinie (IL) des ersten Bildes (1) und des zweiten Bildes (2). Überlagerung der Bilder über die stabilen Knochenstrukturen der vorderen Schädelbasis. Die übertragene Nasion-Sella-Linie (NSL) vom ersten Bild auf das zweite Bild ist dargestellt.

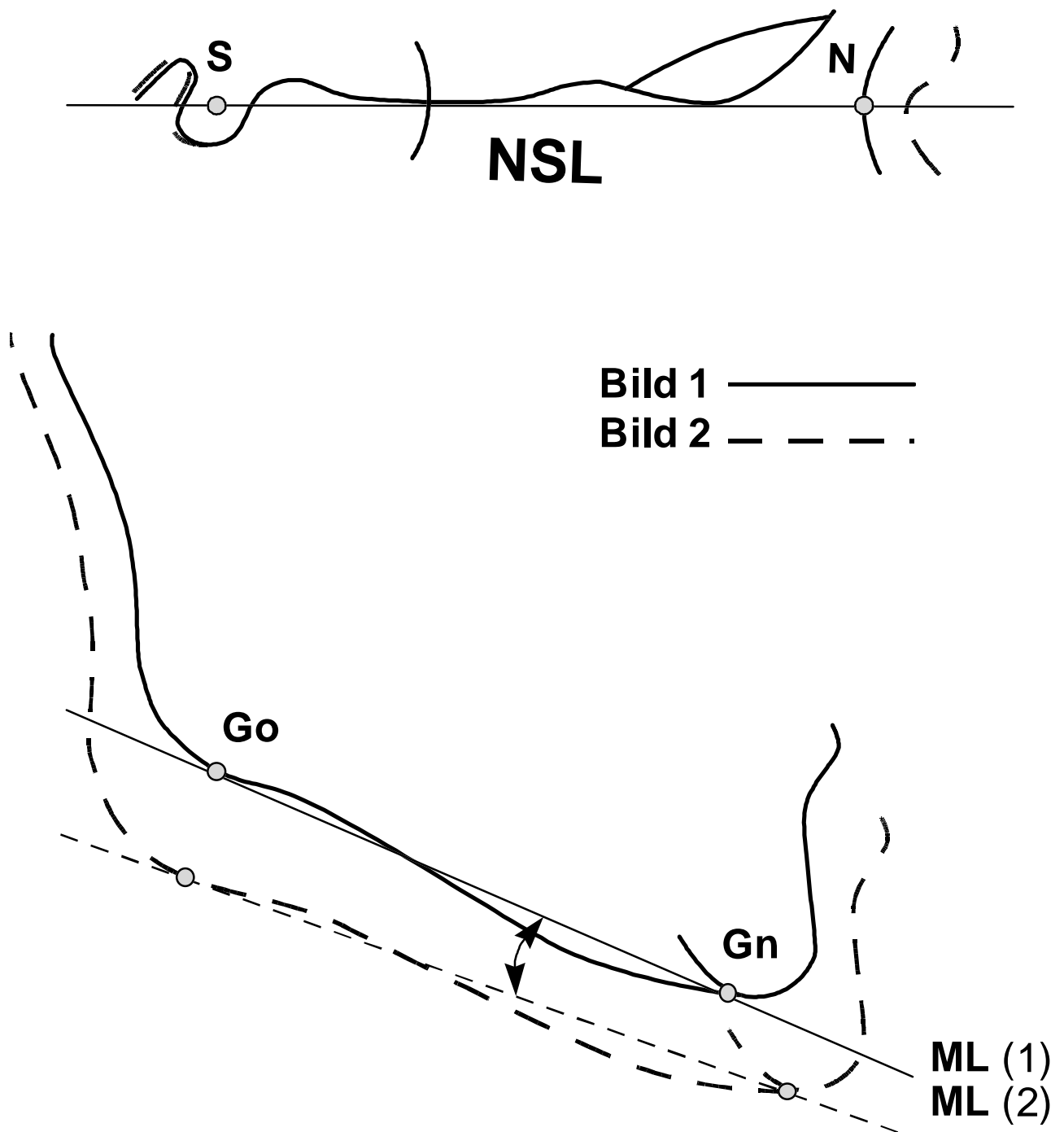


Abb. 11: Prinzip zur Ermittlung der *Matrix-Rotation* des Unterkiefers. Sie entspricht dem Winkel zwischen der Mandibularlinie (ML) des ersten Bildes (1) und des zweiten Bildes (2). Überlagerung der Bilder über die stabilen Knochenstrukturen der vorderen Schädelbasis. Die übertragene Nasion-Sella-Linie (NSL) vom ersten Bild auf das zweite Bild ist dargestellt.

5 Statistische Methoden

Für die kephalometrischen Variablen zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten wurden Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) bestimmt. Die Variablenveränderungen während unterschiedlicher Untersuchungszeiträume wurden mit Hilfe des Student-t-Testes für abhängige Stichproben überprüft. Zur Untersuchung von Unterschieden der Variablenwerte zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht sowie zwischen den drei Gesichtstypgruppen wurde der t-Test für unabhängige Stichproben herangezogen.

Folgende Signifikanzniveaus kamen zur Anwendung :

$p < 0,001$	(***)
$p < 0,01$	(**)
$p < 0,05$	(*)
$p \geq 0,05$	(n.s.) nicht signifikant

Alle Berechnungen wurden auf einem IBM kompatiblen Personal Computer (Typ Intel-Pentium-Processor 133 Mhz) mit dem Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL 7.0 durchgeführt.

5.1 Bestimmung des Methodenfehlers

Der totale Methodenfehler bei der Überlagerung der Röntgenbilder sowie der Messung der Untersuchungsvariablen (IL/NSL, ML/NSL und IL/ML) zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten und -zeiträumen wurde anhand der doppelten Messungen der Herbst-Patienten ermittelt.

Zur Berechnung des Methodenfehlers (ME) wurde folgende Formel³⁰ benutzt:

$$ME = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

d = Differenz zwischen den Doppelmessungen

n = Anzahl der untersuchten Probanden

Die Ergebnisse der Methodenfehlerberechnungen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Bestimmung des totalen Methodenfehlers für die kephalometrischen Variablen IL/NSL (Total-Rotation des Unterkiefers), ML/NSL (Matrix-Rotation des Unterkiefers) und IL/ML (Intramatrix-Rotation des Unterkiefers) für die verschiedenen Untersuchungszeitpunkte und -zeiträume. T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Variable (Grad)	Zeitpunkt			
	T1	T2	T3	T4
IL/NSL	0,50	0,78	1,10	1,21
ML/NSL	0,22	0,49	0,60	0,65
IL/ML	0,57	1,38	0,90	1,19

Variable (Grad)	Zeitraum			
	T2-T1	T3-T2	T4-T3	T4-T1
IL/NSL	0,68	1,15	1,43	1,12
ML/NSL	0,59	0,81	0,86	0,71
IL/ML	0,86	1,34	1,63	1,40

6 ERGEBNISSE

Der Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Herbst-Patienten für das gesamte Probandengut ist in Tabelle 2 (Seite 29) aufgeführt. Ein Geschlechtsunterschied lag bezüglich der Variablen ML/NSL für den Zeitraum T2-T1 ($p < 0,01$) und T4-T1 ($p < 0,01$) vor. Während der ML/NSL-Winkel bei den männlichen Patienten im Verlauf der Behandlung praktisch durchschnittlich gleich blieb ($+0,03^\circ$), vergrößerte er sich bei den weiblichen Patienten um durchschnittlich $+0,84^\circ$. Während der Behandlung trat demnach keine Matrix-Rotation bei den männlichen Patienten auf, hingegen eine posteriore Matrix-Rotation bei den weiblichen Patienten. Nach der Herbst-Behandlung verkleinerte sich der ML/NSL-Winkel bei den männlichen Patienten durchschnittlich stärker ($-2,35^\circ$) als bei den weiblichen Patienten ($-1,67^\circ$). Die anteriore Matrix-Rotation nach der Behandlung war daher bei den männlichen Patienten ausgeprägter als bei den weiblichen Patienten. Für die Variablen IL/ML und IL/ML lag kein Geschlechtsunterschied vor. In der weiteren Analyse wurden männliche und weibliche Probanden zusammen beurteilt.

Die Veränderungen der kephalometrischen Variablen IL/NSL, ML/NSL und IL/ML der Herbst-Gruppe (Gesichtstypgruppen und Gesamtgruppe), der dysgnathen Kontrollgruppe und der eugnathen Bolton-Kontrollgruppe während der verschiedenen Untersuchungszeiträume sind der Tabelle 3 (S. 36) zu entnehmen. In den Abbildungen 12-15 (Seite 37-40) sind die Veränderungen der Variablen der gesamten Herbst-Gruppe und der drei Gesichtstypgruppen graphisch dargestellt.

Der Vergleich der hypo-, normo- und hyperdivergenten Gruppe der Herbst-Patienten ist der Tabelle 4 (S. 43) zu entnehmen. In den Abbildungen 16-18 (Seite 44-46) sind die Veränderungen der Gesichtstypgruppen im Vergleich zur gesamten Herbst-Gruppe und zu den Kontrollgruppen dargestellt.

Die Veränderungen aller kephalometrischen Variablen für jeden einzelnen Probanden sind in den Tabellen 8, 9 und 10 im Anhang (Seite 91-93) aufgeführt.

6 Ergebnisse

Tab.2: Veränderungen der kephalometrische Werte (MW, SD) zur Messung der Total-Rotation (IL/NSL), der Matrix-Rotation (ML/NSL) und der Intramatrix-Rotation (IL/ML) des Unterkiefers. Vergleich männlicher (n=44) und weiblicher (n=26) Herbst-Patienten während unterschiedlicher Untersuchungszeiträume. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Variable (Grad)	Probanden	Zeitraum					
		T2-T1			T3-T2		
		MW	SD	t	MW	SD	t
IL/NSL	m	-0,66	1,09		-0,31	1,60	
	w	-0,19	1,46		-0,41	1,34	
	m-w	-0,47		-1,55 (n.s.)	+0,11		+0,29 (n.s.)
ML/NSL	m	+0,03	0,90		-0,49	1,57	
	w	+0,84	1,11		-0,63	1,10	
	m-w	-0,81		-3,32 (**)	+0,13		+0,37 (n.s.)
IL/ML	m	-0,69	0,88		+0,19	1,07	
	w	-1,03	1,16		+0,21	1,26	
	m-w	+0,34		+1,36 (n.s.)	-0,02		-0,08 (n.s.)

Variable (Grad)	Probanden	Zeitraum					
		T4-T2			T4-T1		
		MW	SD	t	MW	SD	t
IL/NSL	m	-1,38	2,56		-2,04	2,43	
	w	-1,05	1,99		-1,24	2,49	
	m-w	-0,33		-0,56 (n.s.)	-0,80		-1,32 (n.s.)
ML/NSL	m	-2,35	2,29		-2,32	2,39	
	w	-1,67	1,76		-0,84	1,90	
	m-w	-0,67		-1,29 (n.s.)	-1,48		-2,70 (**)
IL/ML	m	+0,97	1,78		+0,28	1,70	
	w	+0,63	1,23		-0,40	1,12	
	m-w	+0,35		+0,87 (n.s.)	+0,68		+1,82 (n.s.)

** entspricht $p < 0,01$, n.s. entspricht $p \geq 0,05$

6.1 Herbst-Patienten - gesamtes Probandengut (Tab.3, Abb.12, S.36-37)

6.1.1 Total-Rotation des Unterkiefers

Die Total-Rotation des Unterkiefers wird durch die Veränderung der Variablen IL/NSL gemessen. Der Winkel verkleinerte sich durchschnittlich um $0,49^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,001$), um $0,34^\circ$ während T3-T2 (n.s.), um $1,25^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,001$) und um $1,74^\circ$ während T4-T1 ($p < 0,001$).

Es fand demnach eine leichte, stetige Rotation nach anterior während des gesamten Untersuchungszeitraumes statt.

6.1.2 Matrix-Rotation des Unterkiefers

Die Matrix-Rotation des Unterkiefers wird durch die Veränderung der Variablen ML/NSL gemessen. Sie vergrößerte sich durchschnittlich um $0,33^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,05$), verkleinerte sich um $0,54^\circ$ während T3-T2 ($p < 0,01$), um $2,09^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,001$) und um $1,77^\circ$ während T4-T1 ($p < 0,001$).

Es erfolgte demnach eine geringfügige Matrix-Rotation nach posterior während der Herbst-Behandlung, danach eine kontinuierliche Rotation nach anterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum eine leichte Rotation nach anterior resultierte.

6.1.3 Intramatrix-Rotation des Unterkiefers

Die Intramatrix-Rotation des Unterkiefers wird durch die Veränderung der Variablen IL/ML gemessen. Sie verkleinerte sich durchschnittlich um $0,82^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,001$), vergrößerte sich um $0,2^\circ$ während T3-T2 (n.s.), um $0,84^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,001$) und um $0,03^\circ$ während T4-T1 (n.s.).

Die Intramatrix-Rotation war also während der Herbst-Behandlung merkbar nach anterior gerichtet, im darauffolgenden Zeitraum jedoch beständig leicht nach

posterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum keine Rotation festzustellen war.

6.2 Herbst-Patienten - die drei Gesichtstypgruppen

6.2.1 Hypodivergente Gruppe (Tab.3, S.36, Abb.13, S.38)

6.2.1.1 Total-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/NSL verkleinerte sich durchschnittlich um $0,34^\circ$ während T2-T1 (n.s.), um $0,57^\circ$ während T3-T2 (n.s.), um $2,29^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,01$) und um $2,63^\circ$ während T4-T1 ($p < 0,01$). Es fand demnach eine leichte, stetige Rotation nach anterior während des gesamten Untersuchungszeitraumes statt.

6.2.1.2 Matrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel ML/NSL vergrößerte sich durchschnittlich um $0,54^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,05$), verkleinerte sich um $0,94^\circ$ während T3-T2 ($p < 0,01$), um $2,42^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,001$) und um $1,88^\circ$ während T4-T1 ($p < 0,01$).

Es erfolgte demnach eine geringfügige Matrix-Rotation nach posterior während der Herbst-Behandlung, danach eine kontinuierliche Rotation nach anterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum eine leichte Rotation nach anterior resultierte.

6.2.1.3 Intramatrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/ML verkleinerte sich durchschnittlich um $0,88^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,05$), vergrößerte sich um $0,37^\circ$ während T3-T2 (n.s.), um $0,13^\circ$ während T4-T2 (n.s.) und verkleinerte sich um $0,75^\circ$ während T4-T1 (n.s.).

Die Intramatrix-Rotation war also während der Herbst-Behandlung merkbar nach anterior gerichtet, im ersten Jahr danach geringfügig nach posterior und dann sehr wenig nach anterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum eine geringfügige Rotation nach anterior festzustellen war.

6.2.2 Normodivergente Gruppe (Tab.3, S.36, Abb.14, S.39)

6.2.2.1 Total-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/NSL verkleinerte sich durchschnittlich um $0,69^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,001$), um $0,05^\circ$ während T3-T2 (n.s.), um $0,78^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,05$) und um $1,47^\circ$ während T4-T1 ($p < 0,001$).

Es fand demnach eine stetige, geringfügige Rotation nach anterior während des gesamten Untersuchungszeitraumes statt.

6.2.2.2 Matrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel ML/NSL vergrößerte sich durchschnittlich um $0,22^\circ$ während T2-T1 (n.s.), verkleinerte sich um $0,31^\circ$ während T3-T2 (n.s.), um $2,01^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,001$) und um $1,79^\circ$ während T4-T1 ($p < 0,001$). Es erfolgte demnach eine geringfügige Matrix-Rotation nach posterior während der Herbst-Behandlung, danach eine kontinuierliche Rotation nach anterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum eine leichte Rotation nach anterior resultierte.

6.2.2.3 Intramatrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/ML verkleinerte sich durchschnittlich um $0,91^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,001$), vergrößerte sich um $0,26^\circ$ während T3-T2 (n.s.), um $1,23^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,001$) und um $0,32^\circ$ während T4-T1 (n.s.).

Die Intramatrix-Rotation war also während der Herbst-Behandlung merkbar nach anterior gerichtet, im darauffolgenden Zeitraum jedoch beständig leicht nach posterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum keine signifikante Rotation festzustellen war.

6.2.3 Hyperdivergente Gruppe (Tab.3, S.36, Abb.15, S.40)

6.2.3.1 Total-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/NSL verkleinerte sich durchschnittlich um $0,08^\circ$ während T2-T1 (n.s.), um $0,96^\circ$ während T3-T2 ($p < 0,05$), um $1,34^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,05$) und um $1,42^\circ$ während T4-T1 (n.s.).

Es erfolgte demnach keine Total-Rotation während der Herbst-Behandlung, danach eine leichte Rotation nach anterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum keine signifikante Rotation festzustellen war.

6.2.3.2 Matrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel ML/NSL vergrößerte sich durchschnittlich um $0,38^\circ$ während T2-T1 (n.s.), verkleinerte sich um $0,75^\circ$ während T3-T2 (n.s.), um $1,94^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,05$) und um $1,55^\circ$ während T4-T1 ($p < 0,05$).

Es erfolgte demnach eine geringfügige Matrix-Rotation nach posterior während der Herbst-Behandlung, danach eine kontinuierliche Rotation nach anterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum eine leichte Rotation nach anterior resultierte.

6.2.3.3 Intramatrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/ML verkleinerte sich durchschnittlich um $0,46^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,05$), um $0,21^\circ$ während T3-T2 (n.s.), vergrößerte sich um $0,6^\circ$ während T4-T2 ($p < 0,01$) und um $0,13^\circ$ während T4-T1 (n.s.).

Die Intramatrix-Rotation war demnach während der Herbst-Behandlung geringfügig nach anterior gerichtet und darauffolgend leicht nach posterior, so daß für den gesamten Untersuchungszeitraum keine signifikante Rotation resultierte.

6.3 Dysgnathe Kontrollgruppe (Tab.3, S.36, Abb.16-18, S.44-46)

6.3.1 Total-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/NSL verkleinerte sich durchschnittlich um $0,69^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,01$). Es fand demnach, verglichen zum gesamten Herbst-Probandengut (durchschnittliche Verkleinerung des Winkels um $0,49^\circ$), eine ebenso leichte Rotation nach anterior statt.

6.3.2 Matrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel ML/NSL verkleinerte sich durchschnittlich um $0,31^\circ$ während T2-T1 ($p < 0,05$). Demzufolge ergab sich eine leichte Rotation nach anterior. Verglichen mit dem gesamten Herbst-Probandengut (durchschnittliche Vergrößerung des Winkels um $0,33^\circ$) fand eine Rotation in entgegengesetzter Richtung statt.

6.3.3 Intramatrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/ML verkleinerte sich um $0,38^\circ$ während T2-T1 (n.s.). Es fand demnach, verglichen mit dem gesamten Herbst-Probandengut (durchschnittliche Verkleinerung des Winkels um $0,82^\circ$), eine etwa halb so große, jedoch nicht signifikante anteriore Rotation statt.

6.4 Eugnathe Kontrollgruppe (Bolton-Standards)

(Tab.3, S.36, Abb.16-18, S.44-46)

6.4.1 Total-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/NSL verkleinerte sich durchschnittlich um $0,70^\circ$ während T2-T1. Es fand demnach, verglichen zum gesamten Herbst-Probandengut (durchschnittliche Verkleinerung des Winkels um $0,49^\circ$), eine ebenso leichte Rotation nach anterior statt.

6.4.2 Matrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel ML/NSL verkleinerte sich durchschnittlich um $0,70^\circ$ während T2-T1. Demzufolge ergab sich eine merkbare Rotation nach anterior. Verglichen mit dem gesamten Herbst-Probandengut (durchschnittliche Vergrößerung des Winkels um $0,33^\circ$) fand eine Rotation in entgegengesetzter Richtung statt.

6.4.3 Intramatrix-Rotation des Unterkiefers

Der Winkel IL/ML veränderte sich durchschnittlich nicht während T2-T1. Es fand daher keine Intramatrix-Rotation statt. Demgegenüber zeigte sich eine anteriore Rotation beim gesamten Herbst-Probandengut (durchschnittliche Verkleinerung des Winkels um $0,82^\circ$).

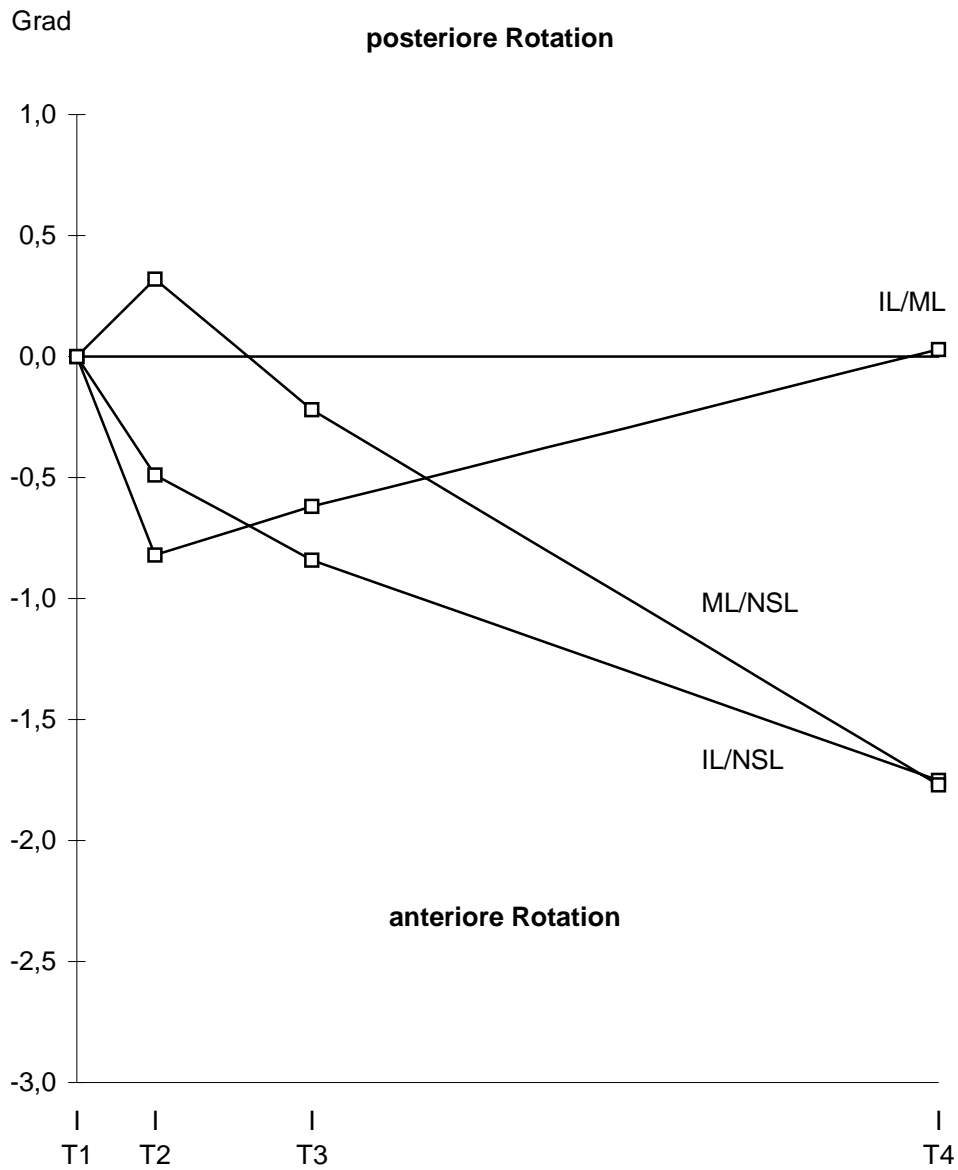


Abb.12: Graphische Darstellung der Veränderung der Variablen **IL/NSL** (= Total-Rotation des Unterkiefers), **ML/NSL** (= Matrix-Rotation des Unterkiefers) und **IL/ML** (= Intramatrix-Rotation des Unterkiefers) für das gesamte Probandengut (n=70) der Herbst-Patienten über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

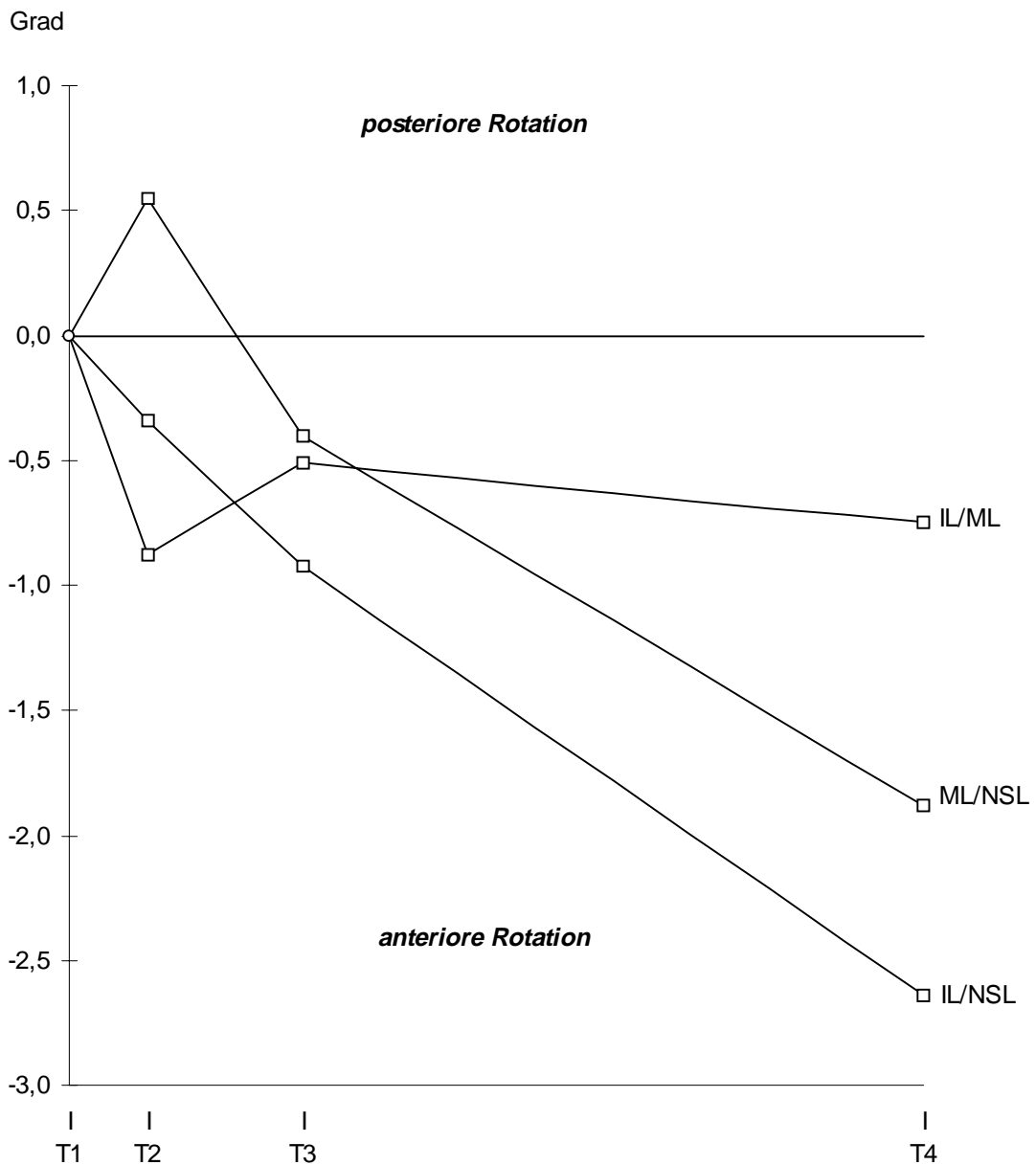


Abb.13: Graphische Darstellung der Veränderung der Variablen **IL/NSL** (=Total-Rotation des Unterkiefers), **ML/NSL** (= Matrix-Rotation des Unterkiefers) und **IL/ML** (= Intramatrix-Rotation des Unterkiefers) für die *hypodivergente Gruppe* (n=17) der Herbst-Patienten über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

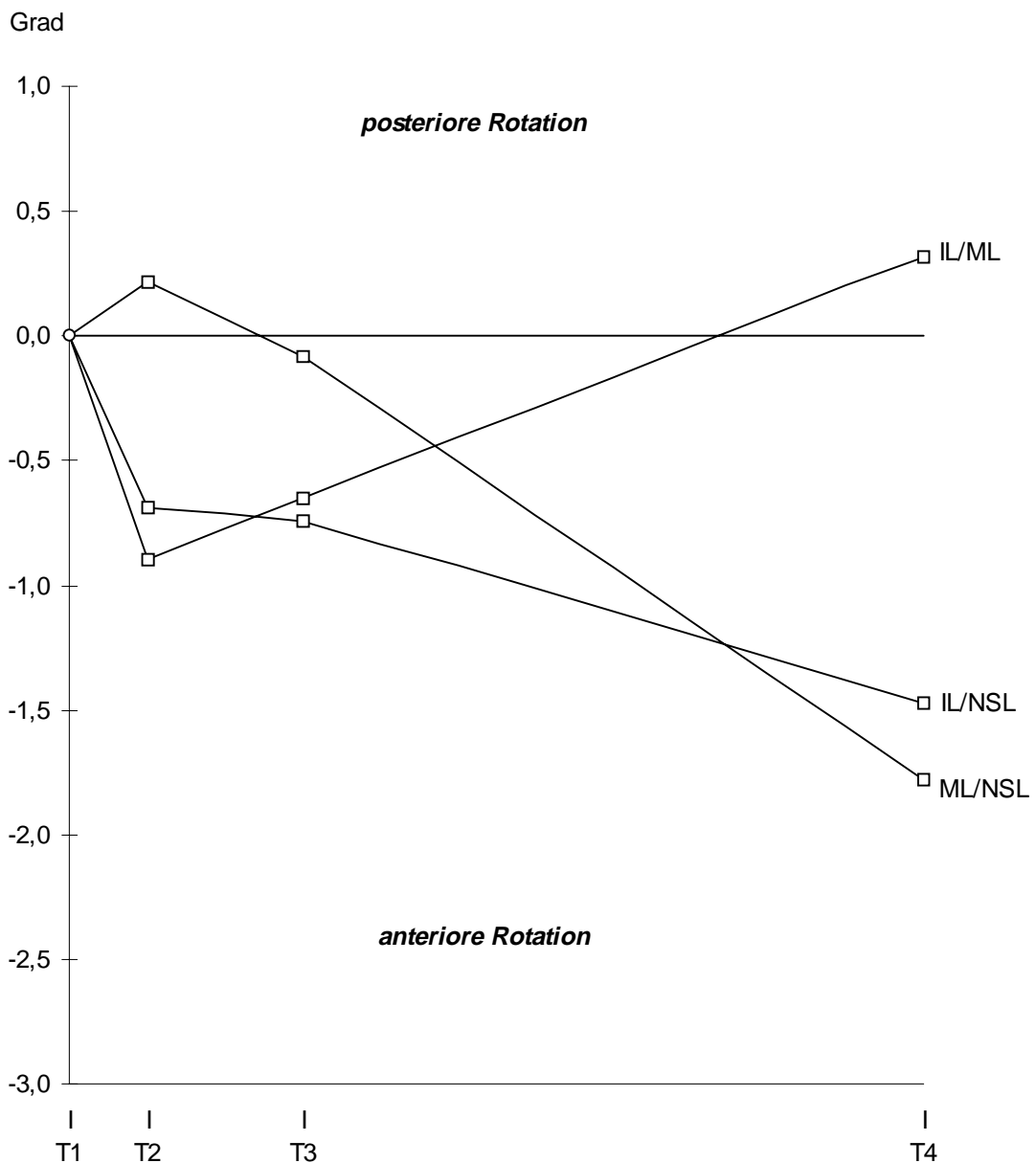


Abb.14: Graphische Darstellung der Veränderung der Variablen **IL/NSL** (=Total-Rotation des Unterkiefers), **ML/NSL** (= Matrix-Rotation des Unterkiefers) und **IL/ML** (= Intramatrix-Rotation des Unterkiefers) für die *normodivergente Gruppe* (n=40) der Herbst-Patienten über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

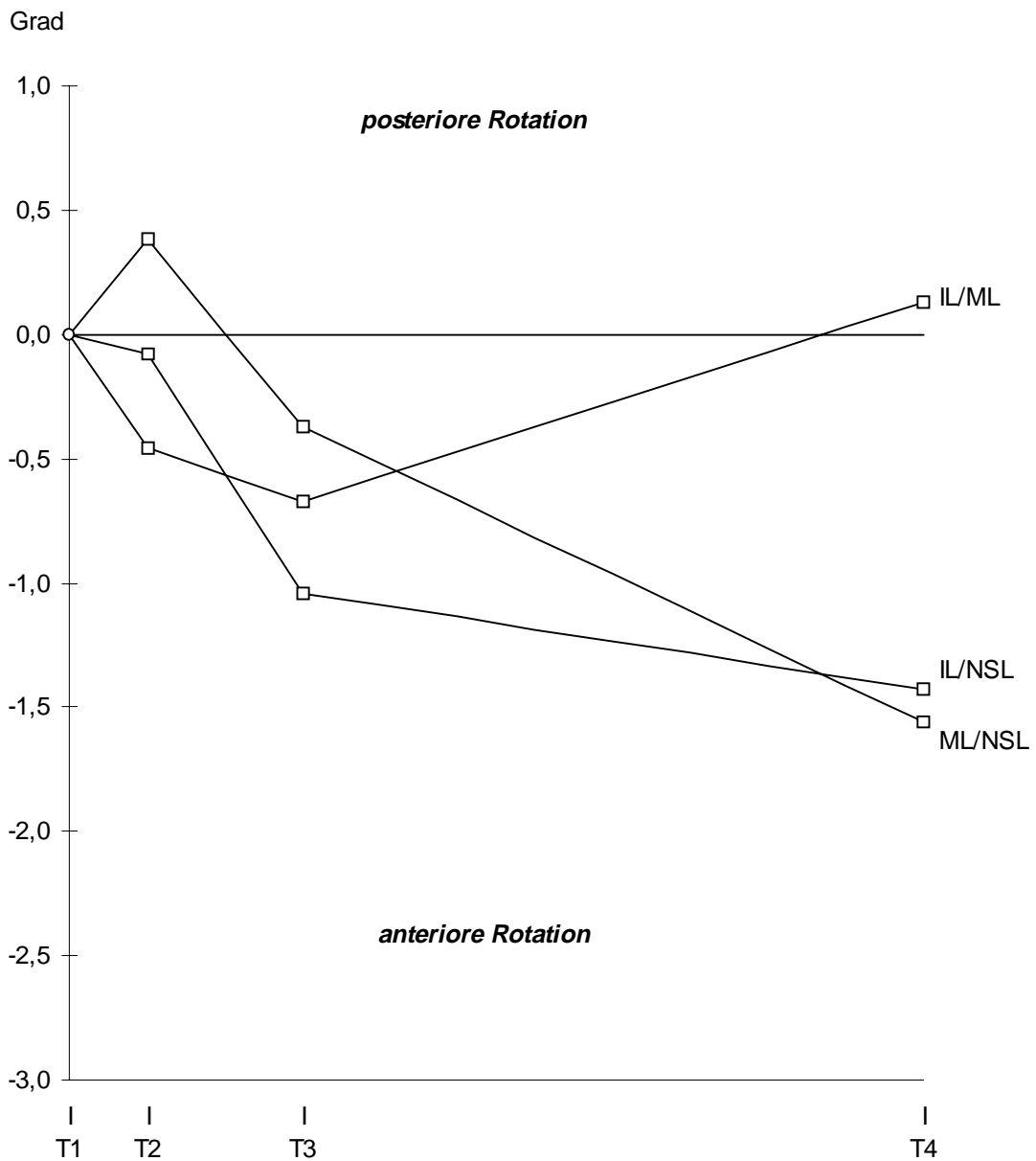


Abb.15: Graphische Darstellung der Veränderung der Variablen **IL/NSL** (=Total-Rotation des Unterkiefers), **ML/NSL** (= Matrix-Rotation des Unterkiefers) und **IL/ML** (= Intramatrix-Rotation des Unterkiefers) für die *hyperdivergente Gruppe* (n=13) der Herbst-Patienten über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

6.5 Vergleich der drei Gesichtstypgruppen

6.5.1 Vergleich hypo- und normodivergente Gruppe

6.5.1.1 Total-Rotation des Unterkiefers (Tab.4, S.43, Abb.16, S.44)

Es bestand kein Gruppen-Unterschied für die Zeiträume T2-T1 und T3-T2. Während des Zeitraums T4-T2 war die anteriore Total-Rotation um $1,51^\circ$ ($p < 0,05$) kleiner in der hypo- als in der normodivergenten Gruppe. Für den gesamten Zeitraum T4-T1 ergab sich kein signifikanter Gruppen-Unterschied.

6.5.1.2 Matrix-Rotation des Unterkiefers (Tab.4, S.43, Abb.17, S.45)

Für diese Rotationsform zeigte sich kein Gruppen-Unterschied.

6.5.1.3 Intramatrix-Rotation des Unterkiefers (Tab.4, S.43, Abb.18, S.46)

Es bestand kein Gruppen-Unterschied für die Zeiträume T2-T1 und T3-T2. Während des Zeitraums T4-T2 war die anteriore Intramatrix-Rotation um $1,09^\circ$ ($p < 0,05$) kleiner in der hypo- als in der normodivergenten Gruppe. Für den gesamten Zeitraum T4-T1 ergab sich wiederum kein signifikanter Gruppen-Unterschied.

6.5.2 Vergleich normo- und hyperdivergente Gruppe

(Tab.4, Abb.16-18, S.43-46)

Es ergab sich für die drei Rotationsformen des Unterkiefers in allen Untersuchungszeiträumen kein signifikanter Gruppen-Unterschied.

6.5.3 Vergleich hypo- und hyperdivergente Gruppe

(Tab.4, Abb.16-18, S.43-46)

Es ergab sich für die drei Rotationsformen des Unterkiefers in allen Untersuchungszeiträumen kein signifikanter Gruppen-Unterschied. Für die Untersuchungszeiträume T4-T2 und T4-T1 zeigte sich lediglich folgende Tendenz: die Veränderungen aller Variablen (IL/NSL, ML/NSL, IL/ML) waren in der hypodivergenten Gruppe weiter nach anterior gerichtet als in der hyperdivergenten Gruppe.

Tab.4: Veränderungen der kephalometrische Werte (MW) zur Messung der Total-Rotation (IL/NSL), der Matrix-Rotation (ML/NSL) und der Intramatrix-Rotation (IL/ML) des Unterkiefers. Vergleich der **hypo-** (n=17), **normo-** (n=40) und **hyper-** (n=13) divergenten Gruppe der Herbst-Patienten während unterschiedlicher Untersuchungszeiträume. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Variable (Grad)	Gruppe	Zeitraum			
		T2-T1		T3-T2	
		MW(D)	t	MW(D)	t
IL/NSL	hypo-normo	+0,35	+1,00 (n.s.)	-0,52	-1,23 (n.s.)
	normo-hyper	-0,61	-1,52 (n.s.)	+0,91	+1,95 (n.s.)
	hypo-hyper	-0,26	-0,56 (n.s.)	+0,39	+0,69 (n.s.)
ML/NSL	hypo-normo	+0,33	+1,07 (n.s.)	-0,63	-1,56 (n.s.)
	normo-hyper	-0,17	-0,47 (n.s.)	+0,44	+0,96 (n.s.)
	hypo-hyper	+0,16	+0,43 (n.s.)	-0,19	-0,40 (n.s.)
IL/ML	hypo-normo	+0,02	+0,08 (n.s.)	+0,11	+0,33 (n.s.)
	normo-hyper	-0,44	-1,77 (n.s.)	+0,47	+1,48 (n.s.)
	hypo-hyper	-0,42	-0,93 (n.s.)	+0,58	+1,22 (n.s.)

Variable (Grad)	Gruppe	Zeitraum			
		T4-T2		T4-T1	
		MW(D)	t	MW(D)	t
IL/NSL	hypo-normo	-1,51	-2,26 (*)	-1,16	-1,65 (n.s.)
	normo-hyper	+0,56	+0,80 (n.s.)	-0,05	-0,06 (n.s.)
	hypo-hyper	-0,95	-1,04 (n.s.)	-1,21	-1,32 (n.s.)
ML/NSL	hypo-normo	-0,42	-0,72 (n.s.)	-0,09	-0,14 (n.s.)
	normo-hyper	-0,06	-0,09 (n.s.)	-0,23	-0,30 (n.s.)
	hypo-hyper	-0,48	-0,56 (n.s.)	-0,32	-0,36 (n.s.)
IL/ML	hypo-normo	-1,09	-2,23 (*)	-1,07	-2,31 (n.s.)
	normo-hyper	+0,63	+1,40 (n.s.)	+0,18	+0,39 (n.s.)
	hypo-hyper	-0,46	-0,83 (n.s.)	-0,88	-1,86 (n.s.)

* entspricht $p < 0,05$, n.s. entspricht $p \geq 0,05$

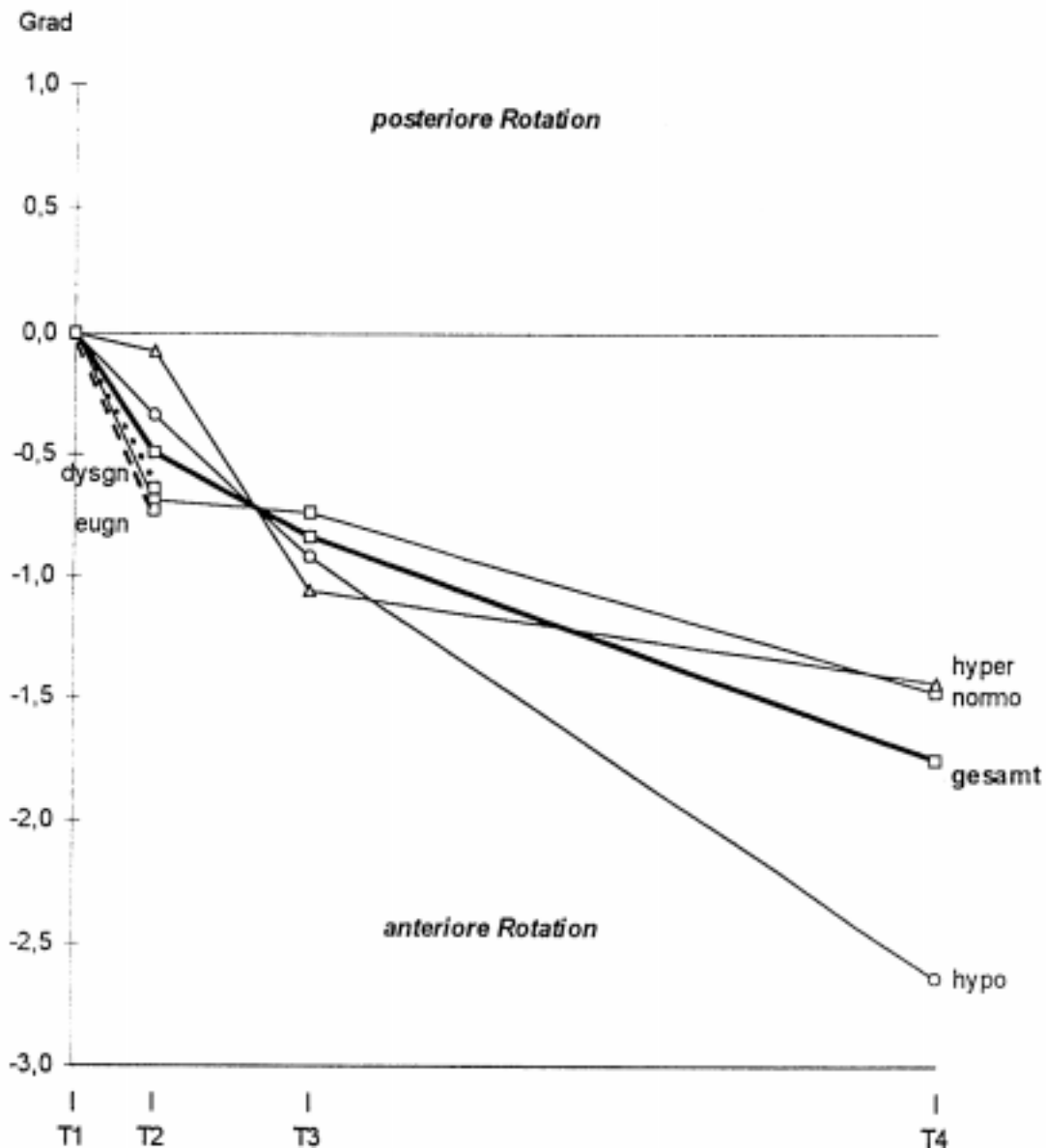


Abb.16: Graphische Darstellung der Veränderung der Variablen **IL/NSL** (= Total-Rotation des Unterkiefers) über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung. Untersuchung der **hypo-** (n=17), **normo-** (n=40) und **hyper-** (n=13) divergenten Gruppe sowie des **gesamten** Probandengutes (n=70) der Herbst-Patienten. Die **dysgnathe** Kontrollgruppe und die **eugnathe** Kontrollgruppe (Bolton-Standards) sind angegeben.

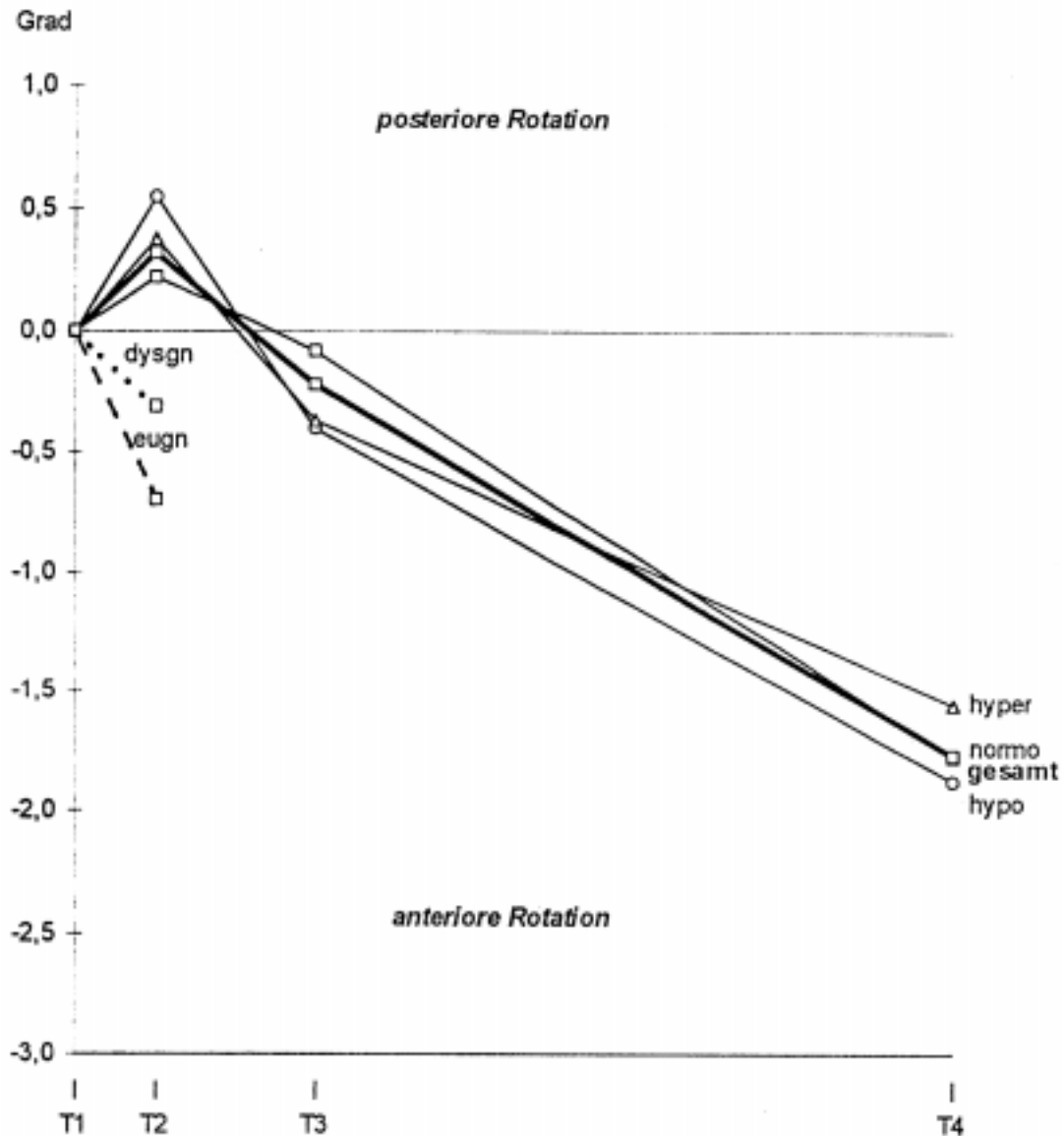


Abb.17: Graphische Darstellung der Veränderung der Variablen **ML/NSL** (= Matrix-Rotation des Unterkiefers) über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung. Untersuchung der **hypo-** (n=17), **normo-** (n=40) und **hyper-** (n=13) divergenten Gruppe sowie des **gesamten** Probandengutes (n=70) der Herbst-Patienten. Die **dysgnathe** Kontrollgruppe und die **eugnathe** Kontrollgruppe (Bolton-Standards) sind angegeben.

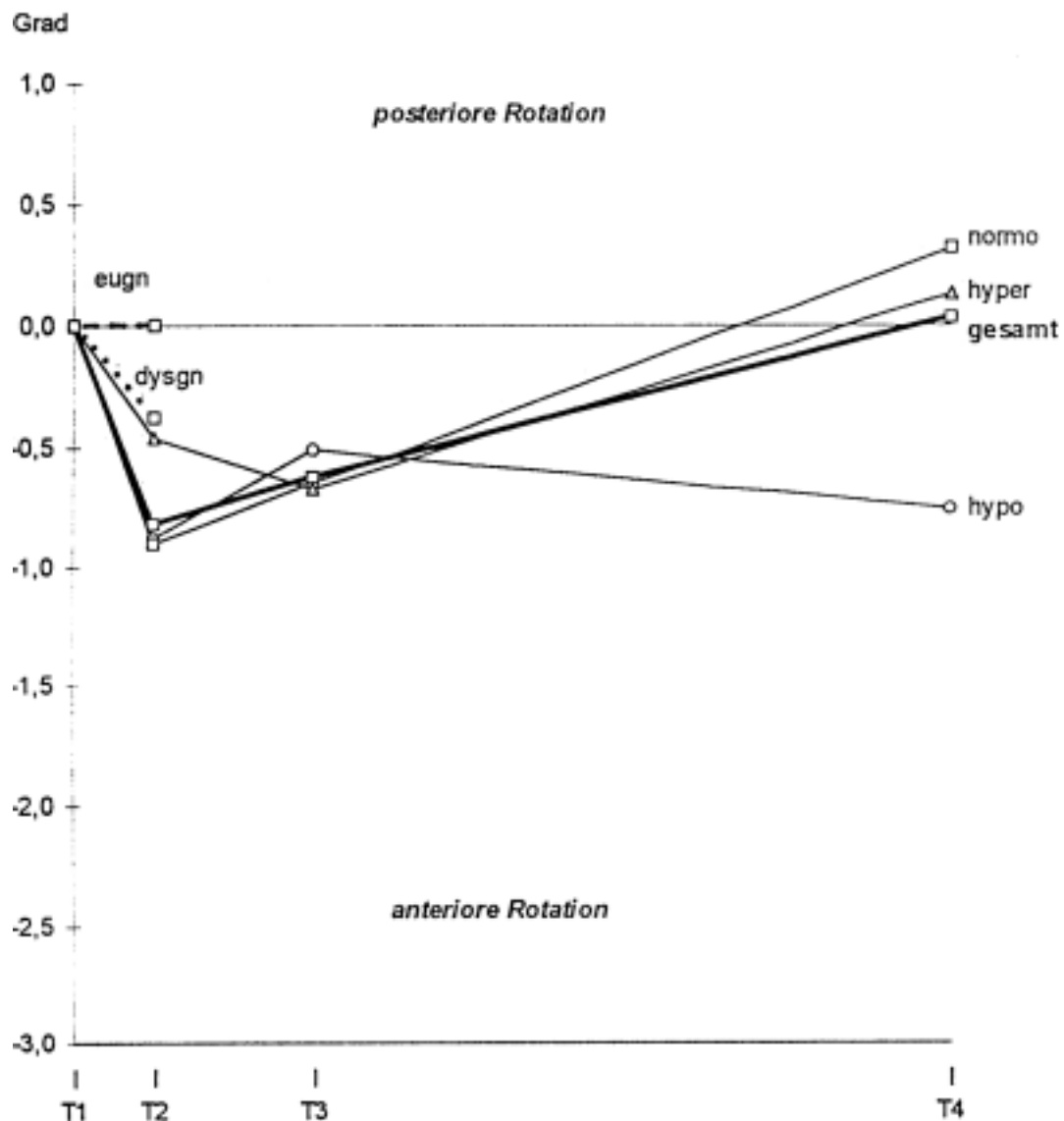


Abb.18: Graphische Darstellung der Veränderung der Variablen **IL/ML** (= Intramatrix-Rotation des Unterkiefers) über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung. Untersuchung der **hypo-** (n=17), **normo-** (n=40) und **hyper-** (n=13) divergenten Gruppe sowie des **gesamten** Probandengutes (n=70) der Herbst-Patienten. Die **dysgnathe** Kontrollgruppe und die **eugnathe** Kontrollgruppe (Bolton-Standards) sind angegeben.

7 DISKUSSION

7.1 Material

Die Gesamtzahl der untersuchten Herbst-Patienten war groß genug, um statistisch verwertbare Aussagen über die Auswirkung der Herbst-Behandlung auf die einzelnen Rotationsformen des Unterkiefers machen zu können. Dabei überwog zwar das männliche Geschlecht (44 Jungen, 26 Mädchen), die Zahl an weiblichen Patienten war dennoch ausreichend, um etwaige Geschlechtsunterschiede feststellen zu können. Im Vergleich zum normodivergenten Gesichtstyp (n=40) standen deutlich weniger Patienten mit hypo- bzw. hyperdivergenten Gesichtstyp (n=17 bzw. n=13) zur Verfügung, jedoch genügend viele, um Unterschiede zwischen diesen Gruppen feststellen zu können.

Eine Gruppe von 17 unbehandelten Jungen mit der gleichen Dysgnathie wie die Herbst-Patientengruppe wurde als Kontrollgruppe herangezogen. Zwar war das Durchschnittsalter mit 11,4 Jahren mit dem der Herbst-Patientengruppe (12,7 Jahre) etwa vergleichbar und die Länge des Zeitraumes mit 0,6 Jahren zwischen der ersten Messung (T1) und der zweiten (T2) identisch, es konnten aber keine weiteren Messungen (entsprechend den Zeitpunkten T3 und T4) vorgenommen werden, so daß das Verhalten der verschiedenen Rotationsformen nicht über einen längeren Zeitraum beurteilt werden konnte. Eine entsprechende unbehandelte dysgnathe Gruppe, die über mehrere Jahre dokumentiert ist, existierte bisher nicht.

Eine weitere Kontrollgruppe bestand aus unbehandelten eugnathen Probanden, den sogenannten Bolton-Standards.¹⁹ Das Alter und der Untersuchungszeitraum (zwischen T1 und T2) wurden denen der Herbst-Patienten-Gruppe angeglichen. Da die Überlagerung der Röntgenbilderdurchzeichnungen über die stabilen Knochenstrukturen im Unterkiefer in dieser Gruppe nicht über einen längeren Zeitraum möglich war, konnte auch hier eine Aussage nur über einen kurzen Zeitabschnitt getroffen werden.

In beiden Kontrollgruppen wurde keine Differenzierung in Bezug auf den Gesichtstyp vorgenommen. Man kann bei den Bolton-Standards jedoch davon ausgehen, daß kein Proband ein extremes Wachstumsmuster aufwies, weil dies zwangsläufig zu dysgnathen Verhältnissen geführt hätte,^{15,65} die den Probanden aus der Gruppe herausfallen hätten lassen.

7.2 Methode

Die in dieser Studie verwendete Methode ging auf die Untersuchungen von BJÖRK und SKIELLER¹⁷ zurück. Die Definitionen der verschiedenen Rotationsformen des Unterkiefers wurden übernommen. Eine wichtige Rolle spielte die Bestimmung der Total-Rotation des Unterkiefers, zu deren Zweck BJÖRK¹⁶ ursprünglich Knochen-Implantate verwendete, aber später die Methode der Überlagerung der Röntgenbilder über die stabilen Knochenstrukturen des Unterkiefers (strukurale Methode) als Alternative angegeben hat.¹⁷ Letzteres kam hier zur Anwendung.

Mehrere Autoren halten die Überlagerung der Röntgenbilder mit Hilfe der strukturalen Methode für zuverlässig,^{23,93} andere sind hingegen der Meinung, es gebe keine verlässlichen anatomischen Strukturen, die quantitative Messungen während des Unterkieferwachstums erlauben.⁵⁶ SOLOW und SIERSBAEK-NIELSEN⁹¹ gaben einen Meßfehler von $\pm 3^\circ$ an. BAUMRIND ET AL.⁶ weisen weiterhin darauf hin, daß die strukturale Methode im Unterschied zur Implantat-Methode keine verlässliche Aussage für den individuellen Fall liefern kann. Um den Methodenfehler zu reduzieren, empfehlen HALAZONETIS ET AL.⁴⁰ eine viermalige Messung mit anschließender Mittelwertbildung. DIBBETS³² schlägt zusätzlich die Verwendung einer Folienschablone vor, die auf dem Bild mit den am deutlichsten zu sehenden stabilen Knochenstrukturen angefertigt wird. Er gibt für diese Methode einen Methodenfehler von $0,23^\circ$ an. In dieser Studie wurden alle Messungen zweimal durchgeführt und der Methodenfehler lag zwischen $0,22^\circ$ und $1,63^\circ$.

Die vorliegende Untersuchung befaßte sich bei der Ermittlung der Intramatrix-Rotation des Unterkiefers nur mit den Remodellationsvorgängen, die zu einer Winkelveränderung zwischen der Implantatlinie und der Mandibularlinie führen und damit eine Bedeutung in der Beurteilung der Rotation des Unterkiefers haben. Fand eine gleichmäßige Apposition oder Resorption am vorderen und hinteren Mandibulaunterrand statt, so daß keine Intramatrix-Rotation zu messen war, also keine Differenz zwischen der Total-Rotation und der Matrix-Rotation, so war dieser Betrag an Remodellation für die Fragestellung dieser Untersuchung unerheblich und wurde folgerichtig nicht erfaßt.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Veränderungen während der Herbst-Behandlung

Total-Rotation des Unterkiefers (IL/NSL-Veränderungen)

In allen Gesichtstypgruppen der Herbst-Patienten kam es zu einer geringfügigen durchschnittlichen anterioren Total-Rotation des Unterkiefers (gesamtes Herbst-Patientengut $0,49^\circ$). Nach BJÖRK¹⁶ ist eine leichte anteriore Total-Rotation des Unterkiefers kennzeichnend für die normale Gesichtsschädelentwicklung. OEDEGAARD⁶⁶ beobachtete weiterhin, daß die Total-Rotation unabhängig von der sagittalen Lage des Unterkiefers ist und sich daher bei eugnathen Individuen und Angle-Klasse-II-Probanden, aus denen sich unser Patientengut zusammensetzte, gleich verhalten müsse. ISAACSON⁴⁸ fand ebenso bei Angle Klasse-II-Probanden eine durchschnittlich anteriore Total-Rotation. BJÖRK und SKIELLER¹⁷ stellten zudem fest, daß kein Zusammenhang zwischen der Total-Rotation und einer bestimmten Zahnstellung hergestellt werden könne. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, daß das in dieser Studie untersuchte Probandengut eine im Durchschnitt anteriore Total-Rotation vor der Behandlung hatte. Da mehrere Autoren^{17,87} eine Konstanz in der Richtung der Total-Rotation innerhalb eines Individuums beobachteten, ist anzunehmen, daß

die Probanden dieser Studie eine beständige anteriore Total-Rotation des Unterkiefers auch ohne kieferorthopädische Behandlung gehabt hätten. Daraus folgt, daß die beobachtete durchschnittlich anteriore Total-Rotation durch die Herbst-Behandlung nicht beeinflußt wurde.

Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien,^{17,66,87} die zeigen konnten, daß die Behandlung mit konventioneller festsitzender Apparatur die Richtung der Total-Rotation nicht veränderte, aber das Ausmaß reduzierte. Dazu konnte diese Studie keine Angaben machen, weil die Total-Rotation vor der Behandlung nicht gemessen wurde.

Untersuchungen von Aktivator-Patienten zeigten ebenso eine anteriore Total-Rotation.^{48,104,105} Bei Verwendung eines Headgears mit kaudaler Zugrichtung konnte MELSEN⁵⁹ andererseits zeigen, daß eine posteriore Total-Rotation des Unterkiefers während der Behandlung eintrat.

Matrix-Rotation des Unterkiefers (ML/NSL-Veränderungen)

Die Matrix-Rotation war bei allen Herbst-Patienten während der Behandlung (T2-T1) posterior (gesamtes Herbst-Patientengut 0,33°). Mehrere andere Studien^{73,78,84,99,102} belegen ebenfalls, daß der ML/NSL-Winkel durch die Behandlung mit der Herbst-Apparatur nur für einen kurzen Zeitraum vergrößert wird. HÄGG³⁹ kam zu einem anderen Ergebnis bei einem einzelnen Patienten des posterioren Wachstumstyps. Die vor der Behandlung beobachtete posteriore Matrix-Rotation stagnierte während der Herbst-Behandlung und war im Anschluß daran wieder posterior.

Während des natürlichen Wachstums sowohl bei eugnathen Probanden als auch bei Angle-Klasse-II-Probanden beobachteten zahlreiche Autoren hingegen eine Verkleinerung des ML/NSL-Winkels, also eine anteriore Matrix-Rotation.^{9,12,16,27,62,89} BJÖRK und SKIELLER¹⁷ wiesen jedoch darauf hin, daß die

Matrix-Rotation unabhängig vom Wachstumstyp in ihrer Richtung schwanken kann, so daß eine posteriore Matrix-Rotation zeitweise im Einzelfall auch beim anterioren Wachstumstyp vorkommen könnte. Da die Total-Rotation in dieser Studie durchschnittlich anterior war, muß ein durchschnittlich anteriores Wachstumsmuster vorgelegen haben, so daß der gemessenen posterioren Matrix-Rotation kein posteriores Wachstumsmuster zu Grunde liegen konnte. Es ist also anzunehmen, daß die Herbst-Behandlung für die posteriore Matrix-Rotation verantwortlich ist. Dafür spricht auch, daß die Matrix-Rotation nach der Behandlung deutlich nach anterior gerichtet war.

Bei der Behandlung mit konventioneller festsitzender Apparatur fanden einige Autoren gleichfalls eine Zunahme des ML/NSL-Winkels.^{17,27,46,89} Andere Autoren fanden allerdings keine Veränderung des ML/NSL-Winkels.^{28,44,107} Untersuchungen bei Aktivator-Patienten ergaben einerseits eine posteriore Matrix-Rotation,^{41,46,101,106} andererseits keinen Einfluß auf den ML/NSL-Winkel.^{1,67,68} Bei Verwendung eines Headgears mit kaudaler Zugrichtung wurde eine deutliche posteriore Matrix-Rotation gemessen.^{59,80}

Eine posteriore Matrix-Rotation kann in zweierlei Weise entstehen. Die eine Möglichkeit ist die, daß der gesamte Unterkiefer nach posterior rotiert, so wie es der posteriore Rotationstyp 1 nach BJÖRK (Abb. 5, S. 6) darstellt. Dann muß die Total-Rotation ebenso posterior sein. Dies war hier aber nicht der Fall. Daher kommt nur die zweite Möglichkeit in Frage, nämlich eine Remodellation am Mandibulaunterrind, und zwar vorwiegend eine Resorption im hinteren Bereich des Mandibulaunterrindes.⁷⁵

Intramatrix-Rotation des Unterkiefers (IL/ML-Veränderungen)

Die Intramatrix-Rotation war bei allen Herbst-Patienten anterior (gesamtes Herbst-Patientengut 0,82°). Das bedeutet, daß es während der Behandlung zu einer Remodellation vorwiegend mit Resorption im hinteren Bereich des

Mandibulaunterrandes kam.⁷⁵ Dies ist ebenso der Fall beim anterioren Wachstumsmuster, betrachtet über einen längeren Zeitraum.^{16,17,35} Es ist jedoch anzunehmen, daß die anteriore Intramatrix-Rotation durch die Behandlung verstärkt wurde. Dafür sprechen die deutliche Abnahme der Intramatrix-Rotation nach der Behandlung und die von BJÖRK und SKIELLER¹⁷ gemachte Beobachtung an einem Patienten vom anterioren Wachstumstyp, daß sich die anteriore Intramatrix-Rotation während der Behandlung eben verstärkte. Eine Messung vor der Behandlung in unserer Studie hätte dies wahrscheinlich bestätigen können.

Warum diese ungleichmäßigen Umbauprozesse hauptsächlich mit einer verstärkten Resorption im hinteren Bereich des Mandibulaunterrandes vorkommen,⁷⁵ darüber kann nur spekuliert werden. Es dürfte sich jedenfalls um einen wachstumsadaptiven Prozeß handeln, da nach dem Wachstumsende keine Intramatrix-Rotation bzw. Remodellation am Mandibulaunterrand beobachtet wurde.¹⁷

Es ist weiterhin denkbar, daß das Wachstum der Weichgewebshülle bzw. der Matrix nicht mit dem durch die Behandlung forcierten Unterkieferwachstum^{54,69,72,102} Schritt halten kann und die Diskrepanz zwischen dem Knochenwachstum und dem seiner Matrix durch Remodellation ausgeglichen wird.^{17,60}

Außerdem könnte die Aktivität der Kaumuskulatur eine Rolle bei der Knochenremodellation am Mandibulaunterrand spielen.^{57,61} Die reduzierte Aktivität der Massetermuskeln während der Herbst-Behandlung⁷⁰ induziert möglicherweise eine Knochenresorption,⁷⁵ was der ROUX 'schen Lehre von der funktionellen Anpassung entspräche.⁸²

7.3.2 Veränderungen nach der Herbst-Behandlung

Total-Rotation des Unterkiefers (IL/NSL-Veränderungen)

Die Total-Rotation war nach der Behandlung anterior (gesamtes Patientengut $1,25^\circ$). In den ersten 6 Monaten kann dies mit dem „Setzen der Okklusion“ erklärt werden mit der Folge einer Unterkieferrotation im Sinne des anterioren Rotationstyps 1 nach BJÖRK (Abb. 2, S. 4).^{73,84} Im weiteren Verlauf dürfte das normale Wachstumsmuster auch wieder zum Tragen kommen.^{75,76}

BJÖRK und SKIELLER¹⁷ konnten ebenfalls an einem einzelnen Patienten vom anterioren Wachstumstyp zeigen, daß die Total-Rotation nach der Behandlung mit konventioneller festsitzender Apparatur weiterhin anterior und etwa so wie vor der Behandlung war. Auch MELSEN⁵⁹ fand bei der Headgear-Behandlung von Patienten mit horizontalem Wachstumsmuster, daß die Total-Rotation, die während der Behandlung posterior war, anschließend verstärkt anterior war.

Dagegen fand MELSEN⁵⁹ bei zwei Patienten vom posterioren Wachstumstyp, daß die posteriore Total-Rotation des Unterkiefers nach der Headgear-Behandlung mit kaudaler Zugrichtung bestehen blieb. Dasselbe konnten BJÖRK und SKIELLER¹⁷ bei zwei Patienten vom posterioren Wachstumstyp nach der Behandlung mit konventioneller festsitzender Apparatur feststellen.

Matrix-Rotation des Unterkiefers (ML/NSL-Veränderungen)

Die Matrix-Rotation war nach der Behandlung anterior (gesamtes Patientengut $2,09^\circ$). Andere Studien kamen zu dem gleichen Ergebnis.^{76,84,102} Wie schon erwähnt, stellte HÄGG³⁹ aber bei einem einzelnen Patienten des posterioren Wachstumstyps fest, daß die posteriore Matrix-Rotation des Unterkiefers vor der Herbst-Behandlung im Anschluß daran wiederkehrte. Die Matrix-Rotation verhielt

sich daher, bezogen auf einen längeren Zeitraum, ähnlich wie die Total-Rotation, bei der das alte Wachstumsmuster wieder zu Tage trat.

Bei Untersuchungen von Patienten, die mit konventionellen kieferorthopädischen Geräten behandelt wurden, variierten die Ergebnisse. RYAN⁸⁸ stellte fest, daß der durch die Behandlung mit festsitzender Apparatur vergrößerte ML/NSL-Winkel nach der Behandlung in vielen Fällen vergrößert blieb. Andere Autoren^{17,44,46,89,107} beobachteten eine durchschnittliche Verkleinerung des ML/NSL-Winkels, die dem natürlichen Wachstum entspricht. Auch die Verwendung des Headgears mit unterschiedlicher Zugrichtung veränderte den ML/NSL-Winkel nicht signifikant.²² MELSEN⁵⁹ fand eine verstärkte anteriore Matrix-Rotation nach der Headgearbehandlung, die die posteriore Matrix-Rotation während der Behandlung kompensierte. WIESLANDER¹⁰¹ fand eine geringere anteriore Matrix-Rotation nach der Behandlung mit Aktivator im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrollgruppe. PANCHERZ^{67,68} stellte in wenigen Fällen eine posteriore Matrix-Rotation nach der Aktivatorbehandlung fest, schrieb dies aber größtenteils Dysfunktionen zu.

Intramatrix-Rotation des Unterkiefers (IL/ML-Veränderungen)

Die Intramatrix-Rotation war bei allen Herbst-Patienten nach der Behandlung leicht posterior (gesamtes Herbst-Patientengut 0,84°). Das bedeutet, daß Remodellation vorwiegend mit Apposition im hinteren Bereich des Mandibulaunterrandes stattgefunden haben muß.

Während des normalen Wachstums kommt es zu einer Remodellation mit Resorption im hinteren und Apposition im vorderen Bereich des Mandibulaunterrandes (Abb. 1, S. 3).^{16,17,35} Die nach der Herbst-Behandlung aufgetretene Apposition im hinteren Bereich des Mandibulaunterrandes, die bereits in einer früheren Untersuchung⁷⁵ nachgewiesen wurde, ist daher ungewöhnlich. Eine Erklärung könnte die erhöhte Aktivität der am Kieferwinkel ansetzenden

Kaumuskeln nach der Herbst-Behandlung sein, welche einen Knochenanbau in dem Bereich induziert.^{57,61,70,82}

Es ist weiterhin denkbar, daß das Wachstum der Weichgewebshülle bzw. der Matrix nach der Behandlung das Wachstum des Unterkieferknochens übertraf und die Diskrepanz zwischen dem Knochenwachstum und dem seiner Matrix durch Remodellation ausgeglichen werden mußte.^{17,60} Dafür spricht, daß das während der Herbst-Behandlung forcierte Kondylenwachstum nach der Behandlung verlangsamt ist.^{54,71}

7.3.3 Vergleich der drei Gesichtstypgruppen

Der Vergleich zwischen den Gesichtstypgruppen der Herbst-Patienten zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied. In der hypodivergenten Gruppe waren aber alle Rotationsformen (mit Ausnahme der Intramatrix-Rotation nach der Behandlung) ausgeprägter. Zu beachten ist, daß auch die hyperdivergente Gruppe eine durchschnittlich anteriore Total-Rotation aufwies.

NANDA⁶² beobachtete auch bei unbehandelten Probanden eine mit dem Alter stetige Abnahme des ML/NSL-Winkels sowohl bei horizontalem als auch bei vertikalem Wachstumsmuster. Mehrere Autoren kamen ebenfalls zu dem Schluß, daß der Gesichtstyp keinen Einfluß auf den Erfolg einer kieferorthopädischen Behandlung sowohl mit konventionellen Geräten als auch mit der Herbst-Apparatur habe.^{44,69,85,107}

BERGERSEN⁸ und CREEKMORE²⁸ jedoch stellten einen deutlichen Unterschied zwischen hypo- und hyperdivergenten Fällen bei der Behandlung mit konventioneller festsitzender Apparatur fest. Der ML/NSL-Winkel nahm in der hypodivergenten Gruppe ab, während er in der hyperdivergenten Gruppe gleich blieb bzw. größer wurde.

7.3.4 Veränderungen in der dys- und eugnathen Kontrollgruppe

Die Total-Rotation war innerhalb des 7-monatigen Zeitraums von T1 nach T2 in der dysgnathen und der eugnathen Kontrollgruppe leicht anterior und tendenziell größer als in der Herbst-Gruppe ($0,7^\circ$ gegenüber $0,5^\circ$). Demnach scheint die Annahme, daß die Total-Rotation in der Herbst-Gruppe durch die Behandlung kaum beeinflußt wurde, richtig zu sein.

Die Matrix-Rotation war innerhalb des 7-monatigen Zeitraums von T1 nach T2 in der dysgnathen und der eugnathen Kontrollgruppe anterior ($0,3^\circ$ bzw. $0,7^\circ$) und hatte damit gegenüber der Herbst-Gruppe die entgegengesetzte Richtung. Dies bestätigt die Vermutung, daß die Herbst-Behandlung die Matrix-Rotation nach posterior geändert hatte. Weitere Interpretationen läßt der kurze Beobachtungszeitraum nicht zu.

Die Intramatrix-Rotation war innerhalb des 7-monatigen Zeitraums von T1 nach T2 in der dysgnathen Kontrollgruppe leicht anterior ($0,4^\circ$), während in der eugnathen Kontrollgruppe durchschnittlich keine Intramatrix-Rotation zu finden war. Demgegenüber war die anteriore Intramatrix-Rotation in der Herbst-Gruppe größer ($0,8^\circ$), was bestätigt, daß die Herbst-Behandlung zu einer verstärkten anterioren Intramatrix-Rotation führte. Weitere Interpretationen läßt der kurze Beobachtungszeitraum nicht zu.

7.3.5 Vergleich männlicher und weiblicher Herbst-Patienten

Die Untersuchung der Matrix-Rotation (ML/NSL) ergab für den Zeitraum T2-T1 und T4-T1 einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Patienten (gesamtes Herbst-Patientengut). Während der ML/NSL-Winkel bei den männlichen Patienten im Verlauf der Behandlung praktisch gleich blieb ($+0,03^\circ$), vergrößerte er sich bei den weiblichen Patienten um $+0,84^\circ$. Nach der Herbst-Behandlung verkleinerte sich der ML/NSL-Winkel bei den männlichen

Patienten stärker ($-2,35^\circ$) als bei den weiblichen Patienten ($-1,67^\circ$). Während der Behandlung trat demnach keine Matrix-Rotation bei den männlichen Patienten auf, hingegen eine posteriore Matrix-Rotation bei den weiblichen Patienten. Nach der Behandlung war die anteriore Matrix-Rotation bei den männlichen ausgeprägter als bei den weiblichen Patienten. RUF und PANCHERZ⁸⁴ fanden ebenfalls für den gleichen Zeitraum eine stärkere Abnahme des ML/NSL-Winkels bei männlichen ($-2,5^\circ$) als bei weiblichen Herbst-Patienten ($-1,4^\circ$).

Die Abnahme des ML/NSL-Wertes nach der Herbst-Behandlung kann, wie schon erwähnt, als ein Resultat des natürlichen Wachstumsprozesses betrachtet werden.^{9,12,16,62} Daher dürfte das stärkere Wachstum der männlichen Patienten auch zu einer stärkeren Abnahme des ML/NSL-Winkels führen.^{11,24,25,38,42}

9 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Untersuchung war es, die Auswirkungen der Herbst-Apparatur auf die von BJÖRK und SKIELLER¹⁷ beschriebene Total-, Matrix- und Intramatrix-Rotation des Unterkiefers zu ermitteln. Es wurden hierzu 70 Patienten (44 Jungen und 26 Mädchen) untersucht, die anhand des Mandibularbasiswinkels von vor der Behandlung in drei Gesichtstyp-Gruppen eingeteilt wurden: hypodivergent ($ML/NSL \leq 26^\circ$, 17 Patienten), normodivergent ($ML/NSL = 26,5^\circ - 36,5^\circ$, 30 Patienten) und hyperdivergent ($ML/NSL \geq 37^\circ$, 13 Patienten). Von allen Patienten wurden in habitueller Okklusion erstellte Fernröntgenseitenbilder des Kopfes von vor, nach, 0,6 Jahre nach, 1 Jahr nach und 5 Jahre nach der Herbst-Behandlung ausgewertet. Zum Vergleich wurden eine dysgnathe Kontrollgruppe (17 unbehandelte Jungen mit einer Klasse-II/1-Dysgnathie) und eine eugnathe Kontrollgruppe (32 unbehandelte Probanden mit Idealokklusion, die sogenannten „Bolton-Standards,“) herangezogen.

Zur Darstellung der Rotationsformen des Unterkiefers wurde im ersten FRS eine „Implantatlinie, (IL) in der Mandibula konstruiert und auf die darauffolgenden FRS (Herbst-Patienten, dysgnathe bzw. eugnathe Kontrollprobanden) nach Überlagerung der Röntgenbilder über die stabilen Knochenstrukturen des Unterkiefers übertragen. Die drei Rotationsformen wurden nach Superponierung der Bilder über die vordere Schädelbasis folgendermaßen ermittelt: (1) Total-Rotation: Veränderung der konstruierten Implantatlinie (IL) relativ zur vorderen Schädelbasis - entspricht der Rotation des Corpus mandibulae. (2) Matrix-Rotation: Veränderung der Tangente am Unterrand der Mandibula (ML) relativ zur vorderen Schädelbasis - entspricht der Rotation der Weichgewebematrix des Unterkiefers. (3) Intramatrix-Rotation: Veränderung von IL relativ zu ML. Sie ergibt sich aus der Differenz der Total-Rotation und der Matrix-Rotation - entspricht der Remodellierung des Knochens am Unterrand der Mandibula.

Die Untersuchung führte zu folgenden Ergebnissen:

- Veränderungen *während der Behandlung*: In allen Gesichtstypgruppen der Herbst-Patienten und auch in beiden Kontrollgruppen kam es zu einer geringfügigen anterioren Total-Rotation des Unterkiefers (gesamtes Herbst-Patientengut $0,49^\circ$; $p < 0,001$). Die Matrix-Rotation war bei den Herbst-Patienten posterior (gesamtes Herbst-Patientengut $0,33^\circ$; $p < 0,05$). In der dysgnathen und der eugnathen Kontrollgruppe hingegen war die Matrix-Rotation anterior ($0,31^\circ$; $p < 0,05$ bzw. $0,70^\circ$). Die Intramatrix-Rotation war bei allen Herbst-Patienten anterior (gesamtes Herbst-Patientengut $0,82^\circ$; $p < 0,001$). In der dysgnathen Kontrollgruppe fand auch eine leichte anteriore Intramatrix-Rotation statt ($0,38^\circ$; n.s.), während in der eugnathen Kontrollgruppe durchschnittlich keine Intramatrix-Rotation zu finden war.
- Veränderungen *nach der Behandlung*: Bei den Herbst-Patienten waren die Total- und die Matrix-Rotation des Unterkiefers anterior (gesamtes Herbst-Patientengut $1,25^\circ$ bzw. $2,09^\circ$; $p < 0,001$) und die Intramatrix-Rotation posterior (gesamtes Herbst-Patientengut $0,84^\circ$; $p < 0,001$).
- Der Vergleich zwischen den drei Gesichtstypgruppen der Herbst-Patienten zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied für die drei Rotationsformen des Unterkiefers. In der hypodivergenten Gruppe waren aber die Rotationsformen (mit Ausnahme der Intramatrix-Rotation nach der Behandlung) ausgeprägter.
- Der Vergleich männlicher und weiblicher Herbst-Patienten ergab, daß die Matrix-Rotation während der Behandlung bei den männlichen Patienten nicht vorhanden war, während sie bei den weiblichen Patienten posterior war ($0,84^\circ$). Nach der Behandlung war die anteriore Matrix-Rotation bei den männlichen Patienten ausgeprägter (n.s.) als bei den weiblichen ($2,4^\circ$ gegenüber $1,7^\circ$). Bezüglich der Total- und Intramatrix-Rotation konnte kein

statistisch signifikanter Geschlechtsunterschied weder während noch nach der Behandlung ermittelt werden.

Schlußfolgernd konnte folgendes festgestellt werden: Die während des natürlichen Wachstums anteriore *Total-Rotation* des Unterkiefers wurde durch die Herbst-Behandlung nicht beeinflusst. Durch Umbauprozesse am Unterrand der Mandibula (*Intramatrix-Rotation*) war aber eine posteriore *Matrix-Rotation* während der Behandlung zu finden. Durch einen reversiblen Umbau am Unterkieferunterrand nach der Behandlung änderte sich die posteriore *Matrix-Rotation* nach anterior. Die Veränderungen waren bei hypo- und hyperdivergenten Patienten vergleichbar.

10 SUMMARY (Zusammenfassung in Englisch)

The aim of the present investigation was to assess the influence of Herbst appliance treatment on the total, matrix and intramatrix rotation of the mandible described by Björk and Skieller.¹⁷ The patient material comprised of 70 Class II, division 1 patients (44 boys, 26 girls). According to the pretreatment mandibular plane angle the subjects were divided into three facial type groups: hypodivergent ($ML/NSL \leq 26^\circ$, 17 patients), normodivergent ($ML/NSL = 26,5^\circ - 36,5^\circ$, 30 patients) and hyperdivergent ($ML/NSL \geq 37^\circ$, 13 patients). Lateral head films in habitual occlusion from before and after treatment as well as 0.6 years, 1 year and 5 years posttreatment were analysed. As control subjects 17 untreated boys with a Class II, division 1 malocclusion and the „Bolton-Standards“, a group of 32 untreated individuals with an ideal occlusion, were used.

The rotation components of the mandible were analysed by constructing an implant line (IL) in the mandibular corpus on the first head film and transferring the line to the subsequent head films (Herbst group and both control groups) after superimposition of the radiographs on the stable bone structures of the mandible. The three types of mandibular rotation were registered after superimposition of the head films on the anterior cranial base: (1) Total rotation: change of the constructed implant line (IL) relative to the anterior cranial base - expresses the rotation of the mandibular corpus. (2) Matrix rotation: change of the tangential mandibular line (ML) relative to the anterior cranial base - expresses the rotation of the soft tissue matrix of the mandible. (3) Intramatrix rotation: change of IL relative to ML, determined by the difference between total rotation and matrix rotation - expresses mandibular lower border bone remodelling.

The investigation revealed the following:

- *Treatment changes:* In all facial type groups of the Herbst patients and in both control groups minimal anterior total rotation of the mandible occurred (whole

Herbst group 0.49° ; $p < 0.001$). Matrix rotation was posteriorly directed in the Herbst patients (whole Herbst group 0.33° ; $p < 0.05$). In the Class II and the Bolton control groups matrix rotation was anteriorly directed (0.31° ; $p < 0,05$ and 0.70° respectively). Intramatrix rotation was anteriorly directed in the Herbst patients (whole Herbst group 0.82° ; $p < 0.001$) as well as in the Class II control subjects (0.38° ; n.s). In the Bolton control group no intramatrix rotation was found.

- *Posttreatment changes:* In the Herbst patients total and matrix mandibular rotations were anterior (whole Herbst group 1.25° and 2.09° respectively ; $p < 0.001$) and intramatrix rotation was posterior (whole Herbst group 0.84° ; $p < 0.001$).
- When comparing the three facial type groups of the Herbst patients no statistical differences for the three mandibular rotation components were found. However, in the hypodivergent group the rotation components (except for the intramatrix rotation after treatment) were more pronounced.
- When comparing the males and females of the Herbst group no matrix rotation was seen during treatment in boys while posterior matrix rotation existed in girls (0.84°). Posttreatment matrix rotation was more pronounced (n.s.) in boys than in girls (2.4° versus 1.7°). Considering total and intramatrix rotation no significant gender differences could be found either during or after treatment.

The investigation resulted in the following conclusions: The existing normal anterior *total rotation* of the mandible during growth was not affected by Herbst treatment. However, due to mandibular lower border remodelling (*intramatrix rotation*) posterior *matrix rotation* was found. As a result of reversed mandibular lower border remodelling posttreatment anterior *matrix rotation* of the mandible occurred. The changes in hypo- and hyperdivergent patients were comparable.

11 LITERATUR

- 1 ANDERSSON I, AHLGREN J: Vertical growth changes during and after activator treatment.
Trans. Eur. Orthod. Soc.: 57-67, 1977.
- 2 ANDRESEN V, HÄUPL K: Funktions-Kieferorthopädie.
Verlag H. Meusser, Berlin, 1936.
- 3 ANGLE EH: Malocclusion of the teeth.
S. S. White Dental Mfg. Co, Philadelphia, 1907.
- 4 BALTERS W: Die Technik und Übung der allgemeinen und speziellen Bionatortherapie.
Quintessenz Referat 2378: 1-9, 1964.
- 5 BALTROMEJUS S: „Effektive“ Kiefergelenks- und Kinnveränderungen bei der Aktivatorbehandlung.
Diss. med. dent., Justus-Liebig-Universität Gießen, 1998.
- 6 BAUMRIND S: Mandibular remodeling measured on cephalograms. 1. Osseous changes relative to superimposition on metallic implants. 2. A comparison of information from implant and anatomic best-fit superimpositions.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **102**: 134-42, 227-38, 1992.
- 7 BEGG PR: The origin and progress of the light wire differential force technique.
Begg J. Orthod. Theory Treatment **4**: 9-34, 1968.

- 8 BERGERSEN EO: The direction of facial growth from infancy to adulthood. Angle Orthod. **36**: 18-43, 1966.
- 9 BHATIA SN, LEIGHTON BC: A manual of facial growth: a computer analysis of longitudinal cephalometric growth data. Oxford Univ. Press 377, Oxford, 1993.
- 10 BIRKEBAEK L, MELSEN B, TERP S: A laminagraphic study of the alterations in the temporomandibular joint following activator treatment. Eur. J. Orthod. **6**: 257-66, 1984.
- 11 BISHARA SE, JAMISON JE, PETERSON LC, DE KOCK WH: Longitudinal changes in standing height and mandibular parameters between the ages of 8 and 17 years. Am. J. Orthod. **80**: 115-35, 1981.
- 12 BISHARA SE, JAKOBSEN JR, VORHIES B, BAYATI P: Changes in dentofacial structures in untreated Class II, division 1 and normal subjects: A longitudinal study. Angle Orthod. **67**: 55-66, 1997.
- 13 BJÖRK A: The principles of the Andresen method of orthodontic treatment: A discussion based on cephalometric x-ray analysis of treated cases. Am. J. Orthod. **37**: 437-58, 1951.
- 14 BJÖRK A: Facial growth in man. Acta-Odontol-Scand. **13**: 9-34, 1955.
- 15 BJÖRK A: Variations in the growth pattern of the human mandible: longitudinal radiographic study by the implant method. J. Dent. Res. Supplement 1 **42**: 400-11, 1963.

- 16 BJÖRK A: Prediction of mandibular growth rotation.
Am. J. Orthod. **55**: 585-99, 1969.
- 17 BJÖRK A, SKIELLER V: Normal and abnormal growth of the mandible. A synthesis of longitudinal cephalometric implant studies over a period of 25 years.
Eur. J. Orthod. **5**: 1-46, 1983.
- 18 BREITNER C: Bone changes resulting from experimental orthodontic treatment.
Am. J. Orthod. Oral Surg. **26**: 521-47, 1940.
- 19 BROADBENT BH, BROADBENT BH JR, GOLDEN W: Bolton standards of dentofacial development growth.
C.V. Mosby company, St. Louis, 1975.
- 20 BRODIE AG: On the growth pattern of the human head.
Am. J. Anat. **68**: 209-68, 1941.
- 21 BROWN P: A cephalometric evaluation of high-pull molar headgear and face-bow neck strap therapy.
Am. J. Orthod. **74**: 621-32, 1978.
- 22 BURKE M, JACOBSON A: Vertical changes in high-angle Class II, division 1 patients treated with cervical or occipital pull headgear.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **102**: 501-8, 1992.
- 23 BUSCHANG PH, LAPALME L, TANGUAY R, DEMIRJIAN A: The technical reliability of superimposition on cranial base and mandibular structures.
Eur. J. Orthod. **8**: 152-6, 1986.

- 24 BUSCHANG PH, TANGWAY R, DEMIRJIAN A, LA PALME L, TURKEWICZ J: Mathematical models of longitudinal mandibular growth for children with normal and untreated Class II, division 1 malocclusion.
Eur. J. Orthod. **10**: 227-34, 1988.
- 25 CARTER NE: Dentofacial changes in untreated Class II division 1 subjects.
Br. J. Orthod. **14**: 225-34, 1987.
- 26 CETLIN NM, TEN HOEVE A: Nonextraction treatment.
J. Clin. Orthod. **17**: 396-413, 1983.
- 27 CREEKMORE TD: Inhibition or stimulation of the vertical growth of the facial complex - Its significance to treatment.
Angle Orthod. **37**: 285-97, 1967.
- 28 CROSS JJ: Facial growth: Before, during, and following orthodontic treatment.
Am. J. Orthod. **71**: 68-78, 1977.
- 29 DAHAN J, DOMBROWSKY KJ, OEHLER K: Static and dynamic morphology of the temporomandibular joint before and after functional treatment with the activator.
Trans. Eur. Orthod. Soc. **45**: 255-74, 1969.
- 30 DAHLBERG G: Statistical methods for medical and biological students.
Interscience Publications, New York, 1940.
- 31 DIBBETS JMH: The puzzle of growth rotation.
Am. J. Orthod. **87**: 473-80, 1985.

- 32 DIBBETS JMH: A method for structural mandibular superimpositioning.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **97**: 66-73, 1990.
- 33 EHMER U: Zu Formveränderungen der Mandibula unter Therapie und Wachstum bei skelettaler Unterkieferrücklage und dentoalveolärer Klasse II/1.
Fortschr. Kieferorthop. **46**: 249-60, 1985.
- 34 ELGOYHEN JC, MOYERS RE, MCNAMARA JA JR, RIOLO ML: Craniofacial adaption to protrusive function in young rhesus monkeys.
Am. J. Orthod. **62**: 469-80, 1972.
- 35 ENLOW, DH: Handbuch des Gesichtswachstums.
Verlag „Die Quintessenz“, Berlin, 1989.
- 36 FERREIRA SL: Class II Division 2 deep overbite malocclusion correction with nonextraction therapy and Class II elastics.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **114**: 166-75, 1998.
- 37 FRÄNKEL R: Funktionskieferorthopädie und der Mundvorhof als apparative Basis.
Quintessenz Referat 2355: 1-7, 1964.
- 38 HÄGG U, PANCHERZ H: Dentofacial orthopedics in relation to chronological age, growth period and skeletal development. An analysis of 72 male patients with Class II Division1 malocclusion treated with the Herbst appliance.
Eur. J. Orthod. **10**: 169-76, 1988.
- 39 HÄGG U: Change in mandibular growth direction by means of a Herbst appliance? A case report.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **102**: 456-63, 1992.

- 40 HALAZONETIS DJ, SHAPIRO E, GHEEWALLA RK, CLARK RE: Quantitative description of the shape of the mandible.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **99**: 49-56, 1991.
- 41 HARVOLD EP, VARGERVIK K: Morphogenetic response to activator treatment.
Am. J. Orthod. **60**: 478-90, 1971.
- 42 HARRIS E: A cephalometric analysis of mandibular growth rate.
Am. J. Orthod. **48**: 161-173, 1962.
- 43 HERBST E: Dreissigjährige Erfahrungen mit dem Retentionsscharnier.
Zahnärztliche Rundschau **43**: 1515-24, 1563-8, 1611-6, 1934.
- 44 HERING K, RUF S, PANCHERZ H: Orthodontic treatment of open bite and and deep bite „high-angle“ malocclusions.
Angle Orthod. (accepted for publication), 1999.
- 45 HOYER BU: Die dentoskelettale Morphologie der Angle-Klasse II.1. Eine röntgenkephalometrische Studie.
Diss. med. dent. Justus-Liebig-Universität Gießen, 1995.
- 46 HULTGREN BW: Mechanics, growth, and Class II corrections.
Am. J. Orthod. **74**: 388-95, 1978.
- 47 ISAACSON RJ, ZAPFEL RJ, WORMS FW, BEVIS RR, SPEIDEL TM: Some effects of mandibular growth on the dental occlusion and profile.
Angle Orthod. **47**: 97-106, 1977.

- 48 ISAACSON RJ, ZAPFEL RJ, WORMS FW, ERDMAN AG: Effects of rotational jaw growth on the occlusion and profile.
Am. J. Orthod. **72**: 276-86, 1977.
- 49 JAKOBSSON SO: Cephalometric evaluation of treatment effect on Class II, Division 1 malocclusions.
Am. J. Orthod. **53**: 446-57, 1967.
- 50 KING EW: Cervical anchorage in Class II, Division 1 treatment, a cephalometric appraisal.
Angle Orthod. **27**: 98-104, 1957.
- 51 KINGSLEY NW: A treatise on oral deformities as a branch of mechanical surgery.
Appleton & Company, New York, 1880.
- 52 KLEIN PL: An evaluation of cervical traction on the maxilla and the upper first permanent molar.
Angle Orthod. **27**: 61-82, 1957.
- 53 KLOEHN SJ: Guiding alveolar growth and eruption of teeth to reduce treatment time and procedure a more balanced denture and face.
Angle Orthod. **17**: 10-33, 1947.
- 54 KOHLHAS P: „Effektive Kiefergelenks- und Kinnveränderungen bei der Herbst-Behandlung.
Diss. med. dent., Justus-Liebig-Universität Gießen, 1997.
- 55 KUHN RJ: Control of anterior vertical dimension and proper selection of extraoral anchorage.
Angle Orthod. **38**: 340-9, 1969.

- 56 MATHEWS JR, WARE WH: Longitudinal mandibular growth in children with tantalum implants.
Am. J. Orthod. **74**: 633-55,1978.
- 57 MCFEE CE, KRONMAN JH: Cephalometric study of craniofacial development in rabbits with impaired masticatory function.
J. Dent. Res. **48**: 1268-73,1969.
- 58 MCNAMARA JA JR: Neuromuscular and skeletal adaption to altered function in the orofacial region.
Am. J. Orthod. **64**: 588-606, 1973.
- 59 MELSEN B: Effects of cervical anchorage during and after treatment: An implant study.
Am. J. Orthod. **73**: 526-40, 1978.
- 60 MOSS ML: The primary role of functional matrices in facial growth.
Am. J. Orthod. **55**: 566-77, 1969.
- 61 NANDA SK, MEROW WW, SASSOUNI V: Repositioning of the masseter muscle and its effect on skeletal form and structure.
Angle Orthod. **37**: 304-8,1967.
- 62 NANDA SK,: Growth patterns in subjects with long and short faces.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **98**: 247-58, 1990.
- 63 NEWMAN GV: Treatment of high angle cases with the Begg technique.
J. Pract. Orthod. **3**: 176-195, 1969.

- 64 NIELSEN IL: Vertikale Okklusionsanomalien: Ätiologie, Entwicklung, Diagnose und einige Behandlungsaspekte.
Inf. Orthod. Kieferorthop. **2**: 181-203, 1992.
- 65 NIELSEN IL: Facial growth and short face - long face Development in „Orthodontic Management of Facial Height“, pp. 47-62.
Verlag Neuer Merkur GmbH, München, 1999.
- 66 OEDEGAARD J: Growth of the mandible studied with the aid of metal implants.
Am. J. Orthod. **57**: 145-157, 1970.
- 67 PANCHERZ H: Relapse after activator treatment.
Am. J. Orthod. **72**: 499-512, 1977.
- 68 PANCHERZ H: The mandibular plane angle in activator treatment.
The Angle Orthod. **49**: 11-20, 1979.
- 69 PANCHERZ H: Treatment of Class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst-appliance. A cephalometric investigation.
Am. J. Orthod. **76**: 423, 1979.
- 70 PANCHERZ H, ANEHUS-PANCHERZ M: Muscle activity in Class II, Division 1 malocclusions treated by bite jumping with the Herbst appliance.
Am. J. Orthod. **78**: 321-29, 1980.
- 71 PANCHERZ H: The effect of continuous bite jumping on the dentofacial complex: a follow-up study after Herbst appliance treatment of Class II malocclusions.
Eur. J. Orthod. **3**: 49-60, 1981.

- 72 PANCHERZ H: The mechanism of class II correction in Herbst appliance treatment: A cephalometric investigation.
Am. J. Orthod. **82**: 104-13, 1982.
- 73 PANCHERZ H: Vertical dentofacial changes during Herbst appliance treatment.
Swed. Dent. J. Suppl. **15**: 189-96, 1982.
- 74 PANCHERZ H, HANSEN K: Occlusal changes during and after Herbst treatment: a cephalometric investigation.
Eur. J. Orthod. **8**: 215-28, 1986.
- 75 PANCHERZ H, LITTMANN C: Morphologie und Lage des Unterkiefers bei der Herbst- Behandlung. Eine kephalometrische Analyse der Veränderungen bis zum Wachstumsabschluß.
Inf. Orthod. Kieferorthop. **21**: 493-519, 1989.
- 76 PANCHERZ H, FACKEL U: The skeletofacial growth pattern pre and post-dentofacial orthopedics. A long-term study of Class II malocclusions treated with the Herbst-appliance.
Eur. J. Orthod. **12**: 209-18, 1990.
- 77 PANCHERZ H, ANEHUS-PANCHERZ M: The headgear effect of the Herbst appliance: A cephalometric long-term study.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **103**: 510-20, 1993.
- 78 PAULSEN HU: Morphological changes of the TMJ condyles in 100 patients treated with the Herbst appliance in the period of puberty to adulthood.
Eur. J. Orthod. **19**: 657-68, 1997.

- 79 RAKOSI T: Atlas, Fernröntgenanalyse.
Hanser Verlag, München, 1979.
- 80 RICKETTS RM: Cephalometric synthesis.
Am. J. Orthod. **46**: 647-73, 1960.
- 81 ROBERTS FG, PRUZANSKY S, ADUSS H: An x-radiocephalometric study of
mandibulofacial dysostosis in man.
Archives of Oral Biology **20**: 265-281, 1975.
- 82 ROUX W, zitiert bei Fränkel R: Entwicklungsmechanik der Organismen.
Verlag W. Engelmann, Band I und II, Leipzig, 1895/1984.
- 83 RUBIN RM: Planning treatment in high angle Class II malocclusion.
Angle Orthod. **45**: 43-54, 1975.
- 84 RUF S, PANCHERZ H: The effect of Herbst appliance treatment on the
mandibular plane angle: A cephalometric roentgenographic study.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **110**: 225-29, 1996.
- 85 RUF S, PANCHERZ H: The mechanism of Class II correction during Herbst
therapy in relation to the vertical jaw base relationship: A cephalometric
roentgenographic study.
Angle. Orthod. **67**: 271-76, 1997.
- 86 RUF S, PANCHERZ H: Temporomandibular joint growth adaptation in Herbst
treatment: A prospective magnetic resonance imaging and cephalometric
roentgenographic study.
Eur. J. Orthod. **20**: 375-88, 1998.

- 87 RUNE B, SARNÄS KV, SELVIK G: Growth rotation - a puzzle?
Europ. J. Orthod. **9**: 237-39, 1987.
- 88 RYAN MJ, SCHNEIDER BJ, BEGOLE EA, MUHL ZF: Opening rotations of
the mandible during and after treatment.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthoped. **114**: 142-9, 1998.
- 89 SCHUDY F: The rotation of the mandible resulting from growth: Ist
implications in orthodontic treatment.
Angle Orthod. **35**: 36-50, 1965.
- 90 SOLOW B: The dentoalveolar compensatory mechanism: Background and
clinical implications.
Br. J. Orthod. **7**: 145-61, 1980.
- 91 SOLOW B, SIERSBAEK-NIELSEN S: Growth changes in head posture
related to craniofacial development.
Am. J. Orthod. **89**: 132-40, 1986.
- 92 SPERBER GH: Embryologie des Kopfes.
Quintessenz Verlag, Berlin, 1992.
- 93 SPRINGATE S, JONES AG: The validity of two methods of mandibular
superimposition: A comparison with tantalum implants.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **113**: 263-70, 1998.
- 94 STÖCKLI PW, WILLERT HG: Tissue reactions in the temporomandibular
joint resulting from anterior displacement of the mandible in the monkey.
Am. J. Orthod. **60**: 142-55, 1971.

- 95 TEUSCHER UM: A growth-related concept for skeletal Class II treatment.
Am. J. Orthod. **74**: 258-75, 1978.
- 96 TWEED CH: The Frankfort-mandibular plane angle in orthodontic diagnosis, classification, treatment planning, and prognosis.
Am. J. Orthod. **32**: 175-230, 1946.
- 97 VAN BEEK H: Therapeutical mandibular rotation in the treatment of long faces and short faces in „Orthodontic Management of Facial Height“, pp. 11-20.
Verlag Neuer Merkur GmbH, München, 1999.
- 98 VAN DER LINDEN F: The development of short and long faces, and their limitations in treatment in „Orthodontic Management of Facial Height“, pp. 39-43.
Verlag Neuer Merkur GmbH, München, 1999.
- 99 VALANT JR, SINCLAIR PM: Treatment effects of the Herbst appliance.
Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. **95**: 138-47, 1989.
- 100 WIESLANDER L: Early or late cervical traction therapy of Class II malocclusion in the mixed dentition.
Am. J. Orthod. **67**: 432-9, 1975.
- 101 WIESLANDER L, LAGERSTRÖM L: The effect of Activator on Class II malocclusions.
Am. J. Orthod. **75**: 20-6, 1979.
- 102 WIESLANDER L: Intensive treatment of severe Class II malocclusions with a headgear-Herbst appliance in the early mixed dentition.
Am. J. Orthod. **86**: 1-13, 1984.

- 103 WILLIAMS R: Begg treatment of high-angle cases.
Am. J. Orthod. **57**: 573-589, 1970.
- 104 WILLIAMS S, MELSEN B: Condylar development and mandibular rotation and displacement during activator treatment.
Am. J. Orthod. **81**: 322-6, 1982.
- 105 WILLIAMS S, MELSEN B: The interplay between sagittal and vertical growth factors. An implant study of activator treatment.
Am. J. Orthod. **81**: 327-32, 1982.
- 106 WOODSIDE DG: Some effects of activator treatment on the mandible and the midface.
Trans. Eur. Orthod. Soc.: 443-7, 1973.
- 107 ZAHER AR, BISHARA SE, JAKOBSEN JR: Posttreatment changes in different facial types.
Angle Orthod. **64**: 425-36, 1994.

12 ANHANG

Tab.5: Alter (in Jahren) der 40 Herbst-Patienten der *normodivergenten* Gruppe (männliche 1-26, weibliche 27-40) sowie Dauer der Untersuchungszeiträume. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Nr	m/w	Alter				Dauer			
		T1	T2	T3	T4	T1-T2	T2-T3	T2-T4	T1-T4
1	m	12,8	13,3	14,3	18,4	0,5	1	5,1	5,6
2	m	13,1	13,6	14,6	18,8	0,5	1	5,2	5,7
3	m	12,8	13,4	14,4	18,4	0,7	1	5	5,7
4	m	12,3	12,8	13,8	17,8	0,5	1	5	5,5
5	m	12,7	13,3	14,3	18,3	0,6	1	5	5,6
6	m	12,1	12,6	13,7	17,7	0,5	1,1	5,1	5,6
7	m	12,6	13,2	14,2	19,3	0,6	1	6,1	6,7
8	m	9,9	10,4	11,4	15,8	0,5	1	5,3	5,8
9	m	11,4	11,9	12,9	16,9	0,5	1	5	5,5
10	m	16	16,5	17,5	21,9	0,5	1	5,4	5,9
11	m	13,2	13,9	14,8	19,6	0,8	0,9	5,7	6,4
12	m	14,3	15,2	16,2	20,3	0,8	1	5,1	5,9
13	m	11,6	12,2	13,2	17	0,6	1	4,8	5,4
14	m	13,3	13,8	14,8	18,8	0,6	1	5	5,6
15	m	13,9	14,5	15,6	19,8	0,6	1,1	5,3	5,9
16	m	13,8	14,3	15,3	19,3	0,6	1	4,9	5,5
17	m	12,2	12,8	13,8	17,9	0,7	0,9	5,1	5,8
18	m	12,7	13,5	14,4	18,5	0,8	0,9	5	5,8
19	m	13	13,6	14,6	19,7	0,6	1	6,1	6,7
20	m	13,8	14,5	16,3	20,1	0,8	1,8	5,6	6,3
21	m	13	13,7	14,7	18,7	0,7	1	5	5,7
22	m	13,8	14,3	15,3	19,3	0,5	1	5,1	5,6
23	m	10,7	11,3	12,3	16,3	0,6	1	5,3	5,8
24	m	12,1	12,6	13,8	17,7	0,5	1,2	5,1	5,6
25	m	11,9	12,9	13,9	17,9	1	1	5	6
26	m	12,8	13,3	14,3	18,3	0,6	1	5	5,6
27	w	12,6	13,2	14,3	18,2	0,6	1,1	5	5,6
28	w	13,2	13,8	14,8	18,8	0,6	1	5,1	5,7
29	w	11	11,6	12,6	16,6	0,6	1	5	5,6
30	w	11,8	12,4	13,6	17,1	0,6	1,2	4,7	5,3
31	w	12,4	13	14	18,1	0,6	1	5,1	5,7
32	w	10,7	11,3	12,3	16,3	0,6	1	5	5,6
33	w	11,2	11,6	12,6	16,6	0,4	1	5	5,4
34	w	12,8	13,8	14,8	18,7	1	1	4,9	5,9
35	w	11,8	12,3	13,3	17,4	0,4	1	5,2	5,6
36	w	10,3	10,9	11,9	15,9	0,7	1	5	5,7
37	w	13,9	14,6	15,7	19,7	0,6	1,1	5,1	5,8
38	w	12,8	13,3	14,3	17,8	0,6	1	4,5	5,1
39	w	11,6	12,3	13,4	17,7	0,7	1,2	5,4	6,1
40	w	12,1	12,8	13,8	17,8	0,7	1	5	5,7
Mittelwert		12,50	13,11	14,15	18,23	0,62	1,04	5,13	5,75
Stand.abw.		1,18	1,20	1,23	1,30	0,13	0,14	0,31	0,33

Tab.6: Alter (in Jahren) der 17 Herbst-Patienten der *hypodivergenten* Gruppe (männliche 41-50, weiliche 51-57) sowie Dauer der Untersuchungszeiträume. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Nr	m/w	Alter				Dauer			
		T1	T2	T3	T4	T1-T2	T2-T3	T2-T4	T1-T4
41	m	13,1	13,7	14,8	18,8	0,6	1,1	5,1	5,7
42	m	13,4	13,9	14,9	19,1	0,5	1	5,2	5,7
43	m	11,7	12,2	13,2	17,2	0,5	1	5	5,5
44	m	12,3	13	14	18	0,7	1	5	5,7
45	m	13,5	14	15	20,2	0,5	1	6,2	6,7
46	m	14,6	15,1	16,2	21,2	0,5	1,1	6,1	6,6
47	m	11,3	11,9	12,9	16,9	0,6	1	5	5,6
48	m	12,4	12,9	13,9	17,9	0,5	1	5	5,5
49	m	13,4	14,2	15,2	18,4	0,8	1	4,3	5
50	m	12,2	12,8	13,8	17,8	0,6	1	5,1	5,7
51	w	13	13,7	14,7	18,7	0,7	1	5	5,7
52	w	12,3	12,8	13,8	17,8	0,6	1	5	5,6
53	w	11,4	12	13	17	0,6	1	5	5,6
54	w	13,8	14,4	15,5	19,8	0,6	1,1	5,4	6
55	w	14,8	15,4	16,6	21,3	0,7	1,2	5,9	6,6
56	w	15,2	16	17,1	21,8	0,8	1,1	5,8	6,6
57	w	13,2	13,9	14,8	18,8	0,8	0,9	4,9	5,7
Mittelwert		13,04	13,64	14,67	18,86	0,62	1,03	5,24	5,85
Stand.abw.		1,15	1,18	1,22	1,52	0,11	0,07	0,49	0,48

Tab.7: Alter (in Jahren) der 13 Herbst-Patienten der *hyperdivergenten* Gruppe (männliche 58-65, weibliche 66-70) sowie Dauer der Untersuchungszeiträume. Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Nr	m/w	Alter				Dauer			
		T1	T2	T3	T4	T1-T2	T2-T3	T2-T4	T1-T4
58	m	12,2	12,8	13,8	17,8	0,7	1	5	5,7
59	m	12,5	13,3	14,3	18,3	0,8	1,1	5	5,8
60	m	12,4	13	14	18	0,6	1	5	5,6
61	m	12,7	13,3	14,3	18,4	0,6	1	5,2	5,8
62	m	13,5	14,2	15,2	19,6	0,7	1	5,4	6,1
63	m	14,3	14,8	16,1	20,3	0,5	1,3	5,5	6
64	m	12,8	13,8	14,8	18,7	1	1	4,9	5,9
65	m	13,2	14,1	15,1	20	0,9	1	5,9	6,8
66	w	11,8	12,6	13,5	17,5	0,8	0,9	4,9	5,7
67	w	12,4	12,9	13,8	17,9	0,5	0,9	5	5,5
68	w	12,9	13,6	14,6	18,8	0,7	1	5,2	5,8
69	w	12,1	12,9	13,9	17,9	0,8	1	5	5,8
70	w	10,8	11,4	12,5	16,6	0,6	1,1	5,2	5,8
Mittelwert		12,58	13,28	14,30	18,45	0,71	1,02	5,17	5,87
Stand.abw.		0,85	0,86	0,90	1,04	0,15	0,10	0,29	0,32

Tab.8: Total-Rotation (IL/NSL), Matrix-Rotation (ML/NSL) und Intramatrix-Rotation (IL/ML) der 40 Herbst-Patienten der *normodivergenten* Gruppe (männliche 1-26, weilbliche 27-40) sowie Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Nr	IL/NSL				ML/NSL				IL/ML			
	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1
1	-0,5	1,75	3	2,5	0,75	1,5	2,25	3	-1,25	0,25	0,75	-0,5
2	-1,75	-0,25	-0,75	-2,5	-0,25	-1	-2,75	-3	-1,5	0,75	2	0,5
3	-2,5	3,5	-0,5	-3	-1,25	3	-2,5	-3,75	-1,25	0,5	2	0,75
4	0,75	-0,75	1,5	2,25	0,75	-1,25	-2,5	-1,75	0	0,5	4	4
5	-2,75	-0,25	0,75	-2	-1,25	-1,25	-4,75	-6	-1,5	1	5,5	4
6	-0,25	-0,5	-2,75	-3	1,25	-1,5	-3	-1,75	-1,5	1	0,25	-1,25
7	-1,5	0,25	-4,25	-5,75	-1	0,5	-4,25	-5,25	-0,5	-0,25	0	-0,5
8	-1	2,5	-2,25	-3,25	0	1,75	1	1	-1	0,75	-3,25	-4,25
9	-3	1	-1,75	-4,75	-1	-1	-4,25	-5,25	-2	2	2,5	0,5
10	-1,75	0,75	0,75	-1	1	1,25	-3	-2	-2,75	-0,5	3,75	1
11	-2,25	1	-1	-3,25	-1	0,75	-3	-4	-1,25	0,25	2	0,75
12	0	-1,25	-1,25	-1,25	-0,5	-1,75	-2,25	-2,75	0,5	0,5	1	1,5
13	0,25	-2	-2,75	-2,5	0,5	-2,25	-4,5	-4	-0,25	0,25	1,75	1,5
14	0	-1,25	0,25	0,25	0,5	-1,75	-3	-2,5	-0,5	0,5	3,25	2,75
15	0,5	0	-1	-0,5	1	-0,75	-2	-1	-0,5	0,75	1	0,5
16	0,25	-1,75	-1	-0,75	-0,25	-2	-3,5	-3,75	0,5	0,25	2,5	3
17	-1	2,25	1	0	0,25	0,25	-0,25	0	-1,25	2	1,25	0
18	-1,25	-1,25	-1,5	-2,75	0,5	-2,25	-3	-2,5	-1,75	1	1,5	-0,25
19	-2	0,25	-0,5	-2,5	-1,25	0,5	0,75	-0,5	-0,75	-0,25	-1,25	-2
20	-2,25	1	4,25	2	-1,25	2	3,25	2	-1	-1	1	0
21	-1	1	0	-1	-1	1,75	-1,75	-2,75	0	-0,75	1,75	1,75
22	-1,25	-0,75	-2	-3,25	-0,25	-0,25	-2,75	-3	-1	-0,5	0,75	-0,25
23	-0,75	0,75	2,75	2	0,75	0,5	1	1,75	-1,5	0,25	1,75	0,25
24	-2	0,5	1,5	-0,5	-2	1	-0,25	-2,25	0	-0,5	1,75	1,75
25	0	0,75	0,5	0,5	0,75	1,25	-1	-0,25	-0,75	-0,5	1,5	0,75
26	0,25	-2	-4,5	-4,25	-0,25	-0,75	-4,75	-5	0,5	-1,25	0,25	0,75
27	0,75	0	1,5	2,25	1,5	-1,5	-1,5	0	-0,75	1,5	3	2,25
28	-0,25	-0,75	-0,25	-0,5	1	-0,75	-1,75	-0,75	-1,25	0	1,5	0,25
29	0,5	-1	-3,5	-3	0,5	-1,5	-3,25	-2,75	0	0,5	-0,25	-0,25
30	2,5	0,25	-0,75	1,75	2,5	-0,5	-1,5	1	0	0,75	0,75	0,75
31	-2,5	-1,5	-6,5	-9	-1,5	-0,25	-5,5	-7	-1	-1,25	-1	-2
32	-0,5	2,5	2,25	1,75	0	3,25	1,75	1,75	-0,5	-0,75	0,5	0
33	-1	-3,25	-2	-3	-0,5	0	-0,5	-1	-0,5	-3,25	-1,5	-2
34	0,25	-1	-2,25	-2	2	-1,25	-2,75	-0,75	-1,75	0,25	0,5	-1,25
35	-1,25	1,25	-1	-2,25	1,75	-0,75	-3,25	-1,5	-3	2	2,25	-0,75
36	1,5	-1,75	-3,5	-2	1,75	-2	-3,25	-1,5	-0,25	0,25	-0,25	-0,5
37	-0,25	-0,75	-1,75	-2	1,25	-2,25	-3,25	-2	-1,5	1,5	1,5	0
38	-0,5	-2	-2,5	-3	1,25	-1,75	-2,5	-1,25	-1,75	-0,25	0	-1,75
39	-0,75	0,25	0,5	-0,25	0,25	-0,75	-1,25	-1	-1	1	1,75	0,75
40	0,75	0,5	0	0,75	1,5	-0,5	-1	0,5	-0,75	1	1	0,25
MW	-0,69	-0,05	-0,78	-1,47	0,22	-0,31	-2,01	-1,79	-0,91	0,26	1,23	0,32
SD	1,22	1,44	2,18	2,42	1,10	1,46	2,00	2,27	0,81	1,01	1,58	1,63

Tab.9: Total-Rotation (IL/NSL), Matrix-Rotation (ML/NSL) und Intramatrix-Rotation (IL/ML) der 17 Herbst-Patienten der *hypodivergenten* Gruppe (männliche 41-50, weibliche 51-57) sowie Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). Dabei bedeutet T1= vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Nr	IL/NSL				ML/NSL				IL/ML			
	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1
41	-0,25	-1,5	-4,25	-4,5	-1,25	0	-2,5	-3,75	1	-1,5	-1,75	-0,75
42	-0,75	1,5	-2,75	-3,5	0	-0,75	-3	-3	-0,75	2,25	0,25	-0,5
43	-0,25	-0,25	-4	-4,25	0,25	-1	-2,75	-2,5	-0,5	0,75	-1,25	-1,75
44	-0,75	-1,5	0,75	0	0,5	-0,75	-0,5	0	-1,25	-0,75	1,25	0
45	0,25	-1	-3,5	-3,25	1,5	-1,75	-2,5	-1	-1,25	0,75	-1	-2,25
46	1,25	2,25	-1,75	-0,5	0,75	-1	-1,25	-0,5	0,5	3,25	-0,5	0
47	0	-1,75	-9,25	-9,25	-0,5	-0,25	-4,5	-5	0,5	-1,5	-4,75	-4,25
48	-1,75	-0,75	0,25	-1,5	0,75	-0,75	-1,25	-0,5	-2,5	0	1,5	-1
49	-0,25	-3,25	-5	-5,25	-0,5	-5	-7,25	-7,75	0,25	1,75	2,25	2,5
50	0,5	0,25	-3	-2,5	2	0,5	-4,75	-2,75	-1,5	-0,25	1,75	0,25
51	-1	-1	-2,25	-3,25	0	-1,5	-2	-2	-1	0,5	-0,25	-1,25
52	1,5	-2,5	-2,5	-1	1	-0,75	-0,75	0,25	0,5	-1,75	-1,75	-1,25
53	-1,75	0,5	-1,5	-3,25	2,5	-1	-5,25	-2,75	-4,25	1,5	3,75	-0,5
54	0,5	-0,75	-0,5	0	0,25	0,5	-0,75	-0,5	0,25	-1,25	0,25	0,5
55	-1,5	-1	2,25	0,75	1	-2	1	2	-2,5	1	1,25	-1,25
56	-2,75	2,25	-0,25	-3	0,25	0	-0,75	-0,5	-3	2,25	0,5	-2,5
57	1,25	-1,25	-1,75	-0,5	0,75	-0,5	-2,5	-1,75	0,5	-0,75	0,75	1,25
MW	-0,34	-0,57	-2,29	-2,63	0,54	-0,94	-2,43	-1,88	-0,88	0,37	0,13	-0,75
SD	1,18	1,53	2,62	2,46	0,92	1,26	2,06	2,27	1,49	1,51	1,93	1,54

Tab.10: Total-Rotation (IL/NSL), Matrix-Rotation (ML/NSL) und Intramatrix-Rotation (IL/ML) der 13 Herbst-Patienten der *hyperdivergenten* Gruppe (männliche 58-65, webliche 66-70) sowie Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). Dabei bedeutet T1 = vor, T2 = nach, T3 = 1 Jahr nach und T4 = 5 Jahre nach der Behandlung.

Nr	IL/NSL				ML/NSL				IL/ML			
	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1	T2-T1	T3-T2	T4-T2	T4-T1
58	1	-1,75	-2,75	-1,75	0,25	0	-3,5	-3,25	0,75	-1,75	0,75	1,5
59	0	-3	-2,25	-2,25	0	-1,75	-3,25	-3,25	0	-1,25	1	1
60	0	-3,25	-4,5	-4,5	1,25	-3,25	-6,25	-5	-1,25	0	1,75	0,5
61	1,5	-0,25	0,5	2	1	-0,25	0,5	1,5	0,5	0	0	0,5
62	-0,25	-3,25	-4,25	-4,5	0	-2	-4,5	-4,5	-0,25	-1,25	0,25	0
63	-1	0,75	-0,25	-1,25	0,5	0,75	-1	-0,5	-1,5	0	0,75	-0,75
64	-0,25	-2	-4,5	-4,75	0,25	-3,25	-6	-5,75	-0,5	1,25	1,5	1
65	-1,5	0	1,5	0	-1	0,5	1,75	0,75	-0,5	-0,5	-0,25	-0,75
66	1,5	-0,25	1,25	2,75	1,75	0,5	1	2,75	-0,25	-0,75	0,25	0
67	1	0,25	-0,25	0,75	1,75	-0,75	-1	0,75	-0,75	1	0,75	0
68	-0,25	-0,75	-3	-3,25	1	-0,5	-2,75	-1,75	-1,25	-0,25	-0,25	-1,5
69	-3,5	1,25	1	-2,5	-2,25	0,25	0,25	-2	-1,25	1	0,75	-0,5
70	0,75	-0,25	0	0,75	0,5	0	-0,5	0	0,25	-0,25	0,5	0,75
MW	-0,08	-0,96	-1,35	-1,42	0,38	-0,75	-1,94	-1,56	-0,46	-0,21	0,60	0,13
SD	1,37	1,53	2,27	2,52	1,10	1,38	2,63	2,68	0,72	0,92	0,61	0,85

DANKSAGUNG

Ich möchte mich ganz herzlich bei Prof. Dr. H. Pancherz und Fr. Dr. M. Anehus-Pancherz für die freundliche Überlassung des Themas und die unermüdliche und nette Betreuung sowie für die angenehme Arbeitsatmosphäre in der Abteilung bedanken.

Herrn Bethge möchte ich für die computerunterstützte Bearbeitung der Zeichnungen danken.

Bei Fr. Dr. B. Hoyer und Fr. Dr. S. Ruf möchte ich mich für die Unterstützung in Computerfragen bedanken.

LEBENS LAUF

- 03.06.66 Geboren in Neumünster als viertes Kind der Eheleute Hans und Gisela Kruse
- 1972-76 Besuch der Grundschule Husberg
- 1976-86 Besuch des Gymnasiums Klaus-Groth-Schule in Neumünster, Abitur im Juni 1986
- 1986-87 Ableistung des Grundwehrdienstes
- 1987-88 Praktikum Metallverarbeitung, Elektrowerkstatt
- 1988-94 Studium der Zahnheilkunde an der Christian-Albrechts-Universität in Kiel, Examen 19.02.1994
- 1994-95 Ausbildungsassistent in zahnärztlicher Praxis Dr. W. Beyer, Krefeld
- 1995-98 Ausbildungs- und Weiterbildungsassistent in kieferorthopädischer Praxis Dr. U. Lampe, Lübeck
- 01.04.1998-
31.03.00 Weiterbildungsassistent am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen, Abteilung Kieferorthopädie