

**Aus der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen  
Abteilung Allgemeine Orthopädie mit Poliklinik  
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. N. Wülker**

***Die Entstehung einer Nachbarsegmentdekompensation  
nach lumbaler Spondylodese.  
Einfluß des sagitalen Profils***

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von  
Stephan Noe  
aus  
Koblenz**

**2003**

Dekan: Professor Dr. C. D. Claussen

1. Berichterstatter: Professor Dr. J. Giehl

2. Berichterstatter: Professor Dr. D. Hoentzsch

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung</b>	Seite 6
1.1. Bedeutung der Fragestellung	Seite 8
<b>2. Allgemeiner Teil</b>	Seite 10
2.1. Definition Nachbarsegmentdekompensation	Seite 10
2.2. Häufigkeit	Seite 10
2.3. Historischer Hintergrund	Seite 11
2.4. Indikationen zur Spondylodese	Seite 13
2.4.1 Isthmische Spondylolisthesis	Seite 14
2.4.2 Spinalkanalstenose	Seite 16
2.4.3 Degenerative Spondylolisthesis	Seite 16
2.4.4 Degenerative Skoliose	Seite 18
2.4.5 Segmentale Instabilität	Seite 19
2.4.6 Bandscheibenbedingte Syndrome	Seite 20
2.5 Wirbelsäulenfusionen	Seite 22
2.5.1 PLIF	Seite 23
2.5.2 Ventro-Dorsal; Dorso-Ventral	Seite 24
2.6 Ursachen der Nachbarsegmentdekompensation	Seite 25
2.6.1 Pedikelschrauben	Seite 25
2.6.2 Weichteilzerstörung	Seite 26
2.6.3 Profil	Seite 26
2.6.4 Hypermobilität	Seite 27
2.6.5 Rotationszentrum	Seite 28
2.6.6 Facettengelenkshypertrophie	Seite 29
2.6.7 Knorpelveränderungen	Seite 29
2.7 Physiologische Degeneration	Seite 30
2.8 Radiologische Normwerte der LWS	Seite 31
<b>3. Material und Methodik</b>	Seite 32
3.1. Patientenauswahl	Seite 32
3.2. Anamnesebogen	Seite 34
3.3. Beispiel Winkelbestimmung	Seite 35

4.	<b>Ergebnisse mit Abbildungen</b>	Seite 36
4.1.	Geschlechtsverteilung	Seite 36
4.2.	Altersverteilung	Seite 37
4.3.	Follow up	Seite 38
4.4.	Fusionsstrecken und Segmente	Seite 39
4.5.	Fusionsetagen	Seite 40
4.6.	Diagnosen	Seite 41
4.7.	Dekompensationsrichtung	Seite 42
4.8.	Zahl der dekompensierten Segmente	Seite 43
4.9.	Verteilung Dekompensationsniveau	Seite 44
4.10.	Beschwerden nach Fusion	Seite 45
4.11.	Nachbarsegmentveränderungen cranial	Seite 46
4.11.b.	Nachbarsegment pathologisch cranial	Seite 47
4.12.	Nachbarsegmentveränderungen caudal	Seite 48
4.12.b.	Nachbarsegment pathologisch caudal	Seite 49
4.13.	Fusionswinkel nach Segmentzahlen	Seite 50
4.14.	Gesamtwinkel der Lumballordose	Seite 51
4.15.	Winkelverlauf Gesamtlordose präoperativ zu postoperativ	Seite 52
4.16.	Winkelverlauf Fusionsstrecke präoperativ zu postoperativ	Seite 53
4.17.	Nachbarsegmentwinkel cranial postoperativ	Seite 54
4.18.	Zeitraum bis zu Dekompensation	Seite 55
4.19.	Schmerzcharakter bei letzter Untersuchung	Seite 56
4.20.	Änderung der Absolutwinkel Th12- S1	Seite 57
4.21.	Änderung der Absolutwinkel des cranialen Nachbarsegm.	Seite 58
4.22.	Besonderheiten im postoperativen Verlauf	Seite 59
5.	<b>Fallbeispiel</b> Nachbarsegmentdekompensation	Seite 60
6.	<b>Diskussion</b>	Seite 65
6.1.	Alter	Seite 65
6.2.	Geschlecht	Seite 66
6.3.	Diagnose bei Erstoperation	Seite 67
6.4.	Segmentzahl der Fusion	Seite 68
6.5.	Richtung der Dekompensation	Seite 69

6.6.	Zeitpunkt der Dekompensation nach Erstoperation	Seite 70
6.7.	Nachbarsegmentwinkel	Seite 70
6.8.	Translation des Nachbarsegmentes	Seite 71
6.9.	Bandscheibenhöhe	Seite 71
6.10.	Profil	Seite 73
7.	<b>Schlußfolgerung</b>	Seite 75
8.	<b>Zusammenfassung</b>	Seite 78
9.	<b>Literaturverzeichnis</b>	Seite 80
10.	<b>Anhang</b>	Seite 91
	Erhebungsbogen	Seite 91
11.	<b>Lebenslauf</b>	Seite 92

# **1. Einleitung**

Rückenschmerzen sind ein in allen Bevölkerungsschichten und Kulturen, vor allem aber in den Industriestaaten weit verbreitetes Leiden mit vielfältigen Ursachen. Sie gehören aus bevölkerungsepidemiologischer Sicht mit einer Prävalenz von 20-40% unter den Erwachsenen zu den häufigsten Störungen überhaupt.

Besonders hervorzuheben sind die mit fortschreitender Zivilisation zunehmende allgemeine Bewegungsarmut und damit verbundene Muskelschwäche, sowie auch degenerative Prozesse im Bereich der Bandscheiben und der kleinen Wirbelgelenke. Darüber hinaus stellen Defekte, wie insbesondere die Spondylolyse mit hieraus resultierender Pathologie ein morphologisches Korrelat für Rückenschmerzen dar.

Je nach Grad der Erkrankung bedeuten Rückenschmerzen nicht nur eine erhebliche Beeinträchtigung der individuellen Lebensführung, sondern stellen auch eine große volkswirtschaftlich Belastung dar. Seriösen Schätzungen zufolge belaufen sich die direkten Krankheitskosten durch Rückenschmerzen auf 20,2 Milliarden DM pro Jahr(1994). Die indirekten Kosten, die durch Rückenschmerzen verursacht werden liegen laut Angabe des Statistischen Bundesamtes (1994) bei ca. 30-40 Milliarden DM pro Jahr allein in Deutschland und betragen somit etwa 1 Prozent des Bruttosozialproduktes. Ähnliche Kostenverhältnisse liegen auch in anderen europäischen Ländern wie den Niederlanden und Großbritannien vor.

Dem behandelnden Arzt stehen neben einer Vielzahl von konservativen Therapieansätzen eine fast ebenso große Zahl operativer Behandlungsmöglichkeiten offen. Bei der Wahl der indizierten Behandlung steht der Arzt angesichts der komplexen Krankheitsbilder nicht selten vor der

Entscheidung des richtigen Zeitpunktes für die Fortführung, Beendigung oder Änderung einer einmal initiierten Therapie.

Eine Behandlungsmöglichkeit von vielen ist die Spondylodese, welche von dorsal, ventral oder auch in der Kombination von dorsal und ventral durchgeführt werden kann. Gerade im Bereich der Lendenwirbelsäule hat sich die Spondylodese (Fusion) als eine Standardtherapie bei gut kalkulierbaren Risiken etabliert. Die bisher gesammelten Erfahrungen haben gezeigt, dass mit dieser Vorgehensweise eine Vielzahl von morphologischen Schmerzursachen erfolgreich behandelt werden kann

Es ist aber auch deutlich geworden, dass es in nicht seltenen Fällen, nach lege artis durchgeführter Fusion, erneut zu Beschwerden gekommen ist, welche ihre Ursache neben anderen, häufig in der Dekompensation des Nachbarsegmentes haben und eine erneute Operation erfordern.

Mit den Ursachen, welche zu frühzeitigen Beschwerden nach Spondylodese führen, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit.

## 1.1. Bedeutung der Fragestellung

Ausgangspunkt der hier angestellten Erhebungen und Bewertungen ist, dass nicht selten im Anschluss an eine erfolgreich durchgeführte Spondylodese im Lumbalbereich mit guter Schmerzreduktion des Patienten nach Monaten oder Jahren erneut Beschwerden auftreten. Diese entstehen häufig durch eine Dekompensation der Nachbaretage(n) der Spondylodese.

Nachbarsegment-Dekompensationen (NSD) werden in Nachbarschaft zu einer Korrekturspondylodese bei Skoliose bis LWK 4 oder tiefer oder auch neben kurzstreckigen Fusionen im Lendenwirbelsäulenbereich beobachtet (Brodsky AE 1976; Frymoyer JW 1978; Harris RI 1963; Lehmann TR 1987).

In einer Meta-Analyse der Literatur konnte Turner 1992 aufzeigen, dass durchschnittlich nur 68% der Patienten, die eine Fusion im Bereich der Lendenwirbelsäule erhielten, langfristig mit dem Operations-ergebnis zufrieden waren (Turner JA 1992).

Auffällig ist, dass NSD meist nach Spondylodesen im Lumbalbereich, selten nach zervikalen Fusionen und fast nie nach Fusionen im Bereich der thorakalen Wirbelsäule auftreten.

Mit dieser Arbeit soll der Versuch unternommen werden, die intraoperativ beeinflussbaren Faktoren, die zu einer NSD führen können, aufzuspüren, um insbesondere eine frühzeitige Dekompensation möglichst zu verhindern. Dabei ist von der Erkenntnis auszugehen, dass Reoperationen nach lumbalen Fusionen nicht immer gute Ergebnisse erzielen und dass die Erfolgsaussicht mit der Anzahl der Operationen sinkt ( Christensen 1998; Hadjipavlou 1996; Herno 1995).

Vor allem vor diesem Hintergrund ist die Suche nach den Ursachen für die Entstehung einer NSD so wichtig.

Besonderes Augenmerk ist hierbei auf der Betrachtung des sagitalen Profils der Lendenwirbelsäule nach der Fusion zu legen.

Die Vermutung eines engen Zusammenhanges zwischen dem Profil und der Entstehung einer NSD wird von vielen Autoren geäußert, wurde aber nur in Ausnahmen untersucht(Schlegel JD 1996). Hier setzt die vorliegende Arbeit an, mit der die Notwendigkeit einer größtmöglichen intraoperativen Profilkorrektur belegt werden soll, um hierdurch die Wahrscheinlichkeit einer NSD zu senken.

## Allgemeiner Teil

### **2.1 Arbeitsdefinition der Nachbarsegmentdekompensation**

Bei einer Nachbarsegmentdekompensation ( NSD ) handelt es sich um eine radiologisch nachweisbare Degeneration der benachbarten Bandscheibe mit zusätzlich bestehender klinischer Symptomatik, die nach der Fusionsoperation aufgetreten sind.

Dabei besteht die Symptomatik in starken und progredienten Schmerzen bzw. in persistierenden neurologischen Defiziten, welche ihre Ursache in degenerativ veränderten Nachbaretagen haben, so dass eine erneute Operationsindikation gegeben ist.

Radiologische Kriterien sind eine Abnahme der Bandscheibenhöhe, Translation im Segment über 5 mm, Instabilität in den Funktionsaufnahmen mit vermehrter Aufklappbarkeit über 10° und nachgewiesene Facettengelenkshypertrophie und Spinalkanalstenose.

### **2.2 Häufigkeit der Dekompensation**

Die relative Häufigkeit der NSD wird in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht, da - bedingt durch das Untersuchungsverfahren - eine vollständige Erfassung sämtlicher fusionierter Patienten nicht gewährleistet werden kann.

In der Literatur existieren hierzu sehr unterschiedliche Aussagen und so liegen die Häufigkeiten des Auftretens einer NSD, je nach Dauer des Follow-up, zwischen 10 und 45 Prozent (Booth KC; Lehmann TR 1987, Casey K 1984, Hu RW 1997; Brodsky AE 1976, Macnab I 1971, Etebar S 1999; Aota Y1995, Nagata H 1993, Lee CK 1988, Leong JCY 1983 , Kumar M 2001; Rahm MD 1996).

Dagegen wird die alleinige Bandscheibendegeneration ohne Symptomatik in Nachbarschaft einer Fusion mit einer Häufigkeit von ca. 50% angegeben (Leong JCY 1983).

### **2.3. Historischer Hintergrund**

Über die ersten Fusionen an der Lendenwirbelsäule wurde 1911 von Albee berichtet, der Knochenblöcke aus der Tibia interspinal im Falle einer tuberkulösen Spondylitis implantierte, um so ein Kollabieren der Segmente zu verhindern und ihre Stabilisation zu erreichen (Albee FH 1911).

1917 wurden weitere Spondylodesen mit Knochen, die teilweise aus dem Schulterblatt gewonnen wurden, durchgeführt (DeQuervain F 1917).

Bei diesen frühen Operationen erfolgte noch keine Instrumentation, obwohl bereits 1891 durch Hadra eine Technik zum Verschrauben der Wirbelsäule beschrieben wurde und Lange 1902 ein System aus Stahlstäben und Kunststoffzylindern zur unterstützenden Spondylodese entwickelt hatte (Hadra B 1891, Lange F 1910).

In den darauf folgenden 30 Jahren kam es zu beachtlichen Weiterentwicklungen der Spondylodesesysteme und Indikationen. 1929 berichteten Hibbs und Swift über ihre Follow-up-Untersuchungen nach lumbalen Spondylodesen aufgrund von degenerativen Ursachen (Hibbs RA 1929). Bis heute wurden die Techniken und Implantate, wie auch die Spondylodesematerialien (Knochen, Knochenwachstumsfaktor), ständig weiterentwickelt. Ebenfalls konnten die präoperativen Diagnostiken deutlich verbessert werden (CT, MRT, Myelographie).

Ungeachtet der oben genannten Verbesserungen bleibt aber die korrekte Selektion der Patienten und die richtige Indikationsstellung stets ein entscheidender Faktor einer erfolgreichen Spondylodese (Hanley EN Jr. 1995).

Zur Entstehung von NSD beschreibt bereits 1956 Anderson einen Fall von Spondyloschisis nach spinaler Fusion (Anderson CE 1956).

1963 berichten Harris und Wiley von sechs Fällen einer erworbenen Spondylolyse in Folge einer Fusion ( Harris RI 1963). Weitere Fälle von spinaler Stenose nach erfolgter anteriorer Spondylodese wurden 1986 veröffentlicht ( Louw JA 1988).

## **2.4. Indikationen zur Lumbalen Spondylodese**

Die Beschwerdesymptomatik des lumbalen Rückenschmerzes stellt den Behandler nicht selten vor die schwierige Entscheidung, ob eine konservative oder operative Behandlung angezeigt ist, bzw. falls eine operative Therapie geboten ist, ob diese durch alleinige Dekompression oder in Kombination mit einer Instrumentation erfolgen soll.

Häufigste Ursachen für lumbale Rückenschmerzen, die durch eine Fusion therapiert werden können, sind neben Skoliosen, Tumoren oder Infekten hauptsächlich degenerative Veränderungen. Hierauf wird im folgenden näher einzugehen sein.

### **2.4.1 Isthmische Spondylolisthesis**

Eine isthmische Spondylolisthesis ist bei 5% der amerikanischen Bevölkerung festgestellt worden ( Fredrickson BE 1984), im allgemeinen verursacht durch eine Unterbrechung der Interartikularportion. Das hauptsächlich betroffene Segment ist L5/S1, obwohl auch die übrigen Segmente betroffen sein können. Bei der Indikationsstellung zur Spondylodese sind das Alter des Patienten und der Gleitgrad der Spondylolisthese neben den bestehenden Beschwerden von besonderer Bedeutung.

Hochgradige Spondylolisthesen entwickeln sich vorzugsweise im Alter zwischen 10-14 Jahren, während im Erwachsenenalter eine schnelle Progredienz des Gleitvorganges eher unwahrscheinlich ist.

Bei asymptomatischen Patienten und einem Gleitgrad von unter 10% ist das Risiko, später an Beschwerden zu leiden, statistisch nicht größer als die Wahrscheinlichkeit in der übrigen Bevölkerung. Liegt der Gleitgrad allerdings über 25%, zeigt sich ein deutlich erhöhtes Risiko von Rückenschmerzen in der Zukunft ( Sarastre H 1987).

Die Ursache von Rückenschmerzen bei der Spondylolisthese wird in einer Aktivierung des ersten sensorischen Neurons vermutet, das Impulse von schmerzleitenden Fasern im äußeren Anulus empfängt und nach zentral weiterleitet. Es befindet sich in den äußeren Faseranteilen des Anulus Fibrosus und im hinteren Längsband (Weinstein J 1989). Beide Strukturen kommen durch den Gleitvorgang unter Stress. Die dorsalen Elemente sind hauptsächlich an der Entstehung von Nervenwurzelreizsymptomen beteiligt.

Die Radikulopathie, welche hauptsächlich die Wurzel L5 betrifft, wird dem hypertrophierten Band und den Kapselstrukturen im Defektbereich und weniger der direkten Einklemmung der Wurzel zwischen dem Pedikel L5 und dem Sacrum zugeschrieben.

Darüber hinaus kann ein mobiles Gleitsegment permanenten Stress auf die neuralen Strukturen ausüben und so zu Beschwerden führen.

Radiologische Kriterien sind dabei der Gleitgrad und der Gleitwinkel, die eine Bedeutung haben für die Indikation einer eventuell notwendigen Fusion ( Saraste H 1987). Hensinger beschreibt, dass die konservative Behandlung bei einem Gleitgrad von III und IV in über 50% erfolglos verlaufen sei, weshalb er in diesen Fällen als sehr erfolgversprechende Maßnahme die in situ Fusion empfiehlt(Hensinger RN 1989).

Allerdings ist einzuräumen, dass die Ergebnisse der operativen Behandlung trotz eines standardisierten Vorgehens stark variieren.

Allgemein werden folgende Operationsindikationen gesehen:

Persistierende mechanisch bedingte oder neurologische Symptome bei Kindern nach adäquater konservativer Therapie, nachgewiesene Progression des Gleitens und der Beschwerden mit einem Gleitgrad von mehr als 33%, ein initialer Gleitgrad von mehr als 50% (symptomatisch) und persistierende Schmerzen und neurologische Defizite beim Erwachsenen, werden als Operationsindikationen empfohlen (Hanley EN Jr 1995). Psychosoziale Störungen oder z.B. ein Rentenbegehren sollten nicht vorhanden sein, da eine eindeutige Korrelation in bezug auf ein schlechtes Operationsergebnis belegt werden konnte.

### **2.4.2 Spinalkanalstenose**

Bei der lumbalen Spinalkanalstenose handelt es sich um ein Syndrom, bei dem eine absolute oder relative spinale Enge zur Kompression der Cauda equina und/oder der Nervenwurzeln führt. Sie kann mit degenerativen Veränderungen mit oder ohne Instabilität einhergehen.

Im Falle einer stabilen Spinalkanalstenose wird operativ die alleinige Dekompression ohne Instrumentation für ausreichend erachtet. Dagegen bedarf die instabile Stenose einer Instrumentation. Diese wird auch als degenerative Spondylolisthesis bezeichnet, wenn sie monosegmental auftritt, und degenerative Skoliose, wenn ein multisegmentales Geschehen mit Wirbelsäulenseitenausbiegung vorliegt (Hanley EN Jr. 1985).

**2.4.3 Die degenerative Spondylolisthesis** ist erworben und wird durch eine Degeneration der Bandscheibe mit einer lang andauernden segmentalen Instabilität hervorgerufen (Fitzgerald JA 1976). Facettengelenksalterationen und rotatorische Instabilität charakterisieren den pathologischen Prozess (Rosenberg NJ 1976).

Die am häufigsten betroffene Etage ist L4/L5, die am häufigsten betroffene Wurzel L5.

Der Gleitgrad der Spondylolisthesis überschreitet nur in Ausnahmefällen 25-30%. Das durchschnittliche Alter der Patienten liegt bei 60 Jahren. Radiologisch finden sich ein erniedrigter Bandscheibenraum, Facettengelenksarthropathie und ein Vorwärtsgleiten des oberen Wirbels gegenüber dem unteren Wirbel. In den Funktionsaufnahmen zeigt sich nur eine minimale bis mäßige Instabilität.

Die operative Therapie sollte nur bei therapieresistenten Beschwerden in Erwägung gezogen werden. Hierbei ist eine Instrumentation nicht in jedem Fall erforderlich, insbesondere dann nicht, wenn in den Funktionsaufnahmen keine nennenswerte Instabilität gefunden wird (Herron LD 1989). Dem stehen die Ergebnisse von Herkowitz und Kurz gegenüber, die nach einem Follow up von

3 Jahren signifikant bessere Ergebnisse bei der Gruppe der fusionierten Patienten erzielten als bei den nicht fusionierten(Herkowitz HN 1991).

Insgesamt ist es ratsam, von vornherein die Patienten in sehr instabil und weniger instabil zu unterteilen. Hierbei gelten als „sehr instabil“ solche, bei denen radiologische Veränderungen mit coronarer Translation über 4mm und Winkeländerungen des Segmentes über 10° in den Funktionsaufnahmen festzustellen sind. Die instabilen degenerativen Spondylolisthesen sollten instrumentiert werden. Die weniger instabilen Spondylolisthesen bedürfen dagegen einer Dekompression und allenfalls einer dorso-lateralen Spondylodese ( Hanley EN Jr 1995).

**2.4.4 Die degenerative Skoliose** kann als Skoliose der lumbalen und thorakolumbalen Wirbelsäule bezeichnet werden. Sie geht mit einer Bandscheibendegeneration und Facettengelenksarthrose einher. Die Krümmung der Wirbelsäule liegt in der Regel unter einem Winkel von 40° n. Cobb. Folge der Krümmung ist eine Reduktion der Weite des Spinalkanals, aus der eine symptomatische spinale Stenose entstehen kann (Hanley EN Jr. 1994). Die Gruppe der degenerativen Skoliosen kann unterteilt werden in Patienten, die bereits vor Beendigung ihres Wachstums eine Krümmung hatten und jene, bei denen sich erst als Ergebnis von degenerativen Prozessen eine Krümmung entwickelte. Bei letzteren ist vornehmlich die LWS betroffen; die Patienten beklagen lokale Lendenwirbelsäulenschmerzen mit oder ohne neurologische Symptome (Jackson RP 1983).

Im Gegensatz zu Patienten mit präexistenter Skoliose sind die letztgenannten Patienten älter, sind etwa im gleichen Verhältnis männlich oder weiblich und haben mehr osteoporotische Veränderungen. Aufgrund der einsetzenden Translation und des rotatorischen Gleitens entstehen neurologische Symptome. Die Schmerzen können sowohl lokal im Lumbalbereich wie auch ischialgieform in den Beinen auftreten. Sollte eine operative Behandlung in Betracht gezogen werden, wird eine Funktionsmyelographie mit Postmyelographie-CT und evtl. eine MRT empfohlen.

Auch kann eine konservative Behandlung mit z.B. Krankengymnastik in Kombination mit Lendenstützmiedern erfolgreich sein. Bei persistierenden und therapieresistenten Schmerzen und / oder neurologischen Defiziten sollte der operativen Dekompression am ehesten in Kombination mit Korrekturspondylodese der Vorzug gegeben werden (Simmons ED 1992).

#### 2.4.5 Segmentale Instabilität

Eine Form der segmentalen Instabilität ist die „**Degenerative segmentale Instabilität**“, wobei bereits die Definition dieses Krankheitsbildes umstritten ist. In vielen Theorien werden radiologische Zeichen, wie z.B. abnormale Translation und Winkelbewegungen biomechanischen Kriterien gegenübergestellt. Ausschlaggebend sollte sein, dass die selektive Fusion eines instabilen Bewegungssegmentes eine hohe Wahrscheinlichkeit haben muss, die eingangs bestehenden Symptome zu beheben (Stokes IA 1987).

Die meisten Operateure definieren Instabilität mit entweder 4 mm coronarer Translation oder 10° Winkelbewegung in definierten Röntgen-Funktionsaufnahmen (Dupuis PR 1985).

Darüber hinaus wird für eine Operationsindikation ein normaler psychosozialer Zustand und die Abwesenheit von z.B. einem Rentenbegehren gefordert. Abgesehen von o.g. Kriterien liegen die Erfolgsraten der Fusion in einer recht großen Bandbreite zwischen 30-90%. In der Literatur wird daher keine eindeutige Empfehlung gegeben, bei welchen Kriterien eine Instrumentation indiziert ist oder nicht (Yahiro MA 1994).

Eine weitere Form der segmentalen Instabilität ist die „**iatrogene Instabilität**“, die durch dekomprimierende Operationen ausgelöst wird. Biomechanische Analysen zeigen, dass bereits die Beseitigung von über 50% beider Facetten oder das Entfernen eines gesamten Facettengelenkes einen signifikanten Verlust der mechanischen Integrität der Wirbelsäule herbeiführt (White AA 1981). Zur Notwendigkeit der Fusion werden daher unterschiedliche Auffassungen vertreten. Allgemein wird empfohlen, dass bei Entfernen von 50% oder mehr der Facettengelenke oder bei Entfernung einer gesamten Facette evtl. in mehreren Etagen eine prophylaktische Fusion durchgeführt werden sollte, um einer iatrogenen Instabilität vorzubeugen.

#### 2.4.6 Bandscheibenbedingte Syndrome

In erster Linie ist hier der lumbale **Bandscheibenvorfall** zu nennen. Als bevorzugte Operationstechnik gilt hierbei die Sequestrektomie bzw. Entfernung des Bandscheibenfragmentes (Sprangfort EV 1972).

Dabei besteht eine Rezidivgefahr von 5 bis 10% und die Wahrscheinlichkeit von 10 bis 15% postoperativer Schmerzen, die aber in Kauf genommen werden müssen. Ebenfalls ist bekannt, dass einige Patienten evtl. später einer Fusionierung bedürfen (Hanley EN Jr .1991).

Soweit bei Patienten persistierende stärkste radikuläre Schmerzen und evtl. neurologische Defizite auftreten wird eine aggressivere Vorgehensweise mit notwendiger Fusion empfohlen, während Patienten mit rezidivierender Radikulopathie und mäßigen Schmerzen bei fehlenden Zeichen einer Hypermobilität eher einer erneuten Diskektomie und evtl. einer posterolateralen Fusion zugeführt werden sollten (Hanley EN Jr. 1995).

Ein weiteres Beschwerdebild wird durch die so genannte „**Interne Bandscheibenruptur**“ verursacht, die durch eine Provokationsdiskographie diagnostiziert werden kann. Es gibt Hinweise darauf, dass morphologische Abnormalitäten im MRT in Kombination mit einer positiven Diskographie Prädiktoren darstellen, die deutlich machen, wer von einer Stabilisationsmaßnahme profitiert und wer nicht (Newmann MH 1992). Neben all dem sollte die Operationsindikation mit Vorsicht gestellt werden, denn auch ohne Operation kommt es bei einem großen Teil der Patienten zu spontanen Rückbildungen der Beschwerden nach symptomatischer Behandlung (Rhyne AL 1994).

#### **Failed back Syndrom**

Außer in Situationen mit nachweisbarer Instabilität mit oder ohne neurologischer Symptomatik haben Fusionen bei Zweitoperation nur suboptimale Erfolgsaussichten mit Beschwerdelinderung im Bereich von 50%.

Hierbei scheint die Ursache einer gescheiterten ersten Operation nicht technischer oder physiologischer Art zu sein, sondern eher das Resultat einer unkorrekten Indikationsstellung (Hanley EN 1991; Masferrer R 1998). Nach einer erneuten Operation nahmen nach einer Studie von Wadell (Wadell G 1979) mit 103 Patienten nur 23% der Frauen und 40% der Männer wieder ihren Beruf auf. 65% des Kollektivs zeigten psychosoziale Auffälligkeiten, was mit einem schlechten operativen Ergebnis korrelierte ( Agazzi S 1999). Laut La Rocca (La Rocca H 1990) sind die Ursachen fehlgeschlagener Bandscheibenoperationen fast immer eine falsche Patientenselektion, daraus resultierende unangemessene Operationen oder technische Fehler bei der Operation. Faktoren, die eine erneute Operation positiv beeinflussen, sind ein langes schmerzarmes Intervall seit der Erstoperation, ein neuer Bandscheibenvorfall an anderer Stelle oder ein anderer nachweisbarer und korrigierbarer pathologischer Befund. Der operative Erfolg wird mit Zunahme der Zahl der Rezidiveingriffe stets schlechter.

## **2.5 Wirbelsäulenfusion**

Die Fusion im Bereich der Lendenwirbelsäule mit und ohne Korrektur des Profils ist auf mehreren Wegen zu erreichen. Hierbei ist die dorsale Fusion durch Instrumentation mit Pedikelschrauben üblich und die Komplikationsmöglichkeiten überschaubar und durchaus akzeptabel ( Faraj AA 1997).

In Frage kommen dorso-ventrale oder ventro-dorsale Maßnahmen mit Zugang über zwei separate Inzisionen oder auch die posterolumbale intersomatische Fusion (PLIF) über einen einzigen Zugang von dorsal. Darüber hinaus besteht noch die Möglichkeit der alleinigen Fusion dorsal oder ventral. Die Wahl des Zugangs richtet sich nach den anatomischen Gegebenheiten, der Operationsindikation und den Erfahrungen des Operateurs. Die verschiedenen operativen Techniken werden nachfolgend kurz erläutert.

### **2.5.1 Posteriore Lumbale Intersomatische Fusion (PLIF)**

Eine mittlerweile zum Standard gehörende Technik der lumbalen Spondylodese ist die ventral und dorsal kombinierte Fusion durch einen einzigen Zugang von dorsal. Hierbei erfolgt die Hautinzision über den Dornfortsätzen der betroffenen zu fusionierenden Wirbel. Auf das subperiostale Abschieben der Muskulatur von den Laminae und die Darstellung der Facettengelenke folgt die Flavektomie und knöchernerne Fenestrotomie.

Nach Aufspreizen des Segmentes werden Dura und Nervenwurzeln dargestellt und durch Retraktoren gesichert. Anschließend wird die Bandscheibe freigelegt und mit Rangeuren so weit ausgeräumt, bis an Grund und Deckplatte Blutpunkte sichtbar sind. Der so präparierte Bandscheibenraum kann dann mit leicht komprimierter Spongiosa befüllt werden, die zuvor aus dem Beckenkamm gewonnen wurde. Zusätzlich wird in der Regel ein metallischer Platzhalter zur Erzielung einer hohen Primärstabilität eingebracht.

Die dorsale Spondylodese wird bei dieser Technik durch eine Instrumentation mit Platzierung von Pedikelschrauben erzielt, welche durch Längsträger miteinander verspannt werden, und durch eine zusätzliche Anlagerung von autologer Spongiosa. Über die Längsstäbe und eine dreidimensionale Vorbiegung gelingt die Wiederherstellung des Wirbelsäulenprofils. Die so durchgeführte Spondylodese ist sofort belastungsstabil.

### **2.5.2 Dorso-Ventrale bzw. Ventro-Dorsale Spondylodese**

Eine Alternativmethode zu oben genannter "PLIF"-Technik ist die Fusion der Wirbelsäule über 2 separate Zugänge von ventral und dorsal. Diese Technik ist ebenfalls weitgehend standardisiert und existierte bereits lange vor der PLIF-Technik. Gleichgültig ob ein- bzw. zweizeitig oder ob zuerst dorsal oder ventral operiert werden muss, richtet sich der Ablauf der Operationen nach der Indikation. Der dorsale Teil der Operation entspricht dem Vorgehen bei der PLIF-Technik mit Freilegen der Laminae nach subperiostalem Abschieben der Muskulatur und Darstellung der Facettengelenke, die in den zu fusionierenden Segmenten eröffnet werden, um Spongiosa zu impaktieren. Anschließend werden Pedikelschrauben eingebracht und diese mit einem Längsträger-Stabsystem verspannt. Auch hier erfolgt die Herstellung des Wirbelsäulenprofils über ein Vorbiegen der Stäbe.

Der ventrale Anteil der Operation erfolgt durch einen in der Regel retroperitonealen Zugang entweder transthorakal oder rein lumbal je nach Segmentlokalisierung. Nach Identifikation und Sicherung wichtiger Strukturen ( Aorta, Urether, Vena iliaca, Sympathischer Grenzstrang, usw. ), erfolgt die möglichst komplette Ausräumung der zu fusionierenden Bandscheiben; danach werden die Grund und Deckplatten angefrischt. Abschließend wird entweder ein Knochenspan oder Spongiosa, die zuvor entnommen wurden, eingebracht und je nach Gegebenheit ein zusätzlicher metallischer Platzhalter implantiert. Auch diese Spondylodese ist primär belastungsstabil.

## **2.6 Ursachen der Nachbarsegmentdekompensation**

Als morphologisches Korrelat der NSD werden degenerative Instabilität, sekundäre Spinalkanalstenose aufgrund von Facettengelenkshypertrophie oder Flavumhypertrophie, Bandscheibenprolaps, degenerative Skoliose und selten Wirbelkörperfrakturen angegeben ( Etebar S 1999). Ursächlich sind sie allesamt Ausdruck einer erhöhten mechanischen Belastung nach Fusion einer Nachbaretage nach Fusion eines bestimmten Segmentes (Hsu KY 1988; Lee CK 1984, Nagata H 1993, Quinnell RC 1981).

Eine weitere Ursache ist die teilweise unsaubere Indikationsstellung zur Spondylodese, die mit einer hohen Anzahl von schlechten Ergebnissen einhergeht (Schlegel JD 1996). Hierbei ist sowohl eine falsche Ausdehnung der Spondylodese bei bestehender Degeneration der Nachbaretagen aber auch die falsche Indikation zur Spondylodese selbst zu verstehen.

In der vorliegenden Untersuchung ist hierauf aber nicht vertiefend einzugehen.

### **2.6.1 Pedikelschrauben**

Ein Problem liegt in der Insertion der kranialen Pedikelschrauben, welche seit langem überwiegend zur Instrumentation eingesetzt werden. Hierbei ist gelegentlich die teilweise Resektion des kaudalen Endes der nächsten cranialen Facettengelenkscapsel oder des Gelenkes selbst erforderlich. Dies erhöht erfahrungsgemäß die Wahrscheinlichkeit von Degenerationen in diesem Bewegungssegment und verstärkt die Hypermobilität in diesem Segment nach der Fusion und die damit verbundenen Veränderungen, die zu einer sekundären Stenose führen (Ha KY 1993; Luk KK 1987, Brunet JA 1984; Etebar S 1999; Rahm MD 1996; Wiltse 1999).

### **2.6.2 Weichteilzerstörung bei der OP**

Die operative Exposition insbesondere beim Zugang von dorsal führt neben der Störung der Integrität der knöchernen Strukturen auch zur Unterbrechung der Muskulatur und der dorsalen stabilisierenden Ligamente inklusive der interspinösen und supraspinösen Ligamente wie auch der fascia lumbodorsalis. Diese Strukturen sind an der Stabilisierung der Wirbelsäule beteiligt. Sie gewinnen nach einem dorsalen Zugang nie wieder ihre ursprüngliche Stärke und tragen mit zur Instabilität bei (Brunet JA 1984).

### **2.6.3 Sagitales Profil**

Von den meisten Autoren wird die Wiederherstellung der natürlichen Lumballordose im Rahmen der Spondylodese als ausschlaggebend im Hinblick auf die Vermeidung einer Nachbarsegmentdekompensation angesehen (Schlegel JD 1996; Kumar M 2001 2).

Nicht berücksichtigt wurde in der vorliegenden Arbeit die Sakruminklination, die als ein weiterer wichtiger Aspekt im Zusammenhang mit dem sagitalen Profil anzusehen ist.

Lazennec konnte 2000 belegen, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Reduktion der Sakruminklination und der Entstehung von postoperativen Schmerzen besteht (Lazennec JY 2000). In Untersuchungen von Kumar zeigte sich, dass die normale Neigung des Sakrums in Kombination mit einer normalen Lendenlordose ein wichtiger Parameter zur Verhinderung der Bandscheibendegeneration ist (Kumar MN 2001). Dies wird auch in den Studien von Przybilski bestätigt (Przybilski GJ 2000)

#### **2.6.4 Hypermobilität**

In mehreren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Fusion einzelner Segmente der Lendenwirbelsäule zu einer kompensatorisch verstärkten Mobilität der übrigen Etagen führt. Eine Kadaverstudie von Daniel 1996 (Daniel HK 1996) gelangt zu dem Ergebnis, dass es nach einer Fusion der Etage L4/5 zu einer verstärkten Mobilität sämtlicher benachbarter Segment kommt. Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung kommen auch andere Autoren (Nagata H 1993; Yang SW 1986; Ha KY 1993; Hayes Ma 1988)

Von diesem Prozeß sind auch die weiter entfernten Segmente betroffen (Nagata H 1993). Bei zusätzlicher Fusion von L5/S1 konnte dieser Effekt noch weiter gesteigert werden.

Ebenfalls konnte belegt werden, dass der intradiskale Druck in sämtlichen nichtfusionierten Etagen analog der gesteigerten Mobilität zunahm (Eck JC 1999; Ha KY 1993; Hayes Ma 1988). Daraus kann geschlossen werden, dass die übrig gebliebenen Segmente in den meisten Fällen bis zu Ihrer Grenzmobilität beansprucht werden, was zu einem frühzeitigen Verschleiß sowohl der Bandscheiben als auch der Facettengelenke führen kann. (Daniel HK 1996; Etebar S 1999; Lee CK 1984; Luk KK 1987)

Die gesteigerte Mobilität und Belastung des Nachbarsegmentes scheint bei der Verwendung von starren Instrumentarien besonders stark zu sein und bewirkt ein erhöhtes Auftreten von Nachbarsegmentdegenerationen (Hsu KY 1988; Krag MH 1991). Dies wird auch als eine der Komplikationen besonders der PLIF-Technik beschrieben (Wetzel FT 1991).

In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass die Entstehung einer Pseudoarthrose als protektiver Faktor zu werten ist, was den Verdacht erhärtet, dass besonders starre Instrumentationen die NSD negativ beeinflussen (Rahm MD 1996).

### **2.6.5 Rotationszentrum**

Kinematische Untersuchungen haben deutlich gemacht, dass eine Fusion von einem oder mehreren Etagen der Lendenwirbelsäule zu einer Veränderung der Biomechanik in der gesamten Lendenwirbelsäule führt (Daniel HK 1996, Casey K 1984; Etebar S 1999). Wie Kadaverstudien belegten, kam es bei verschiedenen Fusionsoperationen jeweils zu einer Verlagerung des Rotationszentrums nach dorsal, besonders bei dorsalen Spondylodesen und nach ventral, insbes. bei ventralen Spondylodesen (Casey K 1984; Yang SW 1986).

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass offenbar alle Arten von Fusionsoperationen zu einem verstärkten Stress der benachbarten nichtfusionierten Segmente führten und hiervon besonders die Facettengelenke betroffen sind (Eck JC 1999, Etebar S 1999; Schlegel JD 1996; Przybilski GJ 2000). Die Versteifung in Kombination mit einer Verlagerung des Rotationszentrums löst danach in der Regel eine Störung des Gleichgewichtes der Lastverteilung im Bereich der Lendenwirbelsäule aus.

### **2.6.6 Facettengelenkshypertrophie**

Ein häufiger Grund für die Entstehung einer NSD ist die Facettengelenkshypertrophie der nächstgelegenen Segmente neben einer Fusion, die zu erneuten Schmerzen und neurologischen Symptomen führt (Casey K 1984, Lee CK 1983; Etebar S 1999).

Von einigen Autoren wird die Facettengelenkshypertrophie sogar als die Hauptursache bei der Entstehung einer NSD angesehen (Casey K 1987).

Die Hypertrophie ist hierbei Ausdruck einer anhaltenden mechanischen Fehlbelastung und Überlastung des Gelenkes.

Für viele Autoren sind die Facettengelenke die am meisten vulnerable Struktur nach einer lumbalen Spondylodese (Casey K 1984). Daneben kommt es zur Hypertrophie der Ligamente. Beides zusammen kann eine sekundäre spinale Stenose erzeugen (Etebar S 1999).

### **2.6.7 Knorpelveränderungen im Nachbarsegment**

In verschiedenen Modellen konnte demonstriert werden, dass sich im Anschluß an Fusionen im Bereich der Nachbarsegmentfacettengelenke die Knorpelbeschaffenheit verändert. Hinzu kommen Veränderungen der chemischen Zusammensetzung der Bandscheibe (Etebar S 1999; Cole TC 1985+1987; Kahanowitz 1984). Dies wurde auch in Untersuchungen von Taylor 1976 bestätigt, der bei Versuchen an Hunden demonstrierte, dass eine degenerativ vorbelastete Bandscheibe in Nachbarschaft einer Fusion bereits nach 6 Monaten eine signifikante Veränderung in der Zusammensetzung der Bandscheibe aufwies (Taylor TKF 1976). Neben einem Verlust von Kollagen traten Störungen des Glycosaminoglykan-Gehaltes auf. Weitere Untersuchungen kamen auch zu dem Ergebnis, dass nicht durch Degeneration vorbelastete Bandscheiben in Nachbarschaft einer Fusion selbst nach 16 Monaten noch keine Veränderung der Bandscheibenzusammensetzung aufwiesen (Bushell GR 1978).

Nach Untersuchungen von Kumar waren es immerhin 36,1% der Patienten, die eine lumbale Fusion erhielten, bei denen sich eine Degeneration der

Nachbarbandscheibe ergab, wobei nur ein Bruchteil hiervon symptomatisch war ( Kumar MN 2001).

## **2.7 Physiologische Degeneration der Lendenwirbelsäule**

Laut Boden kommen Bandscheibendegenerationen bei der Durchschnittsbevölkerung im Alter von 60 Jahren mit einer Häufigkeit von 90% vor( Boden S 1990). Hierbei sind durchschnittlich 3 Segmente der Lendenwirbelsäule betroffen.

Von einigen Autoren wird geschildert, dass sich im Gefolge einer Degeneration von Nachbaretagen nach PLIF keine signifikant höhere Bandscheibenhöhenminderung als bei der Normalbevölkerung im Rahmen des Alterungsprozesses festzustellen ist ( Nakai S 1999).

## 2.8 Radiologisches Normalprofil der LWS

Das Profil der Lendenwirbelsäule ist dann im Lot, wenn ein Lot, das vom Zentrum von LWK 3 gefällt wird, den ersten Sakralwirbel schneidet (Hellinger J; Möller TB 1987).

Die durchschnittliche Lendenlordose zwischen L1 und S1 beträgt 72 ° ( Bernhardt M 1989).

Die weiteren Winkel innerhalb der Lendenwirbelsäule betragen 13° für L3/4, 20° für L4/5, 28° für L5/S1, 48° für L4-S1, 61° für L3-S1, 68° für L2-S1 und 72 ° für L1-S1( Bernhardt M 1989).

Die sagittale Beweglichkeit der LWS liegt bei 52° Flexion und 30° Extension der gesamt LWS. Aufgeteilt auf die einzelnen Segmente findet sich eine Gesamtbeweglichkeit für Extension und Flexion im Segment L1/L2 von 11°, in L2/L3 von 12°, L3/L4 18°, bei L4/L5 von 24° und bei L5/S1 von 18°. Die größte Beweglichkeit liegt im Segment L4/L5.

Der Sakrum-Basiswinkel liegt bei Frauen bei 32°, bei Männern bei 39° (Durchschnittlich 34°). Die Weite der Zwischenwirbelräume variiert mit L1/2 <L2/3<L3/4<L4/5>L5/S1. Die röntgenologische Gelenkspaltweite der kleinen Wirbelgelenke beträgt zwischen 1,5 und 2mm.

### **3. Material und Methodik**

#### **3.1. Patientenauswahl**

Gegenstand der Darstellung sind die Erkenntnisse, die an der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen und der Orthopädischen Klinik der Zentralkliniken Bad Berka im Zuge der Behandlung von Wirbelsäulenpatienten mit einer lumbalen Spondylodese gewonnen werden konnten.

Als Operationstechniken kamen sowohl die Fusion in PLIF-Technik als auch die dorso-ventrale bzw ventro-dorsale Fusion zur Anwendung. Die Eingriffe erfolgten jeweils durch einen erfahrenen Operateur.

Hauptindikationen zur Durchführung der Spondylodese waren Spondylolisthesis, Osteochondrose und Spinalkanalstenose. Weitere präoperative Diagnosen waren Failed Back Syndrome nach Nukleotomie, eine in Deformität ausgeheilte Lendenwirbelkörperfraktur und eine ausgeheilte Spondylodiszitis. Alle durch Operation behandelten Patienten waren auf konservativem Wege nicht mehr ausreichend therapierbar.

Die Patienten wurden postoperativ regelmäßig nach einem einheitlichen Nachuntersuchungsschema mit regelmäßigen Zeitintervallen in der Ambulanz untersucht bzw. stellten sich bei Beschwerden vorzeitig vor.

In der Folge der Spondylodese kam es bei 25 Patienten zu therapieresistenten und operationsbedürftigen Beschwerden, die mit einer radiologisch nachweisbaren Degeneration der Nachbarsegmente einhergingen und klinisch diesen zuzuordnen waren.

Die Nachbarsegmentdekompressionen waren bis auf zwei Patienten durch den intraoperativen Befund gesichert. Im Rahmen der Re-Operationen wurden die betroffenen Segmente mit in die vorbestehende Fusion einbezogen. Bei zwei nicht intraoperativ gesicherten Patienten sind die Reoperationen vorgesehen, die Operationen haben zum Zeitpunkt der Dissertationsschrift noch nicht stattgefunden.

Als Kontrollgruppe wurden anhand der Krankenblätter 25 konsekutive Patienten ausgewählt, die ebenfalls eine lumbale Spondylodese erhielten, in regelmäßigen Zeitabständen im Rahmen eines Nachuntersuchungsschemas in der Ambulanz vorstellig wurden und während der Nachbeobachtungszeit von mindestens 2 Jahren weder die Symptomatik noch eine gravierende Degeneration der Nachbarsegmente in den Röntgenuntersuchungen boten. Der minimal geforderte Nachuntersuchungszeitraum betrug 24 Monate. Unvollständige Unterlagen und Patienten mit einem Follow-up unter 24 Monaten wurden nicht in der Untersuchung berücksichtigt.

Die Patientendaten wurden retrospektiv anhand der Krankenakten unter Verwendung eines Erhebungsbogens (siehe Anhang) dokumentiert. Darüberhinaus wurden sämtliche präoperativen Röntgenbilder, postoperativen Röntgenbilder und die Röntgenaufnahmen bei der letzten Untersuchung mit evtl. vorliegenden MRT, CT und Myelographien nachbefundet und Winkelberechnungen (s.u) durchgeführt.

## **Fragestellungen des Erhebungsbogens**

### **3.2. Anamnesebogen**

Ausgangspunkt der Erhebungen war ein Erfassungsbogen, in dem neben den Initialen und der Identifikationsnummer zum Zeitpunkt der ersten Operation das Geschlecht und das Patientenalter aufgenommen wurden. Desweiteren wurden darin die Diagnose, die erfolgte Therapie, der intraoperative Zugang, sowie evtl. intraoperativ aufgetretene Komplikationen dokumentiert. Außerdem wurde erfasst, welche Segmente in die Spondylodese einbezogen waren und ob der Patient in der frühen postoperativen Phase subjektiv von der Maßnahme profitiert hat.

Anhand der präoperativen Röntgenbilder wurde die Profilkonfiguration und der Profilwinkel der späteren Spondylodese wie auch die Winkel der angrenzenden Segmente und der Gesamtwinkel Th 12 – S 1 nach der Cobb-Technik bestimmt (Beispiel siehe unten) . Desweiteren wurde die Befundung der vor der ersten Operation vorliegenden weiteren Untersuchung ( MRT, CT, Myelographie), soweit vorhanden, dokumentiert.

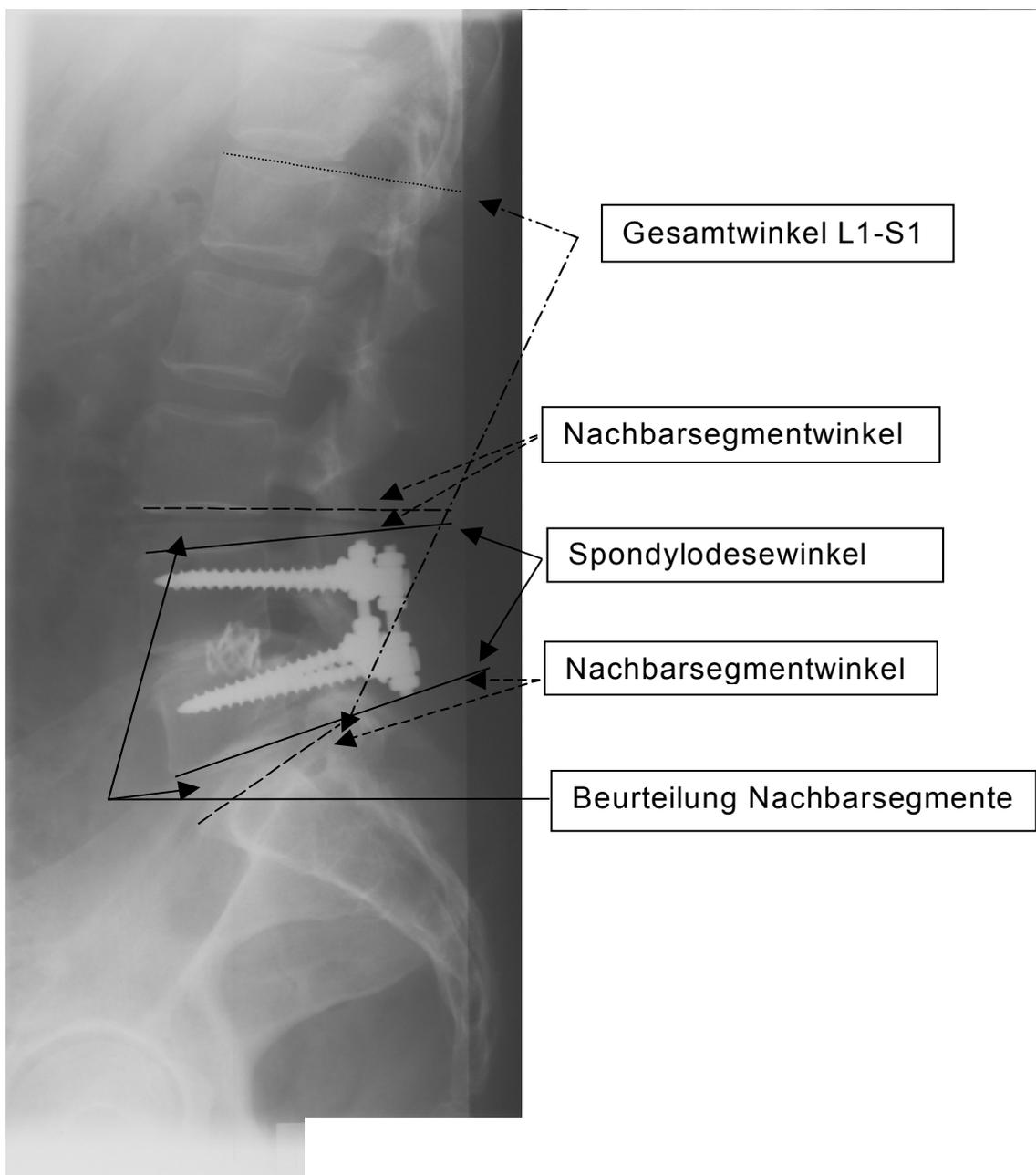
Analog zu o.g. Vorgehensweise erfolgte die Ermittlung der Winkel präoperativ, postoperativ und bei der letzten Verlaufskontrolle. Radiologische Auffälligkeiten im Sinne eines erniedrigten Bandscheibenraumes oder einer vermehrten subchondralen Sklerosierung der Nachbarsegmente wurden als normal oder pathologisch eingeordnet. Darüber hinaus wurden die Spondylodesestrecke und die Anzahl der fusionierten Segmente registriert.

Im Rahmen der letzten Untersuchung wurde der Beschwerdecharakter zum Untersuchungszeitpunkt, radiologische Hinweise für eine Segmentdekompensation, die Winkeländerung des Nachbarsegmentes und auch die Änderung des Gesamtwinkels Th12-S1 festgehalten.

Besonders festzuhalten war, ob die Dekompensation nach cranial oder caudal stattfand und wie viele Segmente hiervon betroffen waren.

Die gewonnenen Daten waren der Gruppe der Nachbarsegmentdekompensation (NSD) bzw. der Kontrollgruppe zuzuordnen und unter den weiter unten beschriebenen unterschiedlichen Gesichtspunkten gegenüber zu stellen.

### 3.3. Darstellung der Winkelbestimmungen



## 4. Ergebnisse

### 4.1. Geschlechtsverteilung

Das Patientenkollektiv umfasste insgesamt 51 Patienten. Davon waren 26 weiblichen und 25 Patienten männlichen Geschlechts.

Innerhalb der Gruppe der Patienten mit NSD betrug das Geschlechtsverhältnis 11 männliche zu 14 weiblichen Patienten. Innerhalb der Kontrollgruppe waren 14 männlichen und 12 Patienten weiblichen Geschlechts.

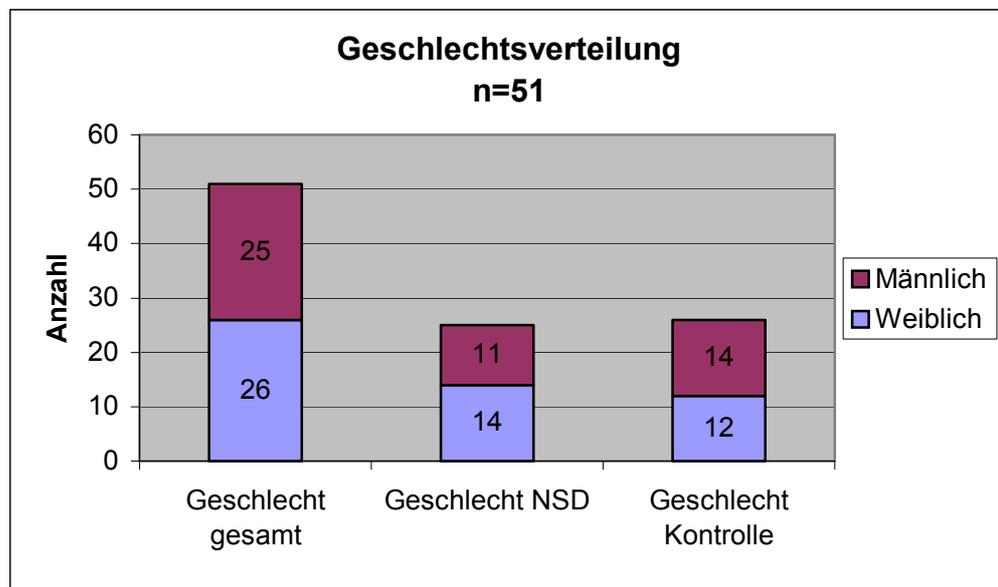


Abb. 1: Geschlechtsverteilung

## 4.2. Altersverteilung

Zum Zeitpunkt der Operation betrug das durchschnittliche Alter im Gesamtkollektiv 46,7 Jahre wobei der jüngste Patient 14 Jahre und der älteste Patient 78 Jahre alt waren.

Die Patienten der Gruppe mit NSD hatten ein durchschnittliches Alter von 55,2 Jahren; der jüngste Patient war 33 Jahre, der älteste 78 Jahre alt. Im Kontrollkollektiv betrug das Durchschnittsalter 38,8 Jahre, der jüngste Patient war 14 Jahre alt, der älteste 61.

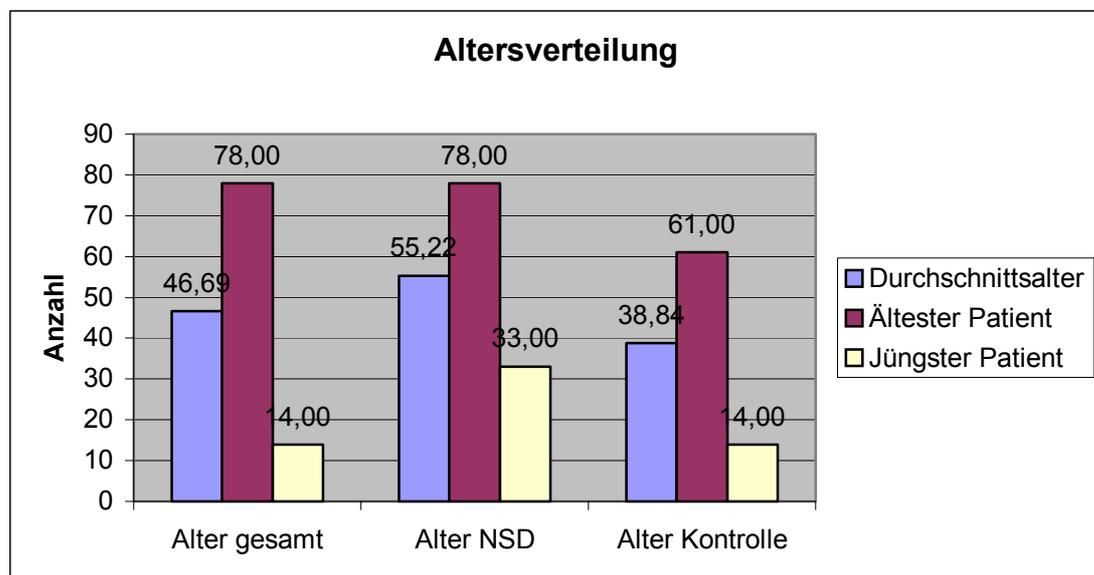


Abb.2: Altersverteilung zum Zeitpunkt der Spondylodese

### 4.3. Follow-up

Die durchschnittliche Nachuntersuchungsdauer betrug beim Gesamtkollektiv 46,7 Monate. Die längste Nachuntersuchungsdauer lag bei 152 Monaten, die kürzeste bei Entstehung einer Nachbarsegmentdekomensation unter einem Monat.

Aufgeteilt auf die beiden Gruppen erreichte das mittlere Follow-up bei der Gruppe der Nachbarsegmentdekomensationen 29,8 Monate; die längste Periode bis zur letzten Untersuchung betrug 88 Monate, die kürzeste lag unter einem Monat.

In der Kontrollgruppe lag die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit bei rund 62,8 Monaten, Sie bewegte sich im einzelnen zwischen 24 und 152 Monaten.

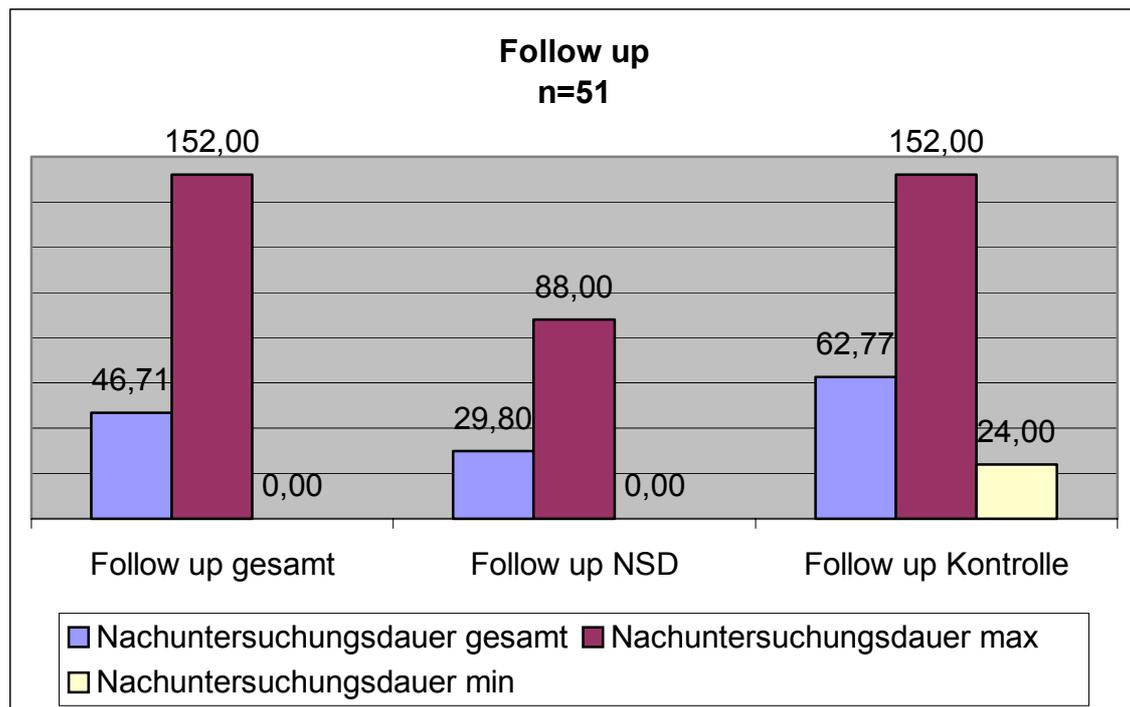


Abb.3: Follow up der Kollektive

#### 4.4. Fusionsstrecken und Segmente

Sowohl in der Gruppe der Patienten mit Nachbarsegmentdekompensation als auch in der Kontrollgruppe beinhaltete die längste Spondylodese 3 Segmente und die kürzeste 1 Segment.

In der Gruppe mit NSD wurden 14 monosegmentale Fusionen , 9 bisegmentale Fusionen und 2 trisegmentale Fusionen durchgeführt. In der Kontrollgruppe wurden 11 mal 1 Segment fusioniert , 12 mal 2 Segmente fusioniert und 4 mal drei Segmente in die Spondylodese einbezogen.

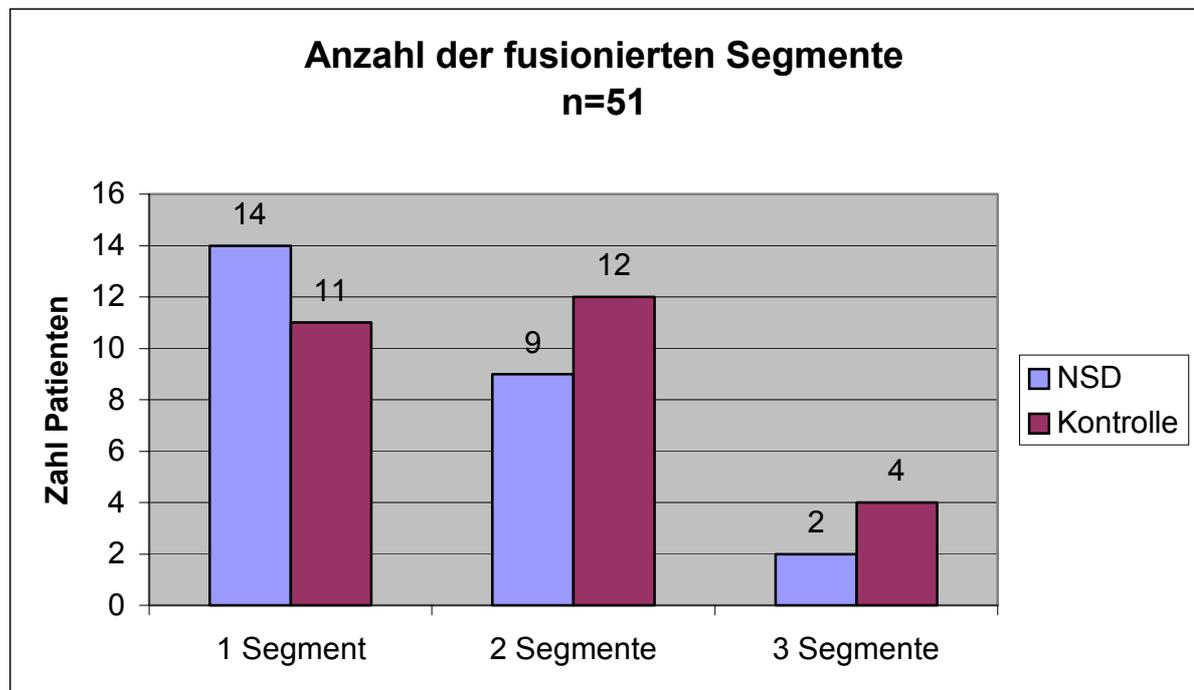


Abb.4: Anzahl der fusionierten Segmente

## 4.5. Fusionsetagen

Unter den fusionierten Segmenten waren keine Fusionen von L1/2. Im übrigen wurden 2 Fälle in L2/3 (2 in der Gruppe der NSD), 3 Fusionen in L3/4 (alle NSD), 8 mit L4/5 ( 7 NSD, 1 Kontrolle), 11 Patienten in L5/S1 ( 3 NSD, 8 Kontrolle ), 3 Fusionen in L3-S1 ( 1 NSD, 2 Kontrolle), 17 Spondylodesen in L4-S1 ( 3 NSD, 14 Kontrolle), 1 Spondylodese in L2-5 und L2-4 (jeweils in der Gruppe der NSD), 4 Fusionen L3-5 ( 4 NSD) und 1 Patient in L4-S2 in der Kontrollgruppe fusioniert.

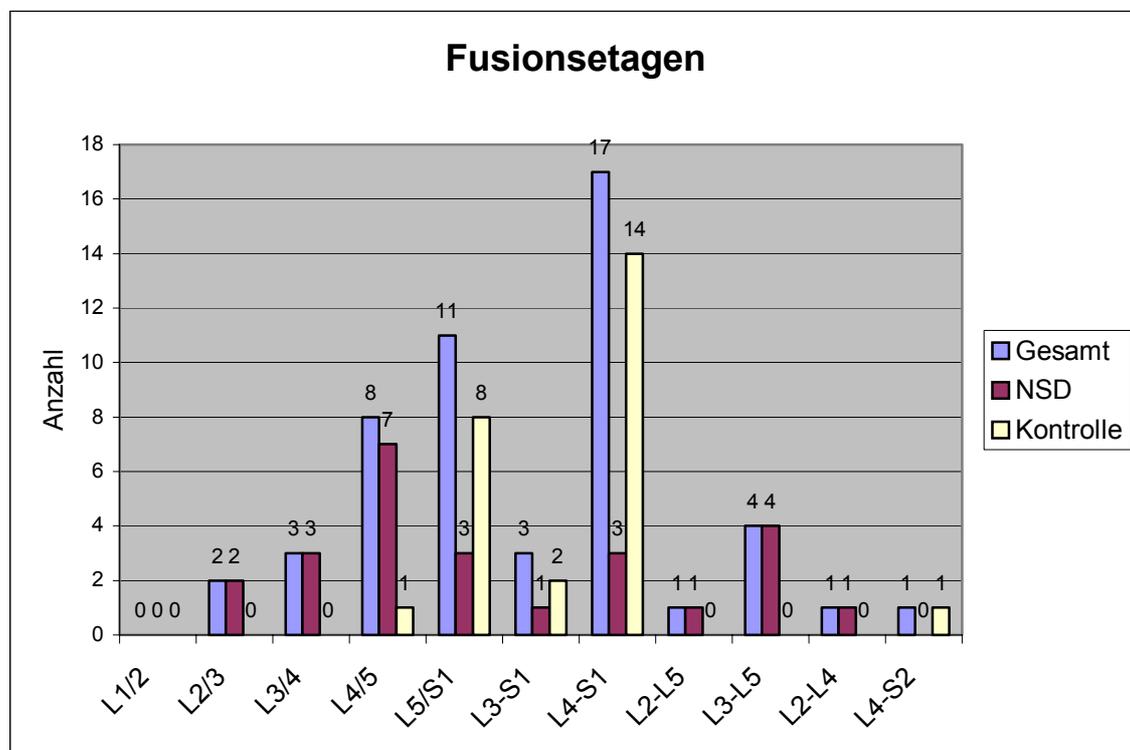


Abb.5: Fusionsetagen

## 4.6. Diagnosen

Bei den Diagnosen, die zur Operation führten, handelte es sich in 31 Fällen um Spondylolisthesen, hiervon 25 in der Kontrollgruppe und 6 in der Gruppe der Patienten mit NSD, 16 Osteochondrosen, hiervon 7 in der Kontrollgruppe und 9 in der Gruppe der Patienten mit NSD. 9 mal wurde eine degenerative Instabilität diagnostiziert, hierbei 3 mal in der Kontrollgruppe und 6 in der Gruppe der Patienten mit NSD und 9 mal wurde eine spinale Stenose gefunden, 1 mal in der Kontrollgruppe und 8 mal in dem Kollektiv der NSD. Aufgrund von Mehretagenfusionen waren auch bei einer Operation verschiedene Diagnosen möglich.

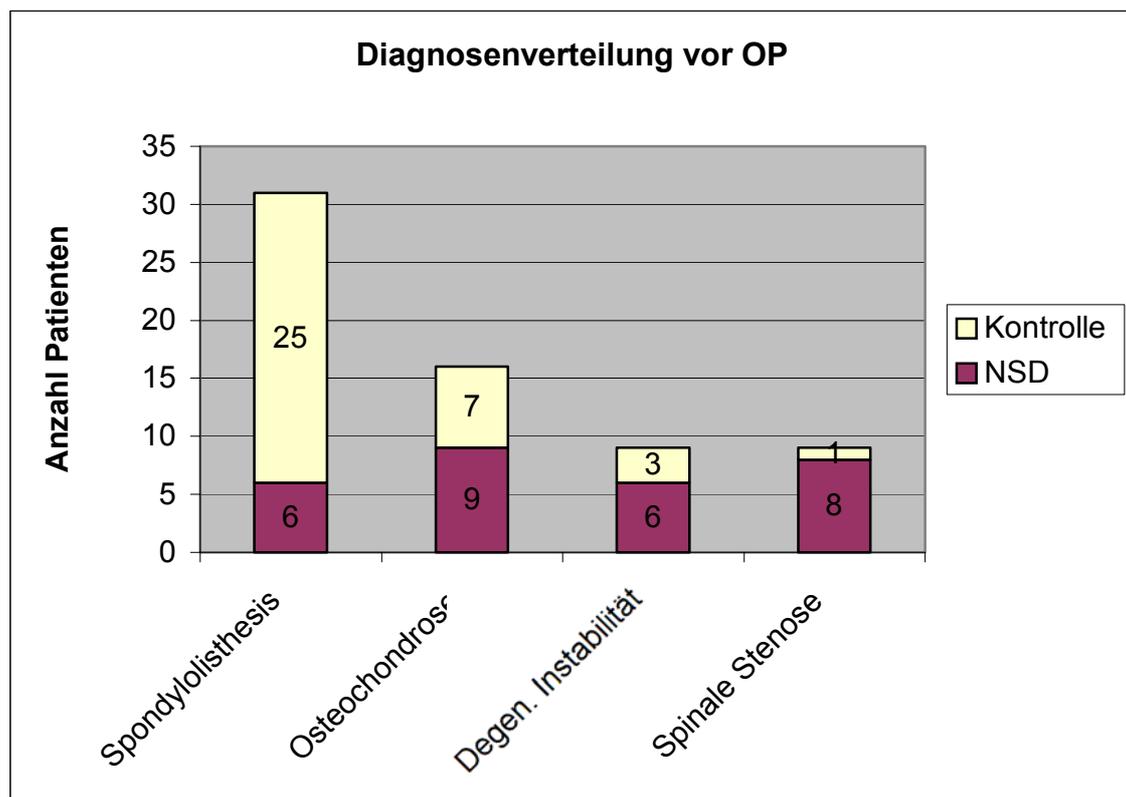


Abb.6: Diagnosenverteilung vor Erst-Operation

#### 4.7. Segmentdekompensationsrichtung

Bei der Untersuchung der dekompenzierten Etagen zeigte sich bei 18 Patienten die Dekompensation in der cranial angrenzenden Etage und bei 7 Pat. in der caudalen Etage.

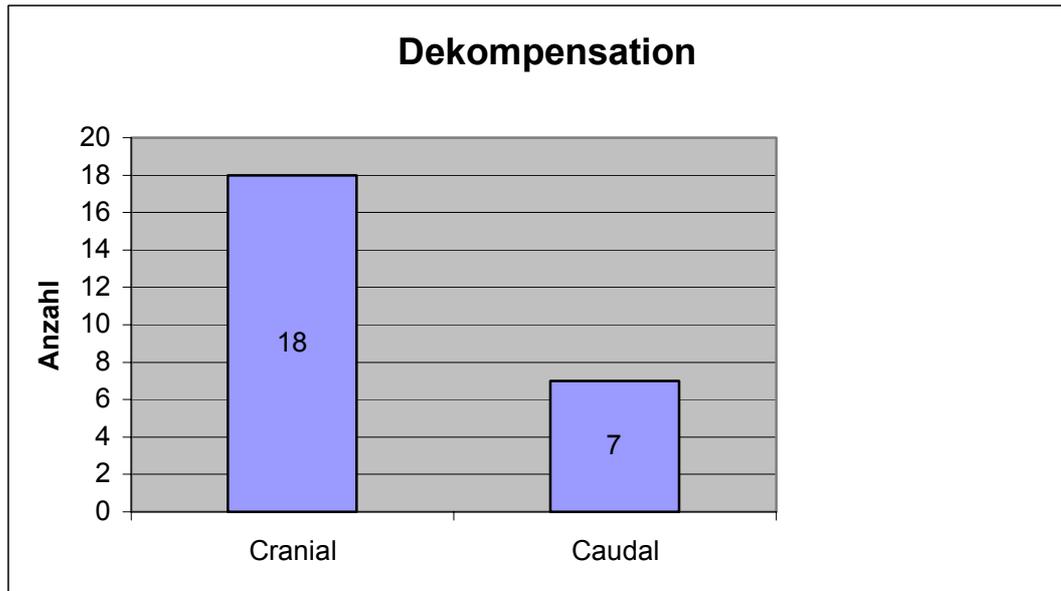


Abb. 7: Richtung der Dekompensation

#### 4.8. Zahl der dekompensierten Segmente

Insgesamt kam es in 4 untersuchten Fällen zur Dekompensation von 2 Nachbaretagen; in 21 Fällen dekompensierte 1 Nachbaretage

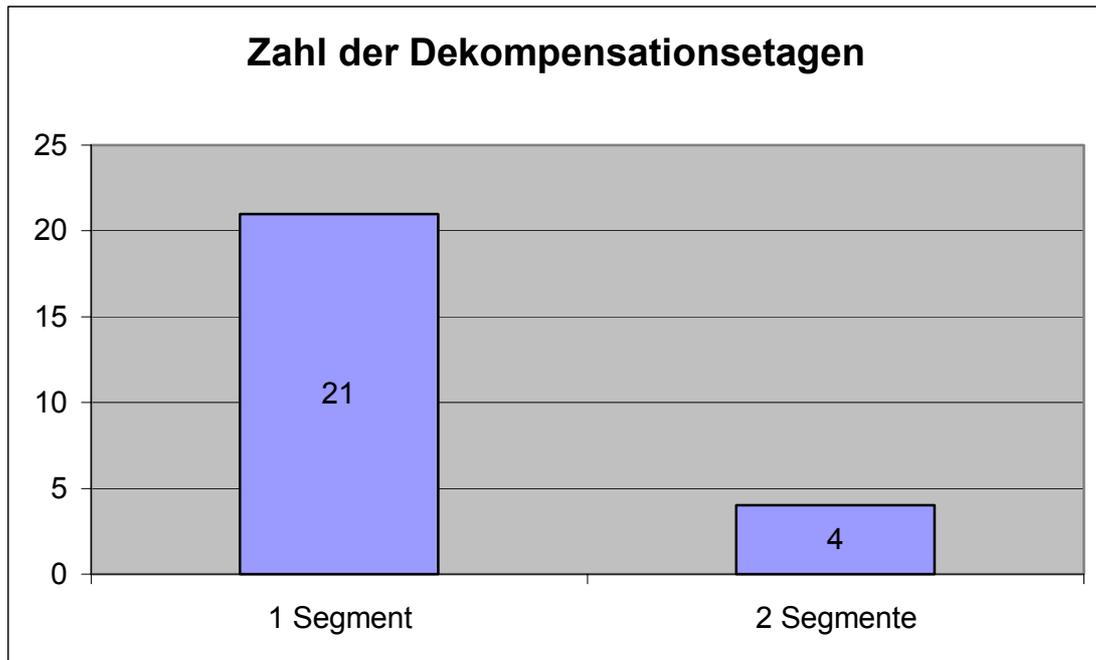


Abb.8: Zahl der dekompensierten Segmente

#### 4.9. Verteilung des Dekompensationsniveaus

Bei der Verteilung der dekompensierten Segmente waren die Segmente L2-L3 6-mal, die Segmente L3-L4 und L5-S1 jeweils 5-mal betroffen, L4/5 3 mal. Die Etagen L1-L2 und L2-L4 waren jeweils 2 mal dekompensiert. Je einmal waren L4-S1 und L1-L3 betroffen.

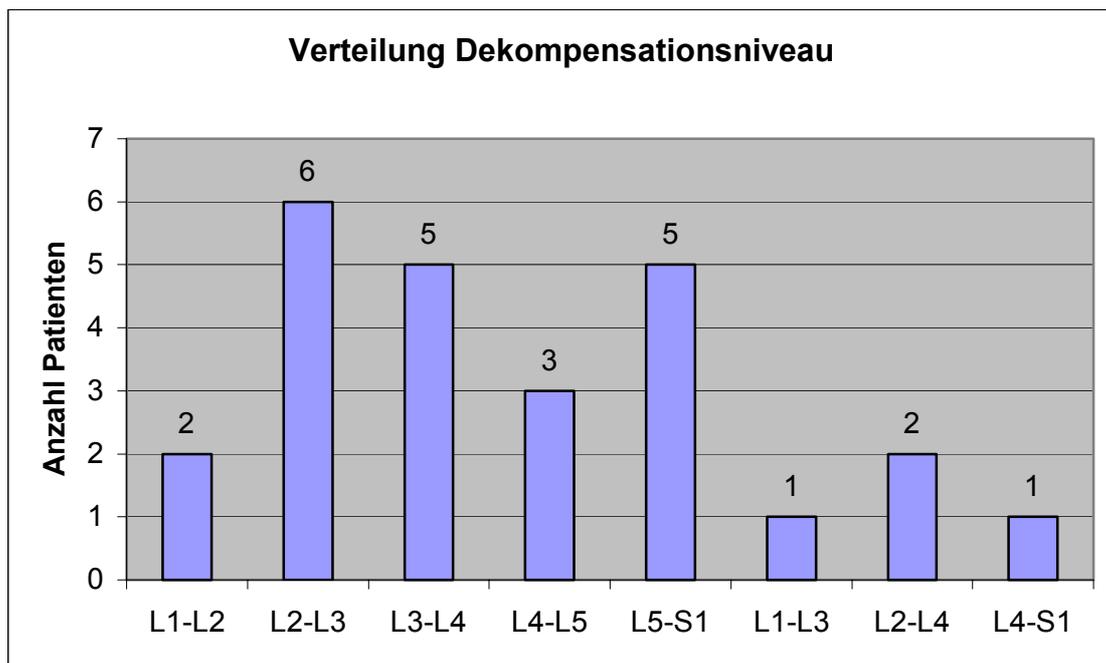


Abb.9: Dekompensationsniveau

#### 4.10. Beschwerden nach Fusion

Im Anschluß an die primäre Spondylodese gaben insgesamt 4 Patienten verbleibende Schmerzen im Lendenwirbelsäulenbereich an. In der Gruppe der Nachbarsegmentdekompensationen war 1 Patient betroffen, in der Kontrollgruppe waren es 3 Patienten.

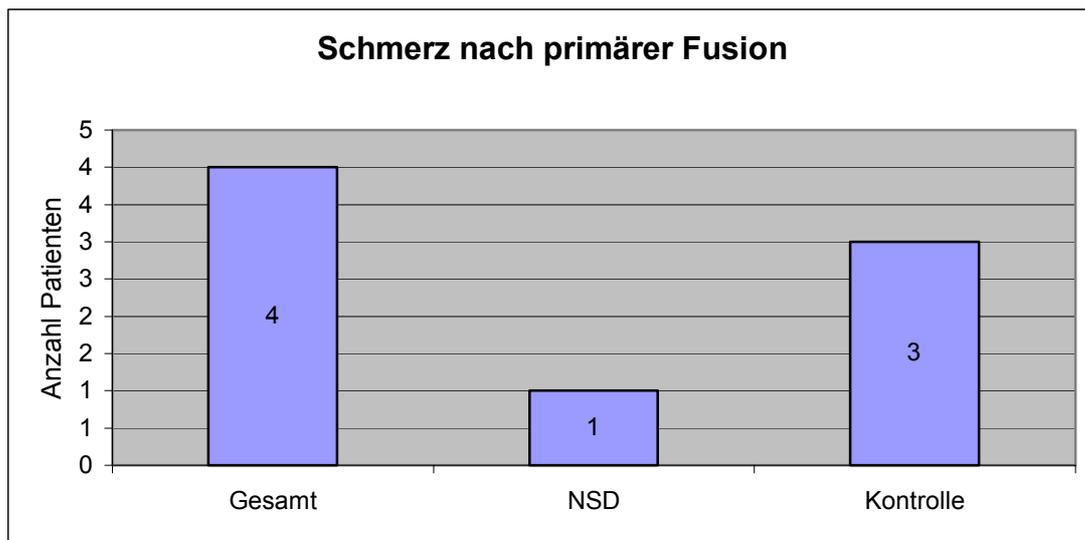


Abb.10:Schmerzen nach Fusion

#### 4.11. Nachbarsegmentveränderungen cranial

Die postoperativen Röntgen-Bilder der Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen zeigten bei 4 Patienten pathologische Veränderungen in der cranialen Nachbaretage, die durch einen erniedrigten Zwischenwirbelraum oder eine vermehrte subchondrale Sklerose zum Ausdruck kam. Alle 4 Patienten befanden sich in der Gruppe der NSD.

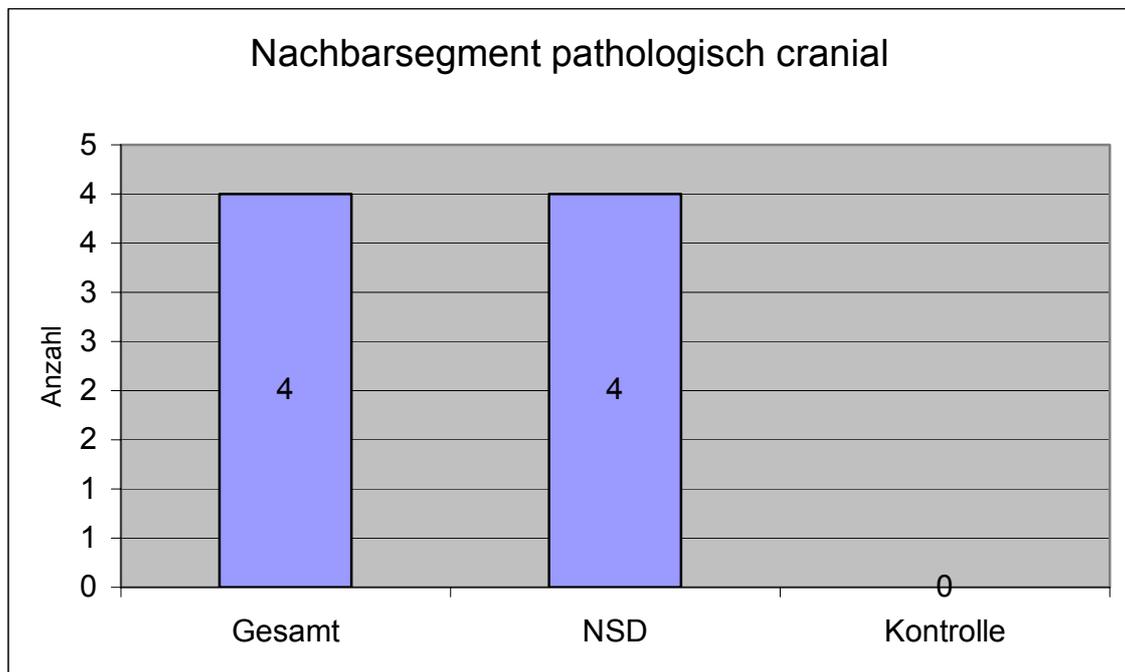


Abb.11: Nachbarsegmentveränderungen post Fusion radiologisch cranial

Die separate Betrachtung der 4 Fälle mit als pathologisch eingestuft  
cranialen Nachbarsegmenten zeigt in allen 4 Fällen eine Dekompensation nach  
cranial.

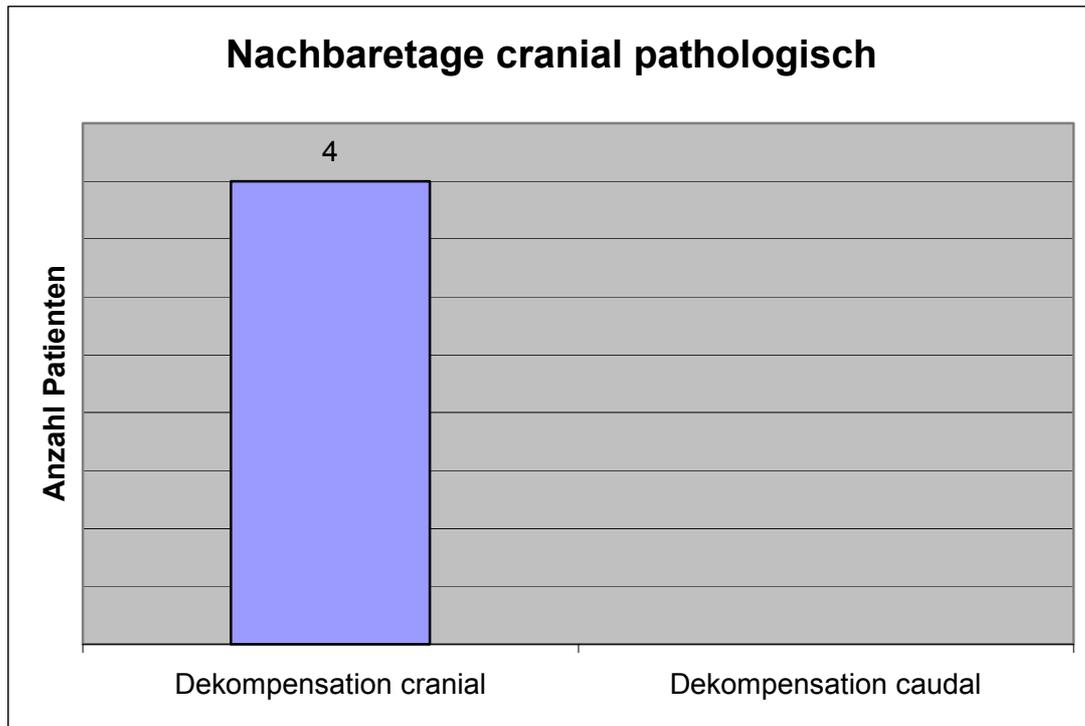


Abb.11 b: Nachbaretage cranial pathologisch

#### 4.12. Nachbarsegmentveränderungen caudal

Bei der Röntgen-Beurteilung der postoperativen Verhältnisse der Nachbaretage caudal fanden sich bei 9 Patienten pathologische Veränderungen, welche alle zur Gruppe der NSD gehörten.

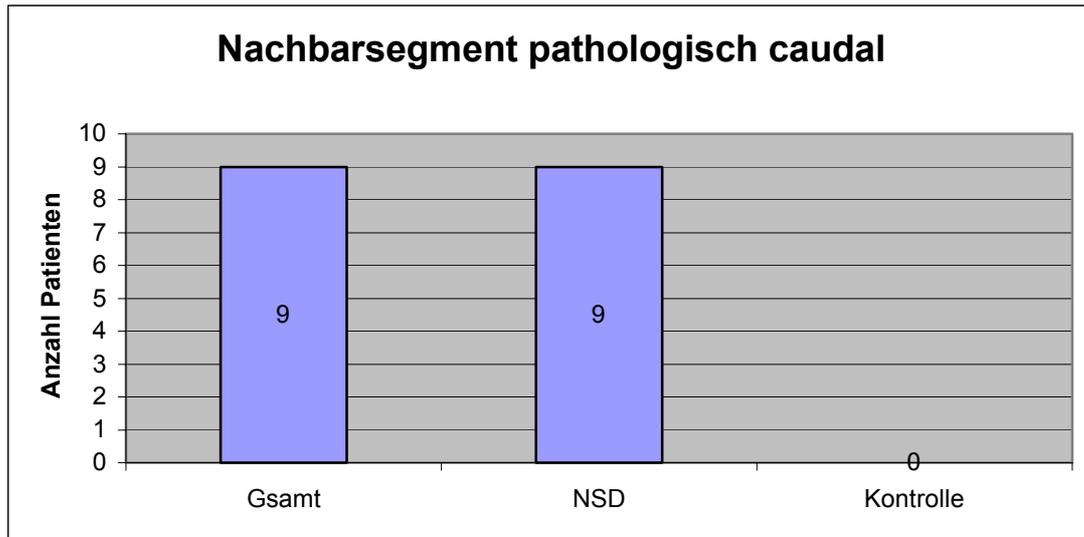


Abb.12: Nachbarsegmentveränderungen post Fusion radiologisch caudal

Die separate Betrachtung der 9 Fälle mit als pathologisch eingestuften caudalen Nachbarsegmenten zeigt in 4 Fällen eine Dekompensation nach cranial und in 5 Fällen eine Dekompensation nach caudal.

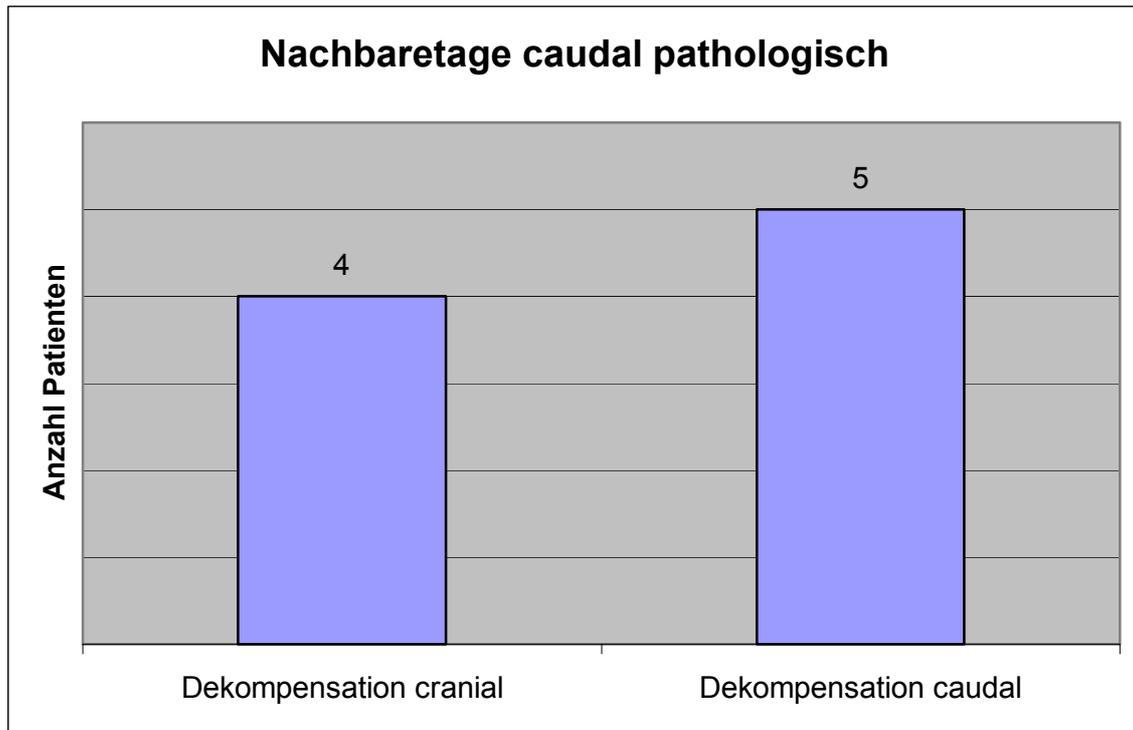


Abb.12 b: Nachbaretage caudal pathologisch

#### 4.13. Fusionswinkel unterteilt nach Segmentzahlen

Die absoluten Fusionswinkel beliefen sich in der Unterteilung nach der Zahl der fusionierten Segmente bei monosegmentalen Fusionen in der Gruppe der NSD auf durchschnittlich 14,69° Lordose, in der Kontrollgruppe auf 28,64° Lordose.

Bei bisegmentalen Fusionen lagen die Winkel in der NSD - Gruppe bei 22,88° Lordose, in der Kontrollgruppe bei 39,08° Lordose.

Bei drei fusionierten Segmenten lag der Fusionswinkel in der Gruppe mit NSD bei 21° Lordose, in der Kontrollgruppe bei 33° Lordose.

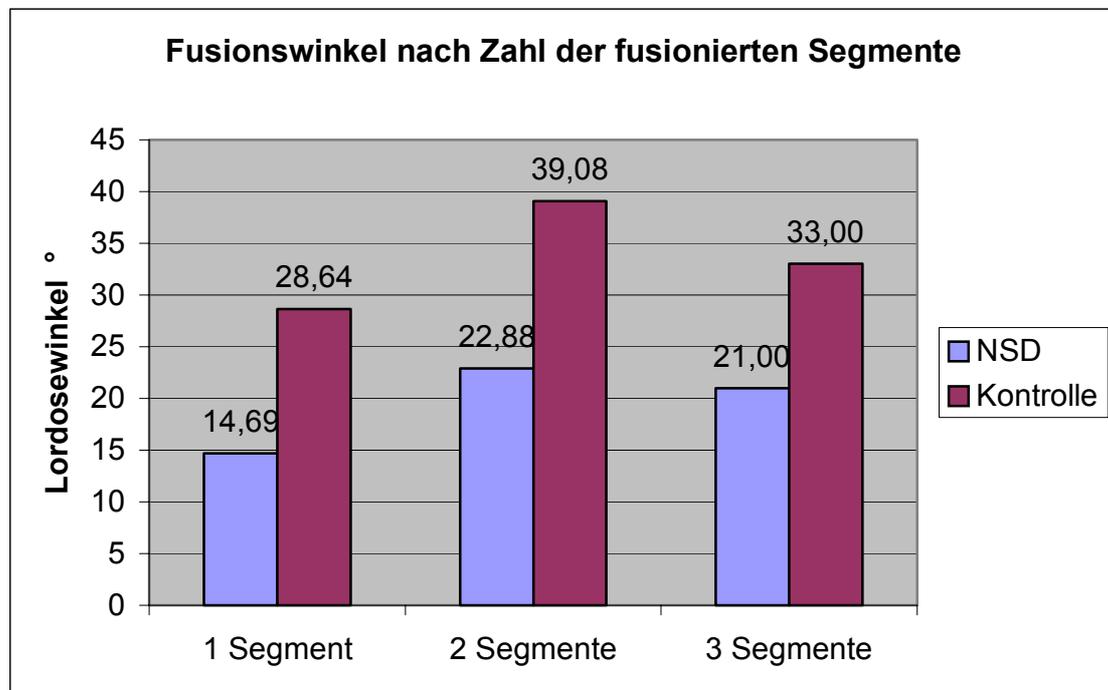


Abb.13: Fusionswinkel nach Zahl der fusionierten Segmente

#### 4.14. Gesamtwinkel der Lumballordose

Die Messung des postoperativen Gesamtwinkels von Th12-S1 als Ausdruck der verbliebenen Lumballordose ergab einen Durchschnittswinkel des Gesamtkollektivs von 51,39°, einen maximalen Lordosewinkel von 87° Lordose und einen minimalen Winkel von 23° Lordose.

Aufgeteilt auf die zwei Gruppen lag der Durchschnittswinkel in der Gruppe der NSD bei 40,42° Lordose, minimal 23° Lordose und maximal 77° Lordose. Für die Kontrollgruppe wurde ein durchschnittlicher Winkel von 61,88° Lordose gemessen, bei einer Spannweite zwischen minimal 37° Lordose und maximal 87° Lordose.

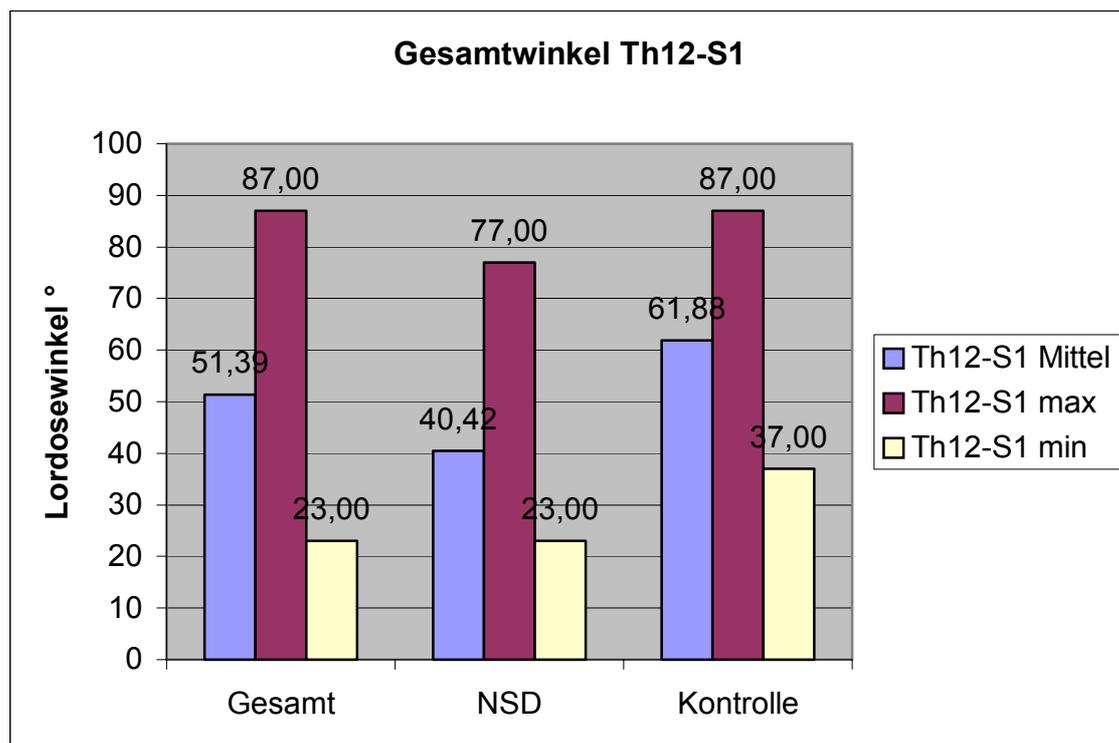


Abb.14: Gesamtwinkel Th12-S1 nach Fusion

#### 4.15. Winkelverlauf Lumballordose präoperativ zu postoperativ

Der Verlauf der Gesamtlumballordose von präoperativ zu postoperativ zeigt, dass bereits vor der ersten Operation die Gesamtlordose der Kontrollgruppe größer war als die der NSD-Gruppe. Die Lumballordose konnte in beiden Gruppen durch die Operation verstärkt werden. In der NSD-Gruppe zeigte sich eine Entwicklung von 30,68° präoperativ über 40° unmittelbar postoperativ bis zu 40,46° zur letzten Untersuchung.

In der Kontrollgruppe entwickelte sich der Winkel von 53,70° präoperativ über 60,13° unmittelbar postoperativ bis zu 55,43° bei der letzten Untersuchung.

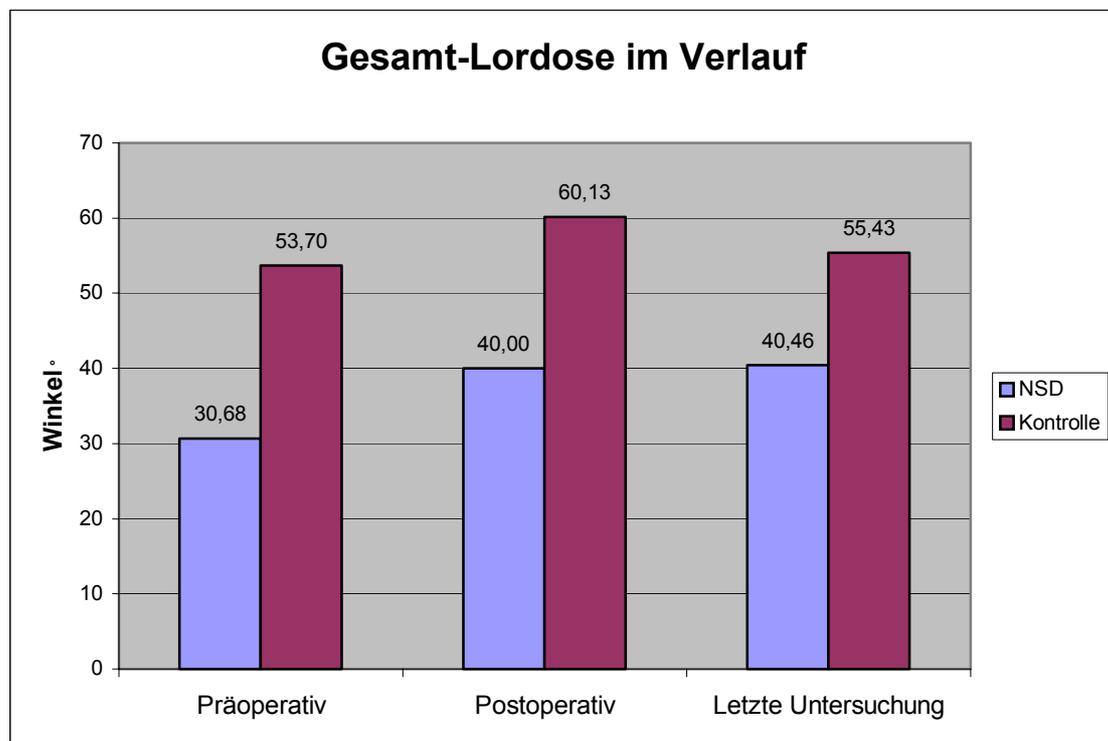


Abb.15: Gesamtlordose im Verlauf

#### 4.16. Winkelverlauf Fusionswinkel präoperativ zu postoperativ

Die Untersuchung der Winkeländerungen in den fusionierten Etagen bestätigt o.g. Tendenz.

In der Gruppe der monosegmentalen Fusionen liegt die Entwicklung des Fusionswinkels von präoperativ zu postoperativ bei der NSD-Gruppe bei 7,77° nach 14,69°, in der Kontrollgruppe liegt die Veränderung bei 19,55° nach 30°.

Bei den bisegmentalen Fusionen ist die Entwicklung des Fusionswinkels von präoperativ zu postoperativ bei der NSD-Gruppe bei 16,33° nach 21,43°, in der Kontrollgruppe liegt die Veränderung bei 38,7° nach 38,1°.

In der letzten Abteilung, den trisegmentalen Fusionen, veränderte sich der Fusionswinkel von präoperativ zu postoperativ bei der NSD-Gruppe bei 5,5° nach 21°, in der Kontrollgruppe liegt die Veränderung bei 36° nach 33°.

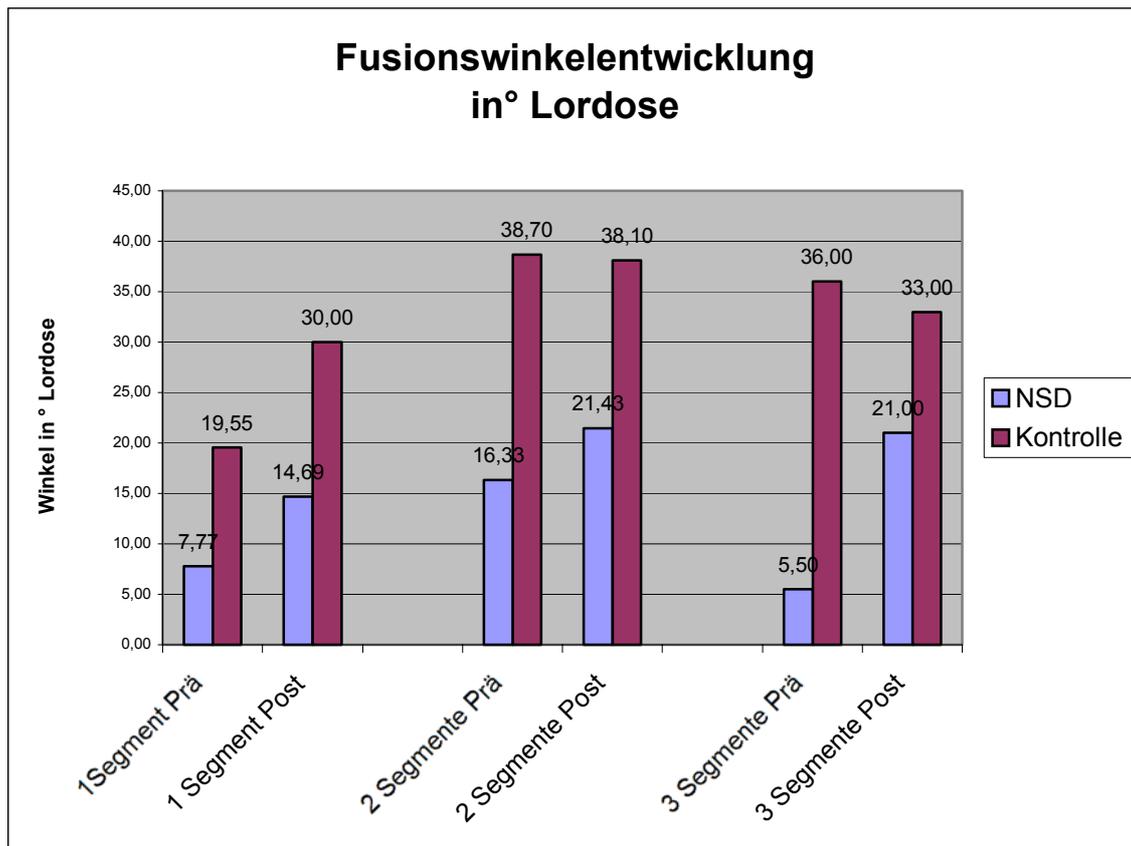


Abb.16: Fusionswinkelentwicklung

#### 4.17. Nachbarsegmentwinkel cranial postoperativ

Der Winkel des Nachbarsegmentes betrug postoperativ im Gesamtkollektiv durchschnittlich 7,16° mit einem maximalen Winkel von 17° und einem minimalen Winkel von 1°. Bei den NSD -Patienten lag der Durchschnitt bei 5,13°, maximal 13° und minimal 1°. In der Kontrollgruppe betrug der Durchschnitt 9,04°, maximal 17° und minimal 1°.

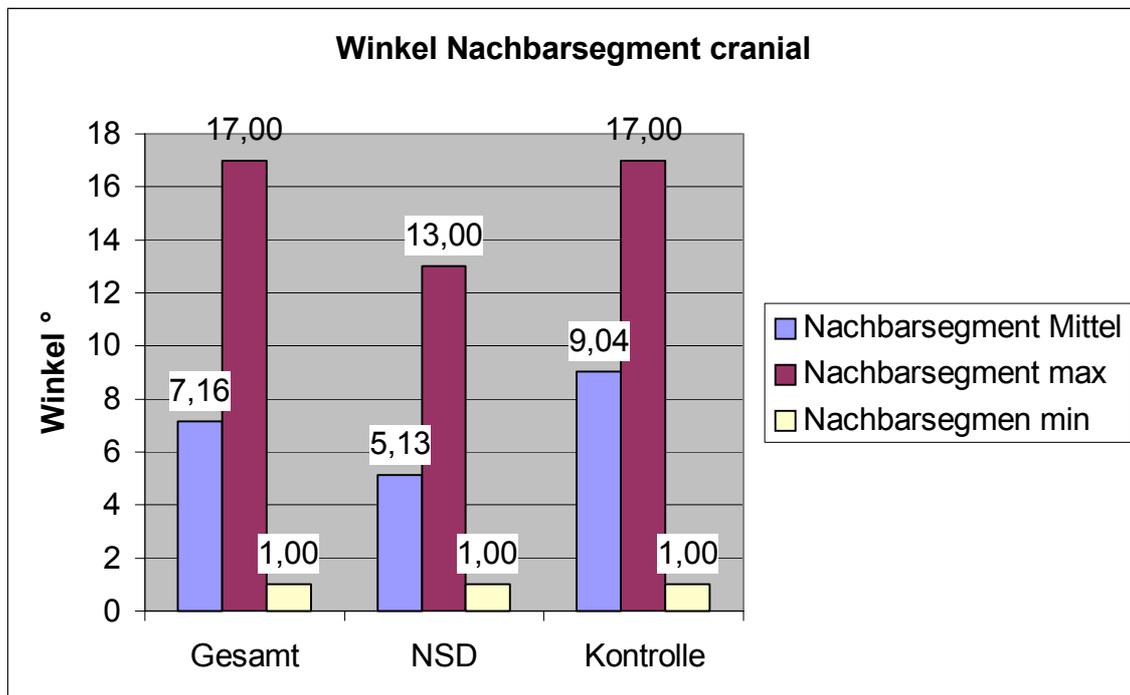


Abb.17: Winkel Nachbarsegment cranial nach Fusion

#### 4.18. Zeitraum bis zu Dekompensation

Im Rahmen der Nachuntersuchung kam es bei 11 Patienten innerhalb von 2 Jahren zur Dekompensation, innerhalb von 4 Jahren waren insgesamt bereits 19 Patienten betroffen. Nach weiteren 23 Monaten trat bei insgesamt 24 Patienten eine NSD auf. Die letzte beobachtete Dekompensation ereignete sich 88 Monate nach der Fusionsoperation.

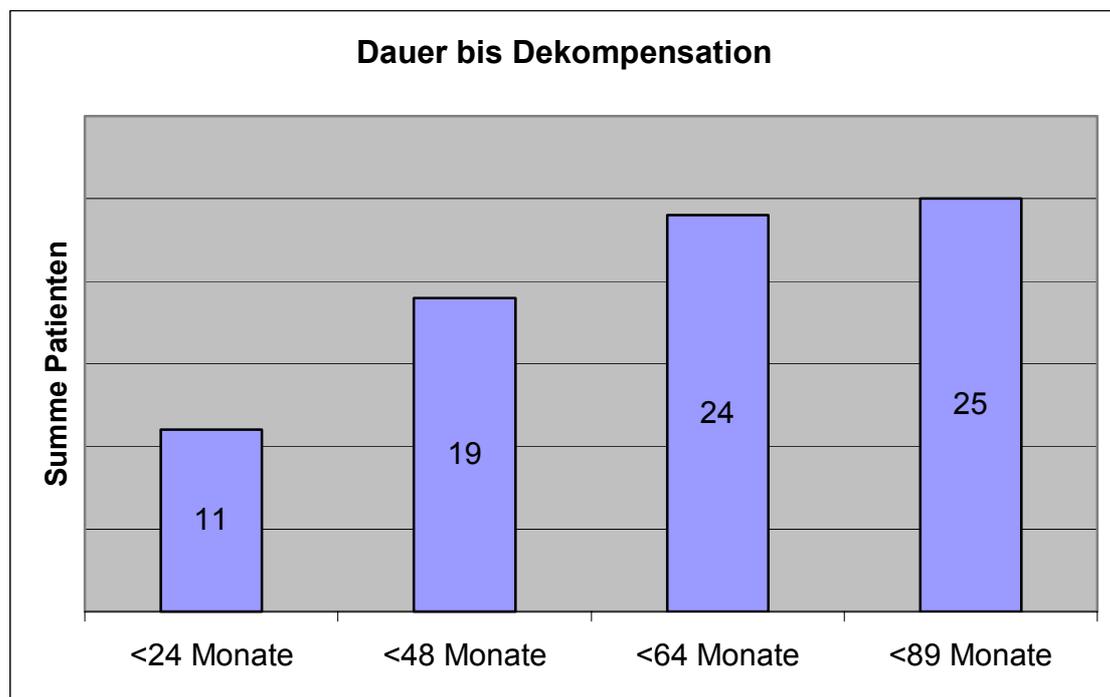


Abb.18: Dekompensation nach der Fusion (Monate)

#### 4.19. Schmerzcharakter bei der letzten Untersuchung

Zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung und der damit verbundenen Differenzierung zur Kontrollgruppe und zur NSD-Gruppe wurden die Patienten im Rahmen der Anamnese auch zu ihrem Beschwerdebild befragt. Hierbei gaben in der Kontrollgruppe 6 Patienten leichte lokale Beschwerden an. Lokal starke Schmerzen wurden von 17 Patienten geschildert, wovon 15 Patienten der NSD-Gruppe zugehörten und 2 der Kontrollgruppe. Lumboischialgien wurden bei 8 Patienten, 7 mal in der NSD-Gruppe und 1 mal in der Kontrollgruppe, festgestellt.

Eine Claudikatio spinalis bestand bei 7 NSD-Patienten; sie kam in der Kontrollgruppe nicht vor. 5 NSD-Patienten litten unter Instabilitätsschmerzen und 3 unter lokalem Abbrechgefühl, das in der Kontrollgruppe nicht vorhanden war. ISG-Schmerzen bestanden bei insgesamt 3 Patienten, davon 2 NSD-Patienten und 1 Patient aus der Kontrollgruppe.

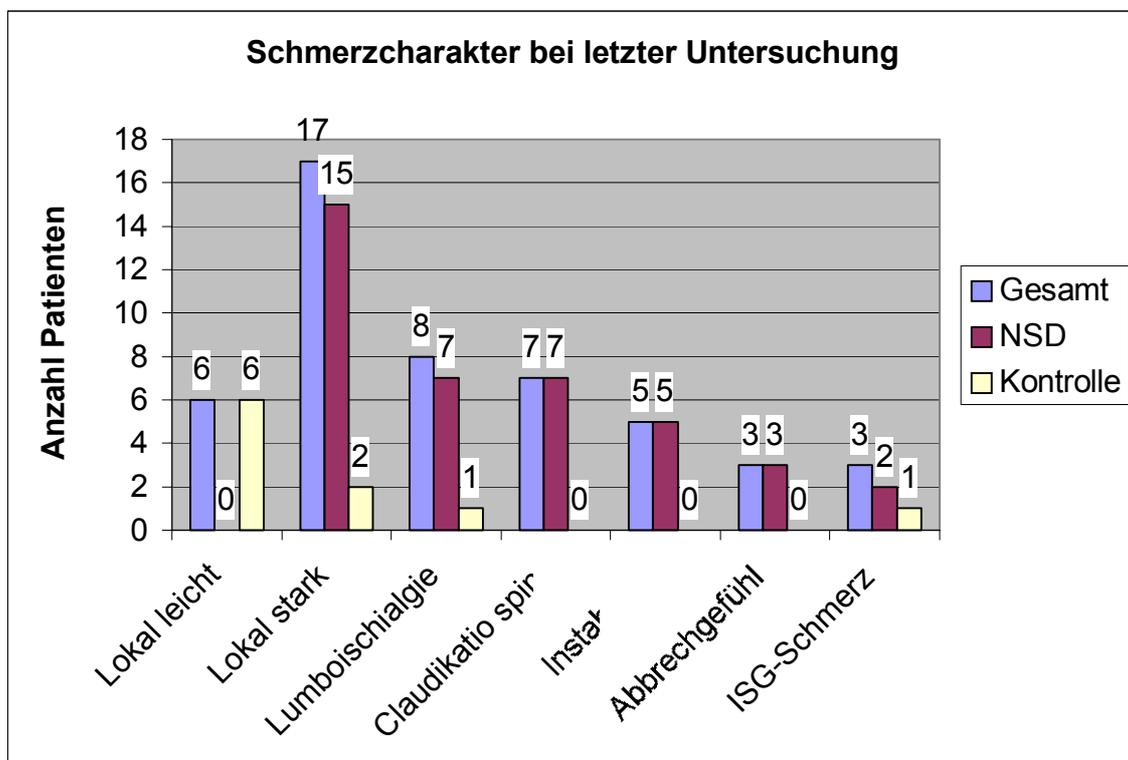


Abb.19: Schmerzcharakter bei letzter Untersuchung

## 4.20. Änderung der Absolutwinkel Th12-S1

Im Rahmen der Abschlussuntersuchung wurden auch die absoluten Winkeländerungen der Lumballordose zwischen Th12-S1 ausgemessen. Massgebend war der Zeitraum unmittelbar postoperativ bis zur letzten Kontrolle. Hierbei zeigte sich eine Änderung in der Gesamtgruppe von durchschnittlich  $1,29^\circ$  mit einer maximalen Änderung von  $22^\circ$  und einer minimalen Änderung von  $-25^\circ$ .

Auf die Gruppen aufgeteilt ergab sich eine durchschnittliche Änderung in der NSD-Gruppe von  $0,76^\circ$  und in der Kontrollgruppe von  $-4^\circ$ . Die maximalen Änderungen erreichten in der NSD-Gruppe  $22^\circ$  und in der Kontrollgruppe  $13^\circ$ , die minimalen Änderungen in der NSD-Gruppe  $-21^\circ$  und der Kontrollgruppe  $-25^\circ$ .

Zusammenfassend verringerte sich die Gesamtlordose in der der Kontrollgruppe stärker als in der NSD-Gruppe. In der NSD-Gruppe nahm die Gesamtlordose sogar tendentiell zu.

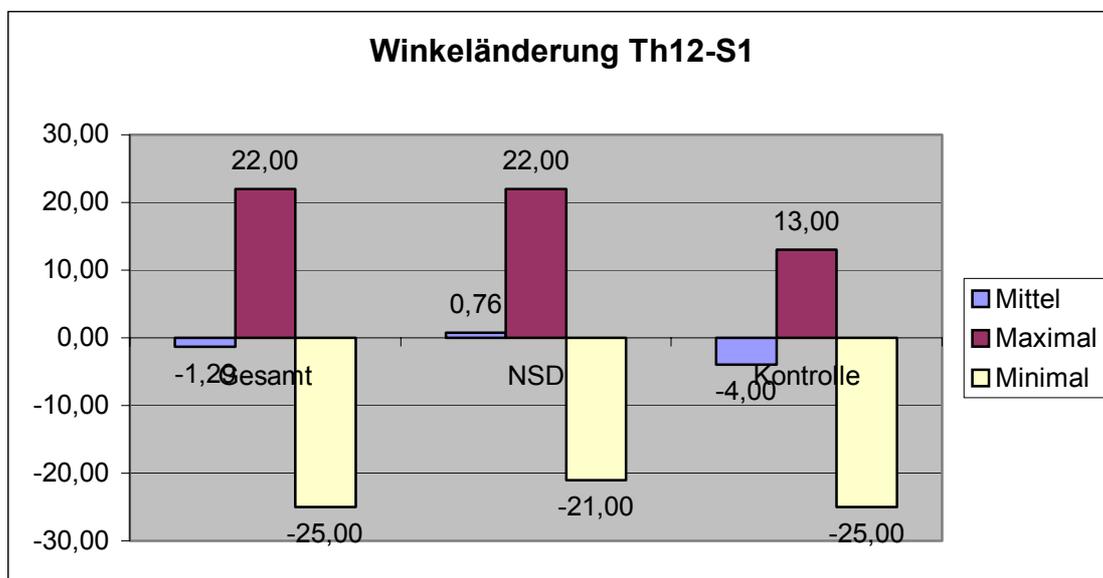


Abb.20: Veränderung der Absolutwinkel Th12-S1 bei letzter Kontrolle

## 4.21. Änderung der Absolutwinkel des cranialen Nachbarsegmentes

Die absoluten Winkelveränderungen der Nachbarsegmente von postoperativ bis zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung wurden ebenfalls bestimmt. Hierbei zeigte sich eine Änderung in der Gesamtgruppe von durchschnittlich  $0,21^\circ$  mit einer max. Änderung von  $12^\circ$  und einer min. Änderung von  $-6^\circ$ . Auf die Gruppen aufgeteilt ergab sich im Durchschnitt keine Änderung in der NSD-Gruppe, in der Kontrollgruppe von  $-0,04^\circ$ ; maximale Änderung NSD  $5^\circ$  und Kontrolle  $6^\circ$ , minimale Änderung NSD  $-6^\circ$  und Kontrolle  $-5^\circ$ . Zusammenfassend verringerte sich der Winkel des cranialen Nachbarsegmentes in der der Kontrollgruppe stärker als in der NSD-Gruppe. In der NSD-Gruppe war durchschnittlich keine Veränderung zu verzeichnen.

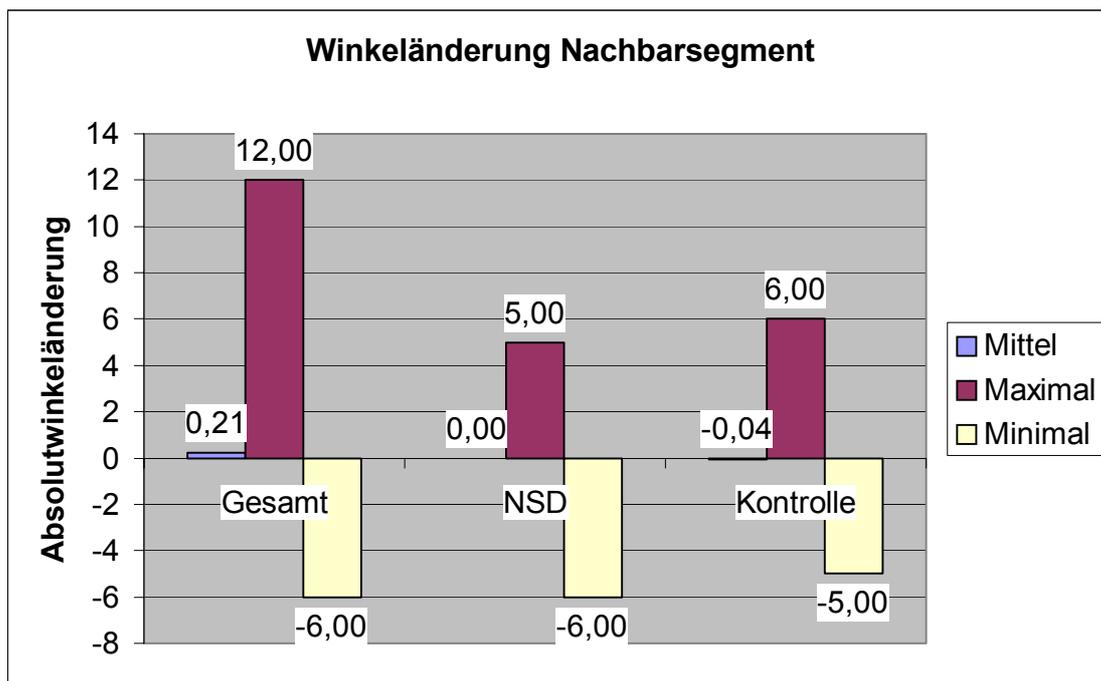


Abb.21: Winkelveränderung Nachbarsegment bei letzter Kontrolle

## 4.22. Besonderheiten im postoperativen Verlauf

Zu den über den gesamten Beobachtungszeitraum registrierten Besonderheiten gehörten 2 Stabbrüche ( 1 NSD, 1 Kontrolle), 1 Pseudoarthrose (Kontrolle), 3 größere Translationen (alle NSD), 2 Reinstrumentationen (Kontrollgruppe) 1 Revision wegen Nachblutung( Kontrolle) und 1 ventraler Überhang ( NSD).

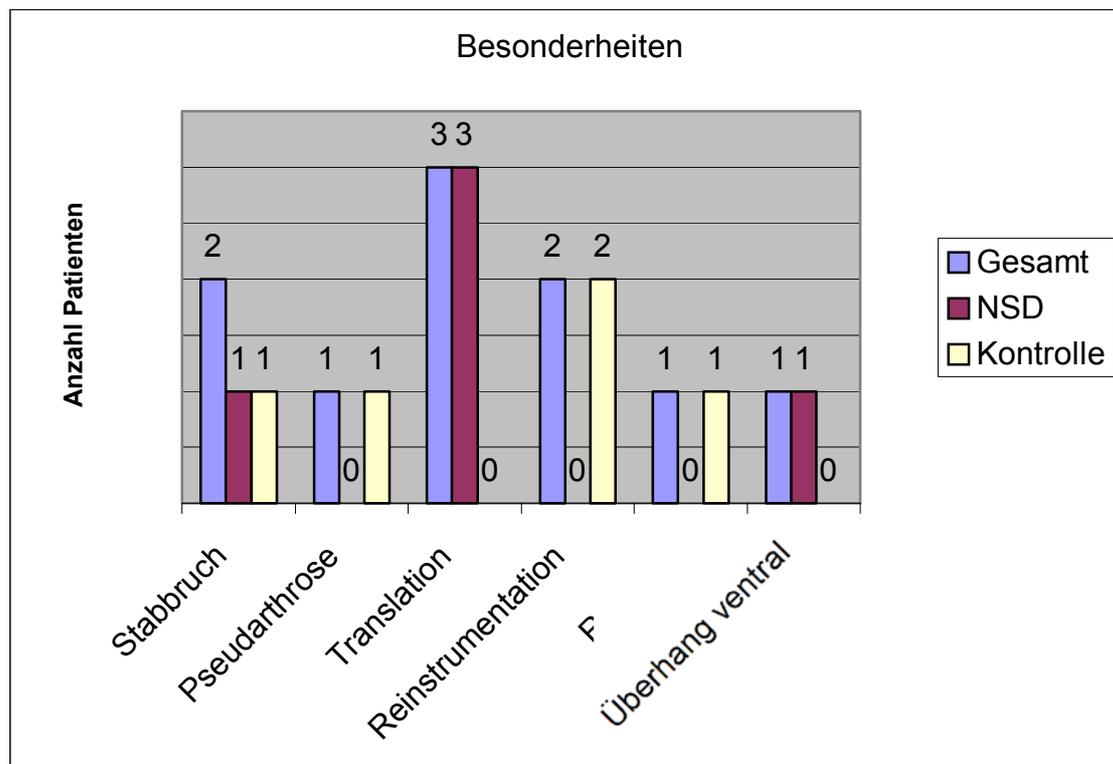
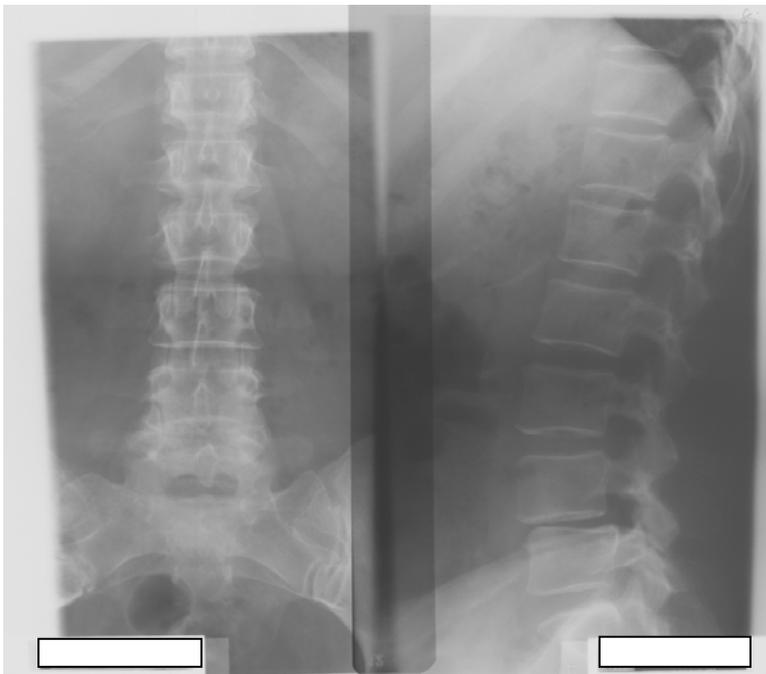


Abb.22: Besonderheiten

## **5. Fallbeispiel**

Exemplarisch sei ein Fallbeispiel einer Patientin demonstriert, die nach erfolgreicher Spondylodese früh einen Beschwerdekomplex im Sinne einer Nachbarsegmentdekompensation entwickelte und einer erneuten Operation bedurfte.

B.A., Patientin, 1944 geboren, Diagnose: Degenerative Instabilität L4/L5 (Intraoperativ gesichert), Beschwerden: Lumboischialgie mit nicht radikulärer Ausstrahlung, keine manifesten neurologischen Defizite, Gehstreckenlimitierung, Instabilitätsschmerzen, keine Störung der Blasen-Mastdarmfunktion.



Präoperatives Röntgen  
LWS  
3/97



Präoperative  
Funktions-myelographie  
LWS  
3/97



Postoperatives Röntgen  
LWS  
4/97

Korrekte Einlage der Implantate

Postoperativ beschwerdefrei,  
keine neurologischen Defizite.



2 Jahre post-operativ  
Röntgen LWS  
3/99

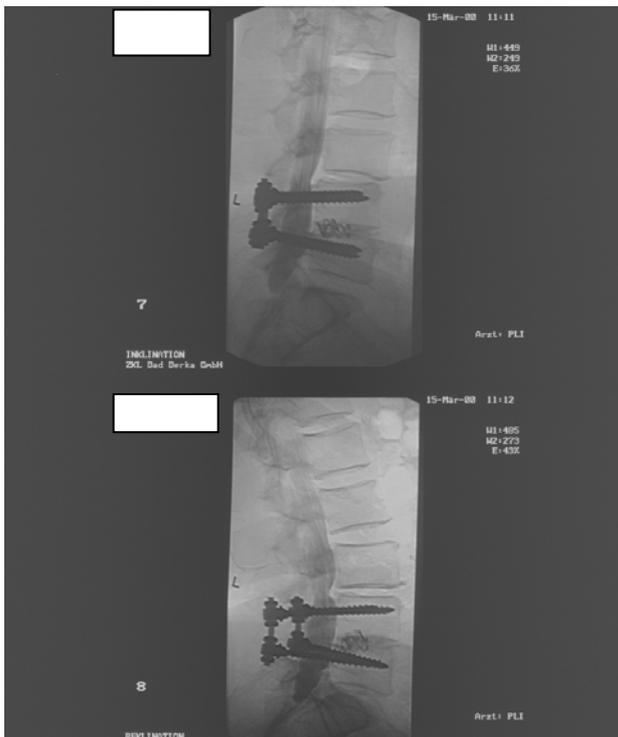
Knöchern konsolidierte  
Spondylodese, Zunahme  
der subchondralen  
Sklerose, Abnahme der  
Bandscheibenhöhe L3/L4

Leichte lokale  
Beschwerden, keine  
Ausstrahlung in die Beine,  
keine  
Gehstreckenlimitierung



3 Jahre post-operativ  
Röntgen LWS  
3/00  
Knöchern konsolidierte  
Spondylodese

Starke lokale Beschwerden  
lumbal, Lumboischialgie  
rechts  
Instabilitätsschmerzen, keine  
neurologischen Defizite



3 Jahre post-operative  
Funktionsmyelographie  
3/00

Stufenbildung bei Inklination,  
Degeneratives „Bulging“ bei  
Reklination.



Postoperatives  
Röntgen LWS  
Nach 2. OP  
4/00

Postoperativ  
beschwerdefrei.

## **6. Diskussion**

### **6.1. Alter**

Das Durchschnittsalter der in die Untersuchungen einbezogenen Patienten betrug im Gesamtkollektiv 46,7 Jahre (Min. 14 J., Max. 78 J.).

Das durchschnittliche Alter in der Gruppe der Patienten mit NSD betrug 55,2 Jahre (Min. 33 J., Max. 78 J.), das Durchschnittsalter der Kontrollgruppe lag mit 38,8 Jahren (Min. 14 J., Max. 61 J.) deutlich darunter. Damit entspricht das beobachtete Kollektiv in etwa der auch in der Literatur zu findenden Altersverteilung.

In vorliegenden Studien liegt das durchschnittliche Alter der Patienten, bei denen es zu einer NSD gekommen ist zwischen 38,6 und 67 Jahren (Casey K 1987, Etebar S 1999, Kumar M 2001; Rahm MD 1996; Booth KC 1999).

Verständlicherweise ist das Alter einer der Haupt-Risikofaktoren für die Entstehung einer NSD (Kumar M 2001 2; Rahm MD 1996). Degenerative Veränderungen der Facettengelenke und der Bandscheibe kommen ubiquitär vor und sind besonders häufig in der älteren Generation vertreten (Boden SD 1990).

Yang und King demonstrierten 1984, dass degenerativ veränderte Facetten eine Last von 47% im Verhältnis zu 3 bis 35% bei nicht erkrankten Gelenken tragen (Yang KH 1984). Solche Gelenke sind zu einer Dekompensation prädisponiert, wenn zusätzlicher Stress auf sie einwirkt, wie es nach einer Fusion der Fall ist.

Darüberhinaus verliert die Bandscheibe im Alter zunehmend an Wasserdruck, was zu einem erniedrigten Bandscheibenraum und im Falle der Lendenwirbelsäule zu einer Abnahme der Lumballordose führt (Przybilski GJ 2000).

## 6.2. Geschlecht

Die Geschlechtsverteilung im Gesamtkollektiv lag bei 25 männlichen : 26 weiblichen Personen. In der NSD-Gruppe waren 11 männlichen :14 weiblichen Geschlechts, in der Kontrollgruppe 14 männlich und 12 weiblich. Es zeigt sich also ein leichtes Überwiegen des weiblichen Geschlechts in der Gruppe der NSD.

Dies entspricht weitgehend den Erfahrungen anderer Autoren, welche den Faktor weiblich und insbesondere postmenopausal als prädisponierend für die Entstehung einer Nachbarsegmentdekomensation ansehen (Shahin E 1999).

In vielen Studien zeigt sich ein Verhältnis männlich zu weiblich von 1:2 bei Patienten mit NSD( Casey K 1987; Kumar M 2001 a; Schlegel J 1996).

Eine statistische Signifikanz wurde diesbezüglich in unseren Untersuchungen nicht zuletzt wegen der hierfür zu geringen Fallzahl nicht überprüft.

### 6.3. Diagnose bei Erstoperation

Die untersuchten Fälle boten als Ausgangsdiagnosen 31 Spondylolisthesen, 16 Osteochondrosen, 9 degenerative Instabilitäten und 9 isolierte Spinalkanalstenosen.

Innerhalb des Gesamtkollektivs findet man in der Gruppe der NSD 6 Spondylolisthesen, 9 Osteochondrosen, 6 degenerative Instabilitäten und 8 Spinalkanalstenosen. In der Kontrollgruppe war die Diagnose bei Fusion 25 mal Spondylolisthese, 7 mal Osteochondrose, 3 mal degenerative Instabilität und 1 mal Spinalkanalstenose.

Es überwiegen also in der Gruppe der NSD die primären degenerativen Erkrankungen, während in der Kontrollgruppe die Spondylolisthesen überwiegen. Guigui konnte mit seinen Untersuchungen belegen, dass die Diagnose bei Erstfusion Einfluss auf die spätere Entstehung einer Degeneration des Nachbarsegmentbandscheibe hat ( Guigui P 1997). So war die Häufigkeit der Auftretens einer Degeneration der Nachbarsegmentbandscheibe nach Fusion eines degenerativ veränderten Segmentes im Vergleich zu den Ergebnissen nach Fusion einer Spondylolisthese signifikant größer. Diese Auffassung wird auch von den meisten anderen Autoren gestützt (Buttermann GR 1998; Kumar M 2001 2). So schreibt Etebar 1999, dass die Diagnose einer degenerativen Instabilität bei Indikation zur Fusionsoperation mit einer häufigeren Inzidenz von NSD vergesellschaftet zu sein scheint als zum Beispiel bei einer Spondylolisthese aufgrund einer Lyse( Etebar S 1999).

## 6.4. Segmentzahl der Fusion

in unseren Untersuchungen sollte auch überprüft werden, ob die Länge der Instrumentation Einfluß auf die Entstehung einer NSD hat.

Es ergaben sich bei monosegmentalen Fusionen 14 Dekompensationen gegenüber 11 in der Kontrollgruppe, bei bisegmentalen Fusionen lag das Verhältnis bei 9 NSD zu 12 Kontrollen, in der dreisegmentalen Fusion betrug das Verhältnis 2 NSD zu 4 Kontrollen.

Unser Ergebnis entspricht in diesem Punkt nicht der überwiegenden Meinung, bei der eine Korrelation zwischen der Entstehung einer NSD zur Länge der instrumentierten Fusion beschrieben wird und eine Häufigkeit von 78% der Dekompensationen bei Fusionsstrecken mit mindestens zwei Segmenten oder mehr im Gegensatz zur Häufigkeit der NSD bei monosegmentalen Spondylodesen auftritt (Etebar S 1999; Kettler A 2000).

Hiervon ist auch die coronare Translation betroffen, welche mit der Anzahl der fusionierten Segmente zu korrelieren scheint ( Wimmer C 1997).

In diesem Punkt besteht Uneinigkeit unter den Autoren, so dass in einigen Literaturstellen sogar von einer erhöhten Belastung der Nachbarsegmente eher bei kurzstreckigen Spondylodesen berichtet wird (Brodsky AE 1976, Frymoyer JW 1978, Kahanowitz N 1984, Whitecloud TS 1990).

## 6.5. Richtung der Dekompensation

In dem untersuchten Patientengut kam es bei Patienten mit NSD in 18 Fällen zur Dekompensation der kranialen Etage, während nur in 7 Fällen die kaudale Etage dekompensierte. Unser Ergebnis spiegelt sich auch in den Ansichten der übrigen Autoren wider.

Am häufigsten betreffen Dekompensationen nach einer lumbalen Fusion die kraniale Etage ( Axelsson P 1994, Lehman TR 1987, Wimmer C 1997, Brunet JA 1984, Casey K 1987, Kumar M 2001; Kumar M 2001; Frymoyer 1978; Hambly MF 1998; Lee CK 1988; Lehmann 1987; Penta M 1995). Nur in Ausnahmefällen von bis zu 5,7% der NSD betrifft die Dekompensation die kaudale Nachbaretage (Kumar M 2001).

Hierbei zeigen die Untersuchungen von Hambly, dass die unmittelbar benachbarte wie auch die eine Etage weiter entfernte Etage in gleichem Maße betroffen sind (Hambly MF 1998). Eine Ursache hierfür kann sein, dass der Verlust der Beweglichkeit in einem fusionierten Segment durch die Nachbarsegmente kompensiert werden muß.

Hierzu ist die kraniale Etage aufgrund der anatomisch vorgegebenen höheren Beweglichkeit eher in der Lage (Casey K 1984). Die normale pars interarticularis wird von LWK 1 zu LWK5, als Reaktion auf die stärkeren Biegemomente in der Sagittalebene und Drehmomente um die transversalen Achsen der mobilen unteren Wirbelsäule, breiter. Nach einer Fusion konzentrieren sich diese Kräfte an den strukturell schwächeren und weniger widerstandsfähigen Anteilen der Lendenwirbelsäule kranial der Fusionsstrecke ( Brunet JA 1984).

## 6.6. Zeitpunkt der Dekompensation nach Erstoperation

Die Dauer bis zum Auftreten einer Nachbarsegmentdekompensation nach der Erst-Fusion wird in der Literatur unterschiedlich angegeben. Die Spanne reicht zwischen 3 Monaten bis zu 13 Jahren ( Etebar S 1999; Axelsson P 1994; Schlegel JD 1996, Brunet JA 1984, Casey K 1987; Kumar M 2001).

In unseren Untersuchungen finden sich aufgrund des begrenzten Follow-up hauptsächlich die frühen Dekompensationen.

So dekompensierten innerhalb der ersten 24 Monate bei 11 Patienten die Nachbarsegmente, nach 48 Monaten waren bereits 19 Patienten operationsbedürftig, nach 64 Monaten sind bereits 24 Nachbarsegmente dekompensiert. Das späteste Auftreten von Dekompensationen wurde in unserem Kollektiv 89 Monate post operationem festgestellt. Die Gesamtnachuntersuchungsdauer lag im Gesamtkollektiv bei max. 152 Monaten.

## 6.7. Nachbarsegmentwinkel

Bei den durchgeführten Untersuchungen lag ein Augenmerk auf der Entwicklung der Nachbarsegmentwinkel im Verlauf. Es zeichnete sich kein eindeutiger Unterschied zwischen dem Winkelverlauf der NSD-Gruppe und der Kontrollgruppe ab.

So zeigte sich eine Änderung des Nachbarsegmentwinkels in der Gesamtgruppe von durchschnittlich  $0,21^\circ$  mit einer maximalen Änderung von  $12^\circ$  und einer minimalen Änderung von  $-6^\circ$ . Auf die Gruppen aufgeteilt, ergab sich im Durchschnitt keine wesentliche Änderung in der NSD-Gruppe, in der Kontrollgruppe von  $-0,04^\circ$ , maximale Änderung NSD  $5^\circ$  und Kontrollgruppe  $6^\circ$ , minimale Änderung NSD  $-6^\circ$  und Kontrollgruppe  $-5^\circ$ .

Da in unseren Berechnungen die Absolutwinkel eingingen bedeutet ein positiver Wert eine Lordosezunahme und ein negativer Wert eine Lordoseabnahme.

Dieser Faktor wurde in der Literatur bisher nicht beachtet und zeigt in unseren Untersuchungen keinen eindeutigen Trend.

## **6.8. Translation des Nachbarsegmentes**

Einer der radiologischen Marker zur Diagnostik der Nachbarsegmentdekompensation ist die Translation, die mit dem klinischen Beschwerdebild korreliert. In einer Studie von Wimmer et al zeigt sich eine Korrelation der Translation im kranialen Nachbarsegment mit der Anzahl der fusionierten Etagen und der Follow-up-Zeit wobei das radiologische Zeichen nicht mit der klinischen Symptomatik korreliert ( Wimmer C 1997). Darüber hinaus erscheinen derartige Veränderungen nicht allein bei fusionierten Patienten sondern auch in vergleichbarem Maße im Rahmen des normalen Alterungsprozesses der Allgemeinbevölkerung.( Macnab I 1971, Van Horn Jr 1992).

## **6.9. Bandscheibenhöhe**

In vorliegender Untersuchung wurde im Rahmen der Erstoperation in 17 Fällen die Etage L4-S1 fusioniert ( 3 NSD, 14 Kontrolle), 11 mal erfolgte die Spondylodese in L5/S1 ( 3 NSD, 8 Kontrolle ) gefolgt von 8 Fusionen in L4/L5 (7 NSD, 1 Kontrolle). Die übrigen Fusionsstrecken verteilten sich auf die übrigen Segmente der LWS mit 3 Fusionen in L3/4 (alle NSD), 2 Fällen in L2/3 (2 NSD), 3 Fusionen in L3-S1 ( 1 NSD, 2 Kontrolle), 1 Spondylodese in L2-5 und L2-4 (jeweils in der Gruppe der NSD), 4 Fusionen L3-5 ( 4 NSD) und 1 Patient in L4-S2( Kontrolle).

Die am häufigsten betroffene Etage, die von einer degenerativen Spondylolisthese betroffen ist, ist das Segment L4/5 ; häufig besteht gleichzeitig eine Degeneration von L5/S1 ( Hanley EN Jr 1995). Von einigen Autoren wird daher angenommen, dass eine erniedrigte Bandscheibe L5/S1 bei Vorliegen einer Spondylolisthese L4/5 ebenfalls in die Fusion miteinbezogen werden muß.

Dem widerspricht eine Untersuchung von Miyakoshi et al von 1999, bei der 45 Patienten über fünf Jahre nachuntersucht wurden, bei denen eine Spondylodese L4/5 durchgeführt wurde. Bei allen Patienten wurde präoperativ und postoperativ die Bandscheibenhöhe von L2/3, L3/4 und L5/S1 ausgemessen. Die Gruppen wurden in eine mit und eine ohne verminderte Bandscheibenhöhe L5/S1 unterteilt. Im Rahmen der postoperativen Untersuchungen zeigte sich, dass sämtliche benachbarten Bandscheiben, sowohl kranial als auch caudal in der Höhe abnahmen und die postoperativen klinischen Resultate nicht mit einer erniedrigten präoperativen Bandscheibe L5/S1 korrelierten.

Als Resultat wird berichtet, dass die Bandscheibenhöhe insbesondere von L5/S1 keinen Einfluß auf das postoperative Ergebnis nach PLIF L4/5 hat und somit nicht prinzipiell mitfusioniert werden muß (Miyakoshi N 2000).

## 6.10 Profil

Häufige Befunde, die zur Fusion führen, sind Facettengelenkshypertrophie und Spondylolisthesis, die gut operativ therapierbar sind. Das sagittale Profil der Wirbelsäule ist häufig schwierig intraoperativ zu kontrollieren und zu korrigieren.

Betrachtet man die Fusionswinkel der Spondylodese, so liegen die durchschnittlichen Absolutwinkel in der Gruppe der NSD stets unter den Fusionswinkeln der Kontrollgruppe. Bei monosegmentalen Spondylodesen zeigte sich in der Gruppe der NSD ein Winkel von  $14,69^\circ$  gegenüber von  $28,64^\circ$  in der Kontrollgruppe. Bei der bisegmentalen Fusion lag das Verhältnis bei  $22,88^\circ$  bei den NSD und  $39,08^\circ$  in der Kontrollgruppe. Die dreisegmentalen Fusionen ergaben  $21^\circ$  bei den NSD-Patienten gegenüber  $33^\circ$  in der Kontrollgruppe.

Es scheint somit einen Zusammenhang zwischen einem abgeschwächten Lordoseprofil und der Entwicklung einer NSD zu geben.

Die Entwicklung der gesamten Lumballordose im Verhältnis zur Entstehung einer NSD erhärtet diesen Hinweis.

Bereits präoperativ lag das Verhältnis bei  $30,68^\circ$  Lordose in der NSD-Gruppe zu  $53,7^\circ$  in der Kontrollgruppe. Postoperativ lag der durchschnittliche Lordosewinkel in der NSD-Gruppe bei  $40^\circ$  und in der Kontrollgruppe bei  $60,13^\circ$ . Im Laufe der Nachuntersuchungsdauer war die Gesamtlordose der Kontrollgruppe leicht auf  $55,43^\circ$  rückläufig, in der Gruppe mit NSD veränderte sich der Gesamtwinkel Th12-S1 auf  $40,46^\circ$ .

Untersuchungen von Przybilski 2000, untermauern die These, dass die Winkelverhältnisse von der Diagnose abhängig sind. So war der Lordosewinkel bei Bandscheibendegenerationen und Skoliosen erniedrigt, während er bei Spondylolisthesen erhöht war (Przybilski GJ 2000).

Angaben in der Literatur zufolge befindet sich die stärkste Ausprägung der lumbalen Lordose in den untersten zwei Etagen, wobei die durchschnittliche Gesamtlordose bei ca.  $62^{\circ} \pm 11^{\circ}$  liegt (Jackson RP 1994, Gelb DE 1995). Aber gerade die durch das nicht wiederhergestellte Profil verursachte Imbalance scheint prädiktiv für die Entstehung einer NSD zu sein (Schlegel JD 1996; Kumar M 2001 2).

Schlegel zeigte in seinen Untersuchungen eine durchschnittliche Lordose bei NSD-Patienten und einer Fusion L4-S1 von  $21,7^{\circ}$  und eine Lordose bei L5-S1 Fusionen von durchschnittlich  $14,5^{\circ}$ . Hierbei war eine Lordose von unter  $13^{\circ}$  in L5/S1 mit einem verkürzten symptomfreien Intervall von 3,8 Jahren assoziiert. Die durchschnittliche Lordose bei L3-S1 Fusionen lag bei  $20,2^{\circ}$ .

Darüber hinaus gilt die sagitale Lotrechtigkeit als wichtiger Parameter zur Erzielung eines guten Operationsergebnisses. Hierbei soll das Lot von C7 auf die obere hintere Ecke des Sakrums bzw. maximal 2,5 cm ventral hiervon liegen (Kumar M 2001). In Kumars Untersuchung waren nur 8% der Patienten mit normaler Konfiguration der Lendenwirbelsäule von einer Degeneration der Bandscheibe betroffen, während in den Gruppen mit nicht korrekt rekonstruierter Lumballordose die Häufigkeit der Nachbarsegment-degeneration bei 47,8 bis 53% lag.

Ein Kompensationsmechanismus zur Stabilisierung einer Hypolordose im Lumbalbereich ist die Reduktion der Sakralinklination, die bis zu einem gewissen Grad in der Lage ist, die sagitale Lotrechtigkeit zu erzielen (Kumar M 2001). Bei Patienten mit reduzierter Hüftgelenksbeweglichkeit oder Kniegelenksbeschwerden im Alter ist diese hierfür notwendige Überstreckbarkeit der Hüftgelenke kaum vorhanden ( VanRoyen BJ 1998). Nur ausnahmsweise wird von Autoren berichtet, dass das postoperativ erreichte Profil keinen Einfluß auf das klinische Resultat hat ( Rompe JD 1995).

## 7. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend muß gesagt werden, dass die Zusammenhänge zwischen den biomechanischen Erkenntnissen, die häufig aus Tier- oder Kadaverstudien gewonnen wurden, häufig mit den klinischen Ergebnisse, schwer zu korrelieren sind.

Ein besseres Verständnis der biomechanischen Effekte der spinalen Instrumentation könnte dem Chirurgen helfen, die beste Spondylodesetechnik zu realisieren und Nachbarsegmentdekomensationen eher zu verhindern, sofern sie operationstechnisch verursacht sind.

In unsere Untersuchungen waren Patienten mit einem in der Literatur beschriebenen vergleichbarem Alter und ähnlichen Diagnosen einbezogen. Der Trend, dass ältere Patienten häufiger als junge von einer Nachbarsegmentdekomensation betroffen sind, wurde erwartungsgemäß auch in unseren Untersuchungen bestätigt und ist bei Kenntnis der pathophysiologischen Zusammenhänge auch nicht überraschend.

Dass das weibliche Geschlecht besonders betroffen wäre, konnte nicht bestätigt werden, was allerdings an der zu geringen Fallzahl liegen kann und nicht durch hinreichend fundierte statistische Berechnungen untermauert werden kann.

Die eingangs formulierte Fragestellung der Wertigkeit der Wiederherstellung des lumbalen Profils konnte eindeutig bestätigt werden. Es fanden sich sowohl bei der Betrachtung der postoperativen Gesamtlordose wie auch bei der selektiven Betrachtung der postoperativen Fusionswinkel deutlich niedrigere Lordosewinkel in der Gruppe der Nachbarsegmentdekomensationen Fälle im Sinne einer unzureichenden Wiederherstellung der lumbalen Lordose. Hierbei war die Anzahl der fusionierten Segmente nicht entscheidend.

Die weiteren Faktoren, wie die Bandscheibenhöhe und -struktur oder auch der hormonelle Status insbesondere bei Frauen waren nicht Gegenstand der Untersuchungen und sollten in weiteren Studien untersucht werden.

Die Konsequenz aus unseren Untersuchungen ist, dass bei korrekter Indikationsstellung zur Spondylodese im Bereich der lumbalen Lendenwirbelsäule die weitgehende Rekonstruktion des sagittalen Profils im Rahmen der Spondylodese anzustreben ist, um eine frühzeitige Dekompensation der Nachbarsegmente zu vermeiden.

Dies gilt besonders im Falle von älteren Patienten, bei denen von einer fortgeschrittenen Degeneration sämtlicher Segmente der Wirbelsäule auszugehen ist und die Kompensationsmechanismen mit z.B. Hüftüberstreckbarkeit unzureichend sind.

Es konnte ebenfalls der Trend untermauert werden, dass die Diagnose einer degenerativen Instabilität Einfluss auf das Entstehen einer NSD hat, was allerdings auch mit dem fortgeschrittenen Alter dieser Patientengruppe zusammenhängen kann.

Weniger entscheidend scheint die präoperative Beschaffenheit der Nachbaretagen cranial und caudal zu sein. So konnte gezeigt werden, dass insbesondere eine radiologisch als pathologisch einzustufende Nachbarbandscheibe caudal nicht in besonderem Maße zur Entstehung einer NSD beitrug.

Die Winkelentwicklung des angrenzenden Segmentes und der Gesamtlordose erscheinen nicht als Prädiktoren einer späteren NSD. Die Vermutung bei Beginn der Untersuchungen, dass die Winkeländerungen des Nachbarsegmentes und der Gesamtlordose postoperativ als Untersuchungskriterium zum Abschätzen einer späteren Operationsnotwendigkeit dienen könnten, hat sich in unseren Untersuchungen nicht bestätigt.

Solange keine Alternativen zur Spondylodese existieren, gilt es, die beeinflussbaren Faktoren wie das Profil und die sorgsame und insbesondere schonende Präparation zu optimieren. Die Indikation zur Spondylodese sollte besonders bei den Risikogruppen( alte Patienten, Degeneration, weiblich) besonders genau überprüft und die konservative Therapie ausgeschöpft sein.

Inwieweit die neuen Techniken, wie der Nukleus-Pulposus Ersatz oder die Bandscheibenprothese, langfristig eine Alternative darstellen, bei der die Nachbarsegmentdekompensation verhindert werden kann, bleibt abzuwarten und ist weiteren Langzeitstudien vorbehalten.

## 8. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob ein Zusammenhang zwischen der frühen Dekompensation einer Nachbaretage neben einem fusioniertem Bandscheibensegment im Lendenwirbelsäulenbereich und dem sagittalen Profil der Lendenwirbelsäule besteht. Die Bedeutung der Fragestellung liegt in der Tatsache, dass zum einen durch Berücksichtigung des sagittalen Profils die frühe Entstehung einer NSD vermieden werden könnte und zum anderen im volkswirtschaftlichen Bereich hohe Kosten durch lange Arbeitsunfähigkeiten und Behandlungskosten gesenkt werden könnten.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden in einer retrospektiven Untersuchung die Krankenakten und Röntgenbilder von 51 Patienten der Zentralkliniken Bad Berka (Wirbelsäulen Chirurgie) und Patienten der Orthopädischen Klinik des Universitätsklinikums Tübingen untersucht und die Daten anhand eines Erhebungsbogens ausgewertet.

Die so ermittelten Patienten wurden in zwei Gruppen aufgeteilt.

Alle Patienten haben eine lumbale Spondylodese erhalten.

Eine Gruppe waren Patienten mit einer Nachbarsegmentdekompensation (NSD), die alle mit dieser Diagnose operiert wurden oder zur Operation anstanden.

Die andere Gruppe war eine Kontrollgruppe die eine lumbale Spondylodese erhalten haben und in regelmäßigen Untersuchungen mit einem follow-up von mindestens 24 Monaten keine oder wenige Beschwerden angaben.

Die gewonnenen Daten der Patienten und die anhand der Röntgenbilder ermittelten Winkel wurden unter verschiedenen Gesichtspunkten einander gegenübergestellt und mit den Ergebnissen anderer Autoren verglichen.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass eine NSD gehäuft bei unzureichender Rekonstruktion des sagittalen Wirbelsäulenprofils auftrat.

Hierbei war es nicht entscheidend, dass primär die Nachbaretagen radiologisch als pathologisch einzustufen waren. In der überwiegenden Zahl der Dekompensationen war die craniale Bandscheibe betroffen, seltener dekompensierte die caudale Nachbaretage.

Dass die Winkelveränderungen der Nachbaretage im Nachuntersuchungsverlauf Hinweise auf eine frühe Dekompensation geben, konnte nicht bestätigt werden.

Weitere Faktoren, die sich negativ auswirken, sind die Diagnose einer degenerativen Instabilität und fortgeschrittenes Alter der Patienten.

Laut Literaturangaben sind Patientinnen doppelt so häufig von einer NSD betroffen wie männliche Patienten. Diese Feststellung konnte in unseren Untersuchungen nicht bestätigt werden.

Patienten die mit einer Spondylolisthesis operiert wurden hatten eine bessere Prognose bzgl. der Entstehung einer NSD.

Schlussfolgernd sollte bei einer Spondylodese im Lendenwirbelsäulenbereich auf die bestmögliche Rekonstruktion des sagittalen Profils geachtet werden. Dies gilt insbesondere für Patientinnen und für Patienten in höherem Alter mit einer degenerativ verursachten Erkrankung der Lendenwirbelsäule.

## Literaturverzeichnis

Agazzi S; Reverdin A; May D

Posterior lumbar fusion with cages: an independent review of 71 cases  
J. Neurosurg 1999 Oct;91(2 Suppl.):186-92

Albee FH

Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease  
JAMA 1911;57:885-6

Anderson CE

Spondyloschisis following spine fusion  
J Bone Joint Surg Am 1956;38:1142-6

Aota Y; Kumano K; Hirabayashi S

Postfusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders  
J Spinal Disord 1995;8:464-473

Axelsson P; Johnsson R; Stromqvist B; Arvidsson M; Herrlin K

Posterolateral lumbar fusion: Outcome of 71 consecutive operations after 4 (2-7) years  
Acta Orthop Scand 1994;65:309-14

Bernhardt M, Bridwell KH

Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbal junction  
Spine 1989;14:717-21

Boden S; Davis DD; Dina TS; et al

Abnormal magnetic resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation.  
J Bone Joint Surg Am 1990;72:403-8

Bohnen IM; Schaafsma J; Tonino AJ

Results and complications after posterior lumbar spondylodesis with the "Variable Screw Placement Spinal Fixation System".  
Acta-Orthop-Belg 1997 Jun;63(2):67-73

Booth KC; Bridwell KH; Eisenberg BA; Baldus CR; Lenke LG

Minimum 5-year results of degenerative spondylolisthesis treated with decompression and instrumented posterior fusion.  
Spine 1999 Aug 15;24(16):1721-7

Brodsky AE

Post-laminectomy and post-fusion stenosis of the lumbar spine  
Clin Orthop 1976;115:130

Brown CA; Eismont FJ  
Complications in spinal fusion  
Orthop-Clin-North-Am 1998 Oct;29(4):679-99

Brunet JA; Wiley JJ  
Acquired spondylosis after spinal fusion  
J Bone Joint Surg 1984;66B:720-4

Bushell GR, Ghosh P, Taylor TKF, Sutherland JM; Braund KG  
The effect of spinal fusion on the collagen and proteoglycans of the canine intervertebral disc  
J Surg Res 1978;25:61-9

Buttermann GR; Garvey TA; Hunt AF; Transfeldt EE; Bradford DS; Boachie-Adjei O; Ogilvie JW  
Lumbar fusion results related to diagnosis  
Spine 1998 Jan 1;23(1):116-27

Chen WJ; Lai PL; Niu CC; Chen LH; Fu TS; Wong CB 2001  
Surgical treatment of adjacent instability after lumbar spine fusion.  
Spine 2001 Nov 15;26(22):E519-24

Chow DH; Luk KD; Evans JH; Leong JC  
Effects of short anterior lumbar interbody fusion on biomechanics of neighboring unfused segments  
Spine 1996;21(5):549-555

Christensen FB; Thomsen K; Eiskjaer SP; Gelinick J; Bunger CE  
Functional outcome after posterolumbal spinal fusion using pedicle screws: comparison between primary and salvage procedures  
Eur Spine J 1998;7:321-327

Cole TC; Burkhardt D; Ghosh PI et al  
Effect of spinal fusion on proteoglycans of the canine intervertebral disc  
J Orthop Res 1985;3:277-291

Cole TC; Ghosh PI; Hannan NJ et al  
The response of canine intervertebral disc to immobilization produced by spinal arthrodesis is dependent on constitutional factors  
J Orthop Res 1987;5:337-347

DeQuervain F; Hoessly H  
Operative Immobilisation of the spine  
Surg Gynecol Obstet 1917;24:428-36

Dupuis PR; Yong-Hong K; Cassidy JD; Kirkaldy-Willis WH  
Radiological diagnosis of degenerative lumbar spine instability

Spine 1985;10:262-76

Eck,JC.; Humphreys SC; Hodges SD 1999  
Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion; a review of clinical,  
biomechanical, and radiologic studies.  
Am J Orthop 1999 Jun;28(6):336-40

Etebar S; Cahill DW Risk factors for adjacent –segment failure following lumbar  
fixation with rigid instrumentation for degenerative instability. J  
Neurosurg 1999 Apr;90(4Suppl):163-9

Faraj AA; Webb JK  
Early complications of spinal pedicle screw.  
Eur-Spine-J 1997;6(5):324-6

Fitzgerald JA ; Newman PH  
Degenerative spondylolisthesis  
J Bone Joint Surg(Br) 1976;58:184-92

Fraser RD  
Interbody, posterior, and combined lumbar fusions.  
Spine 1995 Dec 15;20(24Suppl):167S-177S

Fredrickson BE; Baker D; McHolick WJ; Yuan H; Lubicky JP  
The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis  
J Bone Joint Surg(am) 1984;66:699-707

Frymoyer JW  
Failed lumbar disc surgery requiring a second operation  
Spine 1978;3:7-11

Frymoyer JW; Hanley E; Howe J; Kuhlmann D; Matteri R  
Disc excision and spine fusion in the management of lumbar disc disease: a  
minimum ten year follow-up  
Spine 1978;3:1-6

Frymoyer JW; Hanley E; Howe J; Kuhlmann D; Matteri R  
A comparison of radiographic findings in fusion and non fusion patients ten or  
more years following lumbar disc surgery  
Spine 1978,4:435-440

Gelb DE; Lenke LK; Bridwell KH; Blanke K; McEnery KW  
An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older  
aged volunteers  
Spine 1995;20:1351-1358

Guigui P; Lambert P; Lassale B; Deburge A

Longterm outcome at adjacent levelsof lumbar arthrodesis  
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 1997;83:685-696

Ha KY; Schendel MJ; Lewis JL; et al  
Effect of immobilisation and configuration on lumbar adjacent segment  
biomechanics  
J Spinal Disord 1993;6:99-105

Hadjipavlou A; Enker P; Dupuis P; Katzmann S; Silver J  
The causes of failure of lumbar transpedicular spinal instrumentation and  
fusion: a prospective randomised study  
Int Orthop 1996;20: -42

Hadra B  
Wiring of the vertebrae as a means of immobilization in fracture and Pott`s  
disease  
Am Orthop Assn Trans 1891;4:206

Hambly MF; Wiltse LL; Raghavan N; Schneiderman G; Koenig C  
The transition zone above a lumbosacral fusion.  
Spine 1998 Aug 15;23(16):1785-92

Hanley EN Jr  
The indications for lumbar spinal fusion with and without instrumentation  
Spine 1995;20(24S):143S-153S

Hanley EN Jr  
Indications for fusion in the lumbar spine.  
Bull-Hosp-Jt-Dis 1996;55(3):154-7

Hanley EN Jr; David SM  
Lumbar arthrodesis for the treatment of back pain.  
J-Bone-Joint-Surg-Am 1999 May;81(5):716-30

Hanley EN Jr, Eskay ML  
Degenerative lumbar spinal stenosis  
adv Orthop Surg 1985;8:396-403

Hanley EN JR, Levy JA  
Surgical treatment of isthmic lumbosacral spondylolisthesis: Analysis of  
variables influencing results  
Spine 1989;14:48-50

Hanley EN Jr;Phillips ED; Kostuik JP  
Who should be fused?  
In: Frymoyer JW et al,eds. The adult spine:Prinziples and Practices. New York:  
Raven Press 1991:1893-917

Harris RI; Wiley JJ  
Acquired spondylosis as a sequel to spine fusion  
J Bone Joint Surg (Am) 1963;45:1159-1170

Harris IE; Weinstein SL  
Long term follow-up of patients with grade III and IV spondylolisthesis.  
Treatment with and without posterior fusion.  
J Bone Joint Surg (am) 1987;69:960-9

Hayes MA; Tompkins SF; Herndon WA et al  
Clinical and radiological evaluation of lumbosacral motion below fusion levels in  
idiopathic scoliosis  
Spine 1988;13:1161-1167

Hellinger J; et al  
In: Meßmethoden in der Skelettradiologie. Linien, Distanzen, Winkel und ihre  
klinische Bedeutung  
Thieme 78-88

Hensinger RN  
Current concepts review: Spondylolysis and spondylolisthesis in children and  
adolescents.  
J Bone Joint Surg (am) 1989 ;71 :1098-107

Herkowitz HN ; Kurz LT  
Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis: A prospective study  
comparing decompression with decompression and intertransverse process  
arthrodesis  
J Bone Joint Surg (am) 1991;73:802-8

Herno A; Airaksinen O; Saari T; Sihvonen T  
Surgical results of lumbar spinal stenosis. A comparison of patients with or  
without previous back surgery.  
Eur Spine J 1995;20:964-969

Herron LD; Trippi AC  
L4-5 degenerative spondylolisthesis: The results of treatment by  
decompressive laminectomy without fusion  
Spine 1989;14:534-8

Hibbs RA; Swift WE  
Developmental abnormalities at the lumbosacral juncture causing pain and  
disability  
Surg Gynecol Obstet 1929;48:604-12

Howarth F; Hoessly H  
Operative immobilisation of the spine  
Surg Gynecol Obstet 1917;24:428

Hsu KY, Zucherman J; White A; et al  
Deterioration of motion segments adjacent to lumbar spine fusions.  
Presented at the annual meeting of the north American spine society, Colorado  
springs, Colorado 1988

Hu RW; Jaglal S; Axcell T; Anderson G  
A population-based study of reoperations after back surgery.  
Spine 1997 Oct 1;22(19):2265-70; discussion 2271

Jackson RP; Simmons EH; Stripinis D  
Incidence and severity of back pain in adult idiopathic scoliosis  
Spine 1983;8:749-56

Jackson RP; McManus AC  
Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing  
volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A  
prospective controlled clinical study  
Spine 1994;19:1611-1618

Kahanowitz N; Bullough P; Jacobs RR  
The effect of internal fixation without arthrodesis on human facet joint cartilage  
Clin Orthop Rel Res 1984;189:204-8

Karahalios DG; Apostolides PJ; Sonntag VK  
Degenerative lumbar instability: technical aspects of operative treatment.  
Clin-Neurosurg 1997;44:109-35

Katz JN Lumbar spinal fusion.  
Surgical rates, costs, and complications.  
Spine 1995 Dec 15;20(24Suppl):78S-83S

Kettler A; Wilke HJ; Haid C; Claes L  
Effects of specimen length on the monosegmental motion behaviour of the  
lumbar spine.  
Spine 2000;25:543-550

Kirkaldy-Willis WH; Farfan HF  
Instability of the lumbar spine  
Clin Orthop 1982;165:110-123

Krag MH  
Biomechanics of thoracolumbar spinal fixation: a review  
Spine 1991;16:S84-S99

Kumar MN; Baklanov A; Chopin D 2001  
Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration  
following lumbar spine fusion.

Eur Spine J 2001 Aug;10(4):314-19

Kumar MN; Jacquot F; Hall H 2001

Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease.

Eur Spine J 2001 Aug;10(4):309-13

Lange F

Support for the spondylitic spine by means of buried steel bars attached to the vertebrae

Am J Orthop Surg 1910;8:344

LaRocca H

Failed lumbar surgery

In: Weinstein J, Wiesel S, eds. The lumbar spine .

Philadelphia: WB Saunders, 1990:872-81

Lazennec JY; Ramaré S; Arafati N et al

Sagittal alignment in lumbosacral fusion : relation between radiological parameters and pain

Eur Spine J 2000:47-55

Lee CK

A clinical study on accelerated degeneration of the juxtafused segments in lumbosacral fusion.

Presented at the annual meeting of the New Jersey Orthopädic Society, Amelia Island, Florida, September 21-25 1983

Lee CK;

Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion

Spine 1988;13:375-377

Lee CK; Langrana NA

Lumbosacral spinal fusion: a biomechanical study

Spine 1984;9:574-581

Lehmann TR; Spratt KF; Tozzi JE et al

Long-term follow-up of lower lumbar fusion patients

Spine 1987;12:97-104

Leong JCY; Chun SY; Grange WJ; Fang D

Long-term results of lumbar intervertebral disc prolapse

Spine 1983;8:793-9

Louw JA; Dommissee GF; Roos MF

Spinal stenosis following anterior spinal fusion

Spine 1988;13:952-3

Luk KK; Lee FI; Leong JY et al  
The effect on the lumbosacral spine of long spinal fusion for idiopathic scoliosis: a minimum 10-Year follow-up  
Spine 1987;12:996-1000

Macnab I; Dall D  
The blood supply of the lumbar spine and its application to the technique of intertransverse lumbar fusion  
J Bone Joint Surg (Br) 1971;53:628-38

Malter AD; McNeney B; Loeser JD; Deyo RA  
5-years reoperation rates after different types of lumbar spine surgery.  
Spine 1998 Apr 1;23(7):814-20

Masferrer R; Gomez CH; Karahalios DG; Sonntag VK  
Efficacy of pedicle screw fixation in the treatment of spinal instability and failed back surgery: a 5-year review.  
J-Neurosurg 1998 Sep;89(3):371-7

McLaughlin MR; Haid RW; Rodts GE; Subach BR 2000  
Posterior lumbar interbody fusion: indications, techniques, and results.  
Clin Neurosurg 2000;47:514-27

Meyerding HW  
Spondylolisthesis: Surgical treatment and results  
Surg Gynecol Obstet 1932;54:371-7

Miyakoshi N; Abe E, Shimada Y; Hongo M; Chiba M; Sato K  
Anterior decompression with single segmental spinal interbody fusion for lumbar burst fracture.  
Spine 1999 Jan 1;24(1):67-73

Miyakoshi N; Abe E, Shimada Y; Okuyama K; Suzuki T; Sato K  
Outcome of one-level posterior lumbar interbody fusion for spondylolisthesis and postoperative intervertebral disc degeneration adjacent to the fusion.  
Spine 2000 Jul 15; 25(14):1837-42

Möller TB; et al  
In : Röntgennormalbefunde ; Stuttgart ; New York : Thieme, 1987 :50-69

Nagata H; Schendel MJ; Transfeldt EE; et al  
The effects of immobilisation of long segments of the spine on the adjacent and distal facet force and lumbosacral motion  
Spine 1993;18:2471-2479

- Nakai S; Yoshizawa H; Kobayashi S  
Long term follow-up study of posterior lumbar interbody fusion.  
J-Spinal-Disord. 1999 Aug;12(4):293-9
- Newman MH; Grinstead EL  
Anterior lumbar interbody fusion for internal disc disruption  
Spine 1992;17:831-3
- Penta M; Sandhu A; Fraser RB  
Magnetic resonance imaging of disc degeneration ten years after anterior lumbar interbody fusion  
Spine 1995;20:743-747
- Pihlajamaki H; Myllynen P; Bostman O  
Complications of transpedicular lumbosacral fixation for non traumatic disorders.  
J-Bone-Joint-Surg-Br 1997 Mar;79(2):183-9
- Przybylski GJ 2000  
The biomechanics of lumbar interbody fusion and sagittal plane balance.  
Clin Neurosurg 2000;47:461-9
- Quinnell RC; Stockdale HR  
Some experiment observations of the influence of a single lumbar floating fusion on the remaining lumbar spine  
Spine 1981;6:263-269
- Rahm MD; Hall BB  
Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion with instrumentation: a retrospective study.  
J-Spinal-Disord 1996 Oct;9(5):392-400
- Rhyne AL; Smith SE; Wood KE; Darden BV  
Outcome of unoperated discogram positive for low back pain.  
Proceedings of the 9<sup>th</sup> Annual Meeting, North American Spine Society, October 19-24, 1994, Minneapolis, Minn.,pp.137
- Rompe JD; Eysel P; Hopf C; Heine J  
Transpedicular lumbar spondylodesis in elderly patients.  
Z-Orthop-Ihre-Grenzgeb 1995 May-Jun;133(3):249-55
- Rosenberg NJ  
Degenerative spondylolisthesis: Surgical treatment  
Clin Orthop 1976;117:112-20

Saraste H

Long term clinical and radiological follow-up of spondylolysis and spondylolistesis

J Pediatr Orthop 1987;7:631-8

Schlegel JD; Smith JA; Schleusener RL

Lumbar motion segment pathology adjacent to thoracolumbar lumbar and lumbosacral fusions.

Spine 1996;21:970-981

Simmons JW; Andersson GB; Russel Gs; Hadjipavlou AG

A prospective study of 342 patients using transpedicular fixation instrumentation for lumbosacral spine arthrodesis.

J-Spinal-Disord 1998 Oct;11(5):367-74

Simmons ED; Simmons EH

Spinal stenosis with scoliosis

Spine 1992;17(Suppl):117-20

Sprangfort EV

The lumbar disc herniation

Acta Orthop Scand 1972;43(Suppl):142

Stokes IA; Frymoyer JW

Segmental motion and instability

Spine 1987;12:688-91

Taylor TKF; Ghosh P; Braund KG; Sutherland JM; Sherwood AA

The effect of spinal fusion on intervertebral disc composition: an experimental study

J Surg Res 1976;21:91-104

Turner JA; Ersek M; Herron L; et al

Patient outcomes after lumbar spine fusions

JAMA 1992;268:907-10

Van Horn JR; Bohnen LMLJ

The development of discopathy in lumbar disc adjacent to a lumbar anterior interbody spondylodesis: A retrospective matched pair study with a post operative follow-up of 16 years.

Acta Orthop Belg 1992;58:280-6

VanRoyen BJ; Toussaint HM; Kingma; et al

Accuracy of the sagittal vertical axis in a standing lateral radiograph as a measurement of balance in spinal deformities

Eur Spine J 1998;7:408-412

Waddell G; Kummel EG; Lotto WN; Graham JD; Hall H; McCulloch JA  
Failed lumbar disc surgery following industrial injuries  
J Bone Joint Surg (Am)1979;61:201-7

Wetzel FT; LaRocca H  
The failed posterior lumbar interbody fusion  
Spine 1991;16:839-845

Weinstein J; Rydevik B  
The pain of spondylolisthesis  
Semin Spine Surg 1989;2:100-5

White AA 3<sup>rd</sup>; Panjabi MM; Posner I; Edwards WT; Hayes WC  
Spinal stability: Evaluation and treatment  
In: American Academy of Orthopaedic Surgeons. Instructional Course Lectures,  
30. St. Louis : CV Mosby, 1981 ;457-83

Whitecloud TS; Davis JM; Olive PM  
Operative treatment of the degenerated segment adjacent to a lumbar fusion  
Proceedings from the international society for study of the lumbar spine 1990:90  
Wiltse LL; Radecke SE; Biel HM et al

Comparative study of the incidence and severity of degenerative change in the  
transition zones after instrumented versus noninstrumented fusions of the  
lumbar spine  
J Spinal Disord 1999;12:27-33

Wimmer C; Gluch H; Krismer M; Ogon M; Jesenko R  
AP-translation in the proximal disc adjacent to lumbar spine fusion. A  
retrospective comparison of mono- and polysegmental fusion in 120 patients.  
Acta-Orthop-Scand 1997 Jun;68(3):269-72

Yahiro MA  
Comprehensive literature review: Pedicle screw fixation devices  
Spine 1994;19(Suppl):2274-8

Yang KH; King AI  
Mechanism of facet load transmission as a hypothesis for low back pain  
Spine 1984;9:557-565

Yang SW; Langrana NA; Lee CK  
Biomechanics of lumbosacral spinal fusion in combined compression torsion  
loads  
Spine 1986;11:937

Zdeblick TA; Smith GR; Warden KE; Eng MB; Mc Afee PC  
Two point fixation of the lumbar spine. Differential stability in rotation  
Spine 1991;16:S298-S301

## Erhebungsbogen Nachbarsegmentdekompensation

### Patient:

Initialen \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
ID Nr.: \_\_\_\_\_  
Geschlecht: \_\_\_\_\_  
Geb.Datum: \_\_\_\_\_

### Erst OP

Diagnose vor Spondylodese \_\_\_\_\_  
Datum Spondylodese \_\_\_\_\_  
Segmente der Spondylodese L - \_\_\_\_\_  
Post OP beschwerdefrei JA / NEIN  
Implantat \_\_\_\_\_  
Material Stahl / Titan  
Operation PLIF / VD / \_\_\_\_\_

### Prä OP Röntgen

Winkel der späteren Spondylodeseetage \_\_\_\_\_ °  
Winkel der Nachbarsegmente oberhalb \_\_\_\_\_ °  
Winkel der Nachbarsegmente unterhalb \_\_\_\_\_ °  
Gesamtwinkel Th12-S1 \_\_\_\_\_ °  
MRT \_\_\_\_\_  
Myelo \_\_\_\_\_

### Post OP Röntgen

Winkel der Spondylodese \_\_\_\_\_ °  
Winkel der Nachbarsegmente oberhalb \_\_\_\_\_ °  
Winkel der Spondylodese unterhalb \_\_\_\_\_ °  
Gesamtwinkel Th12-S1 \_\_\_\_\_ °  
Bandscheibe Nachbarsegment cranial Normal / Patholog.  
Bandscheibe Nachbarsegment caudal Normal / Patholog.

### Nachuntersuchung

Schmerzcharakter bei Dekompensation \_\_\_\_\_  
Nachbarsegmentdekomp. Monate post OP \_\_\_\_\_  
Winkelveränderung des NS zu Ausgang \_\_\_\_\_ °  
Winkelveränderung Th12-S1 zu Ausgang \_\_\_\_\_ °  
Nachbarsegmentspondylodese Monate post OP \_\_\_\_\_  
Operation PLIF / VD / \_\_\_\_\_  
Segmente Nachbarsegmentspondylodese L - \_\_\_\_\_  
Implantat \_\_\_\_\_  
Material Stahl / Titan  
Post OP beschwerdefrei JA / NEIN  
Winkel der Spondylodese \_\_\_\_\_ °  
Gesamtwinkel Th12-S1 \_\_\_\_\_ °

---

---

## Lebenslauf

**Name:** Noe  
**Vorname:** Stephan  
**Geburtstag:** 18.01.67  
**Geburtsort:** Koblenz  
**Nationalität:** deutsch  
**Familienstand:** verheiratet  
2 Söhne

**Schulausbildung:** **1973-1977**  
Grundschule Wiesbaden  
**1977-1987**  
Dilthey Gymnasium Wiesbaden  
Abschluß: Abitur, Gr.Latinum

**Zivildienst:** **1987-1989**  
Ausbildung zum  
Rettungssanitäter bei ASB  
Wiesbaden

**Studium:** **1989**  
Studium an der Medizinischen  
Fakultät der Johannes  
Gutenberg Universität in Mainz  
**April 1991**  
Ärztliche Vorprüfung  
**September 1992**  
Erster Abschnitt der ärztlichen  
Prüfung  
**September 1994**  
Zweiter Abschnitt der ärztlichen  
Prüfung  
**Oktober 1994-Oktober 1995**  
PJ an der Universitätsklinik  
Mainz  
Wahlfach: Orthopädie  
**24.Oktober 1995**  
Dritter Abschnitt der ärztlichen  
Prüfung

**Beruf:** **12/95 – 6/97**  
AIP in der Unfallchirurgie der Dr.  
Horst Schmidt Kliniken  
Wiesbaden  
**8/97 – 4/98**

Stationsarzt in den Kaiserberg-  
Kliniken Bad Nauheim,  
Orthopädie

**5/98 – 11/00**

Assistenzarzt in der Klinik für  
Wirbelsäulenchirurgie der  
Zentralkliniken, Bad Berka

**Seit 11/00**

Assistenzarzt in der  
Orthopädischen Klinik der  
Universitätskliniken Tübingen

**Famulaturen:**

**4/92**

Orthopädische Kliniken der  
Universitätskliniken Mainz

**10/92**

Klinik für Chirurgie des St.  
Johannis-Krankenhauses  
Landstuhl

**8/93 – 10/93**

Hospital Mocel, Mexico Stadt,  
Orthopädie, Intensiv,  
Wachstation

**Berufliche Nebentätigkeiten:**

**1988**

Hauptamtliche Beschäftigung als  
Rettungssanitäter

**1992-1995**

regelmäßige Mitarbeit als  
Pflegehelfer in der  
Orthopädischen Klinik der  
Universitätskliniken Mainz

**Seit 2000**

Sportmedizinische Betreuung  
des ASV Pfäffingen