

Aus dem Institut für Arbeits- und Sozialmedizin (Leitung:  
Prof.Dr.med. H. Konietzko) der Johannes Gutenberg-Univer-  
sität Mainz

Lumbale Bandscheibendegeneration  
bei Erdbaumaschinenfahrern mit  
langjähriger Ganzkörper-  
Vibrationsbelastung

Inauguraldisseration

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin der Johannes  
Gutenberg-Universität Mainz

dem Fachbereich Medizin vorgelegt  
von Franz Hubert Müsch  
aus Rositz, Kreis Altenburg  
Mainz, 1987

Dekan: Prof.Dr.med. M. Thelen  
1. Gutachter: Prof.Dr. H. Dupuis  
2. Gutachter: Prof.Dr.med. H. Konietzko  
Tag der Promotion: 28. Oktober 1987

Berichte aus der Medizin

**Franz H. Müsch**

**Lumbale Bandscheibendegeneration  
bei Erdbaumaschinenfahrern mit langjähriger  
Ganzkörper-Vibrationsbelastung**

D 77 (Diss. Universität Mainz)

Shaker Verlag  
Aachen 2006

### **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Mainz, Univ., Diss., 1987

Kontaktadresse:

[dr.muesch@uni-bonn.de](mailto:dr.muesch@uni-bonn.de)

Copyright Shaker Verlag 2006

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4810-2

ISSN 0945-0890

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen  
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)



Mein Dank gilt

der Rheinischen Braunkohlenwerke AG (RHEINBRAUN) in Köln, bei der ich als Elektro-Lehrling, Famulus, Medizinalassistent und Betriebsarzt die gesundheitlichen Probleme der Erdbaumaschinenfahrer kennenlernte, insbesondere

- Herrn Dr.med. G. Zerlett (Leiter der Abteilung "Betriebsärztlicher Dienst") für die Überlassung des Themas und der

- Hauptabteilung "Arbeitsmedizin" (Direktor: Dr.med. R. Toussaint) sowie der

- Hauptabteilung "Angewandte Arbeitswissenschaft" (Direktor: R. Hilfert) für die uneingeschränkte Unterstützung bei der Zusammenstellung der Materialien.

Herrn Prof.Dr. H. Dupuis (Leiter der Arbeitsgruppe "Ergonomie" des Instituts für Arbeits- und Sozialmedizin an der Universität Mainz - Leitung: Prof.Dr. H. Konietzko) danke ich für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit und Herrn Dr. E. Godehardt (Medizinisches Institut für Dokumentation und Statistik an der Universität Köln - Direktor: Prof.Dr. V. Weidman) für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.



Gewidmet meinen Eltern

und meinen verstorbenen

arbeitsmedizinischen Lehrern

Prof.Dr.med. W. Bolt (Universität Köln) und

Dr.med. W. Heinen (RHEINBRAUN Köln)



## Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	<u>Einleitung und Aufgabenstellung</u>	1
2	<u>Erdbaumaschinen und Vibration</u>	
2.1	Erdbaumaschinen	4
2.2	Grundlagen zur Ganzkörper-Vibration	8
2.3	Vibrationscharakteristik der Erdbau- maschinen	13
3	<u>Degenerative Bandscheibenveränderungen</u>	
3.1	Definitionen	16
3.2	Röntgenologische Einteilung	18
3.3	Grundlagen zur Bandscheibendegeneration	
3.3.1	- Anatomie	20
3.3.2	- Biomechanik	23
3.3.3	- Pathologie	27
3.3.4	- Lumbalsyndrom	32
4	<u>Wirkungen der Ganzkörper-Vibration auf die Wirbelsäule</u>	
4.1	Mechanisch bedingte Überbeanspruchung	34
4.2	Stoffwechselstörungen der Zwischen- wirbelscheibe	36
4.3	Prädisponierende Faktoren	38
4.4	Prädilektionsstellen	41
5	<u>Eigene Untersuchungen</u>	
5.1	Material und Methode	43
5.2	Kollektiv der Erdbaumaschinenfahrer (EMF)	46
5.3	Vergleichskollektiv (VK)	51
5.4	Altersstrukturvergleich: EMF - VK	53
5.5	Degenerative LWS-Röntgenbefunde bei EMF	54
5.6	Degenerative LWS-Röntgenbefunde im VK	60
5.7	Vergleich der degenerativen LWS-Röntgen- befunde von EMF und VK	64
5.8	LWS-Röntgen-Nebenbefunde (EMF und VK)	75
5.9	Lumbalsyndrom bei EMF (Teilkollektiv)	76

6	<u>Diskussion</u>	
6.1	Belastung der Wirbelsäule auf Erdbaumaschinen	83
6.2	Beanspruchungsfaktor Bandscheiben- degeneration	87
6.3	Arbeitsmedizinische Beurteilung	
6.3.1	- Kausalitätsfrage	107
6.3.2	- Anerkennung als Berufskrankheit	114
6.3.3	- Prävention	119
7	<u>Zusammenfassung</u>	121
8	<u>Literaturverzeichnis</u>	126
9	<u>Anhang</u>	135

## 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Rahmen des Programmes "Humanisierung des Arbeitslebens" wurden bei der Rheinischen Braunkohlenwerke Aktiengesellschaft in Köln (RHEINBRAUN), gefördert durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie, das Projekt "Messung und Bewertung von Schwingungsbelastung und -beanspruchung an Arbeitsplätzen auf Erdbaumaschinen und Entwicklung geeigneter Dämpfungssysteme" durchgeführt und die Ergebnisse unter dem Titel "Ganzkörperschwingungen auf Erdbaumaschinen - Entwicklung geeigneter Dämpfungssysteme" (KÖHNE, ZERLETT und DUNTZE, 1982) veröffentlicht.

Neben der ergonomischen Zielsetzung sollten arbeitsmedizinische Untersuchungen "... Aussagen über bleibende gesundheitliche Auswirkungen bei Arbeitnehmern, die beruflich einer Ganzkörpervibration ausgesetzt sind, ..." erbringen. Hinsichtlich der Häufigkeit pathologischer - einschließlich degenerativer - Röntgenbefunde der Lendenwirbelsäule (LWS) ergab die retrospektive Studie bei den Erdbaumaschinenfahrern (EMF) mit langjähriger Berufspraxis im Vergleich zu nicht schwingungsexponierten Mitarbeitern bei RHEINBRAUN bezogen auf das Lebensalter von 32 bis 60 Jahren in Altershalbdekaden ein Überwiegen um Häufigkeitsdifferenzen zwischen 6,7 und 25,7 Prozent.

Dieses Teilergebnis der RHEINBRAUN-Forschungsarbeit war Anlaß, in Form der vorliegenden Dissertation das Thema arbeitsbedingter degenerativer LWS-Veränderungen bei Erdbaumaschinenfahrern zu vertiefen.

Die grundsätzliche arbeitsmedizinische Problematik der "Arbeitsschäden der Wirbelsäule" beschreiben VALENTIN et al. (1979 b): "Die Osteochondrose der Wirbelbandscheiben und die Wirbelsäulenspondylose sind weit verbreitet. Diese Skelettveränderungen treten zumeist völlig unabhängig von beruflichen Einflüssen aufgrund normaler Abnutzungsvorgänge

und konstitutioneller Faktoren auf. Andererseits hat sich gezeigt, daß die Bandscheibenosteochondrose in Schwerarbeiterberufen, z.B. bei Bergarbeitern und Lastträgern, häufiger, schwerer und zeitiger in Erscheinung treten als z.B. bei Büroangestellten. Die Berufskrankheitenverordnung der DDR hat diesen Erkenntnissen Rechnung getragen und arbeitsbedingte Bandscheibenerkrankungen als Berufskrankheit anerkannt."

Dagegen besteht aus orthopädischer Sicht laut KRÄMER (1978) "... keine Veranlassung, gehäufte bandscheibenbedingte Erkrankungen oder einen Diskusprolaps als Berufskrankheit anzuerkennen. In der Berufskrankheitenverordnung ... ( - Bundesrepublik - ) ... sind Wirbelsäulenschäden dementsprechend auch nicht enthalten." Seine Begründung lautet: "Da die Entwicklung eines Bandscheibenschadens ... ein komplexes Geschehen darstellt, bei dem sowohl endogene als auch verschiedene exogene Momente mitwirken, läßt sich eine berufsspezifische Betroffenheit nicht ableiten."

Obwohl die Berufskrankheitenverordnung der Bundesrepublik grundsätzlich beruflich bedingte Vibrationsschädigungen anerkennt - allerdings nur durch Teilkörper-Vibrationsbelastung (STEINHÄUSER und BOLT, 1980; DUPUIS, 1982) - findet die Ganzkörper-Vibrationsbelastung keine Erwähnung. Demgegenüber steht die Tatsache, daß die Kommission der EWG schon am 23. Juli 1962 den Mitgliedstaaten empfohlen hat, die Europäische Berufskrankheiten-Liste anzunehmen, die unter E 5 "Berufsbedingte Knochen-Gelenk-Schäden ... durch Erschütterungen" enthält (Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 1972).

In seinen Betrachtungen über den "Zwischenwirbelscheibenschaden als problematische Berufskrankheit" faßt JUNGHANNS (1979 b) die Schwierigkeiten zusammen und liefert gleichzeitig den theoretischen Ansatz für die vorliegende Studie: "Noch immer hängt also die an Problemen reiche Frage des



Zusammenspiels zwischen beruflicher Belastung und Bandscheibenschaden in ihrer letzten Beantwortung für den Einzelfall davon ab, ob es gelingt, diejenigen Berufe oder die besonderen Arbeitsplätze herauszufinden, die der Wirbelsäule durch körperliche Schwerarbeit, durch Bewegungsmangel, durch Zwangshaltung oder durch den Einfluß von Vibrationen so eingreifende Belastungen aufbürden, daß der exogene Ursachenanteil die endogenen Störungen überragt. Die bisherigen wissenschaftlich experimentell erarbeiteten Grundlagen sind noch nicht ausreichend. Ob es epidemiologischen Untersuchungen gelingt, einen solchen Nachweis zu führen, bleibt abzuwarten."

Aufgrund des arbeitswissenschaftlichen Belastungs-Bearbeitungs-Konzeptes sollten in der vorliegenden epidemiologischen Studie im Sinne notwendiger Bedingungen zunächst ein "belastungshomogenes" (SLESINA und RENNER, 1984) EMF-Kollektiv gebildet und daraufhin die Häufigkeitsverteilungen der Schweregrade degenerativer LWS-Röntgenbefunde insgesamt sowie bezogen auf Berufsjahre und Lebensalter als Beanspruchungsfaktor erfaßt und den Befunden in einem eigenen Vergleichskollektiv (VK) gegenübergestellt werden. Schließlich sollte die statistische Überprüfung der untersuchten Korrelationen als hinreichende Bedingung zu einer Wahrscheinlichkeitsaussage über den Kausalzusammenhang zwischen Ganzkörper-Schwingungen und degenerativen LWS-Veränderungen bei EMF führen.

Ergänzend sollten in einem EMF-Teilkollektiv die Abhängigkeiten der Häufigkeitsangaben über lumbale Beschwerden von den Berufsjahren, dem Lebensalter und den Schweregraden degenerativer LWS-Befunde ermittelt werden.

## 2 Erdbaumaschinen und Vibration

### 2.1 Erdbaumaschinen

Erdbaumaschinen können aufgrund unterschiedlicher Funktion und Bauart wie folgt eingeteilt werden (Bau-Berufsgenossenschaft, 1980):

Bagger	:	Seilbagger (Abb. 1) oder Hydraulikbagger, die als Greif-, Hochlöffel- oder als Tieflöffelbagger arbeiten können,
Lader	:	Radlader (Abb. 2) oder Raupenlader, die als Front-, Schwenk-, Schaufel- oder Überkopflader im Einsatz sind,
Planiergeräte	:	Planierraupen (Abb. 3), Raddozer, Grader,
Schürfgeräte	:	Scraper, Schürfkübelraupen,
Rohrverleger	:	Planierraupen oder Raupenlader als Grundgeräte mit speziellen Hebezeugeinrichtungen ausgerüstet,
Spezialmaschinen	:	Grabenfräser, Grabenhobel und Verfüllschnecken für Leitungsgräben.



Abb. 1: RHEINBRAUN-Tagebauansicht mit Seilbagger vorne rechts



Abb. 2: Radlader belädt Hinterkipper



Abb. 3: Kettenplanierer

1981 waren bei RHEINBRAUN 251 Erdbaumaschinen im Einsatz, in der gesamten Bau-Industrie der Bundesrepublik Deutschland gibt es 92000 vergleichbare Geräte. Eine Einteilung in Rad- und Kettengeräte zeigt, daß der Erdbaumaschinenpark bei RHEINBRAUN im prozentualen Häufigkeitsvergleich zur Bau-Industrie als repräsentativ gelten kann:

	Radgeräte	Kettengeräte
RHEINBRAUN	: 56,5 %	43,5 %
Bau-Industrie	: 57,2 %	42,8 %

Da die Antriebsart entscheidend das Vibrationsverhalten der Erdbaumaschinen beeinflußt, scheint die grundsätzliche Unterteilung in Rad- und Kettengeräte als sinnvoll. Ketten- dozer z.B. liefern ein zu hohen Frequenzen hin zunehmendes breites Frequenzspektrum, bei Radladern, die eine ausgeprägte Eigenresonanz zeigen, liegt der Schwerpunkt in den tiefen Frequenzbereichen (KÖHNE et al., 1982).

Beispielhaft seien einige allgemeine technische Daten von zwei typischen RHEINBRAUN-Erdbaumaschinen tabellarisch angeführt:

	Kettenplanierer D 8	Radlader ZL 3 000 F
Leistung	: 270 PS	255 PS
Gewicht	: 30 t	22 t
Achsenabstand	: 3,14 m	3,45 m
Fahrerkabine	: beheizt	beheizt
Sitztyp	: Statiksitz	Stahlfedersitz

Für die vorliegende Arbeit sind ausschließlich Rad- und Kettengeräte und deren Fahrer ausgewählt worden. Die in den RHEINBRAUN-Fragebögen (Anlage Nr. 1) als "Sonstige" aufgeführten Geräte (Unimog, Muldenkipper, Gleisgeräte) wurden nicht berücksichtigt, da sie wegen ihrer Antriebsarten und ihrer Einsatzorte (überwiegend nicht in unbefestigtem

Gelände) vibrationstechnisch mit den typischen Erdbaumaschinen nicht vergleichbar sind.

Im Braunkohlentagebaurevier erfüllen die Erdbaumaschinen vier Hauptfunktionen: Planieren, Laden, Transportieren und Graben. Die Gerätetypen Lader, Planierer und Bagger kommen im praktischen Einsatz am häufigsten vor. In der Bundesrepublik machen sie rund 80 Prozent aller eingesetzten Erdbaumaschinen aus. Ihr Einsatz erfolgt bei extrem unterschiedlichen Boden- und Wegeverhältnissen: befestigte bzw. unbefestigte Wege, tragfähiger und bedingt tragfähiger Boden, gewachsener oder angekippter Grund aus Erde, Kies, Sand oder Kohle. Da die Geräte hauptsächlich in unbefestigtem freien Gelände fahren, sind zusätzlich zur Bodenart die jahreszeitlich stark unterschiedlichen Witterungseinflüsse auf die Bodenbeschaffenheit von Bedeutung. Entsprechend ihrer Funktion weisen die Geräte unterschiedliche Konstruktionsmerkmale (z.B. Radabstand, Achsenabstand und Position des Fahrersitzes zum Schwerpunkt des Gerätes) auf, die mitbestimmend sind für ihren Vibrationscharakter.

Die Schwingungserregung erfolgt durch das Fahrwerk im Kontakt mit der Fahrbahn sowie durch Motor und Getriebe. Zur Dämpfung des Schwingungseinflusses auf den Fahrer stehen bisher als Standard-Fahrersitze zwei Typen zur Verfügung:

Statiksitz - Schwingungsdämpfung erfolgt ausschließlich über Sitzpolsterung. Keine individuelle Einstellung auf Körpergewicht möglich.

Stahlfedersitz - Schwingungsdämpfung durch Federkonstruktion zwischen Sitzfläche und Chassis mit einem Schwingweg von  $\pm 42,5$  mm aus der individuell auf das Fahrergewicht einstellbaren Ruhelage (HILFERT et al., 1981).

## 2.2 Grundlagen zur Ganzkörper-Vibration

Vibrationen sind mechanische Schwingungen in festen, flüssigen oder gasförmigen Körpern mit entsprechenden physikalischen Kenngrößen, wobei DUPUIS (1980 a) im Hinblick auf die Schwingungsbelastung folgende Schwingungskriterien hervorhebt:

Frequenz  $f$  (1/s)

Die erregende Frequenz hat Bedeutung hinsichtlich der Eigenfrequenz von Körperteilen, bei denen diese in Resonanz geraten und somit biomechanisch und physiologisch besonders beansprucht werden.

Beschleunigungsamplitude  $a$  (m/s<sup>2</sup>)

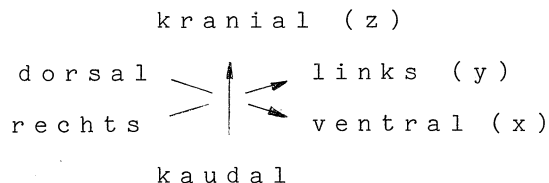
Zunehmende Beschleunigung vergrößert die Intensität und die Belastungskraft einer Schwingung.

Stoßhaltigkeit (Form, Dauer, Größe)

Besonders ungünstige Folgen können möglicherweise im Gegensatz zu harmonischen Sinusschwingungen stochastische Schwingungsverläufe haben, die sich durch unregelmäßige, nicht voraussehbare Stoßanteile auszeichnen. Wahrscheinlich kann die Muskulatur gegen stochastische, dem Zufall unterworfenen Schwingungsstöße keine sinnvolle, rationelle "Verhaltensmuster" zur Abwehr entwickeln.

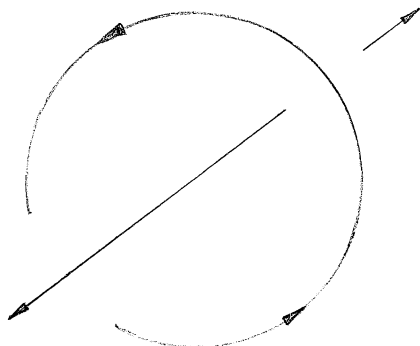
Schwingungsrichtung

In der ISO-Norm Nr. 2631 von 1974 sind die Schwingungsachsen des physiologischen Koordinatensystems für sitzende, stehende und liegende Körperhaltungen festgelegt:



Eine entscheidende Rolle spielt die vertikale Richtung (z) bei der Einwirkung von Vibrationen auf die Wirbelsäule.

Im Vergleich zu Translationsschwingungen, die in Richtung der Koordinatenachsen verlaufen, bewegen sich Rotationsschwingungen um eine Achse herum:



Bei hohen Amplituden stellen Rotationsschwingungen eine starke Belastung der Zwischenwirbelscheibe dar.

Belastungskombinationen

Schwingungen verschiedener Richtung (horizontal - vertikal) und unterschiedlicher Charakteristik (harmonisch - stochastisch) können kombiniert auftreten.

JUNGHANNS (1979 a) hebt ferner die Bedeutung der "mechanischen Impedanz" hervor, ein sogenannter Scheinwiderstand, welcher durch Trägheits- und Elastizitätseigenschaften eines Körpers entsteht und zur Charakterisierung dessen Schwingungsverhaltens dient. Nach Impedanzmessungen bei sitzenden Probanden auf einem beschleunigten Schütteltisch diskutieren VOGT et al. (1968) u.a. ein nicht lineares Elastizitätsverhalten der Intervertebralscheiben.

Wesentlich für die Beurteilung des Vibrationseinflusses auf den menschlichen Körper sind die Schwingungseinleitungsstelle und die Größe der schwingungsaufnehmenden Fläche. Je nachdem ob die Einleitungsstelle und die Auflage- bzw. Standfläche des Körpers zusammenfallen oder nicht, unter-

scheidet man Teilkörper-Schwingungen und Ganzkörper-Vibrationen. Als Beispiel für eine Teilkörper-Schwingung mit relativ kleiner schwingungsaufnehmender Fläche gilt das Maschine-Hand-Arm-System. Andererseits fungiert im Sitzen auf einer schwingenden Unterlage - Fahrersitz einer Erdbaumaschine - eine große Auflagefläche des Körpers gleichzeitig als Schwingungseinleitungsstelle. Es entsteht eine Ganzkörper-Vibration, bei der die Schwingungen über das Gesäß auf das Becken und die LWS übergeleitet werden, von wo aus sie sich in kaudokranialer Wirbelsäulenachsenrichtung fortpflanzen und den ganzen Körper erfassen. Als Nebeneinleitungsstelle sind bei Erdbaumaschinen noch die Pedale und Handhebel bedienenden Extremitäten zu nennen.

Auf den Fahrer von Erdbaumaschinen wirken Ganzkörper-Vibrationen ein, bei denen es sich um Translationsschwingungen - vornehmlich in vertikaler Richtung - handelt, die sich aus harmonischen und stochastischen Schwingungen zusammensetzen und die sich, ihren Weg über das Gesäß als Einleitungsstelle nehmend, durch die Wirbelsäule als Achsenorgan über den gesamten Organismus ausbreiten. Im Hinblick auf eine Beanspruchung des menschlichen Körpers durch Ganzkörper-Vibrationsbelastungen ist es von Bedeutung, die tägliche bzw. jährliche Expositionszeit über den Zeitraum des gesamten Berufslebens zu berücksichtigen.

Zur Vereinheitlichung und Vergleichbarkeit von Bewertungen mechanischer Schwingungseinflüsse auf den menschlichen Körper stehen folgende Richtlinien zur Verfügung:

VDI 2057 - Verein Deutscher Ingenieure (1987): "Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen " und  
ISO 2631 - International Organization for Standardisation (1974): "Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration".

Diese Richtlinien gingen ursprünglich aus von sinusförmigen Schwingungen mit horizontalen bzw. vertikalen Schwingungsrichtungen, heute gelten sie jedoch auch in gleicher Weise für stochastische Schwingungen.



Die VDI-Richtlinie ermittelt aus der Schwingungsbeschleunigung die "bewertete Schwingungsstärke": K-Wert. Der Buchstabe K steht als Formelzeichen für die Schwingungsbeurteilungssgröße, die als dimensionslose Zahl ausgedrückt ist. Sie wird aus den physikalischen Meßgrößen der Schwingungsbelastung durch eine festgelegte Frequenzbewertung ermittelt und gibt den Grad der subjektiven Wahrnehmung und objektiver Wirkungen von Vibrationen wieder.

Eine objektive Messung der Wahrnehmung für mechanische Schwingungen ist nicht direkt möglich, da der Mensch laut KEIDEL (1956) über keine entsprechenden Rezeptoren verfügt: "Die Sinnesqualität 'Vibrationsempfindung' ist eine Begleiterscheinung eines besonderen Erregungsmusters ... aller Mechanorezeptoren ..."

Der Zusammenhang zwischen subjektiver Wahrnehmung und K-Wert drückt sich in der Beschreibung der Wahrnehmung nach VDI 2057 wie folgt aus:

K	>	0,1	:	gerade spürbar,
K	>	0,4	:	gut spürbar,
K	>	1,6	:	stark spürbar,
K	>	6,3	:	sehr stark spürbar.

In der VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1987) ist der K-Wert in einem Koordinaten-System als Ordinate über der täglichen Expositionsdauer eingetragen. Aufgrund einer vorgegebenen Richtwertkurve für das Beurteilungskriterium "Gesundheit" kann bei bekanntem K-Wert die zumutbare Expositionszeit auf der Abszisse abgelesen werden (Abb. 4):

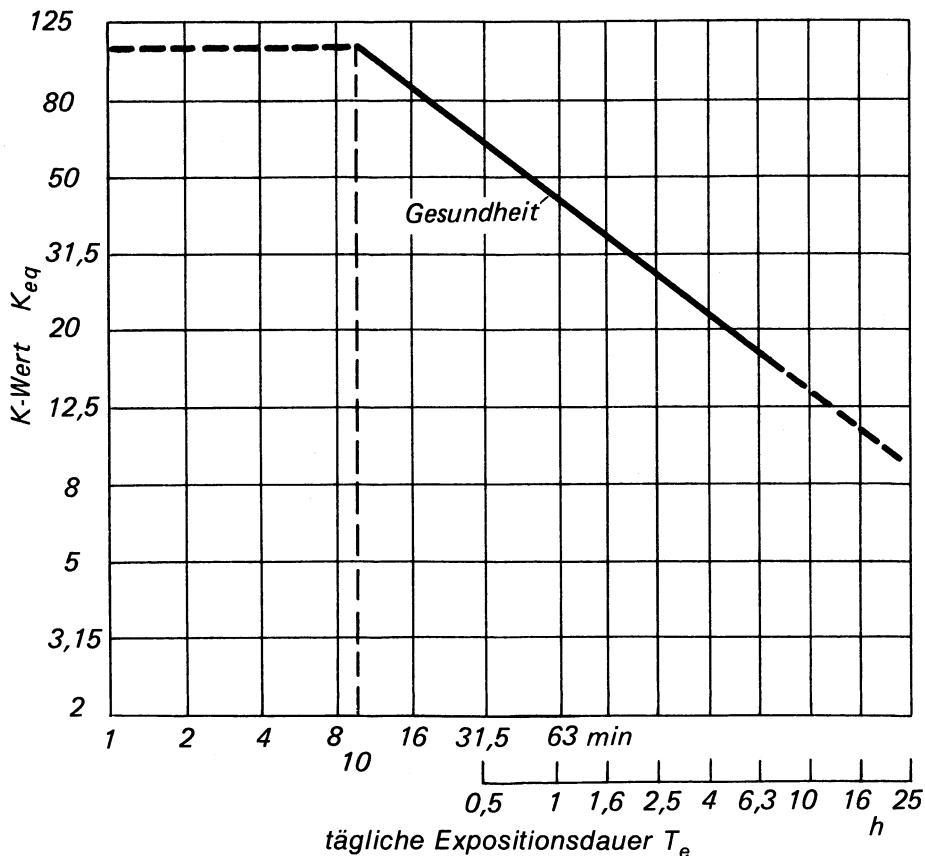


Abb. 4: "Richt(wert)-Kurve für das Beurteilungskriterium 'Gesundheit' in Abhängigkeit vom K-Wert und von der täglichen Expositionsdauer" (VDI 2057, 1987)

"Hinsichtlich Meßgrößen, Frequenzbewertung, zeitlicher Mittelung, Expositionszeitkurven und Berechnung von Beanspruchungsgraden ('equivalent exposure') stimmen VDI-Richtlinie 2057 und ISO-Standard 2631 ... weitestgehend überein. Jedoch sieht der ISO-Standard keine Berechnung von K-Werten vor, sondern arbeitet durchgängig mit frequenzbewerteten Schwingungsbeschleunigungseffektivwerten" (KÖHNE et al., 1982).

### 2.3 Vibrationscharakteristik der Erdbaumaschinen

Die bei Erdbaumaschinen auf den Menschen einwirkenden Schwingungen wurden im Rahmen des RHEINBRAUN-Forschungsprojektes durch Messung der Schwingbeschleunigung erfaßt, die bei Bedarf durch elektrische Integration in eine der beiden anderen Bewegungsgrößen, Schwingweg oder Schwinggeschwindigkeit, umgewandelt werden kann.

Um die von der Maschine erzeugten Schwingungen, den Sitzeinfluß und den auf den Fahrer einwirkenden Schwingungsanteil bestimmen zu können, erfolgte die Messung der Schwingungsbeschleunigungen auf dem Fahrersitz und an der Sitzbasis auf dem Chassis.

Die registrierten Zeitverläufe der Schwingbeschleunigung konnten im Forschungsinstitut für Geräusche und Erschütterungen e.V. Aachen (FIGE) analysiert werden, die Schwingungseinwirkung auf die Fahrer wurde anhand der VDI-Richtlinie 2057 (bzw. des ISO-Standards 2631) ermittelt (KÖHNE et al., 1982).

1979 veröffentlichten HILFERT et al. für vier repräsentative RHEINBRAUN-Erdbaumaschinen die anhand der VDI-Richtlinie 2057 ermittelten K-Werte. Bei verschiedenen Einsatzarten (Planieren, Laden, Tragen und Leerfahrten) sowie unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten (lockerer Boden, gewachsener Sand, Kies oder Kohle) resultierten folgende Ergebnisse:

Erdbaumschinentyp	K-Werte
Kettenplanierer	: 13,38 - 57,23
Radplanierer	: 21,77 - 34,62
Radlader	: 30,23 - 58,52
Muldenkipper	: 23,86 - 42,49

Die Zuordnung dieser K-Werte auf die Richtwertkurve für das Beurteilungskriterium "Gesundheit" (Abb. 4) ergibt ledig-

lich bei Leerfahrten mit einem Kettenplanierer auf gewachsenem Kies eine zumutbare tägliche Expositionsdauer, die einem Acht-Stunden-Arbeitstag entspräche. Für alle anderen Einsatzarten der verschiedenen Erdbaumaschinen müßten aufgrund der erfaßten K-Werte die Vibrationsexpositionszeiten hinsichtlich einer möglichen Gesundheitsgefährdung unterhalb der Grenze von 6,3 Stunden liegen, überwiegend wären sogar Einsatzzeiten von weniger als 4 Stunden empfehlenswert. Darüberhinaus werden sogar mehrfach die Grenzwerte für 2,5, 1,6 und 1,0 Stunden tägliche Expositionsdauer erreicht.

Differenziert nach Statiksitzen und Stahlfedersitzen berichten HILFERT et al. (1981) über die Dämpfungseigenschaften der Standardsitze auf Erdbaumaschinen bei RHEINBRAUN. Das Dämpfungsverhalten der Sitze bewerten sie anhand des Übertragungsverhaltens, gebildet aus dem Quotienten der K-bewerteten Beschleunigungen auf dem Sitz und am Chassis. Bei Statiksitzen dämpft nur die Polsterung des Sitzes, deren Stärkeveränderung eine Schwingungsverstärkung anstatt -dämpfung bewirkt. Weichere Polstermaterialien verlängern den Schwingweg und beeinflussen negativ die Bedienbarkeit der Geräte. Der Schwingweg der Stahlfedersitze reicht nicht aus, die auftretenden Beschleunigungswerte aufzufangen, obwohl die Fahrer dazu neigen, die Grundeinstellung des Sitzes entsprechend dem individuellen Körpergewicht möglichst so hart zu wählen, daß Einzelstöße nicht durchschlagen können. Auf Radladern ergibt das Übertragungsverhalten erst ab 15 Hz eine befriedigende Dämpfung, bei den niederen Frequenzen tritt sogar eine Schwingungsverstärkung durch den Sitz ein. Die Stahlfedersitze auf Hydraulikbaggern mit Kettenantrieb verursachen ebenfalls eine Schwingungsverstärkung in den niederen Frequenzen bis 6 Hz, um erst im Bereich der höheren Fahrzeugfrequenzen eine Dämpfungsfunktion zu erfüllen.

Im Abschlußbericht des RHEINBRAUN-Forschungsprojektes fassen KÖHNE et al. (1982) wie folgt zusammen: "Nach den aus der VDI-Richtlinie 2057 ermittelten K-Werten und den

daraus folgenden Übertragungswerten Sitz/Basis erscheint die auf den Fahrer einwirkende Schwingbelastung sowohl bei Statiksitzen als auch Stahlfedersitzen zu hoch ... Bei einem Teil der Geräte ... können diese Sitze sogar die vom Gerät ausgehenden Schwingungen erheblich verstärken ... Von der Basis eingeleitete Schwingungen wurden vom Sitz in einzelnen Fällen um mehr als 100 % verstärkt."

Die Autoren weisen noch auf eine weitere wesentliche Problematik hin, nämlich die Erfassung von Stoßfaktoren auf Erdbaumaschinen, das sind insbesondere regellose stoßhaltige Erschütterungen:

"Periodische oder Einzelstöße und Schwingungsformen, denen solche überlagert sind, lassen sich mit der bewerteten Schwingstärke K nur bedingt bewerten ... Während die Richtlinien ISO 2631 und VDI 2057 zahlreiche Möglichkeiten zur Schwingungsbewertung ... bereithalten, ist das Richtlinienangebot zur Bewertung ausgeprägter Stöße spärlich, weil allein schon ihre Messung problematisch ist ... Die Wirkungsforschung befindet sich hier erst in den Anfängen..."

### 3 Degenerative Bandscheibenveränderungen

#### 3.1 Definitionen

SCHMORL und JUNGHANNS (1968) bezeichnen den Verschleiß des Zwischenwirbelscheibengewebes als Chondrosis intervertebralis und dessen fortgeschrittenes Stadium, die Zermürbung des Zwischenwirbelscheibengewebes mit Beteiligung der Wirbelkörperendflächen, als Osteochondrosis intervertebralis. Unter dem Sammelbegriff der Chondrosis intervertebralis subsumieren sie als Sonderform des Bandscheibenverschleißes die Spondylosis deformans.

KRÄMER (1978) verwendet diese Termini mit veränderten Endungen: durch das Suffix "-ose" betont er den Zusammenhang mit dem auch international gebräuchlichen Begriff der Degeneration. Er spricht von Osteochondrose und Spondylose, vermeidet aber den Terminus Chondrose, um ihn durch die - die ganze Bandscheibe betreffende - Bezeichnung Diskose zu ersetzen. Neben dem Begriff Diskose diskutiert er die Formulierung "regressive Veränderungen" zur Charakterisierung der irreversiblen Natur der Bandscheibendegeneration.

Die in der "Nomenclatura Columnae Vertebralis" (JUNGHANNS et al., 1977) bevorzugte Terminologie und deren Erläuterungen seien zur Klärung der Begriffe denen von KRÄMER (1978) gegenübergestellt:

#### Chondrosis disci intervertebralis:

Durch Alterung des bradytrophen Gewebes entstehende Austrocknung mit ... Höhenabnahme des Zwischenwirbelscheibenraumes (Diminutio spatii intercorporalis)

#### Diskose:

... alle mit der Bandscheibendegeneration zusammenhängenden biochemischen und pathologisch-anatomischen Veränderungen im Zwischenwirbelabschnitt

Osteochondrosis  
intercorporalis:

Endausgang der Chondrosis  
disci intervertebralis  
mit erheblicher Abnahme  
der Höhe des Zwischen-  
wirbelraumes, Entwicklung  
kleiner Wirbelkörper-  
randzacken und mit Sklerose  
der angrenzenden Wirbel-  
körperabschlußplatten

Spondylosis deformans:

Osteophytenbildung  
(Osteophyton corporis  
vertebrae) an der  
Abhebestelle des Liga-  
mentum longitudinale ant.  
als Reizantwort auf die  
Abtrennung des Faser-  
ringes von der Randleiste  
mit Vergrößerungstendenz  
bis zur Überbrückung des  
Zwischenwirbelraumes  
(Ankylosis inter-  
corporalis)

Osteochondrose:

Bandscheibendegeneration unter  
Beteiligung der angrenzenden  
Wirbelkörperabschlußplatten

Spondylose:

Bandscheibendegeneration mit  
reaktiven Knochenzacken an den  
Wirbelkanten

### 3.2 Röntgenologische Einteilung

Die häufigsten röntgenologisch nachweisbaren degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule, die als morphologisches Substrat der Bandscheibendegeneration Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind, hat JUNGHANNS (1979 b) nach radiologischen Parametern differentialdiagnostisch zusammengefaßt:

#### Chondrosis disci/Osteo- chondrosis intercorporalis

#### Spondylosis deformans

##### Zwischenwirbelraumhöhe

anfangs gering, aber zunehmend stärker herabgesetzt

wenig verändert

##### Knochenzacken an den Wirbelkörpern

am Wirbelkörperperrand;  
klein, nur selten auffallend  
groß, wenig Überbrückungstendenz

am Abgang des Ligamentum  
long.ant., langsam wachsend,  
oft hochgradig und überbrückend

##### Knöcherner Wirbelabschlußplatten

verdichten sich an beiden angrenzenden Wirbelkörpern (Sklerose)

nur selten verändert

##### Stufenbildung

häufig und oft erheblich, Wirbelgleiten, Wirbelverschiebung

selten

##### Lokalisation

meist nur einzelne Bewegungsegmente, häufig an Hals- und Lendenwirbelsäule

alle Wirbelsäulenbereiche, betrifft meist mehrere ...  
Bewegungsegmente



Die Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhe bei der Chondrosis disci bzw. der Osteochondrosis intercorporalis und die Länge der Knochenzacken an den Wirbelkörpern bei der Spondylosis deformans liefern als meßbare röntgenologische Parameter die Grundlage für eine Einteilung der degenerativen Veränderungen in Schweregrade:

Stadium 0: keine röntgenologisch nachweisbaren degenerativen Veränderungen.

Bei Verschmälerung des Zwischenwirbelabstandes bis auf zwei Drittel der Normalhöhe und bei Osteophyten bis vier Millimeter Länge erfolgt die Zuordnung zu

Stadium I: leichtgradige degenerative Veränderungen.

Darüber hinausgehende Befunde entsprechen dem

Stadium II: schwergradige degenerative Veränderungen.

In Zweifelsfällen können die Ausbreitung der Befunde auf verschiedene Segmente, aber auch weitere Degenerationsparameter (Sklerosierung der Wirbelkörperabschlußplatten und Wirbelgleiten) als Entscheidungshilfe bei der Zuordnung der Röntgenbefunde auf die verschiedenen Degenerationsstadien mit einbezogen werden.

### 3.3 Grundlagen zur Bandscheibendegeneration

Die anatomischen, biomechanischen und pathologischen Grundlagen der Bandscheibendegeneration sowie das Lumbalsyndrom werden im Folgenden in Anlehnung an das Werk "Bandscheibenbedingte Erkrankungen" von J. KRÄMER (1978) dargestellt.

#### 3.3.1 Anatomie

Das Bewegungssegment (Segmentum mobilitatis intervertebrale) stellt die Bau- und Funktionseinheit der Wirbelsäule dar (SCHMORL und JUNGHANNS, 1968). Es besteht im Wesentlichen aus der Bandscheibe mit den Hälften der benachbarten Wirbel einschließlich der Wirbelgelenke. Ferner zählen zu einem Bewegungssegment die entsprechenden Anteile des vorderen und hinteren Längsbandes, des gelben Bandes und alle auf der Höhe der Bandscheibe liegenden Weichteile im Wirbelkanal, Zwischenwirbelloch und zwischen den Dorn- und Querfortsätzen. Normalerweise ist die Wirbelsäule des Menschen aus 24 Bewegungssegmenten zusammengesetzt, wobei die obersten Segmente zwischen Axis, Atlas und Schädel keine Bandscheibe besitzen.

Die 23 Bandscheiben (Disci intervertebrales) machen beim erwachsenen Menschen ein Viertel der Wirbelsäulen-Gesamthöhe aus. Sie nehmen von kranial nach kaudal an Höhe zu und sind entsprechend den physiologischen Krümmungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene trapezoidförmig gestaltet. Die größere Dicke der ventralen Bandscheibenanteile verursacht die Konvexität der zervikalen und lumbalen Lordose, die Brustkyphose hingegen wird durch die Form der Wirbelkörper bestimmt. Der Aufbau der Bandscheibe läßt drei Bestandteile unterscheiden: Knorpelplatten, Bandscheibenring und Gallertkern.

Die Knorpelplatten gehören entwicklungsgeschichtlich zu den Wirbelkörpern (- sie bilden laut JUNGHANNS (1979 a) eine

biomechanische und physiologische Einheit mit der Bandscheibe: funktionsmäßig ist die Knorpelplatte "... mit dem Zwischenwirbelscheibengewebe durch zahlreiche einstrahlende Bandscheibenfasern ..." eng verbunden -). Nach Wachstumsabschluß endet die aus hyalinem Knorpel bestehende Platte rundum am inneren Rand der knöchernen Wirbelkörperandleiste, die ursprünglich ebenfalls knorpelig angelegt ist. Die Verbindung zu der siebartigen Wirbelkörperabschlußplatte ist nur durch eine poröse Kalkschicht gewährleistet (SCHMORL, 1932). Neben der mechanischen Funktion erlauben die beiden Grenzschichten per diffusionem einen Stofftransport zwischen den Kapillaren der Markräume und dem Inneren der Zwischenwirbelscheibe.

Der Bandscheibenring (Anulus fibrosus) besteht vorwiegend aus Fasern, die in Form von Schraubenwindungen sich miteinander verflechtend von Wirbelkörper zu Wirbelkörper ziehen. In der Randzone finden sich Fasern, die in die knöchernen Randleisten einstrahlen und dort fest verankert sind. Die Faserringlamellen sind ventral und lateral zahlreicher und kräftiger als dorsal. Hinten und hinten seitlich ist der Anulus fibrosus schmal und weist nur wenige, relativ dünne Lamellen auf. Zentralwärts geht der Bandscheibenring allmählich und ohne Grenzschicht in den Gallertkern über. Innig mit dem Bandscheibenring verbunden ist im Gegensatz zu dem vorderen das hintere Längsband (Ligamentum longitudinale posterius), welches lateralwärts auslaufende Fasern zum Periost der Wirbelbogenwurzel aufweist. Das vordere Längsband (Ligamentum longitudinale anterius) überzieht als breiter Streifen die Wirbelkörpervorderwand und - präparatorisch leicht davon abtrennbar - den Anulus fibrosus.

Die Grundlage des Gallertkernes (Nucleus pulposus) stellt restliches Chordagewebe dar. Während der Wachstumszeit existiert im Gallertkern noch ein Chordaretikulum, dessen Maschenräume eine flüssig-schleimige Grundsubstanz enthalten (SCHMORL und JUNGHANNS, 1968). Daraus entwickelt sich ein

weitverzweigter Hohlraum, der mit Gallertgewebe angefüllt wird, welches beim Aufschneiden einer Bandscheibe herausquillt - aufgrund des osmotischen Innendruckes im Gallertkern nimmt eine frei präparierte Bandscheibe Kugelform an (GÜNTZ, 1958).

#### Spezielle Anatomie der LWS

Die LWS besitzt im allgemeinen fünf freie Lendenwirbel und vier lumbale Bandscheiben sowie je eine am thorakolumbalen und lumbosakralen Übergang. Übergangswirbel führen zu numerischen Variationen: bei vier freien Lendenwirbeln spricht man von Sakralisation, bei sechs freien Lendenwirbeln von Lumbalisation des betreffenden Übergangswirbels. Entgegen der allgemeinen kraniokaudalen Höhenzunahme ist der präsakrale Bandscheibenraum um etwa ein Drittel niedriger als der nächsthöhere. Zudem ist hier die ventrodorsale Höhendifferenz am größten. Im Vergleich zu den oberen Wirbelsäulenabschnitten erscheint die Bikonvexität der Bandscheiben im Lumbalbereich am ausgeprägtesten. Das hintere Längsband weist ebenfalls lumbale Besonderheiten auf: es verjüngt sich in Höhe der lumbalen Bandscheiben zu einem schmalen Streifen, sodaß die dorsolateralen Abschnitte der Zwischenwirbelscheibe, wo Bandscheibenvorfälle am häufigsten sind, nicht vollständig abgedeckt werden.

### 3.3.2 Biomechanik

Der Bandscheibeninnenraum auf der einen und die Wirbelkörper-spongiosa sowie das paravertebrale Gewebe auf der anderen Seite - zwei biologisch und mechanisch grundverschiedene Gewebträume - stellen zusammen ein osmotisches System dar. Als semipermeable Membranen fungieren die Knorpelplatten und der Bandscheibenring. Makromoleküle, vor allem Mucopolysaccharide, üben im Bandscheibeninnenraum im Sinne einer konzentrierten Lösung durch die Permeabilitätsbarrieren hindurch einen osmotischen Ansaugdruck auf Wasser und andere Lösungsmittel in der Umgebung aus: kolloid-osmotischer Druck.

In der Bandscheibe herrscht zudem noch ein Quelldruck. Es handelt sich dabei um den Druck, mit dem ein quellbarer Körper sich bei Wasserangebot gegen Widerstände ausdehnt. Kolloidosmotischer Druck und Quelldruck ergeben zusammen den onkotischen Druck.

Neben einem hohen onkotischen Druck existiert im Bandscheibeninnenraum im Gegensatz zur Umgebung des Zwischenwirbelabschnittes zusätzlich ein hoher hydrostatischer Druck (Belastungsdruck). Während in den Weichteilen neben der Bandscheibe und in dem durch Knochentrabekeln abgestützten Hohlraumssystem des Wirbelkörpers der normale Gewebdruck von nur wenigen Millimetern Quecksilbersäule herrscht, ist der Zwischenwirbelabschnitt je nach Körperposition und Lasten, die angehoben werden, einem hohen Belastungsdruck\*) ausgesetzt, der über 1000 kp betragen kann.

In Abhängigkeit vom Bandscheibeninnendruck\*) resultiert bei Druckerhöhung über 80 kp eine Flüssigkeitsabgabe (Dehydration) und bei Druckerniedrigung unter 80 kp eine Flüssig-

\*) In der Physik wird Druck mit der Dimension  $N/m^2$  bezeichnet, wobei N (= newton) als die Dimension für Kräfte ( $m \cdot kg \cdot s^{-2}$ ) gilt.

keitsaufnahme (Hydratation) des Bandscheibeninnenraumes. Der Flüssigkeitsstrom an der Bandscheibengrenze erfolgt bei konstantem onkotischen Druck proportional dem hydrostatischen intra- und extradiskalen Druckgefälle, wodurch im Sinne eines Pumpmechanismus sowohl die Versorgung der bradytrophen Bandscheiben mit Substraten als auch die Entsorgung von Stoffwechselschlacken verbessert wird.

Das Wechselspiel zwischen hydrostatischem und onkotischem Druck ist nicht nur von Bedeutung für die Ernährung des bradytrophen Bandscheibengewebes, sondern darüber hinaus auch für die mechanische Funktion des Bewegungssegmentes. Es sind sowohl dynamische als auch statische Kräfte, die die Wirbelsäule ertragen muß.

Durch Einlagerung elastischen Bindegewebes zwischen die inkompressiblen Wirbelkörper wird die Wirbelsäule zu einem beweglichen Organ - dynamische Funktion der Bandscheibe. Sie nimmt als verformbares Gebilde an den Bewegungen teil und gestattet mit ihrer begrenzten Kompressibilität und Dehnbarkeit den Wirbelgelenken einen gewissen Bewegungsspielraum. Unter Führung der Wirbelgelenke vollziehen sich die intervertebralen Bewegungen um die Bandscheibe als Drehpunkt, wobei der Gallertkern als Hypomochlion dienend bei asymmetrischer Belastung zu dem weniger gepreßten Bandscheibenabschnitt hin ausweicht ("Nußknackermechanismus", REISCHAUER, 1949) und den entsprechenden Abschnitt des Bandscheibenringes unter Zugspannung setzt.

Neben der dynamischen haben die Bandscheiben des Menschen auch statische Aufgaben zu erfüllen. Aufgrund ihrer Eigenelastizität üben sie Stoßdämpferfunktion bei allen axialen Belastungen der Wirbelsäule aus. Der Gallertkern verhält sich wie eine Flüssigkeitsblase und überträgt den axialen Druck gleichmäßig auf die knorpeligen Deckplatten sowie auf den elastischen Anulus fibrosus, wodurch dessen Fasern auf Zug beansprucht werden. Bei Nachlassen des Druckes wird der Gallertkern wieder ins Zentrum zurückgedrängt.

### Spezielle Biomechanik der LWS

Durch die aufrechte Haltung sind beim Menschen besonders die lumbalen Abschnitte der Wirbelsäule starken Druckbelastungen ausgesetzt. Hier muß das Gewicht aller weiter höher gelegenen Abschnitte des Organismus auf einer nur wenige Quadratzentimeter großen Fläche getragen werden, wodurch nach intradiscalen Druckmessungen in vivo von NACHEMSON und MORRIS (1964) im Bereich der dritten Lumbalscheibe - umgerechnet auf die Bandscheibenoberfläche - Druckwerte\*) von 10 - 60 kg/cm<sup>2</sup> bei unterschiedlichen Körperhaltungen entstehen. Die intradiscalen Drucke\*) der lumbalen Bandscheiben betragen laut NACHEMSON (1966) in vivo

15 - 20 kg im Liegen,

ca. 100 kg im Stehen,

> 125 kg im Sitzen,

> 200 kg beim Heben (\*) siehe Anmerkung S. 23).

Bei zusätzlicher Kyphosierung im Sitzen oder Vornüberneigung im Stehen resultiert im Lumbalbereich eine intradiscale Druckerhöhung dadurch, daß der Belastungsmittelpunkt auf den ventralen Bandscheibenring fällt, der als Hypomochlion fungierende Gallertkern dorsalwärts rückt und dabei den dorsalen Bandscheibenring sowie die Bandverbindungen zwischen den Wirbelbögen unter Zugspannung setzt. Einer Hyperlordosierung der LWS wirken der Bandscheibenturgor und die Wirbelgelenke in Endstellung entgegen.

Aufgrund der intradiscalen Druckveränderungen kommt es im Zwischenwirbelabschnitt durch Flüssigkeitsverschiebungen nicht nur zu Stoffwechselstörungen, sondern auch zu meßbaren Volumen- und Höhenminderungen. Discal Höhenminderungen allein als Folge der axialen Druckbelastung im Laufe eines Tages verkleinern das Lumen der lumbalen Zwischenwirbellöcher um ein Fünftel ihrer Ausgangsgröße. Entlastung durch Liegen oder Extension bewirkt eine Höhenzunahme des Zwischenwirbelabstandes.

Im Zusammenhang mit den biomechanischen Grundlagen der Bandscheibe ist ersichtlich, daß in dem schlecht ernährten Gewebe der großen Druckbelastung im Bereich der Lendenwirbelsäule eine pathogenetische Bedeutung im Hinblick auf die Bandscheibendegeneration zukommt.



### 3.3.3 Pathologie

Im Gegensatz zu einer prinzipiell gleich gebauten Vierfüßlerwirbelsäule, die an zwei Stellen ihres Verlaufs unterstützt wird, ist die Wirbelsäule des Menschen infolge ihrer vertikalen Einstellung wesentlich größeren Belastungen ausgesetzt. Begünstigt durch statisch-mechanische Einflüsse führt frühzeitige Alterung des bradytrophen Zwischenwirbelabschnitts zur allgemeinen Bandscheibendegeneration. Diese ist als "... unser Tribut für das Geschenk des aufrechten Ganges ..." (REISCHAUER, 1949) anzusehen.

Ursprünglich sind die Bandscheiben nicht als bradytrophes Gewebe angelegt. Bis zum Säuglingsalter erfahren sie einen regen Stoffaustausch über eine eigene Gefäßversorgung. Erst mit der aufrechten Haltung kollabieren aufgrund des Belastungsdruckes die Gefäße, sie atrophieren und verschwinden schließlich. Eine erwachsene Bandscheibe stellt das größte zusammenhängende, nicht vaskularisierte Gebilde im Organismus dar, in dem keine reparativen Vorgänge stattfinden können. Die verschlechterte Versorgungslage hat beim Menschen die Entwicklung eines minderwertigen Binde- und Stützgewebes zur Folge, das frühzeitig verschleißt. Jenseits des 30. Lebensjahres gibt es fast keine Wirbelsäule beim Menschen mehr, die nicht schon degenerative Veränderungen aufweist (SCHMORL und JUNGHANNS, 1968). Neben vertikaler Wirbelsäuleneinstellung wirken auch anlagebedingte Faktoren beim frühzeitigen Auftreten regressiver Bandscheibenveränderungen mit. HANRAETS (1959) sowie SCHMORL und JUNGHANNS (1968) nehmen eine endogene Komponente an, wobei HANRAETS (1959) auch eine familiäre Häufung von Bandscheibenleiden nachweist (-Untersuchungen von JOCHHEIM et al. (1961) haben gezeigt, daß bei athletisch, leptosom, pyknisch und auch dysplastisch gebauten Menschen Bandscheibenläsionen in gleicher Häufigkeit vorkommen -).

Wesentliche Faktoren bei den Altersveränderungen der Bandscheibe sind die Abnahme des Wassergehaltes und Veränderungen (- laut LENNARTZ (1961) sowohl quantitativer als auch qualitativer Art -) der hydrodynamischen Mucopolyaccharide in der Grundsubstanz. Das führt durch Beeinflussung des onkotischen Druckes zur Erniedrigung der Hydratationskraft und Verlangsamung der Diffusionsgeschwindigkeit für gelöste Stoffwechselsubstrate und -schlacken. Mit der sich verschlechternden Stoffwechsellage der Bandscheibe geht eine Produktion von Fasern und Grundsubstanz unzulänglicher Qualität einher. Im weiteren Verlauf der Degeneration entstehen durch Druckbelastungen Zusammenhangsstörungen im Bandscheibengewebe in Form von konzentrischen Spalten und radiären Fissuren, das Höhlensystem des Gallertkerns erweitert sich und schafft sich Verbindungen zu Fissuren im Anulus fibrosus. Am Ende stehen die weitgehende Austrocknung und Zermürbung der Bandscheibe. Ausführliche Beschreibungen der pathologisch-anatomischen Veränderungen finden sich bei LINDEMANN und KUHLENDahl (1953), GÜNTZ (1958) und SCHMORL und JUNGHANNS (1968).

SCHMORL und JUNGHANNS (1968) bezeichnen die Verschleißvorgänge im Zwischenwirbelabschnitt als Chondrosis intervertebralis. Von den degenerativen Veränderungen sind jedoch alle Anteile der Bandscheibe - und nicht nur der Knorpel - betroffen, so daß der Begriff Diskose zutreffender ist. Die Vorgänge sind zunächst auf das Bandscheibengewebe beschränkt und spielen sich daher nur im röntgenologisch transparenten Raum ab. Im Röntgenbild sieht man allenfalls eine Verschmälerung des Zwischenwirbelabschnittes oder haltungsbedingte Achsenabweichungen. Das Zusammensinken der Bandscheibe hat eine vermehrte Druckbelastung der Wirbelgelenke und Einengung der Zwischenwirbellöcher zur Folge. Bei zusätzlicher Beteiligung der angrenzenden Wirbelkörperendflächen in Form von reaktiven Verdichtungen (Sklerosierungen mit unregelmäßigen Konturen) spricht SCHMORL (1932) von einer Osteochondrose (- JUNGHANNS (1979 a) sieht in der "Osteochondrosis intercorporalis" die Fortsetzung und den Endausgang

des chronischen Bandscheibenschadens -).

Als Folge der allgemeinen Zermürbung und des Turgorverlustes stellt sich eine Lockerung des Zwischenwirbelraumes ein, wodurch eine "Instabilitas intervertebralis" (SCHMORL und JUNGHANNS, 1968) resultiert. Es kommt zu einer übermäßigen Zerrung an den intervertebralen Bandverbindungen. Betroffen ist vor allem das vordere Längsband, das die Bandscheibe frei überspringt und mit seinen Fasern an dem Wirbelkörper neben den Randleisten ansetzt. An dieser Stelle entstehen knöcherne Reaktionen, die sich im weiteren Verlauf des Längsbandes fortentwickeln: Spondylose. Spondylotische Randwülste mit ihrem typischen horizontalen Abgang und vertikalen Verlauf entwickeln sich nur im Bereich des vorderen Längsbandes, beginnend an dessen Ansatzstelle im Bereich des ventralen und lateralen Randes des Wirbelkörpers.

Bei weit fortgeschrittener Zermürbung können sich Teile des Anulus fibrosus als Bandscheibensequester herauslösen. Radiäre Spalten ermöglichen intradiskale Massenverschiebungen - solange die Sprengkraft des Nucleus pulposus erhalten ist. Dabei können Teile des Gallertkernes und Faserringsequester in die Fissuren eindringen und als Bandscheibenvorfall nach außen treten.

Einbrüche und Risse in den Knorpelplatten gewähren schließlich Blutgefäßen und Bindegewebe der Wirbelkörperspongiosa Zutritt in den Zwischenwirbelabschnitt, den diese mit Narbengewebe durchsetzen. Zusammen mit überbrückenden spondylotischen Randzacken führt dies endlich zu einer fibrösen und knöchernen Ankylose, d.h. zur Inaktivität des Bewegungssegmentes.

### Spezielle Pathologie der LWS

Die im Rahmen der allgemeinen Bandscheibendegeneration auftretenden Veränderungen sind im unteren Lumbalabschnitt wegen der erheblichen mechanischen Belastung stark ausgeprägt. Osteochondrotische Zwischenwirbelabschnitte findet man am häufigsten und ausgeprägtesten in den unteren Bewegungssegmenten der Hals- und Lendenwirbelsäule. Sie erlangen im Lumbalbereich eine besondere Bedeutung wegen der unmittelbaren Nachbarschaft zu den druckempfindlichen Nerven-elementen.

Eine Lumbago entsteht durch Derangement im Innenraum der Bandscheibe. Bei asymmetrischer Belastung treten Teile des Gallertkernes in die vorgegebenen Fissuren und setzen den Faserring sowie das hintere Längsband unter Zugspannung, wodurch die sensiblen Fasern des R. meningicus der Spinalnerven gereizt werden.

Die Übergänge zu einer lumbalen Bandscheibenprotrusion sind fließend. Auch hier bleiben die äußeren Schichten des Faserringes intakt, es entsteht jedoch eine deutliche Vorwölbung, die bei dorsolateralem Verlauf in Kontakt mit den Nervenwurzeln kommt. Neben Kreuzschmerzen entwickeln sich dann Nervenwurzel-Reizerscheinungen. Das verlagerte Bandscheibengewebe kann noch weiter vordringen und in der entscheidenden Phase der lumbalen Bandscheibendegeneration den dorsalen Anulus fibrosus sprengen.

Bei einem lumbalen Prolaps dringt Bandscheibengewebe in den Epiduralraum des Wirbelkanals und führt dort zu Verdrängungserscheinungen wie bei einem Tumor. In Extremfällen können sich ganze Teile der dorsalen Bandscheibenabschnitte einschließlich der Knorpelplatten und des Anulus fibrosus abgliedern und in Richtung Wirbelkanal verschieben. Je nach Ausdehnung eines medialen Prolapses entstehen klinische Symptome, die von der Lumbago über eine doppelseitige Ischialgie bis zum Kaudasyndrom reichen. Ein dorsolateraler

Prolaps führt im Lendenbereich zur Kompression oder Verdrängung der Nervenwurzel im Foramen intervertebrale. Schließlich kann das vorgefallene Bandscheibengewebe sich nach allen Richtungen hin entwickeln - entlang der Nervenwurzel, nach kranial oder kaudal in die nächste Etage oder sogar zur Rückseite der Dura - und eine entsprechend vielfältige Wurzelsymptomatik verursachen.

Die knöchernen Deformierungen, die bei der Spondylose, Osteochondrose und Spondylarthrose auftreten, können auch an der Lendenwirbelsäule ossär bedingte Nervenwurzel-Reizerscheinungen verursachen. Die ventralen und lateralen spondylotischen Randzacken sind im Bereich der LWS oft sehr ausgeprägt, sie stellen Dokumente abgelaufener Bandscheibenlockerungen dar.

### 3.3.4 Lumbalsyndrom

Von der Lokalisation der subjektiven Wirbelsäulenbeschwerden ausgehend finden die Begriffe Zervikal-, Thorakal- und Lumbalsyndrom allgemeine Verwendung im medizinischen Sprachgebrauch. Obwohl sie keinen Rückschluß auf Ätiologie und Pathogenese zulassen, empfiehlt sich ihre Beibehaltung als Bezeichnungen für degenerative Wirbelsäulenveränderungen, weil Beschwerden anderer Genese, insbesondere im H- und LWS-Bereich zu den Ausnahmen zählen.

Der Überbegriff Lumbalsyndrom (Synonym: LWS-Syndrom) bezeichnet die von der LWS ausgehenden, durch Bandscheibendegeneration verursachten Beschwerden. Als typische subjektive Angaben zur Charakterisierung gelten plötzliches Auftreten, wechselhafter Verlauf, Positionsabhängigkeit und Schmerzverstärkung durch Husten, Niesen und Pressen. Anhand der Beschwerdebilder können zwei verschiedene Zustände grundsätzlich differenziert werden: ein lokales Lumbalsyndrom und ein lumbales Wurzelsyndrom.

Das lokale Lumbalsyndrom (Synonym: Lumbalgie) entspricht im Wesentlichen dem englischen "low back pain" und entsteht vorwiegend durch Irritation der Rr. meningici et dorsales der Spinalnerven. Die klinischen Erscheinungen bleiben auf die LWS-Region beschränkt und können vom chronisch-rezidivierenden Kreuzschmerz bis zum akuten Schmerz alle Übergänge zeigen. Bei besonders akzentuierten und plötzlich auftretenden Symptomen spricht man von einer Lumbago (im Volksmund "Hexenschuß") - einer Akutform des lokalen Lumbalsyndroms.

Das lumbale Wurzelsyndrom ist die Sammelbezeichnung für bandscheibenbedingte radikuläre LWS-Beschwerden mit Ausstrahlung in die unteren Extremitäten. Im Vordergrund stehen die Erscheinungen, die das Versorgungsgebiet der ventralen Spinalnervenäste betreffen und je nach Lokalisa-

tion zu verschiedenen Beschwerdebildern führen. In etwa 50 % der Fälle ist eine Zuordnung zu einem Segment so eindeutig, daß von einem mono-radikulären Lumbalsyndrom gesprochen werden kann. Bei der lumbalen Bandscheibendegeneration ist ferner ein Betroffensein von zwei und mehr Nervenwurzeln möglich: poly-radikuläres Wurzelsyndrom.

Durch mechanische Irritation der Nervenwurzeln L2, L3 und teilweise L4 sind als "hohes" lumbales Wurzelsyndrom größtenteils die Fasern des Nervus femoralis betroffen und führen zur Femoralisneuralgie.

Als klassisches "tiefes" lumbales Wurzelsyndrom gilt die Ischialgie (Synonym: Lumboischialgie). Bei Beteiligung der Spinalnervenwurzeln L5, S1 sowie teilweise auch L4 und S2 entstehen in das Bein ausstrahlende Schmerzen und neurologische Störungen im Verlauf des Nervus ischiadicus.

Eine nicht sehr häufige Sonderform des poly-radikulären lumbalen Wurzelsyndroms ist das Kaudasyndrom mit tiefen Querschnittssymptomen. Dabei sind alle Wurzeln der Cauda equina komprimiert, so daß die Störungen die unteren lumbalen und später alle Sakralwurzeln betreffen können.

#### 4 Wirkungen der Ganzkörper-Vibration auf die Wirbelsäule

##### 4.1 Mechanisch bedingte Überbeanspruchung

DUPUIS und ZERLETT (1984) gehen davon aus "..., daß der Mensch von Natur aus nicht dafür 'konstruiert' war ...", akut einwirkende Schwingungen auszuhalten, wie sie heute im technischen Zeitalter beispielsweise bei modernen Fahrzeugen auftreten.

Bei Ganzkörper-Vibrationseinwirkung im Sitzen oder Stehen werden die Schwingungen vom Becken auf die LWS übertragen, von wo aus sie sich in kaudokranieler Wirbelsäulenachsenrichtung fortpflanzen. Entscheidend für die mechanische Beeinflussbarkeit durch Vibration ist neben der physikalischen Charakterisierung der Schwingungen das Resonanzverhalten der Wirbelsäule. Anregende Schwingungen können beim Auftreffen auf ein mitschwingendes System sehr heftige Resonanzerscheinungen mit hohen Amplituden auslösen. Durch eine geeignete Resonanzfrequenz - die der Gesamtwirbelsäule liegt bei 5 Hz - vermögen schwache Anregungen ein schwingfähiges Organsystem in heftige Schwingungen zu versetzen (JUNGHANNS, 1979 a).

In einem ärztlichen Selbstversuch des Orthopäden Dr. W. CHRIST konnte durch Messungen in vivo (Einbohren von Markierungsstiften in die Wirbelkörperdornfortsätze von Th12 und L1 bis L4 sowie Registrierung des Wirbelsäulenschwingsungsverhaltens auf einem Schwingungs-Simulatorstuhl) der frequenzabhängigen Sinusschwingungs-Übertragung vom Sitz auf die LWS in vertikaler Richtung eine ausgeprägte Resonanz zwischen 3 und 5 Hz ermittelt werden, wobei die Spitze der Resonanzkurve bei 4 Hz einen auf 240 Prozent vergrößerten Schwingweg aufweist (CHRIST und DUPUIS, 1966).



Darüber hinaus wurde laut DUPUIS und ZERLETT (1984) experimentell auch von weiteren Autoren mit unterschiedlicher Methodik nachgewiesen "..., daß es in dem komplexen Massen-Feder-Dämpfer-System des Rumpfes im Sitzen zu Resonanzschwingungen der Wirbelsäule zwischen 3 und 6 Hz mit einem Maximum bei 4 bis 5 Hz kommt. Dies ist aber gerade ein Frequenzbereich, der bei vielen ... Arbeitsmaschinen vorherrscht."

Ausgehend von dem Analogieschluß, daß Resonanz nicht nur im Bereich der Technik eine hohe Materialbeanspruchung verursacht, sondern auch im biologischen Bereich eine entsprechende Gewebebeanspruchung zur Folge hat, gelangt DUPUIS (1980 a) zu der Hypothese einer mechanisch bedingten Überbeanspruchung als ein Entstehungsmechanismus für vorzeitig auftretende Verschleißerkrankungen der Wirbelsäule. Dabei sind Schwingungsexpositionen im Sitzen mit hoher Intensität und Dauer als unphysiologische Belastungen anzusehen, die unter natürlichen Lebensbedingungen, an die der Mensch seit Jahrtausenden adaptiert ist, nicht vorkommen.

Neben den Erscheinungen der Resonanz der Wirbelsäule kann auch das Vorkommen stochastischer, das heißt regelloser Schwingungsbelastungen als Ursache mechanisch bedingter Überbeanspruchung der Wirbelsäule in Frage kommen (DUPUIS und ZERLETT, 1984). Es muß davon ausgegangen werden, daß für diese der Wirbelsäulenmuskulatur kein adäquates Reaktionsmuster zur Verfügung steht.

Darüber hinaus befindet sich die Wirkungsforschung bezüglich regelloser stoßhaltiger Erschütterungen erst in den Anfängen: "... Aussagen über die Schockverträglichkeit der Menschen sind nur mit großer Vorsicht auf die Stoßbelastung anzuwenden, die einem Erdbaumaschinenfahrer über viele Jahre arbeitstäglich acht Stunden lang zugemutet werden darf, ohne daß er berufsbedingte irreparable Langzeitschäden erleidet" (KÖHNE et al., 1982).

#### 4.2 Stoffwechselstörungen der Zwischenwirbelscheibe

Eine weitere These über die Entstehung vibrationsbedingter Wirbelsäulenschäden geht laut DUPUIS (1980 a) "... davon aus, daß die Zwischenwirbelscheiben als blutloses Gewebe auf Diffusion aus der Umgebung angewiesen sind."

Daraus läßt sich ableiten, daß die Bandscheiben unter Schwingungsdauerbelastung im Sinne einer chronischen Wirkung anfällig für degenerative Veränderungen sein können.

Nach JUNGHANNS (1979 b) verursachen Schwingungseinflüsse trotz ihres mechanischen Charakters keineswegs nur mechanische Antworten in den schwingungserregten Organsystemen. Vibrationen können auch über biochemische Beeinflussung, z.B. der bradytrophen Bandscheiben, zu Abnutzungserscheinungen der Wirbelsäule führen. Aufgrund ihrer endogenen Schwäche als am schlechtesten ernährten Organ des Stütz- und Bewegungssystems und aufgrund ihres beträchtlichen Gewebeanteils am "reagierenden System" Bewegungssegment sind exogene Einflüsse, insbesondere Dauereinwirkungen bei der Bandscheibe von besonderer Bedeutung: "Wenn Vibrationen entsprechender Frequenzen bis in die Kapillargebiete der Wirbelkörper-Bandscheibe-Grenze vordringen ..., werden ernste Störungen des Bandscheibengewebes (Verschleiß und Zermürbung ...) die Folge sein, weil ihr Stoffwechsel von der Diffusion aus diesem Kapillargebiet abhängt."

Die Behinderungen der Kapillardurchblutung können hierbei wie bei der "Vibrationskrankheit" über neurovasale Wege führen. Auch DUPUIS und ZERLETT (1984) heben in diesem Zusammenhang die Analogie zu dem vibrationsbedingten vasospastischen Syndrom ("Weißfingerkrankheit") hervor (s.a. S. 101).

Hinsichtlich der durch das Zusammenspiel von gleichzeitigen Sinusschwingungen sowie regellosen Erschütterungen und Dauerdruck beim Sitzen auf einem Motorfahrzeug auftretenden

Änderungen in der Biochemie der Bandscheibengewebe und ihrer interstitiellen Flüssigkeit (Zu- und Abstrom der Bandscheibenflüssigkeit) bedarf es laut JUNGHANNS (1979 a) "... noch mancher umfangreicher Grundlagenforschungen."

### 4.3 Prädisponierende Faktoren

Als intra-individuelle Faktoren einer Entstehung degenerativer Prozesse an der Wirbelsäule unter Schwingungsbelastung nennt DUPUIS (1980 a) das Alter des Exponierten sowie das Alter bei Berufsbeginn, den endogenen Zustand der Wirbelsäule und auch die Lebensweise des Betroffenen.

Das biologische Altern fordert nach JUNGHANNS (1979 a) seinen Tribut von der Wirbelsäule, und zwar sowohl von dem Knochengewebe als auch von den Zwischenwirbelscheiben. Altersabhängig abnehmende Knochengewebssynthese und Zunahme der biologischen Halbwertszeit der Knochengrundsubstanz gehen einher mit einer Zunahme der Fettsubstanz sowie eines Rückganges der Wasseranteile, einer Apatitverminderung und - besonders deutlich - einer Abnahme des Mineralgehaltes im Wirbelkörper. Der Autor betont, daß nur eine von der Knochen- her (knöcherne Grund- und Deckplatten) regelrecht funktionierende Wirbelkörper-Bandscheibe-Grenze ihre Funktion als Überleitungsstelle für den Bandscheibenstoffwechsel (Diffusionsernährung) zweckentsprechend ausüben kann. Dies stellt sich um so bedeutungsvoller dar, als das Altern der Bandscheibe mit einer Diffusionsmüdigkeit einhergeht und zu einer "Stoffwechselnot der Zwischenwirbelscheibe" führt. Flüssigkeitsverarmung, Änderung der chemischen Qualität der Flüssigkeit, der Zellen und der Fasern durch altersbedingte Stoffwechselmüdigkeit führen in den Zwischenwirbelscheiben zur biochemischen und damit biomechanischen Katastrophe. JUNGHANNS (1979 a) faßt zusammen, daß der in frühen Lebensjahrzehnten beginnende Leistungsabbau der Wirbelsäule nur zu einem geringen Teil durch Veränderungen des Knochengewebes, viel häufiger und früher durch Störungen der auf Diffusionsernährung angewiesenen Bandscheibe eingeleitet werde: "Im statistischen Durchschnitt gesehen, gehören die Zwischenwirbelscheiben zu den frühzeitig und stark 'alternden' Körpergeweben."

DUPUIS und ZERLETT (1984) schlußfolgern, daß aufgrund der altersabhängigen Veränderungen von Wirbelkörpern und Bandscheiben mit einer abnehmenden Festigkeit und Elastizität der Wirbelsäule als Ganzes gerechnet werden muß. Daraus resultiert für die Autoren eine abnehmende Belastbarkeit der Wirbelsäule durch mechanische Schwingungen mit zunehmendem Alter.

Solange das Wachstum der Wirbelsäule (Wachstumsende im 20. bis 23. Lebensjahr) nicht abgeschlossen ist, kann das Alter bei Beginn einer Schwingungsexposition im Berufsleben nach DUPUIS und ZERLETT (1984) von Bedeutung sein. Sie verweisen auf ROSEGGER (1970), der es als gesichert ansieht, daß die noch in Entwicklung befindliche jugendliche Wirbelsäule wenig widerstandsfähig gegenüber den beim Schlepperfahren auftretenden mechanischen Schwingungen ist. Demnach dürfte eine Schwingungsbelastung Jugendlicher als gefährdend eingestuft werden, während nach "... Vollendung des 25. Lebensjahres ... wegen der nunmehr abgeschlossenen Entwicklung eine besondere Disposition für die gesunde WS nicht mehr zu erwarten ..." ist (HEIDE, 1977).

Bei fehlendem eindeutigen wissenschaftlichen Nachweis einer konstitutionellen Disposition bezüglich negativer Wirkungen einer Ganzkörper-Vibrationsbelastung entwickelt HEIDE (1977) folgenden Analogieschluß: "Theoretisch wäre dagegen wegen der bekannten positiven Korrelation zwischen Körpergewicht und Osteochondrose und Spondylosis deformans ... (HÄUBLEIN, 1977) ... zu erwarten, daß die Adipositas einen dispositionellen Faktor darstellt, der die Entstehung vibrationsbedingter Verschleißkrankheiten fördert."

Aussagekräftige Untersuchungen zur Beeinflussung von Wirbelsäulenerkrankungen, die bereits vor einer Berufsaufnahme mit Ganzkörper-Vibrationsbelastung bestehen, liegen laut HEIDE (1977) nicht vor. Dennoch sei zu vermuten, daß eine intensive Schwingungsbelastung "... den Verlauf bestehender WS-Erkrankungen ungünstig beeinflusst." Auch DUPUIS und

ZERLETT (1984) nehmen an, daß eine Überbeanspruchung durch mechanische Schwingungen bei einer nicht gesunden Wirbelsäule wahrscheinlicher ist als bei einer gesunden: "Zweifellos kann der endogene Zustand der Wirbelsäule einen deutlichen Einfluß auf die Belastbarkeit haben." Eine endogene Schwächung der Belastbarkeit sieht JUNGHANNS (1979 a) in jeder durch angeborene Veränderungen oder im Verlaufe des Lebens eingetretenen Schädigung der Wirbelsäule. Bezogen auf mechanische Schwingungen sind nach DUPUIS und ZERLETT (1984) bei folgenden Befunden sicher ungünstige Einflüsse auf die Belastbarkeit des Stützorgans zu erwarten: Morbus Scheuermann, mittel-schwergradige Skoliosen, Spondylolysen und Spondylolisthesis sowie ausgeprägte Osteochondrosis intervertebralis, Spondylosis deformans und Arthrosis deformans.

Der Zustand des "Muskelkorsetts" zählt nach DUPUIS und ZERLETT (1984) als ein Faktor endogener Gegebenheiten, der durch individuelle Lebensweise in Form eines Rumpfmuskeltrainings beeinflussbar ist. Von einer gut entwickelten Rücken-, Brust- und Bauchmuskulatur nehmen sie eine unterstützende Funktion für die Wirbelsäule bei Schwingungsbelastung an. Insbesondere vermag eine kräftige Rückenmuskulatur die Wirbelsäule abzustützen und somit stoßbedingte Verdrehungen und Knickungen der Wirbelsäule zu mindern. Umgekehrt muß davon ausgegangen werden, daß eine untrainierte Muskulatur die Belastbarkeit der Wirbelsäule herabsetzt. JUNGHANNS (1979 a) führt dazu aus, daß infolge zunehmender Verminderung der Belastbarkeit der Rückenmuskulatur Ermüdungserscheinungen auftreten, die ihrerseits auch durch vibrationsbedingte Veränderungen der Muskelaktivität hervorgerufen werden können. Als Folge der Muskelermüdung resultieren Fehlhaltungen sowie besonders ungünstige Wirkungen auf die Bänder der Wirbelsäule und auf die Zwischenwirbelscheiben.

#### 4.4 Prädilektionsstellen

Aus dem anatomischen Aufbau der Zwischenwirbelscheibe und des Wirbelkörper-Bandscheibe-Überganges zeichnen sich hinsichtlich biomechanischer Dauerbelastungen einschließlich Vibrationen verschiedene inter-individuelle Gefahrenstellen für Schädigungsmöglichkeiten ab (JUNGHANNS, 1979 a):

1. Die verflechtenden Fasereinstrahlungen zwischen den gegensinnig gekreuzt verlaufenden Lamellen des Faserringes. Ihre Funktion ist die Verhinderung des freien Gleitens zwischen den Lamellen. Bei Torsionsschwingungen können durch Wechsellastungen konzentrische Spalten als Initialschaden entstehen.
2. Die Übergangszone zwischen Gallertkern und inneren Faserringschichten. WASSILEW (1970) entdeckte bei Experimenten mit Bandscheiben von Katzen und Mäusen, daß dieser Übergangszone eine besondere Rolle im Metabolismus der Bandscheibe zukommt.
3. Die Verankerungsstellen des Anulus fibrosus in der knöchernen Wirbelkörper-Randleiste. Ähnlich den Sehnenfasern an Knochenansatzstellen sind sie bei mechanischen Belastungen wie Vibration besonders beansprucht. Neben einem lokalen "Zerfasern" ist von Bedeutung die Lösung des Randleistenringes als Ursache für die Entstehung der Spondylosis deformans. Parallelen zu anderen Ansatzerkrankungen haben mikroskopische Untersuchungen bei der Akroosteopathie in Form von Abtrennungen von Sehnen an ihren Ansatzstellen aufgedeckt.
4. Die Einstrahlungen von Fasern des Lamellenringes in die Hyalinknorpelplatte. Die entwicklungsgeschichtlich zum Wirbelkörper gehörende Knorpelplatte erfährt durch die einstrahlenden Ringfasern eine derart enge Verbindung zur Bandscheibe, daß beide funktionsgemäß eine Einheit bilden.
5. Der Wirbelkörper-Bandscheibe-Übergang mit Wirbelkörperabschlußplatte (porenhaltige Siebplatte) und Hyalin-

knorpelplatte. Als Folgen von Dauerbelastung werden Mikrofissuren oder Mikrofrakturen (FARFAN, 1973) und Trümmerzonen mit Nekrosen (BECHTOLD, 1969) beschrieben. Solche Schäden beschränken sich nicht auf die Knochenplatte der Wirbelkörper, sondern sie bestehen auch in ähnlicher Weise in der anliegenden Hyalinknorpelplatte. BECHTOLD (1969) beschreibt die Veränderungen als Folgen der Überbelastung bei Bandscheibendegeneration. Umgekehrt ist es aber auch möglich, daß der Bandscheibenverschleiß erst auftritt als Folge von vorhergehenden Veränderungen im Bereich der Grenzschichten, die mit einer Behinderung des Diffusionsstromes einhergehen und damit die Ernährung der Bandscheibe verschlechtern. Ungeklärt ist ferner, ob sich in den Endkapillaren und den sinusartigen Gefäßerweiterungen, die durch Poren der knöchernen Siebplatte bis in die Hyalinknorpelschicht vordringen, vibrationsbedingte Veränderungen einstellen. Solche Schädigungen kommen an den Fingerkapillaren vor und werden als Folge von vibrationsbedingten nervalen Störungen angesehen.

6. Rückwärtiger Bezirk der Zwischenwirbelscheibe. Hier treten die häufigsten Radialrisse vom Gallertkern bis zu den äußeren Ringschichten auf, die den Weg vorbereiten für die Protrusio oder den Prolaps disci.

JUNGHANNS (1979 a) faßt zusammen, daß Vibrationsdauerbelastung an den mit den Ziffern 1, 2, 4 und 5 bezeichneten Gefährdungsstellen der Bandscheibe - allerdings mit verschiedenem Gewicht - Bedeutung für die Entstehung der Chondrosis disci und der Weiterentwicklung zur Osteochondrosis intercorporalis haben können. In dem unter Ziffer 3 bezeichneten Gebiet ist die Ursache für die Spondylosis deformans zu suchen. Ziffer 6 weist auf Schadensstellen hin, die zusammenhängen mit der Entwicklung des Prolaps disci, welcher pathomorphologisch ebenfalls zur Chondrosis disci bzw. Osteochondrosis intercorporalis gehört.



## 5 Eigene Untersuchungen

### 5.1 Material und Methode

Röntgenaufnahmen der Lendenwirbelsäule (LWS) von Erdbau-  
maschinenfahrern (EMF) und eines Vergleichskollektivs (VK)  
sowie Befragungsunterlagen hinsichtlich subjektiver LWS-  
Beschwerden von einem Teil des EMF-Kollektivs bildeten die  
Grundlagen der eigenen Untersuchungen.

Im Rahmen des RHEINBRAUN-Forschungsprojektes (KÖHNE et al.,  
1982; Kap. 1) wurde eine auf einen bestimmten Zeitpunkt  
bezogene LWS-Röntgen-Reihenuntersuchung der EMF nicht  
durchgeführt, da man auf Voruntersuchungen aus dem Röntgen-  
archiv des "Arbeitsmedizinischen Zentrums" der RHEINBRAUN  
in Köln zurückgreifen konnte. In der eigenen Studie gelang-  
ten ebenfalls ausschließlich diese dort vorhandenen Rönt-  
genaufnahmen zur Auswertung - sowohl zur Bildung des EMF-  
Kollektivs als auch des VK.

Es handelte sich um LWS-Röntgenbilder, die rechtsanliegend  
im seitlichen Strahlengang (sowie in geringerer Zahl in  
zwei Ebenen) bei liegendem Patienten mit Hilfe eines Be-  
lichtungsautomaten aufgenommen worden waren. Bei der Ein-  
teilung der Röntgenaufnahmen in drei Degenerations-Schwere-  
grade (Kap. 3.2) standen die durch die RHEINBRAUN-Röntgen-  
abteilung (Leitender Arzt: Dr.med. G. ZERLETT) erhobenen  
schriftlichen Befunde als Entscheidungshilfe mit zur Ver-  
fügung.

Das Kollektiv der EMF und das VK wurden hinsichtlich ihrer  
Häufigkeitsverteilungen der drei röntgenologischen Stadien  
degenerativer LWS-Veränderungen untersucht - und zwar  
bezogen jeweils auf das Alter in Halbdekaden und Dekaden  
sowie bei den EMF zusätzlich auf die Berufsjahre in Halb-  
dekaden. Anhand der erhobenen LWS-Röntgenbefunde erfolgte

der statistische und graphische Vergleich beider Kollektive, einmal als Gesamtkollektive und darüber hinaus aufgeschlüsselt in Altersgruppen.

Die subjektiven LWS-Beschwerden ergaben sich aus den freiwilligen Antworten der EMF bei einer im Rahmen des o.g. Forschungsprojektes durchgeführten Befragungsaktion durch RHEINBRAUN-Betriebsärzte im Winter 1979/80. Neben anderen lauteten die, die Wirbelsäule betreffenden Fragen:

- "4. Wirbelsäulenbeschwerden? - Welche?",
- "11. Wann sind die von Ihnen vorgetragenen Beschwerden erstmalig aufgetreten? - Zeitpunkt: ...",
- "12. Stehen Sie wegen gesundheitlicher Störungen in ärztlicher Behandlung? - Wegen welcher?" (Anhang Nr. 2 und 3).

Berücksichtigt wurden in der eigenen Untersuchung die Antworten nur, wenn die angegebenen Beschwerden sich eindeutig - unter dem Begriff Lumbalsyndrom (KRÄMER, 1978) subsumieren ließen, und wenn sie - einen Rückschluß auf ein Bestehen während des Zeitraumes der Anfertigung der LWS-Röntgenaufnahme zuließen.

Konzentriert auf den Aussageinhalt: "Subjektive LWS-Beschwerden zum Zeitpunkt der LWS-Röntgenuntersuchung - ja oder nein" erfolgte die statistische und graphische Auswertung als EMF-Teilkollektiv. Dabei wurden die Befragungsergebnisse in Beziehung gesetzt zu den Berufsjahren in Halbddekaden und dem Lebensalter in Halbddekaden und Dekaden sowie - als Vergleich von subjektiven und objektiven EMF-Daten - den drei röntgenologischen Schweregraden der LWS-Degeneration gegenübergestellt.

Im Medizinischen Institut für Dokumentation und Statistik der Universität Köln (Direktor: Prof.Dr.med. V. WEIDTMAN) konnten unter wissenschaftlicher Betreuung von Herrn Dr. E. GODEHARDT die statistischen Auswertungen der Untersuchungs-

materialien vorgenommen werden. Die Berechnungen der Histogramme, Kontingenztafeln und  $\text{Chi}^2$ -Werte basieren auf dem "Statistik-Programm-System für die Sozialwissenschaften" (BEUTEL et al., 1980). Ergänzende  $\text{Chi}^2$ -Berechnungen erfolgten anhand der Anleitungen von B.S. EVERITT (1977) in "The Analysis of Contingency Tables". Zur Beurteilung des Signifikanz-Niveaus ist folgende Einteilung der Irrtumswahrscheinlichkeit (p) zugrunde gelegt worden:

p < 0,05 = signifikant,  
p < 0,01 = hoch signifikant,  
p < 0,001 = höchst signifikant.

Auf den im Anhang dokumentierten Kontingenztafeln (Computer-Ausdrucke) lassen sich neben den Signifikanz-Berechnungen ferner die jeweiligen absoluten Häufigkeiten als "COUNT" und die Randhäufigkeiten unter "ROW TOTAL" oder "COLUMN TOTAL" in Absolutzahlen sowie die bedingten Häufigkeiten (absolute Häufigkeit bezogen auf Randhäufigkeit) als "ROW PCT" oder "COL PCT" und die relativen Häufigkeiten (Randhäufigkeit bezogen auf die die Gesamtzahl) unter "ROW TOTAL" oder "COLUMN TOTAL" in Prozentzahlen ablesen (HABERMEHL, 1984).

## 5.2 Kollektiv der Erdbaumaschinenfahrer (EMF)

Für das "HdA-Forschungsprojekt" wurden bei RHEINBRAUN im Jahre 1979 352 EMF erfaßt, die eine "mehrjährige Berufspraxis" aufwiesen (KÖHNE et al., 1982). Die Auswahl aus diesem Personenkreis für die eigenen Untersuchungen erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Vorhandensein einer LWS-Röntgenaufnahme des jeweiligen EMF im Archiv der RHEINBRAUN bis zum Jahrgang 1980 ohne Berücksichtigung der Indikationsstellung bzw. der Anamnese,
- Nachweis einer regelmäßigen ununterbrochenen Berufstätigkeit als EMF von mindestens 10 Jahren zum Zeitpunkt der Anfertigung der LWS-Röntgenaufnahme und
- Ausschluß von EMF, die überwiegend oder auch nur zeitweise auf LKW's, Unimogs, Gleisgeräten u.dgl. eingesetzt waren (Anhang Nr. 1).

Nach Durchführung dieser Selektion besteht das Kollektiv aus 273 Männern mit einer durchschnittlichen Berufstätigkeit als EMF von 17,6 Jahren (Anhang Nr. 4). Die Lebensarbeitszeiten als EMF erstrecken sich über 10 bis 33 Berufsjahre, wobei 50,5 % "15-19 Jahre" im Beruf standen. "20-24" bzw. "10-14 Jahre" EMF-Tätigkeit weisen 23,4 % bzw. 21,2 % der Mitarbeiter auf. Weitere 4,0 % der EMF sind "25-29 Jahre" und 0,7 % mindestens 30 Jahre berufstätig gewesen (Anhang Nr. 7). Die Verteilung in Absolutzahlen zeigt das Histogramm in Abb. 5.

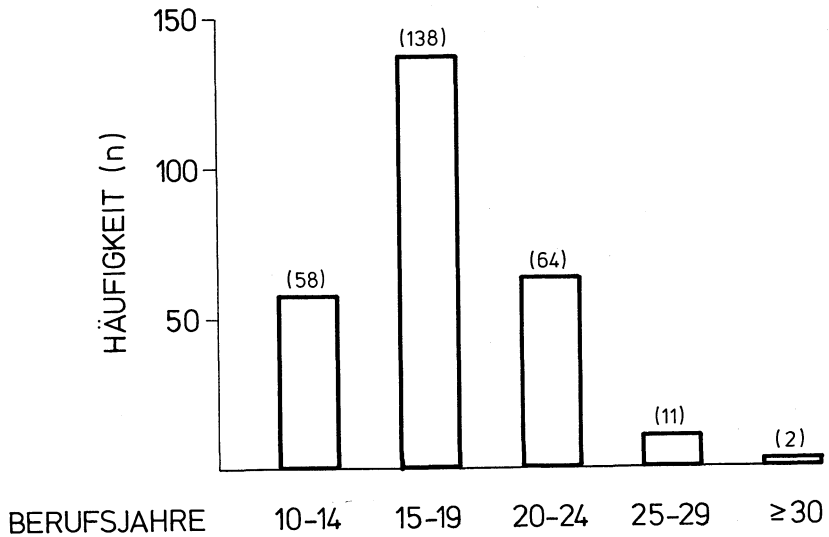


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung von 273 EMF bezogen auf Berufsjahre in Halbdekaden

In dem EMF-Kollektiv beträgt das Durchschnittsalter 42,8 Jahre, der jüngste EMF mit mindestens zehnjähriger Berufstätigkeit ist 32 Jahre, der älteste 62 Jahre alt (Anhang Nr. 5). Das Alter der EMF bei Berufsaufnahme liegt bei mindestens 22 Jahren und beträgt im Durchschnitt 25,2 Jahre. Nahezu die Hälfte (48,7 %) findet sich in der Altersgruppe "32-41 Jahre" wieder. Weitere 41,8 % EMF gehören zu der Gruppe der "42-51"-jährigen, 9,5 % sind älter als 51 Jahre (Anhang Nr. 9). Die Altersverteilung in Absolutzahlen belegt das Histogramm in Abb. 6.

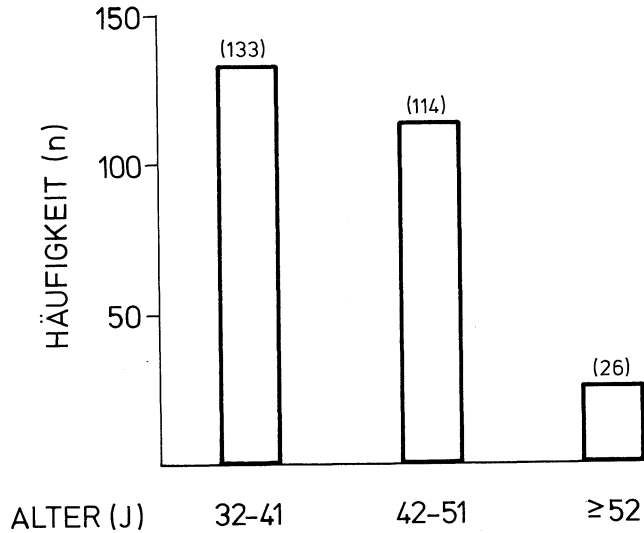
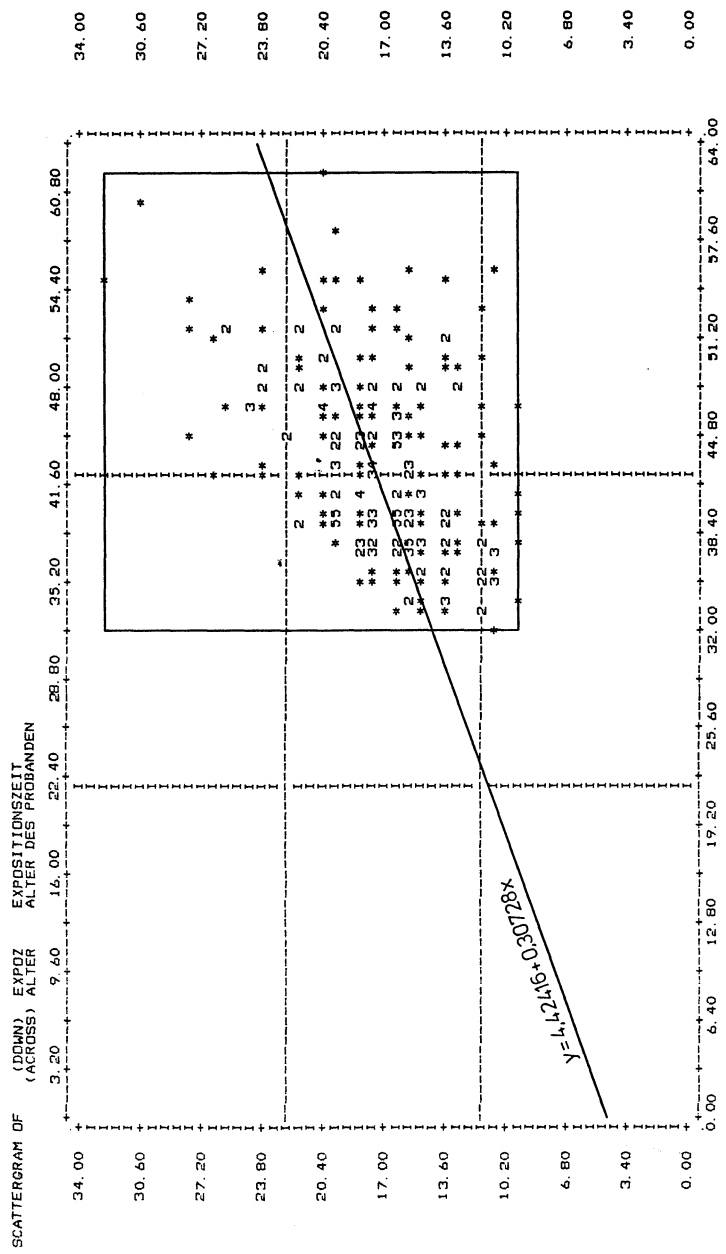


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung von 273 EMF bezogen auf Altersdekaden

Die Beziehung zwischen Lebensalter und Anzahl der Berufsjahre wird veranschaulicht durch graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Personen des EMF-Kollektivs in Form einer "Punktwolke" (Abb. 7). Diese findet ihre äußere Begrenzung durch die Mindest- bzw. Maximal-expositionszeit von 10 bzw. 33 Jahren sowie durch das Mindest- bzw. Höchstalter von 32 bzw. 62 Jahren, so daß die Regressionsgerade nicht durch den Nullpunkt (Intercept (A) = 4,42416) verläuft. Die breite Streuung der 273 Probanden um die Regressionsgerade drückt graphisch eine schwache Korrelation ( $R = 0,45895$ ) zwischen der Anzahl von Berufsjahren und dem Lebensalter in dem untersuchten EMF-Kollektiv aus. Dieses Ergebnis weist in sich eine höchste Signifikanz auf ( $p = 0,00001$ ).



STATISTICS.

CORRELATION (R) - .00001  
 INTERCEPT (A) - 4.36728  
 SLOPE (B) - .30728

PLOTTED VALUES - 273 EXCLUDED VALUES - 0 MISSING VALUES - 0

SIGNIFICANCE R - .00001  
 SIGNIFICANCE A - 1.05107  
 STD ERROR OF B - .00813

STD. ERR. OF EST - 3.46779  
 SIGNIFICANCE B - .00677  
 SIGNIFICANCE C - .00691

Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der EMF: Anzahl der Berufsjahre als Funktion des Alters

Bei 217 EMF, das sind 79,5 % des Gesamtkollektivs, konnten aufgrund der oben beschriebenen Auslese (Kap. 5.1) die Befragungserhebungen hinsichtlich subjektiver LWS-Beschwerden zum Zeitpunkt der LWS-Röntgenuntersuchung mit ausgewertet werden. Dieses EMF-Teilkollektiv weist bezüglich Berufsjahre und Lebensalter annähernd die gleiche Zusammensetzung auf wie das EMF-Gesamtkollektiv: Durchschnittsalter 42,7 (bzw. 42,8) Jahre, durchschnittliche Berufstätigkeit 17,7 (bzw. 17,6) Jahre. Die Altersspanne reicht von 33 bis 58 (bzw. 32 bis 62) Jahre, die Berufstätigkeiten erstrecken sich über 10 bis 30 (bzw. 10 bis 33) Jahre.



### 5.3 Vergleichskollektiv (VK)

Als Vergleichskollektiv wurden männliche Einstellungsbe-  
werber bei RHEINBRAUN unabhängig von ihrer (Berufs-)Anam-  
nese und dem Ausgang des Einstellungsverfahrens ausgewählt.  
Berücksichtigung fanden die Bewerber, von denen im Röntgen-  
archiv des "Arbeitsmedizinischen Zentrums" der RHEINBRAUN  
innerhalb der Archiv-Jahrgänge 1973-80 eine LWS-Röntgen-  
aufnahme existierte, bei deren Anfertigungsdatum die be-  
treffende Person - orientiert am Altersminimum der EMF -  
mindestens 32 Jahre alt war.

Zur Auswertung gelangten 324 Männer mit einem Durch-  
schnittsalter von 41,4 Jahren. In Analogie zu den EMF sind  
die jüngsten Bewerber 32 Jahre alt, das Höchstalter beträgt  
60 Jahre (Anhang Nr. 6). In Altersdekaden geordnet vertei-  
len sie sich wie folgt: über die Hälfte (57,4 %) fallen in  
die Altersgruppe "32-41 Jahre", 31,8 % finden sich in der  
Altersdekade "42-51 Jahre" und 10,8 % sind älter als  
51 Jahre (Anhang Nr. 11). Die Verteilung in Absolutzahlen  
veranschaulicht das Histogramm in Abb. 8.

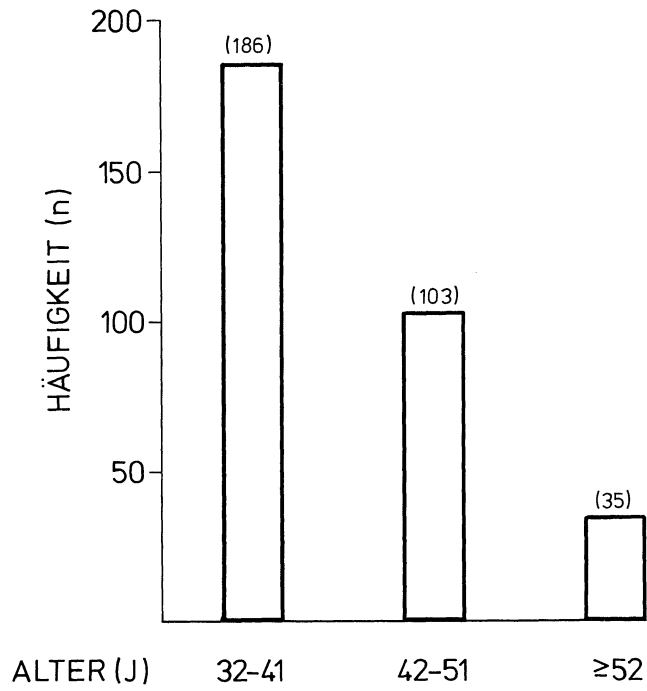


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung von 324 Personen des VK bezogen auf Altersdekaden

#### 5.4 Altersstrukturvergleich: EMF - VK

Neben der identischen Variablen "Geschlecht" wird die Vergleichbarkeit des EMF-Kollektivs mit dem VK durch ein weitgehendes Übereinstimmen der Basisvariablen "Lebensalter" gewährleistet. Im Gesamtvergleich differieren die Durchschnittsalter beider Kollektive um weniger als zwei Jahre, EMF: 42,8 Jahre - VK: 41,4 Jahre. Innerhalb der drei erfaßten Altersdekaden (Abb. 9) bleiben die Differenzen der Durchschnittsalter ebenfalls jeweils kleiner als zwei Jahre.

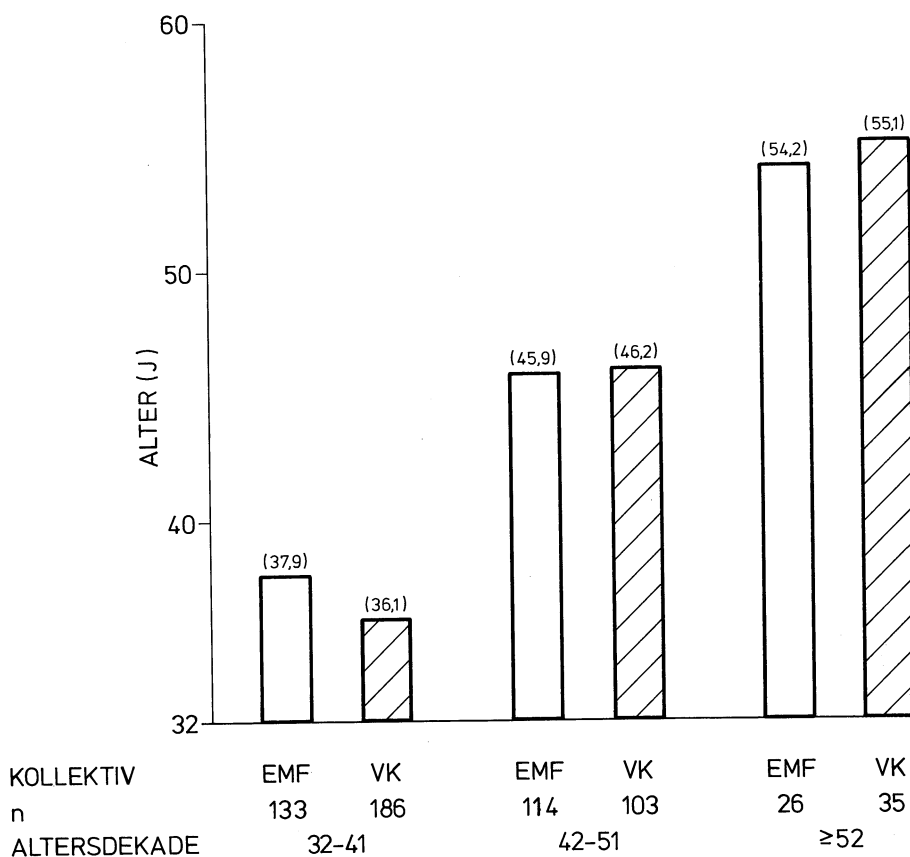


Abb. 9: Durchschnittsalter bezogen auf Altersdekaden, Vergleich: EMF - VK

### 5.5 Degenerative LWS-Röntgenbefunde bei EMF

Von den 273 Personen des EMF-Kollektivs weisen nur 17,2 % (N = 47) keine degenerativen Veränderungen der LWS auf. Die EMF mit degenerativen Röntgenbefunden verteilen sich mit 54,2 % (N = 148) überwiegend auf das Stadium I, bei 28,6 % (N = 78) der EMF liegt der Schweregrad II vor (Anhang Nr. 7 bis 9). Die Verteilung der relativen Häufigkeiten findet sich in Abbildung 15 wieder.

Graphisch dargestellt wird deutlich, daß mehr als vier Fünftel der EMF (N = 226 - 82,8 %) morphologisch faßbare degenerative LWS-Veränderungen (Stadium I plus II) aufweisen und daß dabei schwergradige degenerative Veränderungen häufiger als Normalbefunde vorkommen.

In Abhängigkeit einer zunehmenden Anzahl von Berufsjahren (Abb. 10) zeigt sich eine stetige Abnahme des Anteils der EMF mit Normalbefunden, so daß nach 22 Berufsjahren bei allen EMF degenerative Befunde vorliegen. Spiegelbildlich zum Stadium 0 wächst die in allen Berufsjahre-Halbdekaden vorherrschende Gruppe der EMF mit positivem Röntgenbefund (Stadium I plus II) berufsjahreabhängig, ausgehend von einem Zwei-Drittel-Anteil (69,0 %), über 83,3 % und 90,6 % auf einen vollen Hundertsatz in den beiden höchsten der untersuchten Halbdekaden an. Differenziert nach Schweregraden macht das Stadium I über "10-29 Jahre" den absolut größten Anteil aus, die Zunahme der Stadium-II-Anteile verläuft bis auf zuletzt 100 Prozent ansteigend (Anhang Nr. 7).

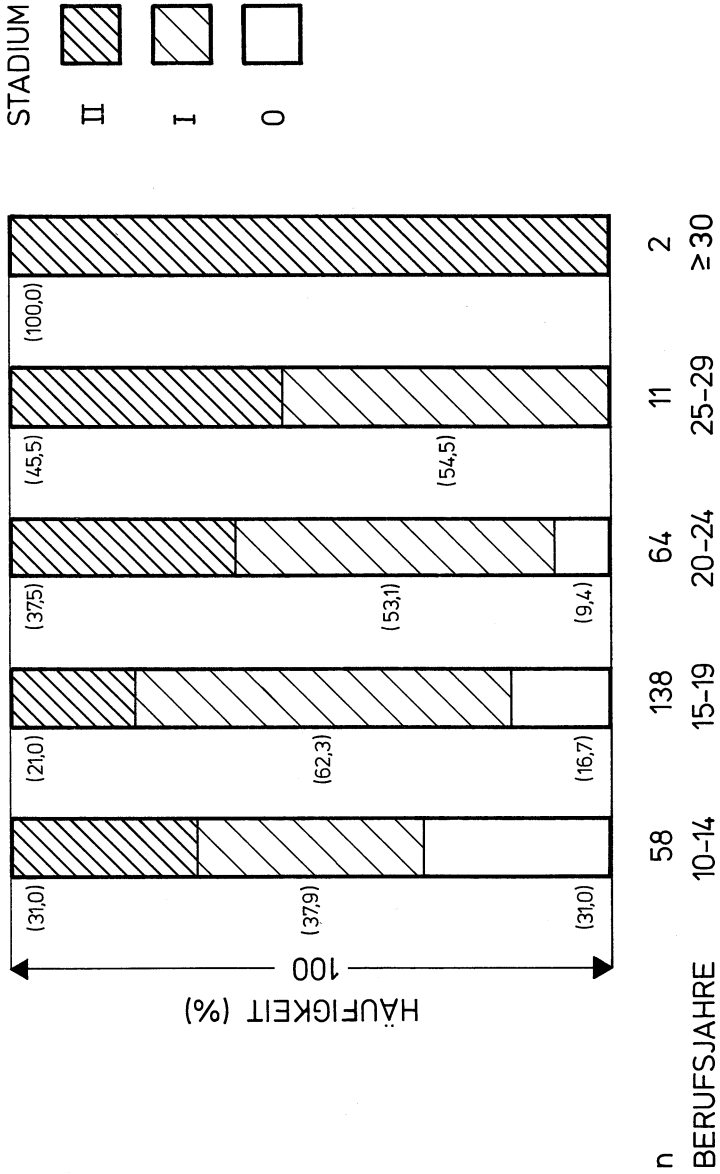


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der EMF mit verschiedenen Schweregraden degenerativer LWS-Befunde bezogen auf Berufsjahre in Halbdekaden ( $p = 0,0011$ )

Ausgehend von einer annähernden Drittelverteilung der Schweregrade geht der Anteil der EMF mit Normalbefunden mit zunehmender Berufstätigkeit kontinuierlich bis auf null Prozent zurück, so daß vice versa die degenerativen Befunde in ansteigender Form dominieren, bedingt einmal durch das Übergewicht der leichtgradigen Befunde und zum anderen aufgrund der Zunahme der schwergradigen LWS-Veränderungen.

Mit ansteigendem Lebensalter (Abb. 11) sinkt der EMF-Anteil ohne degenerative LWS-Befunde ("parabelförmig") ab: während in der ersten Altersgruppe das Stadium 0 am häufigsten vorkommt, können nach dem 47. Lebensjahr bei den EMF keine Normalbefunde mehr erhoben werden. Die beständige Zunahme der in allen Altershalbdekaden überwiegenden EMF mit degenerativen Röntgenbefunden (Stadium I plus II) drückt sich in Prozentzahlen wie folgt aus: 55,5 % - 76,0 % - 88,7 % - 98,1 % - 100 % - 100 %. Während der Schweregrad I ein Maximum bei den "37 - 41"-jährigen EMF und ein Minimum bei den ältesten EMF zeigt, nimmt der Prozentsatz für das Stadium II altersabhängig stetig in der Form zu, daß die extremen Häufigkeitsverteilungen am Anfang bzw. am Ende der untersuchten Altersspanne liegen (Anhang Nr. 8).

Aus der graphischen Darstellung ist ersichtlich, daß, ausgehend von einem Überwiegen der Normalbefunde zusammen mit den leichtgradigen LWS-Veränderungen, ab der dritten Altershalbdekade die Degenerationsstadien I und II dominieren, so daß ab der Altersgruppe "52-56 Jahre" bei den EMF röntgenologisch ausschließlich degenerative LWS-Befunde vorliegen, und zwar jeweils näherungsweise zu zwei Drittel mit Schweregrad II.

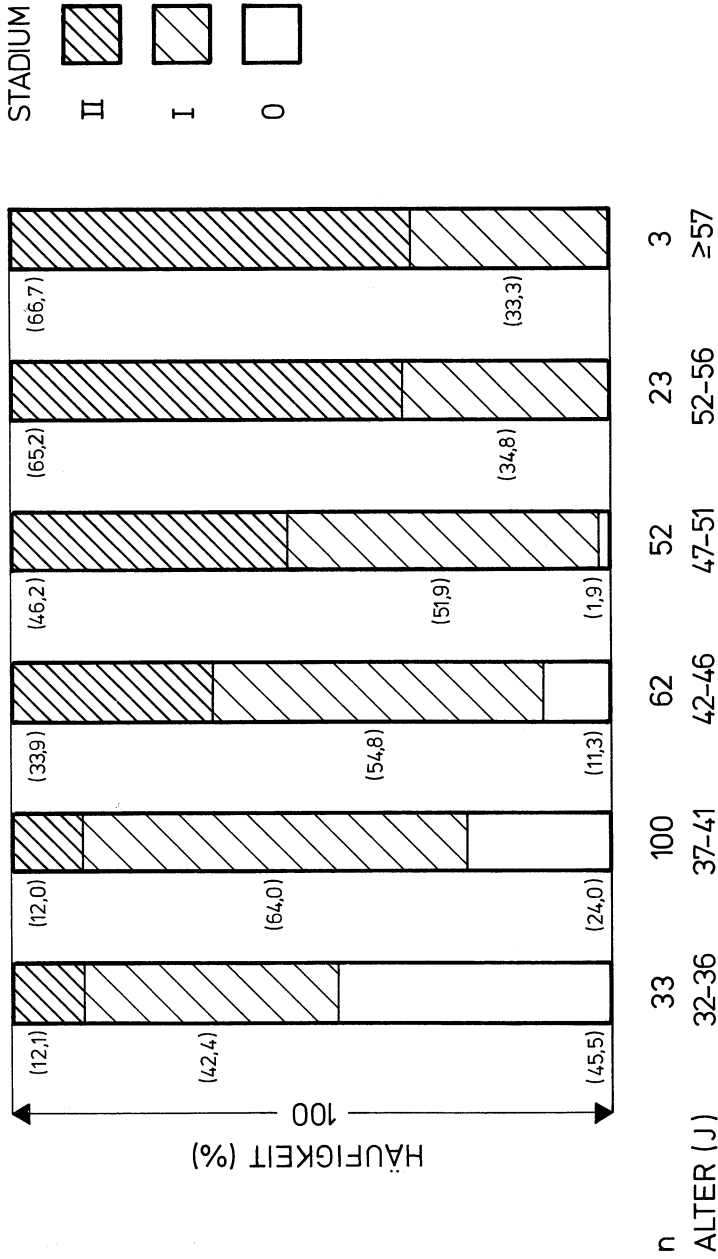


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung der EMF mit verschiedenen Schweregraden degenerativer LWS-Befunde bezogen auf Altershalbdekaden ( $p < 0,0001$ )

Durch Zusammenfassen der Lebensalter auf drei Altersdekaden (Abb. 12) werden die bei der Untersuchung bezogen auf Halbdekaden sich abzeichnenden Tendenzen bekräftigt.

Den sich altersabhängig verkleinernden Anteilen der Normalbefunde steht spiegelbildlich eine ("parabelförmige") Zunahme der degenerativen LWS-Veränderungen (Stadium I plus II) von 70,7 % über 93,0 % auf 100,0 % gegenüber. Dabei nimmt der Stadium-I-Anteil - ausgehend von einem Maximum in der ersten Dekade - in der Form ab, wie die Prozentzahlen für EMF mit schwergradigen Befunden - ausgehend von einem Minimum in der ersten Dekade - stetig anwachsen (Anhang Nr. 9).

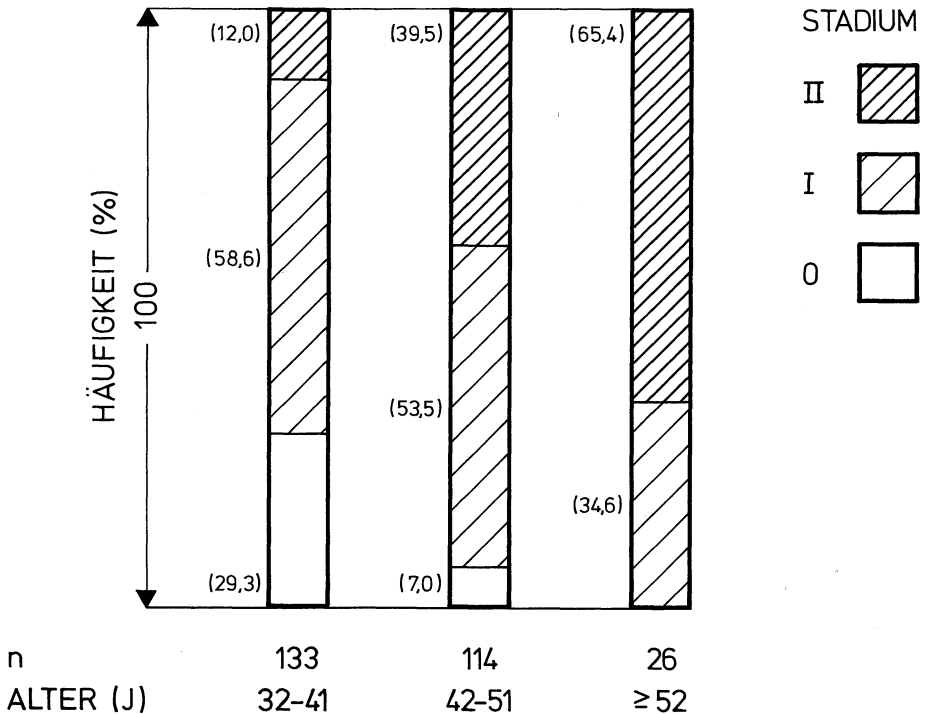


Abb. 12: Häufigkeitsverteilung der EMF mit verschiedenen Schweregraden degenerativer LWS-Befunde bezogen auf Altersdekaden ( $p < 0,0001$ )



Durch das Diagramm wird hervorgehoben, daß schon in der Dekade der "32-41"-jährigen EMF über zwei Drittel degenerative LWS-Befunde aufweisen und daß bei den ältesten EMF keine Normalbefunde, jedoch nahezu bei zwei Drittel schwergradige Veränderungen zu finden sind.

Die graphisch dargestellte Abhängigkeit der Zunahme degenerativer LWS-Röntgenbefunde bei den EMF von der Anzahl der Berufsjahre und dem Lebensalter konnte statistisch mit folgenden Signifikanz-Niveaus untermauert werden (Anhang Nr. 7 bis 9):

Berufsjahre	:	$p = 0,0011$
Altershalbdekaden	:	$p < 0,0001$
Altersdekaden	:	$p < 0,0001$

Aus diesen Berechnungen resultiert im Zusammenhang mit den Diagrammen in den Abbildungen 10 bis 12 die Schlußfolgerung, daß die Häufigkeitsverteilungen der drei Schweregrade röntgenologischer degenerativer LWS-Befunde in dem untersuchten EMF-Kollektiv hoch signifikant von der ansteigenden Anzahl der Berufsjahre und höchst signifikant von dem zunehmenden Lebensalter beeinflußt werden.

Zu dem Ergebnis, daß bei den EMF eine längere Berufszeit statistisch gesichert häufiger zu degenerativen LWS-Veränderungen führt, ist anzumerken, daß dieser Sachverhalt nicht ausschließlich auf einer natürlichen Altersabhängigkeit basiert, da der Anstieg der Berufsjahre als Funktion des Alters (Kap. 5.2) in dem untersuchten Kollektiv keiner strengen Linearität folgt.

## 5.6 Degenerative LWS-Röntgenbefunde im VK

Von 324 ausgewerteten LWS-Aufnahmen der Personen des Vergleichskollektivs sind über ein Drittel (N = 119 - 36,7 %) ohne degenerative Veränderungen. Der Anteil der Aufnahmen mit positiven degenerativen Befunden verteilt sich wie folgt: 44,8 % (N = 145) leichtgradige und 18,5 % (N = 60) schwergradige Veränderungen (Anhang Nr. 10 und 11). Auf der Basis von Prozentzahlen findet sich in Abbildung 15 die Häufigkeitsverteilung graphisch dargestellt wieder.

Es zeigt sich, daß der überwiegende Anteil (N = 264 - 81,5 %) der Röntgenbilder des VK entweder Normalbefunde oder nur leichtgradige degenerative LWS-Veränderungen aufweist und lediglich weniger als ein Fünftel dem Stadium II zuzuordnen ist.

Auf das Lebensalter bezogen, zuerst in Altershalbdekaden (Abb. 13) geordnet, ergeben sich für die Häufigkeitsverteilungen der drei LWS-Degenerationsstadien folgende Verhältnisse: in der ersten Halbdekade dominieren die Normalbefunde mit einem Prozentanteil von über zwei Drittel, so daß hier die größte Einzelverteilungshäufigkeit des gesamten VK über allen Halbdekaden vorliegt. Von dieser überdurchschnittlichen Repräsentanz des Stadiums 0 bei den jüngsten Personen des VK ausgehend, nimmt deren Anteil (nahezu "parabelförmig") mit zunehmendem Alter ab, ohne jedoch auf einen Nullwert abzusinken, da bis zum 58. Lebensjahr im VK noch vereinzelt LWS-Normalbefunde nachweisbar sind.

Die Stadium-0-Anteile stellen ein Spiegelbild der Häufigkeitsverteilungen degenerativer LWS-Veränderungen dar, die ab der zweiten Altershalbdekade dominieren - im Einzelnen sind es folgende Prozentzahlen (Stadium I plus II): 31,8 % - 67,1 % - 78,0 % - 90,9 % - 95,0 % - 86,7 %. Bei differenzierterer Betrachtungsweise findet sich für das Stadium I ein Häufigkeitsmaximum in der Halbdekade "47 - 51"

Jahre" und ein Minimum bei den ältesten Personen des VK. Von der kleinsten Einzelhäufigkeit ausgehend wächst der Anteil der schwergradigen LWS-Veränderungen altersabhängig auf über die Hälfte in der letzten Halbdekade (Anhang Nr. 10).

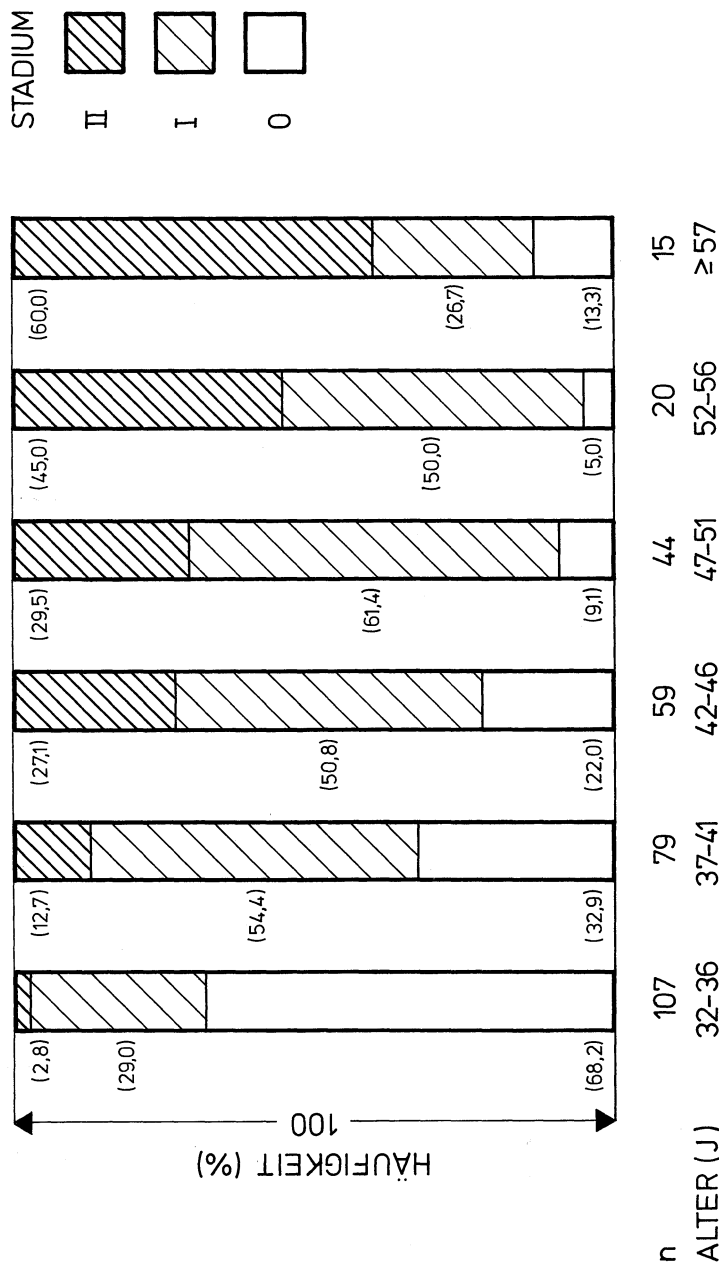


Abb. 13: Häufigkeitsverteilung der Personen des VK mit verschiedenen Schweregraden degenerativer LWS-Befunde bezogen auf Altershalbdekaden ( $p < 0,0001$ )

Die graphische Darstellung hebt die Tatsache hervor, daß bei den jüngsten erfaßten Personen die Normalbefunde überproportional vertreten sind, und daß auch in den höchsten Altershalbdekaden das Stadium 0 noch nachweisbar bleibt. In den dazwischen liegenden Halbdekaden ("37-56 Jahre") dominieren die leichtgradigen und erst in der höchsten Altersgruppe die schwergradigen degenerativen LWS-Befunde.

Weiteres Zusammenziehen der Lebensjahre auf Altersdekaden (Abb. 14) führt hinsichtlich der Häufigkeitsverteilungen der Schweregrade degenerativer LWS-Veränderungen zu übersichtlicheren Verhältnissen: in der ersten Dekade über die Hälfte ausmachend steht der nicht vollständigen Abnahme des Anteils der Personen mit Normalbefunden umgekehrt in gleicher Form die Zunahme der degenerativen Veränderungen (Stadium I plus II) von 46,8 % über 83,5 % auf 91,4 % gegenüber (s.a. Abb. 22). Im Vergleich zwischen leicht- und schwergradigen Befunden überwiegt das Stadium I in den Altersgruppen von "32-51 Jahren", danach das Stadium II, welches als kleinste Verteilungseinheit beginnend stetig (d.h. nahezu "linear") anwächst (Anhang Nr. 11).

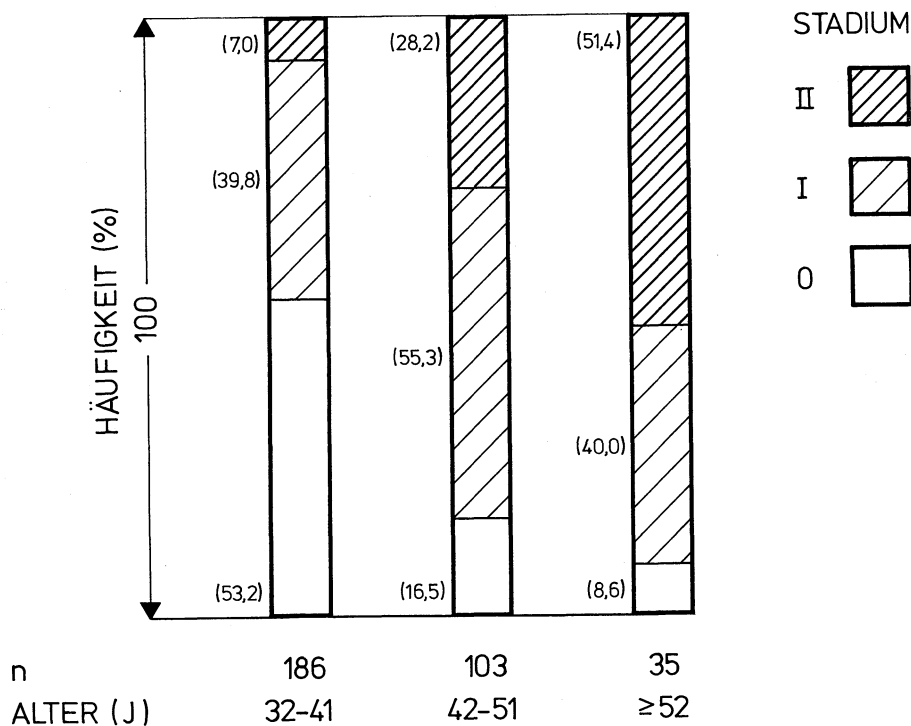


Abb. 14: Häufigkeitsverteilung der Personen des VK mit verschiedenen Schweregraden degenerativer LWS-befunde bezogen auf Altersdekaden ( $p < 0,0001$ )

Im Vergleichskollektiv überwiegen fast gleichstark um jeweils mehr als die Hälfte vom Hundertsatz in der ersten Dekade die Normalbefunde, in der zweiten die leichtgradigen und in der letzten Altersdekade die schwergradigen LWS-Befunde.

Den graphisch dargestellten Beziehungen zwischen den Häufigkeiten der LWS-Degenerationsstadien und dem Lebensalter der Personen des VK können folgende Signifikanz-Niveaus zugeordnet werden (Anhang Nr. 10 und 11):

Altershalbdekaden :  $p < 0,0001$

Altersdekaden :  $p < 0,0001$

Im Zusammenhang mit der Aussagekraft der Diagramme in den Abbildungen 13 und 14 resultiert, daß das zunehmende Lebensalter der männlichen Personen des VK höchst signifikant die Häufigkeitsverteilungen der drei Schweregrade degenerativer LWS-Veränderungen beeinflusst.

### 5.7 Vergleich der degenerativen LWS-Röntgenbefunde von EMF und VK

Der hervorragendste Unterschied im Vergleich der Gesamt-Kollektive (Abb. 15) besteht darin, daß Normalbefunde im VK mehr als doppelt so oft vorkommen wie im Kollektiv der EMF, das heißt, das EMF um 19,5 % häufiger degenerative Röntgenbefunde (Stadium I plus II) aufweisen als die Männer im VK. Bei Differenzierung in Stadium I und II zeigt sich jeweils ein in etwa gleichstarkes Übergewicht der EMF um 9,4 % und 10,1 % gegenüber dem VK (Anhang Nr. 12).

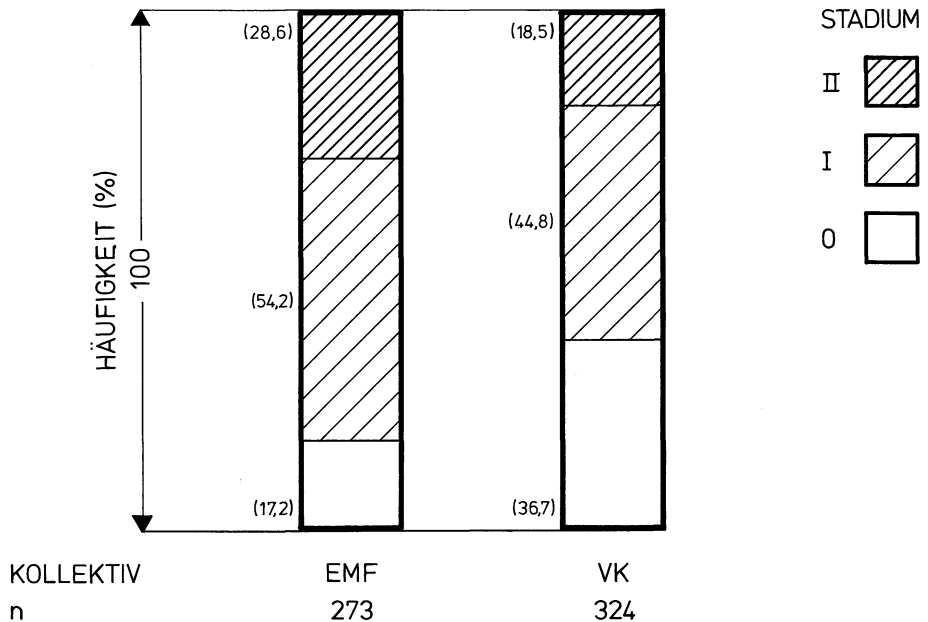


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung der Personen mit verschiedenen Schweregraden degenerativer LWS-Befunde, Vergleich: EMF - VK ( $p < 0,0001$ )

Während - auf alle drei Schweregrade bezogen - innerhalb der beiden Kollektive röntgenologisch die leichtgradigen Veränderungen den dominierenden Anteil ausmachen (bei den EMF im stärkeren Maße als im VK), besteht ein wesentlicher

Unterschied darin, daß beim VK die schweren Befunde am wenigsten häufig vorkommen und daß bei den EMF die Normalbefunde unterrepräsentiert sind. Das bedeutet, daß im VK bei mehr als vier Fünftel der LWS-Röntgenbefunde es sich um Normalbefunde und leichtgradige Veränderungen (Stadium 0 plus I = 81,5 %) handelt, und daß andererseits im EMF-Kollektiv ebenso bei mehr als vier Fünftel die leicht- und schwergradigen Veränderungen (Stadium I plus II = 82,8 %) vorherrschen.

Nach der Gesamtübersicht beider Kollektive liefert eine vergleichende Betrachtung in Altershalbdekaden und -dekaden weitere Unterscheidungsmerkmale.

Durch Ineinander-Projektion der EMF- und VK-Diagramme aus den Abbildungen 11 und 13 resultiert der graphische Vergleich (Abb. 16) beider Kollektive, basierend auf einer Aufgliederung der Lebensalter in Halbdekaden (Anhang Nr. 13 bis 18).

Während in beiden Kollektiven gleichermaßen eine altersabhängige (und angedeutet "parabelförmige") Abnahme der Häufigkeiten für Normalbefunde auffällt, drückt sich in allen untersuchten Altershalbdekaden ein Überwiegen der Stadium-0-Anteile bei den Personen des VK (im Gesamtvergleich um eine Differenz von 19,5 %) gegenüber den EMF durch folgende Häufigkeitsdifferenzen aus: 22,7 % - 8,9 % - 10,7 % - 7,2 % - 5,0 % - 13,3 %.

Neben diesem Übergewicht des VK in allen Altersgruppen einschließlich der größten Einzeldifferenz (bezogen auf alle drei Schweregrade über alle Halbdekaden) bei den "32-36"-jährigen Männern, ist von Bedeutung, daß im Gegensatz zu den EMF im VK bis zur letzten Halbdekade Normalbefunde vorliegen, die bei den EMF ab der Altersgruppe "52-56 Jahre" nicht mehr nachweisbar sind.

Spiegelbildlich zu den Normalbefunden stellen sich die Verhältnisse bei den degenerativen LWS-Veränderungen

(Stadium I plus II) dar, bei denen die EMF im Gegensatz zu den Männern des VK in allen Halbdekaden die größeren Häufigkeitsanteile aufweisen. Bei getrennter Analyse für die beiden Schweregrade treten weitere altersabhängige Unterschiede auf.

Die graphische Gegenüberstellung veranschaulicht, daß das Stadium I der LWS-Befunde in beiden Kollektiven den größten Verteilungsanteil ausmacht, im Gesamtvergleich 54,2 % bei den EMF und 44,8 % im VK. Die Dominanz der EMF resultiert daraus, daß sie vom "32. bis 46. Lebensjahr" um abnehmende Differenzen von 13,4 %, 9,6 % und 4,0 % überwiegen, und daß umgekehrt danach in den beiden Altersgruppen der "47-56"-jährigen die Personen des VK mit zunehmenden Differenzen von 9,5 % und 15,2 % größere Häufigkeitsanteile beanspruchen. Dieser altersabhängigen gegenläufigen Tendenz steht entgegen, daß in der sechsten Halbdekade die EMF erneut um 6,6 % häufiger vertreten sind - aufgrund kleiner Absolutzahlen kann dieser Tatsache aber kein großes Gewicht beigegeben werden.

Ein weiterer altersabhängiger Unterscheidungspunkt zwischen EMF und VK ergibt sich aus dem zeitlichen Auftreten der Häufigkeitsmaxima für leichtgradige degenerative LWS-Befunde: in beiden Kollektiven liegen sie zwar in der gleichen Größenordnung, die EMF erreichen jedoch mit 64,0 % in der Altershalbdekade "37-41 Jahre" für das Stadium I ihren größten Häufigkeitsanteil zehn Jahre früher als das VK (61,4 %).

Für das Degenerationsstadium II gilt in beiden Kollektiven, daß dessen Anteile an der Verteilung der drei Schweregrade in den beiden ersten Halbdekaden am geringsten sind, und daß durch stetiges Anwachsen die Stadium-II-Anteile zuletzt mehr als die Hälfte an der Gesamtverteilung ausmachen.

Insgesamt überwiegen die EMF gegenüber dem VK (durchschnittlich um 10,1 %) in allen Halbdekaden - mit Ausnahme der zweiten Altersgruppe - um folgende Differenzen bei den Häufigkeitsverteilungen für das Stadium II: 9,3 % -



(-0,7 %) - 6,8 % - 16,7 % - 20,2 % - 6,7 %. Die Bedeutung der Unterschiede zuungunsten der EMF bei den älteren Personen (Altersgruppen "47-56 Jahre") wird durch die Tatsache hervorgehoben, daß es sich bei den dort zeigenden Häufigkeitsdifferenzen um die zweit- bzw. drittgrößte Einzeldifferenz bezogen auf alle drei Schweregrade über allen Halbdekaden handelt.

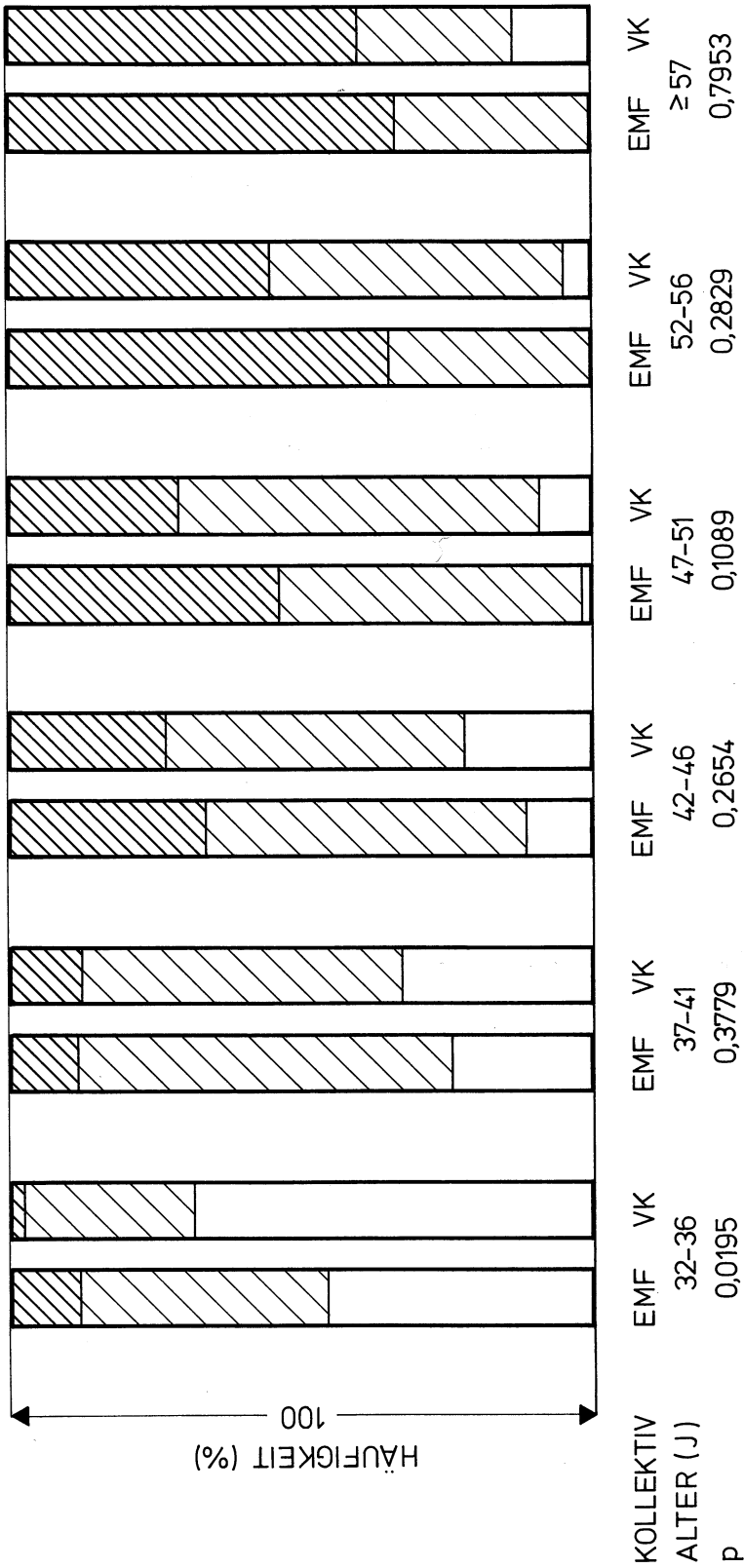


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Personen mit verschiedenen Schweregraden degenerativer LWS-Befunde bezogen auf Altershalbdekaden, Vergleich: EMF - VK (Prozentsätze und Legende entsprechen Abb. 11 und 13)

Als entscheidend bei einer zusammenfassenden Betrachtung fällt das gegenläufige Verhalten der Häufigkeitsverteilungen für die röntgenologischen Stadien 0 und II auf. Während der Anteil der Normalbefunde beider Kollektive - mit einem generellen Überwiegen des Anteils der Personen aus dem VK - altersabhängig ("parabelförmig") abnimmt, steigt bei den schwergradigen Röntgenbefunden - mit einer Differenz zuungunsten der EMF - der Anteil beider Kollektive an der Gesamtverteilung mit zunehmendem Alter kontinuierlich an. Daraus entwickeln sich weitere markante Unterschiede zwischen EMF und VK: in der jüngsten Altersgruppe überwiegen überproportional die Männer des VK bezüglich der Häufigkeiten von Normalbefunden, andererseits dominieren bei den älteren Personen die EMF in überdurchschnittlicher Weise hinsichtlich des Auftretens schwergradiger degenerativer Veränderungen der LWS.

Aufgrund der besonderen Verhältnisse bei Stadium 0 und II ergibt sich für die leichtgradigen LWS-Befunde eine altersabhängige Umkehrung der Häufigkeitsbeziehungen: bis zur Altershalbdekade "42-46 Jahre" dominieren die EMF, danach tendenziell die Personen des VK, ohne jedoch die Gesamtüberzahl der EMF gegenüber dem VK bei Stadium I im Bereich der untersuchten Altersspanne zu beeinflussen. Das Häufigkeitsmaximum für EMF liegt zehn Jahre vor dem des VK.

Als Summe der Häufigkeitsverteilungen von Stadium I plus II stellen sich die Unterschiede bei den degenerativen LWS-Befunden spiegelbildlich zu den Normalbefunden dar: mit der größten Häufigkeitsdifferenz in der Halbdekade "32-36 Jahre" beginnend überwiegen die EMF gegenüber dem VK auch in allen weiteren Altersgruppen in der Form, daß bei den EMF höheren Alters im Vergleich zum VK ausschließlich die Stadien I und II nachweisbar sind.

Durch Zusammenlegen der Lebensalter in Dekaden (Abb. 17, Anhang Nr. 19 bis 21) werden die sich bei der Einteilung in

Altershalbdekaden abzeichnenden Unterschiede zwischen EMF-Kollektiv und VK übersichtlicher beurteilbar. Zum Vergleich beider Kollektive vermittelt die tabellarische Zusammenstellung der Differenzbildungen aus den Häufigkeitsverteilungen der Degenerationsstadien pro Altersdekade (EMF minus VK) folgende Übersicht:

Alter:	32-41 J.	42-51 J.	≥ 52 J.
Schweregrad:			
Stadium 0	- 23,9 %	- 9,5 %	- 8,6 %
Stadium I	+ 18,8 %	- 1,8 %	- 5,4 %
Stadium II	+ 5,0 %	+ 11,3 %	+ 14,0 %

Diese in Prozentzahlen ausgedrückten Differenzen finden sich auch in der Graphik der Abbildung 17 wieder, die durch Ineinander-Projektion der EMF- und VK-Diagramme aus den Abbildungen 12 und 14 entsteht.

Die gravierendste Einzeldifferenz überhaupt zwischen EMF und VK findet sich bei den Normalbefunden in der Gruppe der "32-41"-jährigen Personen: das VK dominiert hier um fast ein Viertel. Altersabhängig vermindert sich zwar die Differenz zwischen beiden Kollektiven, die im Durchschnitt 19,5 % (EMF < VK) beträgt, jedoch in der Form, daß auch in der letzten Dekade, wo bei den EMF keine Normalbefunde mehr anzutreffen sind, im VK das Stadium 0 noch nachweisbar bleibt.

Als Spiegelbild zu den Häufigkeitsverteilungen bei den Normalbefunden stellen sich die Verhältnisse bei den degenerativen LWS-Befunden (Stadium I plus II) dar. In Umkehrung der Stadium-0-Zustände zeigt es sich, daß die degenerativen Veränderungen mit sich verkleinernden Differenzen zuungunsten der EMF altersabhängig (näherungsweise "parabelförmig") zunehmen. Im Hinblick auf die einzelnen Schweregrade sind bezogen auf Altersdekaden weitere Differenzierungen möglich.

In beiden Kollektiven beansprucht das Stadium I jeweils die größten Verteilungsanteile mit einem durchschnittlichen Übergewicht der EMF von 9,4 %. Im Vergleich zum Durchschnitt ist der Unterschied in der ersten Dekade genau doppelt so groß und stellt damit die zweitgrößte Einzeldifferenz überhaupt dar. Danach kehrt sich das Verhältnis in den höheren Altersklassen um, so daß die leichtgradigen Befunde zunehmend im VK vorherrschen. Als weiterer Ausdruck dieser altersabhängigen Verteilungsunterschiede resultiert, daß das Häufigkeitsmaximum für das Stadium I bei den EMF zehn Jahre vor dem des VK liegt.

Übersichtliche Beziehungen bestehen bei den Häufigkeitsverteilungen der auf Altersdekaden bezogenen schwergradigen LWS-Veränderungen beider Kollektive. Beginnend mit der kleinsten Anteilstärke wächst das Stadium II in beiden Kollektiven stetig auf eine dominierende Größe an. Als Ausdruck des Gesamtübergewichts der EMF (im Durchschnitt um 10,1 %) steigen deren Stadium-II-Anteile jedoch progressiver an als die im VK. Diese Divergenz führt zu einer überdurchschnittlichen Dominanz (drittgrößte Einzeldifferenz) der EMF in der höchsten Altersdekade: nach dem 51. Lebensjahr finden sich bei etwas mehr als der Hälfte der Personen des VK schwergradige LWS-Befunde, bei den EMF sind es dagegen fast zwei Drittel.

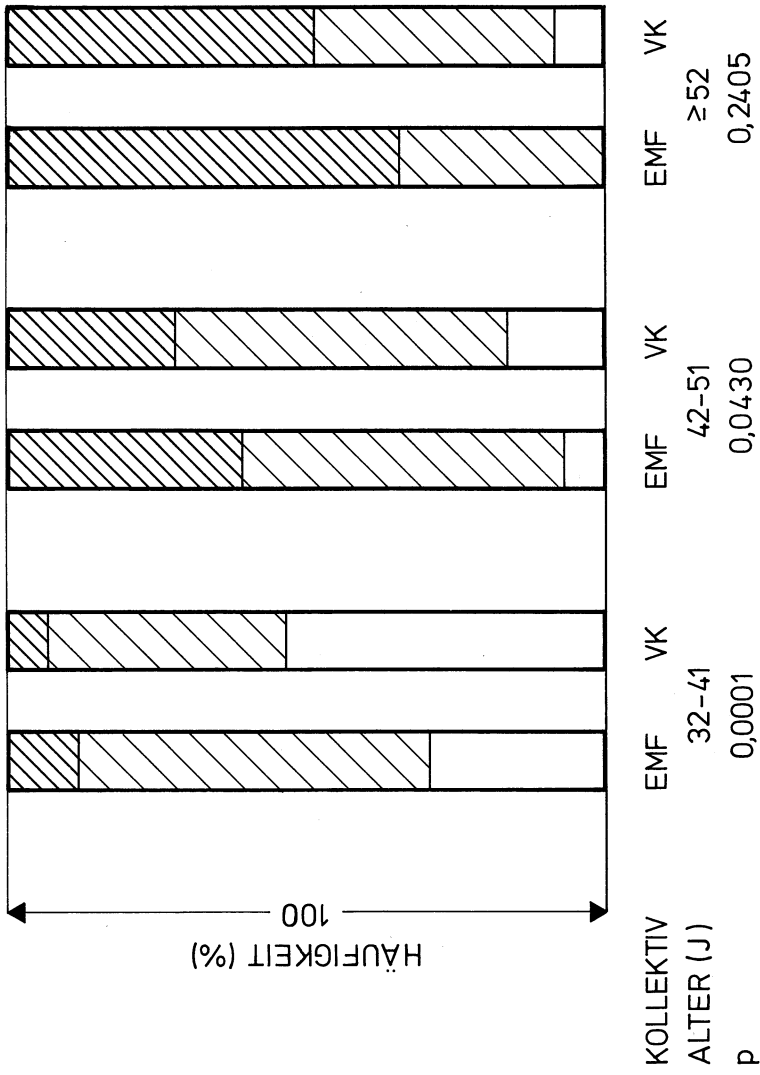


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der Personen mit verschiedenen Schweregraden degenerativer LWS-Befunde bezogen auf Altersdekaden, Vergleich: EMF - VK (Prozentsätze und Legende entsprechen Abb. 12 und 14)

Die graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilungen der Schweregrade röntgenologischer degenerativer LWS-Befunde bei EMF und VK bezogen auf Altersdekaden führt zu folgenden Schlußfolgerungen:

Die - in jüngeren Lebensjahren ausgeprägte und mit zunehmendem Alter abnehmende - Unterrepräsentanz der EMF bei den Normalbefunden sowie das - altersabhängig deutlich anwachsende - Überwiegen der EMF bei den schwergradigen degenerativen LWS-Befunden sind generell in allen drei Dekaden nachweisbar. Daneben dominieren bei den leichtgradigen LWS-Veränderungen in der ersten Dekade die EMF mit einem überproportionalen Häufigkeitsmaximum im Vergleich zum VK, welches in den höheren Altersdekaden, mit einem zehn Jahre später auftretenden Häufigkeitsmaximum, zunehmend überwiegt.

Aus der Sicht der EMF erfolgen zusammengefaßt die Abnahme der Häufigkeiten für Normalbefunde sowie der Anstieg der Stadium-II-Anteile früher als im VK und scheinen dabei einer Parabelform bzw. einer linearen Funktion zu folgen (Abb. 16 und 17).

Den wesentlichen Aussagen über die Unterscheidungsmerkmale zwischen EMF und VK bezüglich degenerativer LWS-Befunde aus den graphischen Darstellungen liegen bei statistischer Überprüfung folgende Signifikanz-Niveaus zugrunde (Anhang Nr. 12 bis 21):

Gesamtverteilungen:

Stadium 0/Stadium I plus II	:	$p < 0,0001$
Stadium 0/I/II	:	$p < 0,0001$

Altersverteilungen:

Altershalbdekade "32-36 J."	:	$p = 0,0195$
Altershalbdekade "37-41 J."	:	$p = 0,3779$
Altershalbdekade "42-46 J."	:	$p = 0,2654$
Altershalbdekade "47-51 J."	:	$p = 0,1089$

Altershalbdekade "52-56 J."	:	p = 0,2829
Altershalbdekade "57-61 J."	:	p = 0,7953
Altersdekade "32-41 J."	:	p = 0,0001
Altersdekade "42-51 J."	:	p = 0,0430
Altersdekade "52-61 J."	:	p = 0,2405

Wie schon die graphische Darstellung (Abb. 15) andeutet, weichen die Gesamthäufigkeitsverteilungen des EMF-Kollektivs und des VK auf die drei einzelnen Schweregrade degenerativer LWS-Veränderungen (Stadium 0/I/II) in höchst signifikanter Weise voneinander ab. Ebenso höchst signifikant fällt der Häufigkeitsunterschied in der Verteilung zwischen Normalbefunden und positiven degenerativen Röntgenbefunden (Stadium I plus II) aus.

Den markanten Einzeldifferenzen in den jüngeren Jahren (Abb. 16 und 17) entsprechend verhalten sich auch die auf das Lebensalter bezogenen Signifikanz-Niveaus: der Unterschied zwischen EMF und VK ist höchst signifikant in der ersten Dekade sowie signifikant in der ersten Halbdekade und in der zweiten Dekade. Für die höheren Lebensalter ergeben die statistischen Berechnungen keine gesicherten Differenzen zwischen dem Kollektiv der EMF und dem VK.



### 5.8 LWS-Röntgen-Nebenbefunde (EMF und VK)

Aufgrund der Tatsache, daß größtenteils LWS-Aufnahmen im frontalen Strahlengang bei der Untersuchung zur Verfügung standen (Kap. 5.1), wurden folglich bei den röntgenologischen Nebenbefunden Veränderungen, die vorwiegend im sagittalen Strahlengang zur Darstellung gelangen (z.B. Spondylolysen), nur unzureichend erfaßt.

Die Häufigkeitsverteilungen der LWS-Röntgen-Nebenbefunde ergeben - mit Orientierung auf das EMF-Kollektiv - folgende tabellarisch in Prozentzahlen angeführte Rangordnung (Absolutzahlen in Klammern):

	EMF	VK
Streckhaltung	: 10,6 % (29)	8,0 % (26)
Lumbalisation S 1	: 6,9 % (19)	4,3 % (14)
Hyperlordose	: 6,6 % (18)	4,6 % (15)
Schmorl'sche Knorpelknötchen	: 2,6 % ( 7)	3,4 % (11)
Spondylolisthesis	: 2,6 % ( 7)	1,5 % ( 5)
Vorderkantenablösung	: 1,1 % ( 3)	0,3 % ( 1)
Keilwirbelbildung	: 0,7 % ( 2)	0,6 % ( 2)
Osteoporose	: 0,4 % ( 1)	1,5 % ( 5)
Osteoarthrosis interspinosa	: 0,4 % ( 1)	0,0 % ( 0)
Sakralisation L5	: 0,4 % ( 1)	0,3 % ( 1)

Diejenigen Befunde, bei denen eine Beziehung zu degenerativen Veränderungen bestehen könnte, sind häufiger im EMF-Kollektiv anzutreffen (Streckhaltung, Hyperlordose, Spondylolisthesis, Vorderkantenablösung und Osteoarthrosis interspinosa). Andererseits weisen die EMF zwei Befunde (Schmorl'sche Knorpelknötchen und Osteoporose), die je nach klinischer Relevanz bestimmte Berufstätigkeiten ausschließen würden, deutlich seltener auf.

### 5.9 Lumbalsyndrom bei EMF (Teilkollektiv)

Aus dem eigenen EMF-Gesamtkollektiv (N = 273) entstand nach Auswertung einer Befragungsaktion bezüglich subjektiver LWS-Beschwerden, die sich unter dem Überbegriff Lumbalsyndrom (Kap. 3.3.4) subsumieren lassen, ein Teilkollektiv mit 217 EMF (Kap. 5.1 und 5.2). Von diesen geben - bezogen auf den Zeitraum der Anfertigung ihrer LWS-Röntgenaufnahme - fast zwei Drittel (N = 144 - 66,4 %) LWS-Beschwerden an. Keine Hinweise auf Symptome im Sinne eines Lumbalsyndroms finden sich bei dem restlichen "Drittel" (N = 73 - 33,6 %) der EMF (Anhang Nr. 22 bis 25).

Im Folgenden sollen die Beziehungen zwischen LWS-Beschwerden und der Anzahl der Berufs- und Lebensjahre sowie - als Vergleich subjektiver und objektiver Daten - den Schweregraden degenerativer LWS-Röntgenbefunde untersucht werden.

In Abhängigkeit einer wachsenden Anzahl von Berufsjahren (Abb. 18) steigt der schon in der ersten Halbdekade überwiegende Anteil der EMF mit lumbalen Beschwerden weiter an. Jeweils über 60 Prozent liegend nimmt deren Anteil über dem Zeitraum von "10-24 Berufsjahren" mit nur geringer Progression zu - die nur zehn erfaßten EMF in den beiden höchsten Halbdekaden geben jedoch alle LWS-Beschwerden an (Anhang Nr. 22).

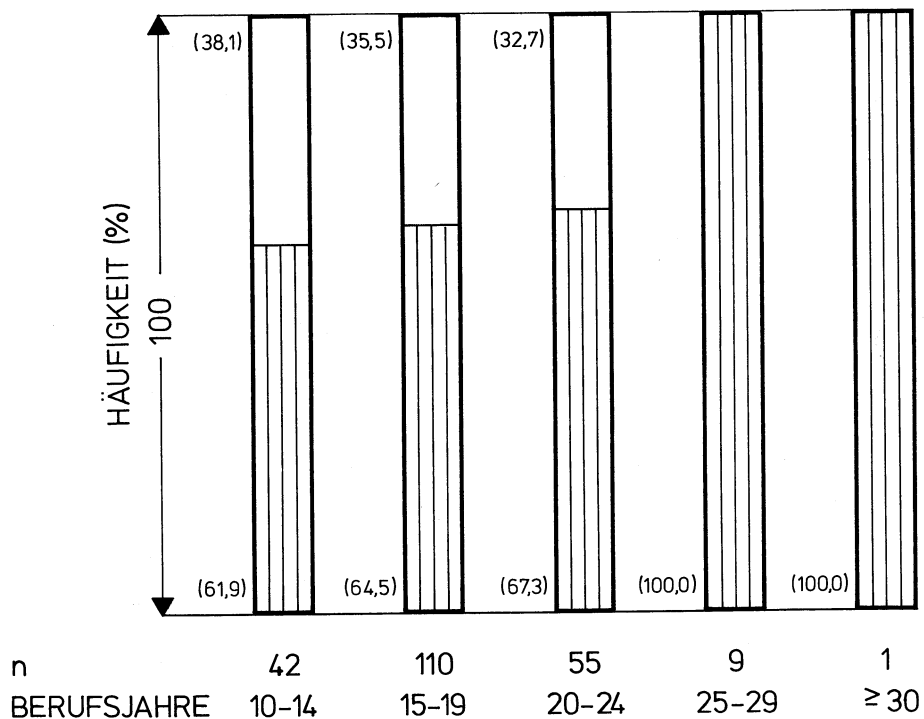


Abb. 18: Häufigkeitsverteilung von 217 EMF (Teilkollektiv) mit (▨) und ohne (□) LWS-Beschwerden bezogen auf Berufsjahre in Halbdekaden ( $p = 0,2289$ )

Der hohe Anteil der EMF mit lumbalen Beschwerden spiegelt sich auch in der Altersverteilung wider. Bezogen auf Halbdekaden (Abb. 19) dominieren diese durchgehend vom "32.-56. Lebensjahr". Jeweils mehr als die Hälfte der EMF in den Halbdekaden von "32-41 Jahren" geben Beschwerden im Sinne eines Lumbalsyndroms an. Danach steigen deren Anteile zunehmend auf überdurchschnittliche Werte, so daß bei den "52-56"-jährigen fast alle EMF entsprechende Symptome aufweisen. Ein in der höchsten Halbdekade als einziger erfaßter EMF gibt keine subjektiven LWS-Beschwerden an (Anhang Nr. 23).

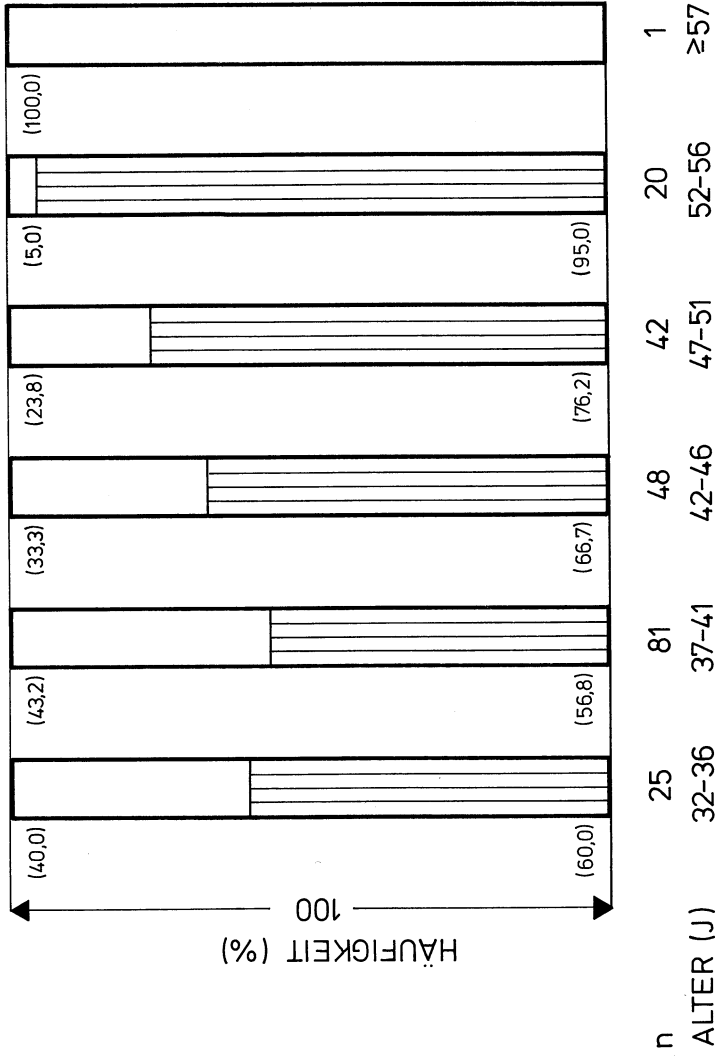


Abb. 19: Häufigkeitsverteilung von 217 EMF (Teilkollektiv) mit (▨) und ohne (□) LWS-Beschwerden bezogen auf Altershalbdekaden ( $p < 0,025$ )

Durch Zusammenfügen der Lebensalter in Dekaden (Abb. 20) wird die Altersabhängigkeit der LWS-Beschwerden bei den EMF als deutlich progressive Erscheinung darstellbar. Ausgehend von einem Überwiegen der EMF mit LWS-Symptomatik um mehr als die Hälfte in der ersten Dekade finden sich andererseits in der mittleren Dekade weniger als ein Drittel und in der höchsten Dekade weniger als zehn Prozent EMF ohne lumbale Beschwerden (Anhang Nr. 24).

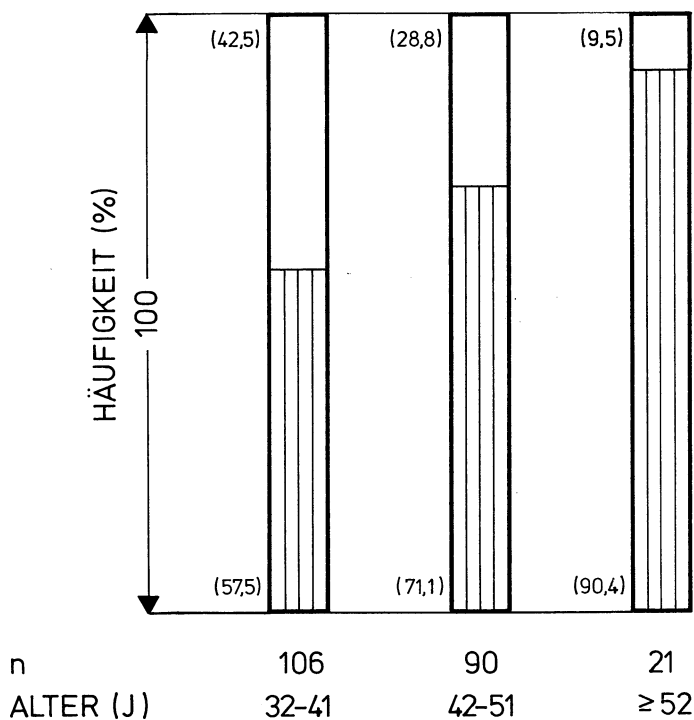


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung von 217 EMF (Teilkollektiv) mit (▨) und ohne (□) LWS-Beschwerden bezogen auf Altersdekaden ( $p < 0,01$ )

Neben den beschriebenen Korrelationen zu den Berufs- und Lebensjahren kann der Beziehung zwischen LWS-Beschwerden und degenerativen LWS-Röntgenbefunden eine besondere Aussagekraft zugesprochen werden, da es sich dabei um einen Vergleich subjektiver und objektiver Daten der EMF des Teilkollektivs handelt (Abb. 21).

Innerhalb des Teilkollektivs weisen 177 EMF (81,5 %) degenerative LWS-Befunde auf, differenziert nach Schweregraden sind es 127 EMF (58,5 %) mit Stadium I und 50 EMF (23,0 %) mit Stadium II, bei 40 EMF (18,4 %) liegen Normalbefunde vor (Anhang Nr. 25).

Die EMF mit positiven Röntgenbefunden (Stadium I plus II) geben häufiger lumbale Beschwerden an als die Gruppe mit morphologisch unauffälligen LWS-Aufnahmen. Während in der Gruppe mit Normalbefunden etwas mehr als die Hälfte der EMF Lumbalsymptome bekunden, sind es bei den EMF mit degenerativen LWS-Veränderungen zusammen mehr als zwei Drittel (N = 123 - 69,5 %). Differenziert nach Schweregraden zeigt sich als Ausdruck der Abhängigkeit der Beschwerden von der Ausprägung der Röntgenbefunde eine Progression in den Häufigkeitsverteilungen. Diese drückt sich darin aus, daß der Häufigkeitsanstieg zwischen Stadium I und Stadium II mehr als doppelt so groß ist wie der zwischen Stadium 0 und Stadium I, so daß insgesamt der Eindruck entsteht, daß eine "parabelförmige Funktion" vorliegt (Anhang Nr. 25).

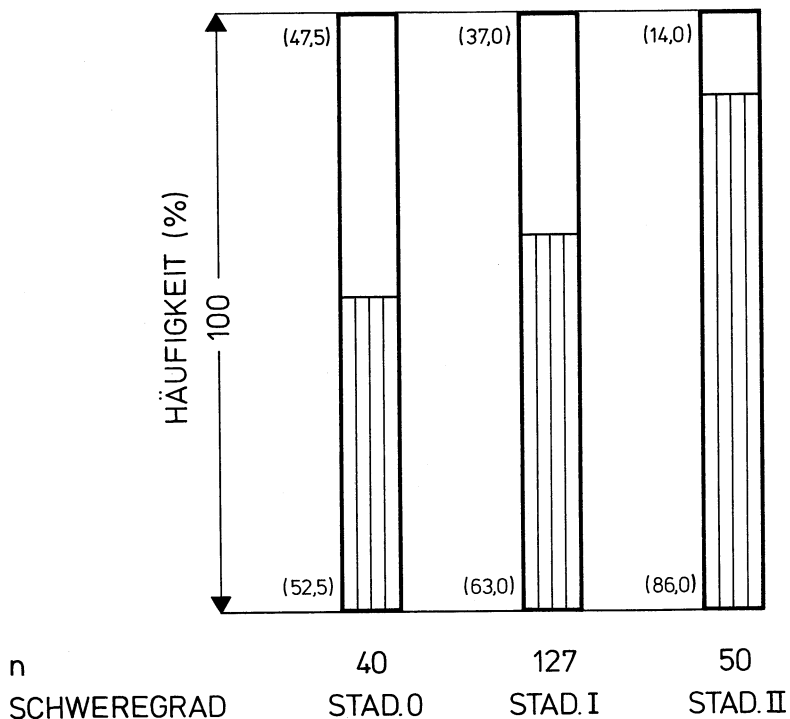


Abb. 21: Häufigkeitsverteilung von 217 EMF (Teilkollektiv) mit (▨) und ohne (□) LWS- Beschwerden bezogen auf Schweregrade (Stadium 0 - I - II) degenerativer LWS-Befunde ( $p = 0,0017$ )

Den graphisch vorgestellten Beziehungen (Abb. 18 bis 21) zwischen den Häufigkeitsangaben subjektiver LWS-Symptome auf der einen Seite und den Berufs- und Lebensjahren sowie den Schweregraden degenerativer LWS-Röntgenbefunde auf der anderen Seite entsprechen folgende tabellarisch angeführten Signifikanz-Niveaus (Anhang Nr. 22 bis 25):

Berufsjahre	:	$p = 0,2289$
Altershalbdekaden	:	$p < 0,025$
Altersdekaden	:	$p < 0,01$
Degen.LWS-Veränderungen		
- Stadium 0/Stadium I plus II	:	$p < 0,05$
- Stadium 0/I/II	:	$p = 0,0017$

Im Zusammenhang mit dem errechneten Signifikanz-Niveau des Abhängigkeitsverhältnisses der lumbalen Beschwerden bei

EMF von der Anzahl ihrer Berufsjahre (Abb. 18) bedarf es einer zusätzlichen Erklärung. Einerseits dominieren bei Zuordnung des Teilkollektivs auf Berufsjahre-Halbdekaden die EMF mit LWS-Anamnese in den einzelnen Halbdekaden eindeutig mit 61,9 % bis 100,0 % (Anhang Nr. 22: "COL PCT" - absolute Häufigkeit bezogen auf vertikale Randhäufigkeit). Andererseits weist die Häufigkeitsverteilung folgende Besonderheit auf: die jeweilige Berufsaltersstruktur der Gruppe der 144 EMF mit LWS-Beschwerden im Vergleich zu der Gruppe der 73 EMF ohne lumbale Beschwerden stimmt in dem Sinne weitestgehend überein, daß innerhalb dieser beiden Gruppen die Häufigkeitsverteilungen auf die einzelnen Halbdekaden nur wenig differieren (Anhang Nr. 22: "ROW PCT" - absolute Häufigkeit bezogen auf horizontale Randhäufigkeit). Dabei ist entscheidend, daß "ROW PCT" und "COL PCT" gleichrangig als bedingte Häufigkeiten zusammen mit den relativen Häufigkeiten ("TOT PCT") in die  $\chi^2$ -Berechnungen eingehen (s.a.Kap. 5.1). Daher resultiert als statistisches Gesamtergebnis, daß die Häufigkeitsverteilung der EMF mit oder ohne LWS-Beschwerden keine gesicherte Abhängigkeit von der Zahl ihrer Berufsjahre aufweist.

Auf der Basis der statistischen Berechnungen und der Diagramme in den Abbildungen 18 bis 21 kann man zusammenfassen, daß die LWS-Beschwerden der EMF des Teilkollektivs bezüglich der Häufigkeit ihres Auftretens

1. in einer - statistisch nicht gesicherten - Abhängigkeit von der Anzahl der Berufsjahre stehen,
2. deutlich beeinflußt werden von dem zunehmenden Alter der EMF - und zwar signifikant bezogen auf Halbdekaden und hoch signifikant bezogen auf Dekaden - sowie auch den
3. Schweregraden degenerativer LWS-Röntgenbefunde entsprechen, und zwar bei Verteilung auf die einzelnen Stadien (Stadium 0/I/II) hoch signifikant und signifikant bei Gegenüberstellung der Normalbefunde und der Summe der degenerativen LWS-Veränderungen (Stadium 0 / Stadium I plus II).



## 6 Diskussion

### 6.1 Belastung der Wirbelsäule auf Erdbaumaschinen

DUPUIS (1980 b) gibt als bewertete Schwingstärke (VDI 2057) für Radlader, schwere Radschlepper, Raddozer und Grader Werte von  $K = 15$  bis  $K = 48$  an. Die Werte der RHEINBRAUN-Erdbaumaschinen liegen je nach Einsatzort und -art in der gleichen Größenordnung:  $K = 13,38$  bei Fahrten eines Kettenplanierers auf gewachsenem Kies als niedrigster Wert und  $K = 58,52$  als Maximalwert bei einem Radlader auf gewachsener Kohle (HILFERT et al., 1979).

Anhand der veröffentlichten RHEINBRAUN-Meßergebnisse auf vier exemplarisch ausgewählten Erdbaumaschinen mit charakteristischen Einsatzarten bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen können (aufgrund eigener Berechnungen) folgende Durchschnittswerte zugrunde gelegt werden:

Radlader	$K = 44,39$	(< 1,6 h)
Muldenkipper	$K = 32,06$	(< 2,5 h)
Radplanierer	$K = 28,39$	(< 4,0 h)
Kettenplanierer	$K = 25,55$	(< 4,0 h)

Die Stundenangaben in Klammern resultieren als Mittelwerte für EMF-Einsatzzeiten bei Zuordnung der durchschnittlichen  $K$ -Werte auf die Richtwert-Kurve für das Beurteilungskriterium "Gesundheit" (Abb. 4). Aus allen Einzelwerten für die verschiedenen Erdbaumaschinentypen läßt sich als Gesamtdurchschnitt ein Wert von  $K = 33,20$  errechnen, der für die RHEINBRAUN-EMF im Hinblick auf eine mögliche Gesundheitsgefährdung eine mittlere tägliche Ganzkörper-Vibrationsbelastung von 1,6 Stunden zumutbar erscheinen ließe.

Die nach VDI 2057 über die bewertete Schwingstärke  $K$  ermittelten zumutbaren Einsatzzeiten (s.a. Kap. 2.3) stehen jedoch nicht in Einklang mit den effektiven Expositionszeiten: an einem normalen Arbeitstag muß mit einer durch-

schnittlichen Geräte-Fahrzeit von mindestens sechs Stunden gerechnet werden - HILFERT et al. (1979) geben für RHEINBRAUN-EMF sogar sechs bis acht Stunden an.

Insgesamt führen die Überlegungen zu dem Schluß, daß RHEINBRAUN-EMF einer effektiven Ganzkörper-Vibrationsbelastung ausgesetzt sein können, die im Mittel mehr als doppelt so groß ausfällt, wie es die Richtwert-Kurve (VDI, 1987) für das Beurteilungskriterium "Gesundheit" in Abhängigkeit vom K-Wert und von der täglichen Expositionsdauer zulassen würde.

Aufgrund der dargelegten Vibrationsbedingungen auf den RHEINBRAUN-Erdbaumaschinen kommt als Erschwernis für die EMF hinzu, daß die Fahrersitze in ihrer Schwingungsdämpfungsfunktion (vgl. Kap. 2.3) nicht den berufsgenossenschaftlichen Auflagen entsprechen: "Fahrersitze von Erdbaumaschinen müssen einstellbar sein und so gestaltet, gefedert und gedämpft sein, daß Gesundheitsschäden durch Erschütterungen vermieden werden" (Unfallverhütungsvorschrift "Erdbaumaschinen" - Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, 1976). Im Sinne dieser Vorschrift lag im Rahmen des RHEINBRAUN-Projektes ein Schwerpunkt auf der Erforschung der Dämpfungssysteme von Erdbaumaschinen. In ihrem Abschlußbericht fassen KÖHNE et al. (1982) wie folgt zusammen: "Beim Betrieb von Erdbaumaschinen treten starke stochastische Schwingungen auf, die durch entsprechende Fahrersitze so gedämpft werden sollen, daß keine gesundheitliche Beeinträchtigung des Fahrers eintritt. Die gegenwärtig auf diesen Maschinen eingesetzten Fahrersitze entsprechen nicht diesen Anforderungen." Bezüglich der Dämpfungseigenschaften von Standardsitzen (Statik- und Stahlfedersitze) auf Erdbaumaschinen bei RHEINBRAUN gelangen auch HILFERT et al. (1981) prinzipiell zu einem gleichen Resümee: "Der festgestellte augenblickliche Zustand ist ... mehr als unbefriedigend."

Zusätzlich zur Ganzkörper-Vibrationsbelastung ergeben sich beim Fahren von Erdbaumaschinen weitere mitbelastende

physikalische Faktoren für die LWS: die durch das Sitzen während der Arbeit geprägte Körperhaltung der EMF und zeitweilige Rumpfdrehungen und -beugungen zur räumlichen Orientierung beim Rangieren und Rückwärtsfahren oder bei Arbeiten am Hang mit Schiefelage der Maschine.

Aus der ständigen Sitzhaltung während des Gerätefahrens erwachsen zusätzlich zum Vibrationseinfluß biomechanische Probleme für die Bandscheibe. Der lumbale Bandscheibenbelastungsdruck liegt laut NACHEMSON (1965) im Sitzen bei 150 kg (s. Anmerkung S. 23), so daß ein Sistieren der druckabhängigen Flüssigkeitsverschiebungen im Zwischenwirbelabschnitt - der Grenzwert zwischen Hydratation und Dehydratation liegt laut KRÄMER (1978) bei etwa 80 kp (s. Anmerkung S. 23) - und eine Verschlechterung des Bandscheibenstoffaustausches in Rechnung gestellt werden muß (vgl. Kap. 3.3.2): "Angesichts der hohen Druckbelastungen, die beim Menschen oft stundenlang wirksam sind, ist es nicht verwunderlich, daß in einem relativ schlecht ernährten (bradytrophen) Gewebe Degenerationserscheinungen auftreten" (KRÄMER, 1978).

Während NACHEMSON (1965) bei LWS-Beugungen im Sitzen intradiskale Druckerhöhungen von über 200 kg (s. Anmerkung S. 23) feststellte (die oben beschriebene Gefahr der Bandscheibendegeneration durch Druckbelastung gilt hierbei in besonderer Weise), beschreibt CREMONA (1972), daß radiologisch "... bei der Streckung und Beugung stets die Bandscheibe L5 - S1 in Anspruch genommen wird, während bei der Seitwärtsbeugung und bei der Drehung die Scheibe L4 - L5 beansprucht wird ..."

JUNGHANNS (1979 a) sieht für Torsionseinwirkungen gerade dort einen Gefährdungsbezirk der Zwischenwirbelscheibe, wo er gleichzeitig eine Prädilektionsstelle für Vibrationschädigungen angibt: die verflechtenden Fasereinstrahlungen zwischen gegensinnig gekreuzt verlaufenden Lamellen des Faserringes, die bei Torsionsbewegungen unter Spannung geraten, wodurch der Bildung von konzentrischen Spalten Vorschub geleistet wird (s.a. Kap. 4.4).

Aufgrund eigener betriebsärztlicher Beobachtungen können einzelne Zeitanteile für Arbeiten, die eine Rumpfdrehung oder -beugung erforderlich machen, sich pro Arbeitsschicht auf etwa zwei Stunden addieren (z.B. rückwärtsfahrend Planieren großer Flächen in langen Bahnen mit einem Kettenplanierer). Es bleibt exakten Arbeitszeitablaufstudien bei EMF vorbehalten, die effektiven Expositionszeiten für alle relevanten Belastungsfaktoren zu ermitteln.

Zusammengefaßt müssen für die in der eigenen Untersuchung behandelten EMF der RHEINBRAUN mit bis zu mehr als 30 Berufsjahren bei täglich mindestens sechsstündiger Expositionszeit im Hinblick auf eine mögliche LWS-Bandscheiben-Beanspruchung folgende Belastungsfaktoren berücksichtigt werden:

Nach VDI-Richtlinien beschriebene Ganzkörper-Vibrationen - mit derzeit nicht bewertbarer Stoßhaltigkeit -, die durch die bisherigen Sitzkonstruktionen auf den Erdbaumaschinen nur unzureichend gedämpft und teilweise verstärkt werden sowie durch Arbeiten im Sitzen bestimmte Körperhaltung mit zeitweiligen Rumpddrehungen und -beugungen als Mitbelastungsfaktoren zur Schwingungsexposition.

## 6.2 Beanspruchungsfaktor Bandscheibendegeneration

Zur Einführung in die Diskussion über die Bandscheibendegeneration als Beanspruchungsfaktor bei EMF lassen sich die eigenen statistisch relevanten Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- Abhängigkeit der Häufigkeitsverteilungen degenerativer LWS-Befunde in drei Schweregraden bei EMF und im VK von dem Lebensalter und bei EMF zusätzlich von der Anzahl an Berufsjahren (Kap. 5.5 und 5.6),
- Auftreten degenerativer LWS-Veränderungen bei EMF häufiger, vorzeitiger und ausgeprägter als bei den Personen des VK (Kap. 5.7),
- Abhängigkeit der Häufigkeitsverteilungen lumbaler Beschwerden bei EMF von dem Lebensalter und den Schweregraden degenerativer LWS-Befunde sowie - ohne statistische Signifikanz - von der Anzahl der Berufsjahre (Kap. 5.9).

Drei Übersichtsarbeiten mit umfassender Literaturreception über die Beanspruchung der Wirbelsäule durch Ganzkörper-Vibrationsbelastung dienen als Grundlage für eine detaillierte Besprechung der eigenen Untersuchungsergebnisse:

1. "Zur Wirkung langzeitiger beruflicher Ganzkörpervibrationsexposition" (HEIDE, 1977)
  - sowie als Kurzfassung dieser Literaturstudie:  
"Folgen langzeitiger beruflicher Ganzkörpervibrations-exposition" (HEIDE und SEIDEL, 1978).
2. "Arbeit und Rheuma - Darstellung und Analyse von Forschungsansätzen und -ergebnissen bei arbeitsbedingten degenerativen rheumatischen Erkrankungen" (ELSNER und BRIESKE, 1984)
  - im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie - Projektträger Humanisierung der Arbeit.
3. "Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwin-

gungen - Kenntnisstand zur Wirkung von Ganz-Körper-Schwingungen (DUPUIS und ZERLETT, 1984)

- Forschungsbericht des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

HEIDE (1977) hebt hervor, daß viele Publikationen methodische Mängel aufweisen bezüglich erstens der Charakterisierung der Vibrationsexposition (vgl. Kap. 2.3 und 6.1) - Meßwerte wurden nur von 37 Prozent der Autoren dokumentiert - und zweitens der Charakterisierung der untersuchten Exponierten (vgl. Kap. 5.1, 5.2 und 5.4) - z.B. fehlende Angaben zum Lebensalter bzw. zum Alter bei Beginn der Exposition; unterschiedliche Untersuchungsmethoden (tlw. Verzicht auf Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule) - sowie drittens hinsichtlich der Aussagen zu den Kontrollgruppen (vgl. Kap. 5.1, 5.3 und 5.4) - Vergleichskollektive fehlen bei verschiedenen Studien - und viertens im Zusammenhang mit den eingesetzten statistischen Verfahren (vgl. Kap. 5.1) - insgesamt wurden nur in 28 Prozent der ausgewerteten Arbeiten zur Prüfung der Ergebnisse statistische Verfahren verwendet.

Nach einer "Zusammenstellung von Ergebnissen zur langzeitigen Wirkung ... der Ganzkörpervibrationsexposition auf das ... Muskel-Skelett-System ..." diskutiert HEIDE (1977) "..., daß die GK (- Ganzkörpervibration -) ein erhöhtes Gesundheitsrisiko für die WS (- Wirbelsäule -) ... darstellt." Sie führt aus, daß "... auch unter Berücksichtigung altersabhängiger Veränderungen auf eine Zunahme der Anzahl und/oder ungünstige Beeinflussung von Erkrankungen mit zunehmender Expositionsdauer ..." hingewiesen werden muß.

Die Altersabhängigkeit der Zunahme degenerativer LWS-Befunde im eigenen Untersuchungsgut erweist sich sowohl bei den EMF als auch im VK als höchst signifikant (Abb. 11 bis 14). Ebenso ergibt eine Verlängerung der Expositionszeiten (Anzahl der EMF-Berufsjahre) eine hoch signifikante Beein-

flussung der zunehmenden Häufigkeiten degenerativer LWS-Veränderungen im EMF-Kollektiv (Abb. 10). Daneben zeigen auch die subjektiven Beschwerden (Lumbalsyndrom) der EMF (Teilkollektiv) eine statistisch gesicherte Altersabhängigkeit (Abb. 19 und 20) und eine zahlenmäßig und graphisch dargestellte geringe Zunahme (ohne statistische Signifikanz - vgl. Kap. 5.9) der Beschwerden mit ansteigender Anzahl der Berufsjahre (Abb. 18).

Die von HEIDE betonte Einflußnahme der Expositionsdauer auf die Häufigkeitszunahme bestimmter Erkrankungen wird im Rahmen der eigenen Untersuchung ferner dadurch belegt, daß durch Vergleichen der Häufigkeiten degenerativer Röntgenbefunde der LWS bei EMF mit der Kontrollgruppe altersabhängige Unterschiede aufgedeckt werden in der Form, daß sie einen berufsspezifischen Faktor implizieren, der bei den EMF eine über das altersentsprechende Maß hinausgehende Häufung der degenerativen WS-Veränderungen bewirkt (Abb. 16 und 17). Für beide Kollektive stellt sich die altersabhängige Zunahme der degenerativen Befunde in der Form dar, daß ihre Differenz zuungunsten der EMF in jüngeren Jahren besonders groß ausfällt und sich mit dem Älterwerden der Untersuchten verkleinert. Dabei ergibt sich nach Differenzierung der Röntgenbefunde in Schweregrade innerhalb der eigenen Kollektive, daß das Häufigkeitsmaximum der leichtgradigen LWS-Befunde ( $EMF > VK$ ) bei EMF zehn Jahre vor dem des VK liegt. Hinsichtlich der schwergradigen Veränderungen fällt in beiden Kollektiven bei allgemeiner Unterrepräsentanz des VK eine stetige Zunahme der altersabhängigen Veränderungen mit zunehmender Diskrepanz zuungunsten der EMF auf. Daraus resultiert insgesamt, daß bei den EMF die degenerativen Röntgenbefunde der LWS somit nicht nur häufiger und frühzeitiger, sondern auch in ausgeprägterer Form als im VK auftreten.

Damit wird die in der Literatur vertretene Auffassung untermauert, daß in "... Berufsgruppen, die gegenüber ... GK (- Ganzkörpervibration -) im Bereich oder oberhalb des

'exposure limit' ... exponiert sind, ... bestimmte Organ-systeme häufiger von Erkrankungen betroffen ... (werden) ... als in der Durchschnittsbevölkerung. Diese Erkrankungen werden durch ein Ursachengefüge ausgelöst, in dem die GK einen entscheidenden (z.B. degenerative WS-Erkrankungen) ... Faktor darstellt, der für die Häufigkeitsdifferenz (Exponierte gegenüber Nichtexponierten) verantwortlich bzw. mitverantwortlich ist" (HEIDE und SEIDEL, 1978).

Nach statistischer Überprüfung der eigenen Ergebnisse zeigt sich, daß die beiden Kollektive bezüglich der Häufigkeitsdifferenzen ihrer Verteilungen auf die drei Schweregrade der degenerativen Röntgenbefunde sich höchst signifikant unterscheiden (Abb. 15). Bei zusätzlicher Auflistung in Altersgruppen ergibt sich ein Phänomen, das HEIDE und SEIDEL (1978) wie folgt beschreiben: "Wegen der sehr hohen Häufigkeit altersbedingter degenerativer WS-Erkrankungen in der Durchschnittsbevölkerung (ab 40 Jahre mehr als 50 % ...) ist eine höhere Häufigkeit degenerativer WS-Erkrankungen bei Exponierten in der Altersgruppe über 40 Jahre statistisch nur schwer zu sichern." Die eigenen Berechnungen bestätigen diese Aussage in dem Sinne, daß signifikante altersabhängige Unterschiede zwischen EMF mit langjähriger Ganzkörper-Vibrationsbelastung und Kontrollgruppe nur in den jüngeren der untersuchten Altersgruppen zu finden sind: bei Aufteilung in Altershalbdekaden in der Gruppe "32-36 Jahre" - also unterhalb der 40 Jahre-Grenze und bei Aufteilung in Altersdekaden in den Gruppen "32-41 Jahre" und "42-51 Jahre" - also noch eine Dekade oberhalb des oben zitierten 40. Lebensjahres (Abb. 16 und 17).

ELSNER und BRIESKE (1984) fanden in einem historischen Rückblick erste Ansätze zur epidemiologischen Erforschung des Zusammenhanges von Arbeitsbedingungen und rheumatischen Erkrankungen in Deutschland zu Beginn der dreißiger Jahre: "LUDWIG TELEKY, der damalige Landesgewerbearzt in Düsseldorf, veranlaßte - mit Hilfe der Gewerkschaftsorganisationen - eine umfangreiche Studie zum Thema 'Arbeit und



Rheuma'. Mehr als 1000 Arbeitnehmer, die verschiedensten Belastungen ausgesetzt waren, wurden hinsichtlich des Vorhandenseins rheumatischer Erkrankungen untersucht, und die Daten wurden unter altersstandardisierten Bedingungen statistisch ausgewertet."

In der Originalabhandlung (die die Autorinnen im vollen Wortlaut wiedergeben) "Rheumatismus und Beruf" (TELEKY, 1934) heißt es: "Die deformierende Spondylose ist zwar im allgemeinen eine Erkrankung des höheren Alters, findet sich aber bei manchen Berufen mit starker Beanspruchung der Wirbelsäule schon in früheren Jahren ... Als Berufsleiden ... finden wir Lumbago in weitester Verbreitung unter allen Schwerarbeitern ..."

Darüber hinaus zitiert TELEKY einen Vortrag des Vertrauensarztes der Brandenburgischen Knappschaft, GORN, auf dem Kongreß für Unfallheilkunde und Berufskrankheiten in Budapest 1928. Dieser "... fand unter 2468 von ihm durchgesehenen Gutachten vor allem von Arbeitern des mitteldeutschen Braunkohlengebietes ... bei 2387 Rheumatismus als wesentlichen, meist als einzigen Grund für den Eintritt der Berufsinvalidität angegeben. In 69 % der Fälle war Muskelrheumatismus angegeben; bei fast allen diesen Leuten war die Lendenmuskulatur befallen ... Man muß es wohl derzeit noch dahingestellt sein lassen, in welchem Teil der Fälle von Lumbago Veränderungen an der Wirbelsäule oder dem Kreuzbein vorliegen, in welchem nur muskuläre Erkrankungen."

Unter Berücksichtigung der heute veränderten Terminologie, Untersuchungsmethodik und vor allem der verbesserten Arbeitsbedingungen vor Ort wird aus den Ausführungen TELEKY's dennoch ersichtlich, daß die Häufigkeit der Erkrankungen im Sinne eines Lumbalsyndroms nicht nur allgemein bei Schwerarbeitern, sondern auch bei Arbeitern in Braunkohletagebaurevieren seit Jahrzehnten von sozialversicherungsrechtlicher Bedeutung sind.

Im Verlauf der weiteren Literaturreception beschränken sich ELSNER und BRIESKE auf Untersuchungen "..., die sich mit

röntgenologisch sichtbaren Veränderungen der Wirbelsäule befassen." Bei ihrer für jeweils H-, B- und LWS getrennt durchgeführten Analyse nehmen sie als Basis die Daten, die JUNGHANNS 1931 an mehr als 4000 photoanatomisch untersuchten Wirbelsäulen gewonnen hat. Die Zahlenangaben dazu bezüglich der Spondylosis deformans und die entsprechende graphische Darstellung (JUNGHANNS, 1979 b) erlauben einen Vergleich mit der eigenen Kontrollgruppe (Abb. 22):

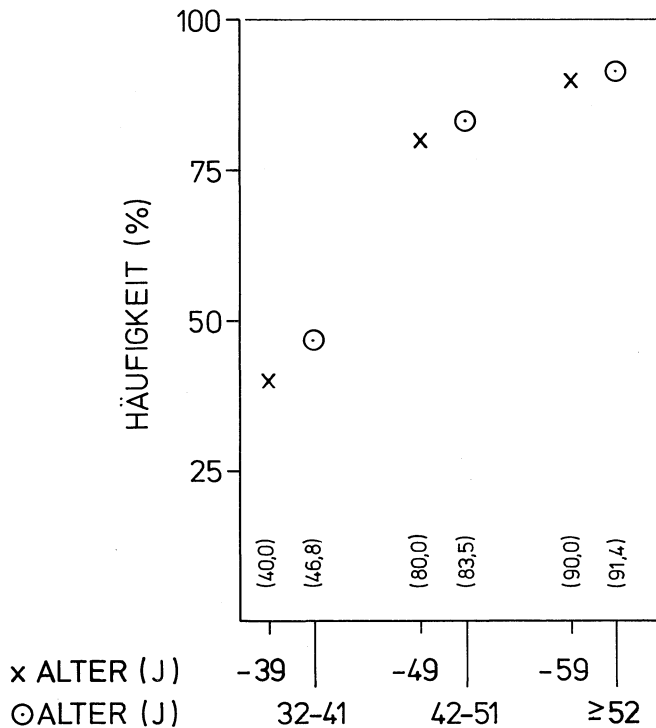


Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der Spondylosis deformans nach Junghanns (X) und degenerativer LWS-Befunde im eigenen VK (⊙) bezogen auf Altersdekaden

Die in beiden Kollektiven übereinstimmende altersabhängige Zunahme der Häufigkeiten degenerativer WS-Befunde hebt den Stellenwert des eigenen Vergleichskollektivs (Kap. 5) - auch unter dem Vorbehalt, daß JUNGHANNS nur Befunde im Sinne einer Spondylosis deformans ermittelte, die dieser

aber selbst als die häufigste Erkrankung aus der Reihe der bandscheibenbedingten Veränderungen bezeichnet.

Nach Durchschau von berufsbezogenen Studien konstatieren ELSNER und BRIESKE "..., daß Verschleißzeichen an der LWS immer dann gehäuft und frühzeitiger als beim Durchschnitt der Menschen auftreten, wenn die LWS besonders beansprucht wird." Folgende Berufsgruppen heben sie besonders hervor: Bergarbeiter, Hüttenindustriearbeiter (z.B. Facher), Holzfäller und auch Rohrschlosser, Ofensetzer sowie Stahl-Beton-Arbeiter.

Im Kapitel "Osteochondrosen und Spondylosen der Lendenwirbelsäule durch Ganzkörpervibration" wird zunächst auf die für die Bundesrepublik wichtigen Arbeiten von ROSEGGER (1967) sowie CHRIST und DUPUIS (1966) hingewiesen: "Ein Manko dieser Arbeiten war ..., daß die Untersuchungen keine Vergleichsgruppen umfaßten. Das Argument, daß Schlepperfahrer frühzeitiger und häufiger als der Durchschnitt der Bevölkerung an degenerativen Verschleißzeichen der Wirbelsäule leiden, war damit allein nicht zu belegen."

Sie führen weiter aus, daß jedoch später anhand der oben diskutierten Literaturstudie von HEIDE (1977) in der DDR entschieden wurde "..., daß es sehr wahrscheinlich sei, daß eine Ganzkörpervibration degenerative Wirbelsäulenerkrankungen auslösen könne. Im Gefolge davon wurden diese Erkrankungen in den Katalog der Berufskrankheiten in der DDR aufgenommen und können entschädigt werden.

Eine Wende in der Behandlung dieses Problems in der Bundesrepublik scheint sich durch die Arbeiten in den Rheinischen Braunkohlenwerken anzubahnen, die im Rahmen des HdA-Programms entstanden. Bei ... Erdbaumaschinenführern traten im Vergleich zu einer Vergleichsgruppe die degenerativen Veränderungen häufiger und vor allem frühzeitiger auf (KÖHNE, ZERLETT und DUNTZE, 1982, S. 108)."

Die Beziehungen der eigenen Dissertation zu der zuletzt genannten Arbeit sind in den Kapiteln 1 und 5.1 dargelegt. Im Vergleich mit der RHEINBRAUN-Studie sind folgende methodische Unterschiede hervorzuheben: neben einem eigenen Vergleichskollektiv, einer strengen Selektion der EMF hinsichtlich der von ihnen benutzten Erdbaumaschinen-Gerätetypen und nach genauer Bestimmung der Expositionszeiten zum Zeitpunkt der vorgegebenen Röntgenuntersuchung erfuhren alle LWS-Röntgenaufnahmen eine Einteilung in drei Schweregrade degenerativer Veränderungen.

Während KÖHNE, ZERLETT und DUNTZE nur die Häufigkeitsdifferenzen zwischen EMF und Kontrollgruppe bezüglich pathologischer LWS-Befunde - ohne Einteilung in Schweregrade - altersabhängig in Halbdekaden untersuchten und statistisch absicherten - allerdings nur die Gesamthäufigkeitsverteilungen ohne Differenzierung nach Altersklassen - finden sich in der eigenen Arbeit diese und darüber hinaus noch weitere Korrelationen wieder, die alle im einzelnen statistisch überprüft und graphisch dargestellt sind (Kap. 5.5. bis 5.7.):

- Altersabhängigkeit in Halbdekaden und Dekaden der Häufigkeit der drei Stadien degenerativer Veränderungen bei EMF und getrennt im VK, ferner bei den EMF zusätzlich die Abhängigkeit von der Expositionszeit,
- Altersstrukturvergleich: EMF - VK,
- Vergleich beider Kollektive bezogen auf die Gesamthäufigkeiten der verschiedenen Schweregrade degenerativer Befunde,
- Vergleich beider Kollektive hinsichtlich der altersabhängigen Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Stadien degenerativer LWS-Veränderungen nach Altersklassen (Halbdekaden und Dekaden).

Ein weiterer methodischer Unterschied erklärt, warum die eigenen Ergebnisse nur bedingt mit denen aus der RHEINBRAUN-Studie vergleichbar sind. Während KÖHNE et al. (1982) "morphologische Veränderungen der Lendenwirbelsäule" bzw.

"pathologische Röntgenbefunde der Lendenwirbelsäule" insgesamt errechnen, konzentrieren sich die eigenen Untersuchungen ausschließlich auf degenerative LWS-Veränderungen.

In der RHEINBRAUN-Studie überwiegen im Vergleich zu nicht-schwingungsexponierten Probanden (RHEINBRAUN-Mitarbeiter) bei EMF mit mindestens zehnjähriger Ganzkörper-Vibrationsbelastung die "pathologischen" Röntgenbefunde der Lendenwirbelsäule um folgende Werte: 25,7 % - 16,7 % - 15,2 % - 6,7 % - 21,5 % - 9,0 % (bezogen auf sechs Altersgruppen zwischen dem 32. und 60. Lebensjahr; eigene Berechnungen). Demgegenüber dominieren bei der Analyse der "degenerativen" LWS-Röntgenbefunde (Stadium I plus II) in der eigenen Untersuchung (Kap. 5.7) die EMF gegenüber den Personen des eigenen VK um folgende Häufigkeitsdifferenzen: 22,7 % - 8,9 % - 10,7 % - 7,2 % - 5,0 % - 13,3 % (bezogen auf Altershalbdekaden zwischen dem 32. und 62. Lebensjahr). Die Unterschiede in den Einzelergebnissen sind durch die geschilderten methodischen Besonderheiten erklärbar, zumal darüber hinaus die Altersgruppierungen nicht absolut deckungsgleich sind. Dennoch erscheint aufgrund der Tatsache, daß es sich bei der RHEINBRAUN-Untersuchung "... im wesentlichen ... um morphologische Veränderungen ... im Sinne von sogenannten degenerativen Prozessen wie Spondylosis deformans, Spondylosteochondrose u.ä. ..." handelt, folgende Schlußfolgerung erlaubt zu sein:

Als Zusammenfassung der eigenen Untersuchungsergebnisse und der Daten aus der Studie von KÖHNE, ZERLETT und DUNTZE (1982) kann konstatiert werden, daß für RHEINBRAUN-Erdbau-maschinenfahrer mit mindestens zehnjähriger beruflicher Ganzkörper-Vibrationsbelastung gilt, daß im Vergleich mit zwei voneinander unabhängigen Kontrollgruppen (jeweils statistisch signifikant) die röntgenologisch faßbaren degenerativen LWS-Veränderungen bei den EMF häufiger und frühzeitiger sowie - als zusätzliche Information aus der eigenen Untersuchung - auch stärker ausgeprägt auftreten (vgl. Kap. 5.5 bis 5.7). Zur Untermauerung dieser Aussage sei das Ergebnis der Literaturstudie von ELSNER und BRIESKE (1984)

zitiert: "(Es) ... kann gesagt werden, daß alle Arbeiten Hinweise dahingehend geben, daß eine Ganzkörpervibration einen vorzeitigen Verschleiß insbesondere der LWS begünstigt."

Das Problem auf subjektive Symptome im Sinne eines Lumbalsyndroms ausweitend, weisen die Autorinnen auf folgende Konsequenz hin: "Sofern dieser Verschleiß mit Beschwerden einhergeht, die einen Verbleib in dieser Tätigkeit unmöglich machen, wird wohl in Zukunft eine solche Erkrankung als Berufskrankheit entschädigt werden müssen" (ELSNER und BRIESKE, 1984).

In der eigenen Ausarbeitung der subjektiven Angaben der EMF bezüglich lumbaler Beschwerden bestehen weitere methodische Unterschiede gegenüber der RHEINBRAUN-Studie (vgl. Kap. 5.1 und 5.2). Aufgrund einer Vielzahl von Interviewern mit unterschiedlicher Fragetechnik resultieren vielfältige Antwortmuster der Befragten in der Form, daß für die eigene Studie die Aussagen nur konzentriert auf eine Kernaussage hin ausgewertet wurden: Beschwerden im Sinne eines Lumbalsyndroms zum Zeitpunkt der vorgegebenen LWS-Röntgenaufnahme - ja oder nein. Durch die Fixierung auf das Röntgendatum - und nicht wie bei der RHEINBRAUN-Untersuchung auf den Befragungszeitraum - entstand ein EMF-Teilkollektiv, für das nach Errechnung des Alters und der Berufsjahre der einzelnen EMF folgende Themen behandelt werden konnten: Gesamthäufigkeit des Lumbalsyndroms sowie dessen Abhängigkeit von der Expositionszeit und dem Alter (unterteilt in Halbdekaden und Dekaden). Als wesentlicher methodischer Vorteil in der Wahl des zeitlichen Bezugspunktes ergibt sich die Möglichkeit des Vergleichs zwischen subjektiven Angaben und objektiven Daten der EMF: Häufigkeitsverteilung der subjektiven LWS-Beschwerden in gleichzeitiger Abhängigkeit von den Schweregraden degenerativer LWS-Röntgenbefunde (vgl. Kap. 5.9).

Trotz der dargelegten Unterschiede bei der Auswertung der Daten resultiert ein weitgehend übereinstimmendes Gesamt-

ergebnis: 68,7 % der Personen mit Granzkörperschwingungsbelastung geben Beschwerden in Bezug auf die LWS zum Zeitpunkt der Befragungsaktion an (KÖHNE et al., 1982) und bezogen auf den Zeitraum einer vorgegebenen LWS-Röntgen-diagnostik sind es 66,4 % der EMF, die lumbale Beschwerden beklagen (vgl. Kap. 5.9).

Die Tatsache, daß - methodisch auf verschiedenen Wegen bestätigt - annähernd zwei Drittel der EMF Beschwerden im Sinne eines Lumbalsyndroms aufweisen, gewinnt dadurch an Aussagekraft, daß in der RHEINBRAUN-Kontrollgruppe nur 41,6 % der nichtschwingungsbelasteten Probanden entsprechende Angaben vortragen.

Ausführlich widmen sich ELSNER und BRIESKE dem "Zusammenhang von röntgenologisch sichtbaren degenerativen Veränderungen und Beschwerden", der auch in der eigenen Studie, bei der die Vergleichsgruppe einer Befragung nicht zugänglich war, einen besonderen Stellenwert dadurch erhält, daß subjektive Angaben und objektive Daten der EMF hinsichtlich ihrer LWS miteinander korreliert werden können (- in der RHEINBRAUN-Studie kommt diese Fragestellung nicht vor). Die Bedeutung des Problems liegt darin, daß von einigen Autoren der Zusammenhang zwischen bestimmten Arbeitsbelastungen und der Entstehung degenerativer Wirbelsäulenveränderungen akzeptiert wird, von denen aber gleichzeitig abgelehnt wird, "... diese Erkrankung als Berufskrankheit anzuerkennen, weil diese Veränderungen nicht mit Beschwerden einhergehen müssen" (ELSNER und BRIESKE, 1984).

Bezogen auf die eigene untersuchte Berufsgruppe liegen die Verhältnisse anders. Die EMF mit degenerativen LWS-Befunden haben - statistisch gesichert - nicht nur häufiger subjektive Lumbalsymptome als die Gruppe mit röntgenologischen Normalbefunden, sondern es nimmt auch differenziert nach Schweregraden die Beschwerدهäufigkeit von den Normalbefunden über die leichtgradigen bis zu den schwergradigen degenerativen Veränderungen statistisch hoch signifikant zu (Abb. 21).

Im Literaturvergleich mit ELSNER und BRIESKE wird dieses Ergebnis bestätigt: "...-röntgenologisch sichtbare Veränderungen gehen häufiger mit Beschwerden einher als ohne. Die Beschwerden sind dabei umso häufiger, je stärker die Röntgenbefunde sind ... Im Fazit ist also zu konstatieren, daß eine enge Beziehung besteht zwischen Beschwerden und Röntgenbefund." Ihre Interpretation lautet: "Die röntgenologischen Veränderungen wie Spondylosen und Osteochondrosen sind somit als Risikofaktoren anzusehen, die eine Krankheit nach sich ziehen können."

Neben der Abhängigkeit von dem Schweregrad der morphologischen Veränderungen zeigt sich im eigenen EMF-Teilkollektiv eine jeweils unterschiedlich geartete Abhängigkeit der Zunahme der lumbalen Beschwerden vom Alter (Abb. 19 und 20) - mit statistischer Signifikanz - und von der Anzahl der Berufsjahre (Abb. 18). Wie in Kapitel 5.9 erläutert, weist die letztere Beziehung keine statistische Signifikanz auf. ELSNER und BRIESKE fanden in der Literatur auch für andere Berufsgruppen, daß "... sich die Unterschiede aber wegen des 'healthy-worker-effects', wegen der Selektion und wegen der Mobilität ... (häufig verwischen)..."

In Bezug auf den "healthy-worker-effect" ist hervorzuheben, daß bei RHEINBRAUN aufgrund der Bergverordnung alle EMF einer Einstellungsuntersuchung unterliegen, die eine Selektion schon vor der Berufsaufnahme zur Folge hat. Bei der Bildung des eigenen EMF-Kollektivs ist darüber hinaus durch Festlegung der Mindestberufszeit auf zehn Jahre dem natürlichen Vorgang Rechnung getragen, daß auch nach der Arbeitsaufnahme durch Fluktuation aus gesundheitlichen Gründen sich ein "healthy-worker-effect" einstellt.

Wahrscheinlich als Ausdruck dieser Selektionseffekte besteht in dem eigenen Kollektiv nur eine schwache Korrelation zwischen der Anzahl der Berufsjahre und dem Lebensalter der EMF (Abb. 7).



Insgesamt erscheint in Anbetracht der Tatsache, daß nahezu zwei Drittel der EMF Beschwerden im Sinne eines Lumbalsyndroms angaben, die eine deutliche Altersabhängigkeit, geringfügige Abhängigkeit von der Expositionszeit sowie eine gesicherte Abhängigkeit von den Schweregraden degenerativer LWS-Befunde zeigen, folgende Aussage auch auf EMF zuzutreffen: "... ein Kontinuum der Belastung ... (zieht) ... eine entsprechende Staffelung der Beschwerden nach sich ...: je geringer die exogene Belastung, desto geringer die Beschwerden, je größer die Belastung, desto größer die Beschwerden" (ELSNER und BRIESKE, 1984).

Das hieße, daß bei Auftreten ausgeprägter klinischer Beschwerdebilder im Sinne eines Lumbalsyndroms auf dem Boden degenerativer Wirbelsäulenveränderungen bei entsprechend belastungshomogenen Berufsgruppen diese als arbeitsbedingt angesehen werden müßten.

ELSNER und BRIESKE heben, chronologisch fortfahrend, die Bedeutung der seit Mai 1984 vorliegenden, eine weitere Zusammenfassung vorhandener Forschungsergebnisse präsentierenden Arbeit von DUPUIS und ZERLETT (1984) hervor, die für sich an anderer Stelle ausführlich abgehandelt wird.

Zunächst sei jedoch auf die kritischen Kommentare von ELSNER und BRIESKE verwiesen, die sich auf drei bei DUPUIS und ZERLETT zitierte Studien beziehen, in denen sich angeblich keine Hinweise auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Vibrationsbelastung und Wirbelsäulenverschleiß finden lassen. Im Einzelnen decken sie methodische Mängel auf, durch die sich der Stellenwert dieser Veröffentlichungen relativiert:

KUNZ und MEYER (1969) untersuchten 52 Führer schwerer Baumaschinen, machten aber keine entsprechenden Altersangaben und wiesen kein Vergleichskollektiv aus.

SCHOKNECHT und BARICH (1978) haben in ihrer Busfahrerstudie gesundheitlichen Selektionsprozessen zu wenig Beachtung geschenkt. Darüber hinaus muß angemerkt werden, daß die Vibrationscharakteristik in Autobussen nicht zu vergleichen

ist mit der von Maschinen, die konstruiert sind für einen vorwiegenden Einsatz auf unbefestigtem Untergrund (- in der eigenen EMF-Studie wurden daher Fahrer von LKW's, Unimogs und dergleichen nicht berücksichtigt).

FRANKE (1978), der ausging von einer Häufung der Wirbelsäulenbeschwerden bei Fahrern gleisloser Fahrzeuge in Kali-bergwerken, hat nach Einführung einer Einstellungsuntersuchung für diesen Personenkreis bezogen auf die Einstellungsbefunde bei zwei bis vier Jahre später erfolgten Nachuntersuchungen keine Veränderungen gefunden. "Hierzu ist anzumerken, daß eine zwei- bis vierjährige Belastung sicherlich nicht ausreicht, um eine ausgewählte gute gesunde Wirbelsäule ... zu ... (schädigen) ..." (ELSNER und BRIESKE, 1984).

Ergänzend zu der speziellen Literaturanalyse "Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System" (DUPUIS, 1982) als Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung in Dortmund bietet die Arbeit von DUPUIS und ZERLETT (1984) für den deutschsprachigen Raum eine aktuelle Auswertung der in- und ausländischen Fachliteratur zum Kenntnisstand über die Wirkungen von Ganz-Körper-Schwingungen.

Die Bedeutung des zweiten Forschungsberichtes liegt darin begründet, daß im Gegensatz zu Gesundheitsschäden, die durch mechanische Ganzkörper-Schwingungen bedingt sein können, bisher nur die Erkrankungen, die bei der Einleitung der mechanischen Schwingungen in das Hand-Arm-System auftreten, in der Bundesrepublik als Berufskrankheit entschädigt werden können. In der Liste der Berufskrankheiten der Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung (WAGNER und ZERLETT, 1982) sind dies die Berufskrankheiten Nr. 2103 und 2104:

"Erkrankungen durch Erschütterungen bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen" - "..., die sich als sogenannte Abnutzungserkrankungen beziehungsweise Ernährungsstörungen infolge

mechanischer Gefäßabdrösselung an Hand-, Ellenbogen- und Schultergelenk ... (STEINHÄUSER und BOLT, 1979), ... aber auch als Ermüdungsschäden manifestieren können" (BK-Nr. 2103).

"Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können" - für diese Berufskrankheit gilt auch das Synonym "vibrationsbedingtes vasospastisches Syndrom" (BK-Nr. 2104). Sie tritt im Gegensatz zur erstgenannten vorwiegend bei Einwirkungen von relativ hohen Schwingungsfrequenzen z.B. durch Kettensägen, Schlagschrauber u.dgl. auf (DUPUIS, 1982).

Die Literaturanalyse von DUPUIS und ZERLETT soll - analog zu den Teilkörper-Schwingungserkenntnissen - "... Aussagen zur Epidemiologie und Morbidität erlauben, um somit mögliche Zusammenhänge zwischen Ganz-Körper-Schwingungsbelastung und Gesundheitsschäden aufzudecken." Sie heben hervor, daß an "... erster Stelle aller beobachteten und beschriebenen Störungen und Gesundheitsschäden nach langzeitiger Belastung durch Ganz-Körper-Schwingungen ... die Beschwerden und die Erkrankung der Wirbelsäule ... (stehen) ... Dies ist verständlich, wenn man berücksichtigt, daß die Einleitung von vertikalen mechanischen Schwingungen beim sitzenden Menschen über das Gesäß direkt in die Wirbelsäule erfolgt."

DUPUIS und ZERLETT befassen sich ausführlich mit Schlepperfahrern, Erdbaumaschinenfahrern und sonstigen Baumaschinenfahrern. Tabellarisch hervorgehoben werden die pathologischen Wirbelsäulenveränderungen von 371 Traktoristen, die ROSEGGER und ROSEGGER (1960) veröffentlichten. Obwohl sich deren Untersuchungen nicht auf degenerative Veränderungen der LWS konzentrieren, ergänzen sich die Ergebnisse mit denen des eigenen EMF-Kollektivs (Alter  $\geq 32$  J., Berufsjahre  $\geq 10$  J.), da die Autoren Probanden mit niedrigstmöglichem Alter ( $\geq 14$  J.) und kleinsten Expositionszeiten ( $\geq 1$  J.) miterfaßten. Sie fanden in erheblichem Ausmaß vorzeitig degenerative Wirbelsäulenver-

änderungen in Abhängigkeit von Alter und Expositionsdauer. In der eigenen Studie wurden diese Korrelationen im Gegensatz zu der genannten Arbeit statistisch untermauert und zusätzlich die Altersabhängigkeit im Vergleich zu einer Kontrollgruppe dargestellt (Abb. 10 bis 12, 16 und 17).

Eine Sonderstellung nehmen laut DUPUIS und ZERLETT die Arbeiten von CHRIST (1963), DUPUIS und CHRIST (1966), CHRIST und DUPUIS (1968) und DUPUIS und CHRIST (1972) ein. Es handelt sich um eine Langzeitstudie, bei der für das gleiche Kollektiv von Schlepperfahrern in der Landwirtschaft dreimal in Fünfjahresabständen Röntgenbefunde der Wirbelsäule erhoben wurden - wobei sich die Probandenzahl in der Beobachtungszeit von 211 auf 106 verringerte. Eine Vergleichbarkeit mit dem eigenen EMF-Kollektiv besteht nicht, da die Schlepperfahrer auch bei der letzten Untersuchung im Durchschnitt weniger als 32 Jahre alt waren. Dennoch stellen die Befunde eine sinnvolle Ergänzung der eigenen Ergebnisse bezogen auf jüngere Altersklassen dar: "Sie räumen ... ein, daß bei einem Viertel der Untersuchten die festgestellten Verschleißerscheinungen der Wirbelsäule ..., die erst innerhalb der letzten fünf Jahre aufgetreten sind, möglicherweise zum Teil als 'vorzeitig' und 'exogen' zu bezeichnen seien."

"Die Autoren stellten darüber hinaus fest, daß eine Abhängigkeit der Häufigkeit der Wirbelsäulenbeschwerden sowie der pathologischen Röntgenbefunde der Wirbelsäule von der Expositionsdauer (Schlepperfahrstunden/Jahr) besteht ...". Das entsprechende Diagramm aus der Arbeit von CHRIST und DUPUIS (1966) läßt ferner den Schluß zu, daß das Auftreten von Wirbelsäulenbeschwerden zusammenhängt mit der Existenz von "ungünstigen Röntgenbefunden der LWS" - diese Korrelation der subjektiven Angaben mit objektiven Röntgenveränderungen der LWS wird in der eigenen Untersuchung für EMF als statistisch gesichert ausgewiesen (Abb. 21).

In der Literaturreception über "Fahrer von Erdbaumaschinen und sonstigen schweren Arbeitsmaschinen" zitieren DUPUIS und ZERLETT bezüglich subjektiver Angaben über Lenden- und

Kreuzschmerzen CREMONA (1972), der bei Fahrern schwerer Arbeitsmaschinen derartige Beschwerden in einer überdurchschnittlichen Häufigkeit (70 Prozent) fand, die sich in vergleichbarer Größenordnung auch im eigenen EMF-Kollektiv findet (Kap. 5.9).

Eine aufwendige Studie des Amerikanischen Bundesinstitutes für Arbeitsmedizin und Arbeitssicherheit von MILBY und SPEAR (1974) konnte angeblich keinen statistischen Beweis erbringen für eine höhere Morbiditätsrate durch Ganzkörper-Vibration bei 1865 Baumaschinenfahrern im Vergleich zu 2071 nicht schwingungsexponierten Personen einer Kontrollgruppe - es handelte sich um eine Befragung sowohl der Probanden als auch der behandelnden Ärzte. Nicht zuletzt wegen der nicht erhobenen Frage der Schwingungsbelastung der Exponierten kommen DUPUIS und ZERLETT zu dem Urteil, daß diese "... epidemiologische Studie ... klinisch erhebliche Zweifel an ihrer Richtigkeit aufkommen ... (läßt)..."

DUPUIS und ZERLETT als Mitarbeiter bzw. Mitautor des RHEINBRAUN-Forschungsprojektes "Ganzkörperschwingungen auf Erdbaumaschinen - Entwicklung geeigneter Dämpfungssysteme" (KÖHNE, ZERLETT und DUNTZE, 1982) widmen sich detailliert den arbeitsmedizinischen Erhebungen in dieser Studie. Neben dem bereits erörterten Untersuchungsergebnis, daß etwa zwei Drittel der EMF bei RHEINBRAUN unter lumbalen Wirbelsäulenbeschwerden leiden (gegenüber 41,6 Prozent einer Kontrollgruppe), geht eine gesonderte Befragung einer kleineren EMF-Gruppe auf deren allgemeine Beschwerden unmittelbar nach einem achtstündigen Arbeitstag ein. Es zeigt sich, daß diese an erster Stelle Rückenschmerzen angeben - interessanterweise bei Fahrern von Radgeräten in 49 und von Kettenengeräten in 42 Prozent der Fälle. Eine Erklärung für diese Differenz läßt sich wahrscheinlich aus der unterschiedlichen Vibrationscharakteristik der Gerätetypen herleiten (vgl. Kap. 2).

Die Angaben über die Häufigkeitsverteilungen der Rückenschmerzen direkt nach Arbeitsende weisen eine deutliche Altersabhängigkeit auf, die jedoch nicht statistisch über-

prüft wurde. Dennoch verdient dieses, im Vergleich zur eigenen Untersuchung anders modifizierte Ergebnis, im Hinblick auf die Altersabhängigkeit von Wirbelsäulenbeschwerden mit dem direkten zeitlichen Bezug zur Arbeitstätigkeit eine besondere Beachtung. Zurückblickend auf den zeitlichen Bezugspunkt ihrer Röntgenuntersuchung ergibt sich in der eigenen Studie für die EMF ebenfalls - eine statistisch gesicherte - altersabhängige Häufigkeitszunahme der Wirbelsäulenbeschwerden im Sinne eines Lumbalsyndroms (Abb. 19 und 20).

Im Rahmen einer zusätzlichen Morbiditätsstudie, welche sich auf Krankenunterlagen der Arbeitsmedizinischen Abteilung der RHEINBRAUN stützt, in die auch Diagnosen (mit unterschiedlicher Terminologie) aus Kliniken oder von niedergelassenen Ärzten mit einfließen, fällt auf, daß die "... Lendenwirbelsäule ... in der überwiegenden Mehrzahl von pathologischen Prozessen betroffen ... (war)." Diese Aussage bezieht sich sowohl auf EMF (81 %) als auch auf Personen eines Vergleichskollektivs (51 %), wobei gleichzeitig eine deutlich erhöhte allgemeine Morbidität der LWS bei EMF gegenüber nicht schwingungsexponierten Männern dokumentiert ist (allerdings ohne Altersdifferenzierung oder statistische Vertiefung).

In den Fällen, wo auf Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule zurückgegriffen werden konnte, ergeben sich in der RHEINBRAUN-Studie für EMF mit mindestens zehnjähriger Berufszeit und Tagebauwerker ohne Ganzkörper-Vibrationsbelastung durchgehend über sechs Altersgruppen von 32 bis 60 Jahren Häufigkeitsdifferenzen pathologischer (überwiegend degenerativer) LWS-Veränderungen zuungunsten der EMF. Dieses bereits vergleichend diskutierte Untersuchungsergebnis (s.S. 94 und 95) führt bei DUPUIS und ZERLETT zu folgenden Schlußfolgerungen: I. "Zusammengefaßt ist der Studie von KÖHNE, ZERLETT und DUNTZE (1982) zu entnehmen, daß morphologische Veränderungen der Wirbelsäule, insbesondere der Lendenwirbelsäule,

die häufiger und vorzeitiger manifest werden, bei Erdbau-  
maschinenfahrern auf die Belastung durch Ganz-Körper-  
Schwingungen ursächlich zurückgeführt werden müssen." - Die  
eigene Studie unterstreicht dieses Resümee von DUPUIS und  
ZERLETT und weist als wesentliche Ergänzung aus, daß im  
Vergleich zur Kontrollgruppe die degenerativen LWS-Verände-  
rungen, differenziert in drei Schweregrade, statistisch  
signifikant bei EMF nicht nur früher und häufiger, sondern  
auch dazu in ausgeprägterer Form auftreten, und daß sie  
neben einer Altersabhängigkeit auch eine Zunahme ihrer  
Häufigkeitsverteilung mit wachsender Expositionsdauer  
zeigen - der Gesamtvergleich beider Kollektive fällt ebenso  
zuungunsten der EMF aus (Abb. 10 sowie 15 bis 17).

II. "Die subjektiven Beschwerden der Schwingungsbelasteten  
und die erhöhte Morbidität an einem sogenannten Lumbalsyn-  
drom bestätigen klinisch die objektiven röntgenologischen  
Befunde der Wirbelsäule - insbesondere der Lendenwirbel-  
säule." - Diesem Teil der Zusammenfassung der RHEINBRAUN-  
Arbeit durch DUPUIS und ZERLETT muß hinzugefügt werden, daß  
gerade in der eigenen Studie neben einer deutlichen Alters-  
abhängigkeit und einer schwächeren Abhängigkeit von der  
Anzahl der Berufsjahre die angesprochene Korrelation zwi-  
schen den subjektiven lumbalen Beschwerdeangaben der EMF  
und den objektivierten verschiedenen Schweregraden der  
degenerativen LWS-Röntgenbefunde auf statistisch hoch  
signifikante Weise diese Feststellung untermauert (Abb. 18  
bis 21).

Nach weiterer Diskussion von Untersuchungen über verschie-  
dene Berufsgruppen (Fahrer von Nutzfahrzeugen, Schiffs- und  
Flugzeugbesatzungen sowie Betonindustriearbeiter) nehmen  
DUPUIS und ZERLETT Stellung zur "Prävalenz von pathologi-  
schen Wirbelsäulenveränderungen":

"Leider enthalten die meisten ... Veröffentlichungen keine  
Angaben zur vorausgegangenen Schwingungsbelastung der  
Untersuchten ... Es liegen aber aus zahlreichen Untersu-  
chungen der letzten Jahre Ergebnisse vor, die - mit gewis-

sem Vorbehalt - zur Einschätzung der Belastung auf verschiedenen Fahrzeugen und Arbeitsmaschinen herangezogen werden können ... Bei vielen Untersuchungen fehlt es an Kontrollgruppen, und nur in Ausnahmefällen konnte der Gesundheitszustand der Wirbelsäule ... in Langzeitstudien verfolgt werden ... Dennoch läßt sich aus dem Untersuchungsmaterial die Tendenz ableiten, daß hohe Schwingungsbelastungen, wie sie bei Erdbaumaschinenführern und in der zurückliegenden Zeit bei Schlepperfahrern (... verbesserte Sitzfedereigenschaften ...) vorkommen, auch zu verstärkter Häufigkeit pathologischer Wirbelsäulenbefunde führen."



## 6.3 Arbeitsmedizinische Beurteilung

### 6.3.1 Kausalitätsfrage

Nach § 3 (1) 3 c des "Gesetzes über Betriebsärzte ..." (Bundesgesetzblatt, 1973) zählt es zu deren Aufgaben, "... Ursachen von arbeitsbedingten Erkrankungen zu untersuchen ...". RUTENFRANZ wies auf der Jahrestagung 1980 der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin darauf hin "..., daß bei der Beurteilung von berufsbedingten Erkrankungen das Prinzip der Kausalität und der Wahrscheinlichkeit gewahrt bleiben müßte" (TOUSSAINT und ZERLETT, 1980). Auf dem Kongreß für Arbeitsmedizin 1981 stellte LANGE das Problem aus epidemiologischer Sicht dar: "Im Rahmen ... von epidemiologischen Studien ist die Ermittlung von Fakten mit kausaler Interpretation ein wesentliches Ziel der Epidemiologie ganz allgemein und der Arbeitsmedizin im besonderen. Der Nachweis einer statistischen Assoziation zur Annahme von Kausalzusammenhängen ist insbesondere in Anbetracht der Multikausalität chronischer Krankheiten ein wissenschafts-theoretisches Problem ...". (Zentralblatt Tagungsberichte, 1981).

In der Arbeitsmedizin bedient man sich zur Klärung von Kausalitätsfragen des Belastungs- und Beanspruchungskonzepts, das arbeitswissenschaftlich auf folgenden Definitionen basiert: "Belastung stellt die Summe aller auf den Menschen einwirkenden Faktoren der Arbeit dar ... Als Beanspruchung bezeichnet man die Summe aller durch unterschiedliche individuelle Eigenschaften und Fähigkeiten bedingten unterschiedlichen Auswirkungen von Belastung im Menschen. Die Beanspruchung hängt damit sowohl von der Belastung als auch von der Ausprägung individueller Eigenschaften...ab" (LAURIG und ROHMERT, 1974).

VALENTIN et al. (1979 a) veranschaulichen das Konzept am Beispiel der Stabbiegeprobe im Sinne einer technischen Materialprüfung: "Hier ist ... einsichtig ..., daß die Größe der ... Beanspruchung ... aus der objektiven Belastung ... nur auf dem Umweg über intervenierende Variable (z.B. Materialkonstante ...) vorhergesagt werden kann." Den besonderen Stellenwert des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts für die Arbeitsmedizin sehen VALENTIN et al. (1979 a) darin, daß "... es die Bedeutung des Individuums für erträgliche Belastungen in den Vordergrund stellt."

Bezogen auf Erdbaumaschinenfahrer sind folgende exogene und endogene Faktoren sowie Variablen in einem Kausalzusammenhang zu sehen:

Belastungsfaktoren: Langjährige stoßhaltige stochastische Ganzkörpervibration und als Mitbelastungsfaktoren sitzende Körperhaltung mit temporären Wirbelsäulenbeugungen und -drehungen. Die ergonomischen Schwingungsmessungen auf Erdbaumaschinen dokumentieren, daß die nach VDI-Richtlinien zulässigen täglichen Expositionszeiten bei EMF ständig überschritten wurden - in dem vorliegenden Kollektiv über einen Zeitraum von mindestens 10 bis maximal 33 Jahre (Kap. 2 und 6.1).

Variablen: Die Ausprägung individueller Eigenschaften hat inter- und intraindividuelle Aspekte. Intraindividuelle Faktoren, die bei der Auswirkung von Schwingungsbelastung auf die Wirbelsäule zu berücksichtigen sind, hat DUPUIS (1980 a) aufgeführt: Lebensalter, Alter bei Expositionsbeginn, Konstitution und Disposition, Trainingszustand der Bauch- und Rückenmuskulatur, Gesundheitszustand der Wirbelsäule (vgl. Kap. 4.3).

In der eigenen Untersuchung sind als intraindividuelle Faktoren das Lebensalter und die Anzahl der Berufsjahre einbezogen worden (Abb. 5 bis 9). Interindividuelle Gefährdungsbezirke der Zwischenwirbelräume für Vibrationsdauerbelastung (JUNGHANNS, 1979 a) sind in Kapitel 4.4 beschrie-

ben. Weitere endogene Faktoren regressiver Bandscheibenveränderungen, die sich aus den interindividuellen biomechanischen Besonderheiten des bradytrophen Zwischenwirbelabschnitts ergeben, sind nach KRÄMER (1978) im Kapitel 3 dargestellt.

**Beanspruchungsfaktor:** In Folge einer Bandscheibendegeneration sind die morphologischen Veränderungen als Chondrose, Osteochondrose und Spondylose röntgenologisch erfaßbar und quantifizierbar. Eingeteilt in Schweregrade sollen sie als objektive Parameter der degenerativen Bandscheibenveränderungen das Ausmaß der Beanspruchung der LWS durch Ganzkörpervibration anzeigen (Kap. 5.5 bis 5.7 sowie 6.2).

Eine Verknüpfung der Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren ist durch die allgemeingültige Dosis-Effekt-Beziehung herzuleiten. "Hinsichtlich der exogenen Belastungsfaktoren ist vor allem die 'Dosis' der Schwingungsbelastung von Bedeutung, das heißt also die Intensität und die tägliche, jährliche und das Berufsleben betreffende Expositionsdauer" (DUPUIS und ZERLETT, 1984). Die nach VDI 2057 ermittelten Daten für Erdbaumaschinen bei RHEINBRAUN sind in Kapitel 2.3 und 6.1 vorgestellt und weisen aus, daß aufgrund des bisherigen Kenntnisstandes die "exposure-limits" für Ganzkörper-Vibrationsbelastung der EMF in nicht unerheblichem Maße überschritten werden. Die Annahme, daß degenerative Wirbelsäulenveränderungen als "Effekt" der Schwingungsbelastung resultieren, gründet auf der Erfahrung aus vielen Untersuchungen, die "... - auch unter Berücksichtigung altersbedingter Veränderungen - auf eine von der Expositionsdauer abhängige Zunahme der Prävalenz oder eine Verschlimmerung der pathologischen Veränderungen der Wirbelsäule ... (weisen) ... Dabei wird eine bisher noch nicht abschätzbare, bestimmte Mindestexpositionsdauer angenommen, bevor es zu einer erhöhten Häufigkeit degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen kommt" (DUPUIS und ZERLETT, 1984).

Ausgehend von einer Mindestanzahl von zehn Berufsjahren findet sich den zitierten Literaturangaben entsprechend auch in dem eigenen EMF-Kollektiv gegenüber den Personen

des VK eine über das altersabhängige Maß hinausgehende Häufigkeitsverteilung degenerativer LWS-Befunde (Abb. 16 und 17). Dabei fällt deren häufigeres und vorzeitigeres Auftreten bei den EMF vor allem in den jüngeren Altersklassen statistisch ins Gewicht.

Als notwendige Ergänzung bei der Anwendung des allgemeingültigen Belastungs- und Beanspruchungskonzeptes bzw. der Dosis-Wirkungsbeziehungen ist im besonderen Falle der EMF von Bedeutung, welche Pathomechanismen bei einer Ganzkörper-Vibrationsbelastung zu einer Beanspruchung der LWS in Form von degenerativen Veränderungen führen können.

DUPUIS (1980 a) entwickelt zwei Hypothesen zum Entstehungsmechanismus schwingungsbedingter Wirbelsäulenveränderungen, die in Kapitel 4.1 und 4.2 dargelegt sind. Neben der Hypothese der mechanisch bedingten Gewebe-Überbeanspruchung durch unphysiologische Vibrationsbelastungen in Form von stochastischen Schwingungen und Resonanzphänomenen der Wirbelsäule (akute Einwirkungen) steht die These der schwingungsbedingten Stoffwechselstörung. Diese geht davon aus, daß vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen im Kapillarbereich des Wirbelkörper-Bandscheibe-Überganges zu Diffusionsstörungen der bradytrophen Bandscheiben und somit zur Diskose (chronische Wirkungen) führen.

Ergänzend zu diesen beiden Theorien bezüglich der Vibrationseinwirkung auf die Wirbelsäule sei noch auf die sitzende Arbeitshaltung der EMF und auf die arbeitsablaufbedingten Rumpfbeugungen sowie Wirbelsäulentorsionen durch Rumpfdrehung als mitbelastende Faktoren hingewiesen. Über intradiskale Druckerhöhungen können diese einen zusätzlichen negativen Effekt auf die diskutierte vibrationsbedingte Diffusionsstörung im Bereich der bradytrophen Zwischenwirbelscheiben ausüben, oder, mechanisch bedingt im Falle von Torsionen, im Extremfalle Fissuren im Anulus fibrosus der Bandscheiben verursachen (Kap. 6.1).

Ausgehend von den genannten Hypothesen beschreibt DUPUIS (1980 a) die Problematik der Kausalitätszusammenhänge: "Der

Nachweis der Kausalität zwischen Schwingungsbelastung und pathologischen Veränderungen der Wirbelsäule ist sehr schwer zu erbringen. Das hat vor allem methodische Gründe. So lassen sich Humanexperimente, die zur Schädigung führen, nicht anstellen. Man ist daher weitgehend auf epidemiologische Untersuchungen an Personengruppen angewiesen, die über längere Zeit beruflich mechanischen Schwingungen ausgesetzt sind."

KOLÁŘ (1981) verlangt von einem derartigen Kollektiv, daß die Belastung im Beruf größer gewesen sein muß, als diejenige, die gewohnten Anforderungen im Leben entspricht. Die berufliche Gefährdung muß das übliche Maß überschreiten, damit sie als eine Voraussetzung für die Anerkennung eines gesteigerten Verschleißes angesehen werden kann. Das Kollektiv der 273 Erdbaumaschinenfahrer erfüllt diese Bedingungen aufgrund objektivierter Schwingungsbelastungen und langjähriger Expositionszeiten (vgl. Kap. 2.3 und 6.1). ERDMANN (1966) nennt weitere Beurteilungskriterien des beruflichen Kausalfaktors bei Wirbelsäulenabnutzungsschäden: "Die einschlägige Berufsgruppe müßte nicht nur mit größerer Häufigkeit, sondern auch mit beträchtlich höheren Graden der Ausprägung und in einem beträchtlich früheren Lebensalter an diesen Schäden erkranken." Die eigene Untersuchung hat gezeigt, daß bei den EMF im Vergleich zu der Kontrollgruppe die morphologischen Veränderungen häufiger, schwerergradiger und früher röntgenologisch nachweisbar sind (Abb. 15 bis 17).

Im Hinblick auf die Gesichertheit der eigenen Untersuchungsergebnisse als arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse werden nach dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept von LAURIG und ROHMERT (1974) in der vorliegenden Studie auch folgende zwei Grundbedingungen erfüllt:

Als notwendige Bedingung ist, wie im vorliegenden Falle bezüglich Ganzkörper-Vibrationsexposition und lumbaler Diskose bei EMF beschrieben, die Erfassung und Beurteilung der meßbaren Eigenschaften von Belastung (Kap. 2.3 und 6.1) und Beanspruchung (Kap. 4 und 6.2) anzusehen.

"Als hinreichende Bedingung folgt schließlich aus der

induktiven Vorgehensweise ..., daß ein arbeitswissenschaftlich gesichertes Ergebnis ein statistisch gesichertes Ergebnis sein sollte, da unabhängig von einer unterschiedlichen Untersuchungsmethodik induktive Schlüsse nur mit Hilfe der Statistik möglich sind."

Aufgrund der eigenen statistischen Berechnungen unterscheiden sich das EMF-Kollektiv und die Kontrollgruppe bezüglich ihrer Häufigkeitsverteilungen auf die drei Degenerationsstadien in höchst signifikanter Weise (Abb. 15). Die Verteilungsunterschiede fallen vor allem in den jüngeren Altersstufen ins Gewicht (Abb. 16 und 17). Diese Tatsache ist von Wichtigkeit, da bei der Beurteilung der Kausalität zwischen einer Berufstätigkeit und degenerativen Schäden am Bewegungsapparat laut KOLÁŘ (1981) die Veränderungen sich bei den Betroffenen bereits in den Lebensaltern zeigen müssen, in denen sie im Allgemeinen noch nicht so häufig sind.

Zusammengefaßt läßt die vorliegende mikroepidemiologische Studie aufgrund der statistischen Ergebnisse als arbeitswissenschaftliche Erkenntnis die "Wahrscheinlichkeitsaussage" zu, daß im Sinne des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts bei den Erdbaumaschinenfahrern als belastungshomogene Gruppe ein Kausalzusammenhang besteht zwischen der langjährigen beruflichen Ganzkörper-Vibrationsbelastung und der Häufigkeit, dem zeitlichen Auftreten sowie dem Ausmaß lumbaler Bandscheibendegeneration.

"Im Einzelfalle wird es unter Umständen schwierig, degenerative Veränderungen an der Wirbelsäule als kausal mit der Belastung durch Ganzkörper-Schwingungen verbunden nachzuweisen ... Jedoch können degenerative Veränderungen der Wirbelsäule mit ausgeprägter klinischer Symptomatologie bei jüngeren Menschen, die starker Belastung durch Ganzkörper-Schwingungen (gemäß VDI 2057 bzw. ISO 2631) ausgesetzt waren, dann als mit hoher Wahrscheinlichkeit arbeitsbedingt beurteilt werden, wenn diese Veränderungen unter Berücksichtigung des Alters als vorzeitig angesehen werden müs-

sen. Je länger die Schwingungsexposition angedauert hat, um so wahrscheinlicher dürfte ein Zusammenhang mit der Belastung durch Ganzkörper-Schwingungen herzuleiten sein" (DUPUIS und ZERLETT, 1984).

### 6.3.2 Anerkennung als Berufskrankheit

"Die europäische Liste der Berufskrankheiten ... umfaßt alle Berufskrankheiten, die in einem oder mehreren Ländern der Europäischen Gemeinschaft entschädigungspflichtig sind" (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 1972). In Bezug auf die BK-Nr. E 5: "Berufsbedingte Knochen-Gelenk-Schäden und angioneurotische Störungen durch Erschütterungen" finden sich in dem dazugehörigen Merkblatt folgende, auf Erdbaumaschinen übertragbare Aussagen: "Die wichtigsten Gefahrenquellen sind: - Führung von Baumaschinen und -fahrzeugen ... Die langsamen Erschütterungen der Baufahrzeuge und -maschinen haben große Amplituden. Die Resonanzerscheinungen bei den Maschinen oder des Organismus sowie andere Umstände, wie schlechte Sitze, seitlich einwirkende Kräfte, angestrengte Muskeltätigkeit usw. überlagern oft die Erschütterungen und tragen zur Verschlimmerung der Schäden bei. Die Knochen-Gelenk-Schäden finden sich fast ausschließlich an der Wirbelsäule ... Meist sind diese Schäden im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule lokalisiert."

Über den Rahmen der Europäischen Gemeinschaft hinaus sind seit 1980 "Durch Vibrationen verursachte Erkrankungen (Erkrankungen der Muskeln, der Sehnen, der Knochen, der Gelenke, der peripheren Gefäße oder Nerven)" in der Liste der Berufskrankheiten im internationalen Übereinkommen Nr. 121 der ILO (= IAO - Internationale Arbeitsorganisation) unter der Nr. 23 aufgeführt. Laut DUPUIS und ZERLETT (1984) anerkannten dabei die mit der Ausarbeitung dieser Berufskrankheitenliste befaßten internationalen Sachverständigen "... den beruflichen Ursprung von Wirbelsäulenerkrankungen infolge von Vibrationen des gesamten Körpers und von Erschütterungen ..."

In der Berufskrankheiten-Liste der DDR sind berufsbedingte Verschleißkrankheiten am Bewegungsapparat - einschließlich der Bandscheiben - seit 1958 als Berufskrankheit anerkannt.



HÄUBLEIN (1979) untersuchte eine Population von 32081 in "... körperlich schwerer Arbeiten stehender ..." Bauarbeiter mit dem erklärten "... Ziel, die Berechtigung der Aufnahme von Verschleißkrankheiten am Bewegungsapparat in die Liste der Berufskrankheiten (1957) zu überprüfen." Er stellt fest "..., daß Ursache und Wirkung im Entstehungsgefüge solcher sogenannter Verschleißkrankheiten am Bewegungsapparat von chirurgisch-orthopädischer und auch arbeitsmedizinischer Seite noch immer unterschiedlich eingeschätzt ... wird ... Generelle Ablehnung eines Zusammenhanges mit der Berufsarbeit scheinen uns heute nicht mehr statthaft."

Bezüglich mechanischer Ganzkörperschwingungen räumt er Berufsgruppen, die dem eigenen Erdbaumaschinenfahrer-Kollektiv vergleichbar sind, eine Sonderstellung ein: "Lediglich Verschleißkrankheiten der Wirbelsäule, z.B. bei Fahrern schwerer Arbeitsmaschinen und überschwerer Transportfahrzeuge, die auch im Gelände eingesetzt werden, können bei genügend langer Exposition ursächlich mit dieser Schwingungsexposition begründet werden. Dafür bietet jedoch in der DDR die derzeitige BK-Nr. 22 guten Spielraum als gesetzliche Anerkennungsgrundlage." Die DDR BK-Nr. 22 lautet: "Erkrankungen der Schleimbeutel, der Sehnenscheiden, der Sehnen- und Muskelursprünge und -ansätze, der Bandscheiben und Menisken sowie der Gelenke und der Knochen, wenn sie zur Aufgabe der schädigenden Tätigkeit zwingen" (HOLSTEIN, 1971).

Seit der neuen Verordnung von 1981 über Verhütung, Meldung und Begutachtung von Berufskrankheiten können in der DDR - laut ELSNER und BRIESKE (1984) im Gefolge der Literaturstudie von HEIDE (1977) - sogar ausdrücklich "Verschleißleiden der Wirbelsäule (Bandscheiben, Wirbelkörperabschlußplatten, Wirbelfortsätze, Bänder, kleine Wirbelgelenke) durch langjährige mechanische Überbelastungen" als Nr. 70 der Liste der Berufskrankheiten im Sinne einer entschädigungspflichtigen Berufskrankheit "... nach einer Ganz-Körper-Vibrationsbelastung anerkannt werden, wenn es zu erheb-

lichen Funktionseinschränkungen des Bewegungsapparates mit Aufgabe der schädigenden Tätigkeit gekommen ist" (DUPUIS und ZERLETT, 1984).

"Die Berufskrankheitenverordnung der Bundesrepublik Deutschland (D-BeKV) enthält zwar unter der Nr. 2107 eine Knochenerkrankung an der Wirbelsäule (Schipperkrankheit ...), nennt aber keine als Berufskrankheit anerkannte Schädigung der Zwischenwirbelscheibe ..." (JUNGHANNS, 1979 b). Einerseits sind die durch Teilkörper-Vibrationsbelastung bekannten Erkrankungen als durch physikalisch-mechanische Einwirkungen verursachte Krankheiten in der 7. BeKV unter den Nrn. 2103 und 2104 (vgl. S. 100 bis 101) angeführt (STEINHÄUSER und BOLT, 1980; DUPUIS, 1982). Andererseits kann die durch mechanische Ganzkörper-Schwingungsbelastung verursachte Bandscheibendegeneration in der Bundesrepublik theoretisch nur aufgrund des sogenannten "Härteparagrafen" (ERDMANN, 1966) § 551, Abs. 2 der Reichsversicherungsordnung (RVO) im Einzelfall "wie eine Berufskrankheit" entschädigt werden. WAGNER und ZERLETT (1979) berichten jedoch, daß nach einer Entscheidung des Landessozialgerichtes Niedersachsen vom 13.12.1973 Veränderungen an der Wirbelsäule eines Landwirtes mit Ganzkörper-Vibrationsexposition durch Fahren eines Traktors mit einem schlecht gefederten Fahrersitz nicht "wie eine Berufskrankheit" entschädigt wurde.

Nach DUPUIS und ZERLETT (1984) sind bisher "... noch in keinem Falle Wirbelsäulenschäden als oder wie eine Berufskrankheit anerkannt worden, die im Zusammenhang mit Ganz-Körper-Schwingungs-Belastung festgestellt wurden, WAGNER und ZERLETT (1982)."

Die entscheidende Einschränkung des § 551, Abs. 2 RVO lautet: "... sofern nach neuen Erkenntnissen die übrigen Voraussetzungen des Absatzes 1 erfüllt sind." Im Abs. 1 des § 551 der RVO, der die gesetzliche Grundlage der 7. Berufskrankheitenverordnung darstellt, heißt es: "Die Bundes-

regierung wird ermächtigt, in der Rechtsverordnung solche Krankheiten zu bezeichnen, die nach den Erkenntnissen der medizinischen Wissenschaft durch besondere Einwirkungen verursacht sind, denen bestimmte Personengruppen durch ihre Arbeit in erheblich höherem Grade als die übrige Bevölkerung ausgesetzt sind ..." Bezüglich dieser Bedingungen vermittelt die vorliegende Studie "neue Erkenntnisse": Die Bewertung der Ganzkörperschwingungsbelastung bei RHEIN-BRAUN-Erdbaumaschinenfahrern anhand der VDI-Richtlinien erlaubt die Kennzeichnung als "besondere Einwirkung" (Kap. 2.3 und 6.1; KÖHNE, ZERLETT und DUNTZE, 1982). Für das eigene belastungshomogene EMF-Kollektiv gilt als "bestimmte Personengruppe" darüber hinaus, daß es neben dem Überschreiten der täglichen Expositionszeiten diesen "besonderen Einwirkungen" über 10 bis 33 Berufsjahre (im Durchschnitt 17,6 Jahre) - somit "in erheblich höherem Grade als die übrige Bevölkerung" - ausgesetzt war (Kap. 5.2).

Im Hinblick auf die "Erkenntnisse der medizinischen Wissenschaft" über den "Zwischenwirbelschaden als problematische Berufskrankheit" fehlen nach JUNGHANNS (1979 b), neben einer noch ungenügenden Grundlagenforschung, ferner "... statistisch gesicherte Ergebnisse epidemiologischer Studien ..." Die eigene mikroepidemiologische Studie vermittelt in diesem Zusammenhang folgende "neue Erkenntnis" im Sinne der RVO: Nach langjähriger Ganzkörper-Schwingungsbelastung zeigt sich bei Erdbaumaschinenfahrern ein höchst signifikanter Unterschied in der Gesamt-Häufigkeitsverteilung der Schweregrade lumbaler Bandscheibendegeneration gegenüber den Personen des Vergleichskollektivs mit über das altersentsprechende Maß hinausgehenden überzufälligen Unterschieden zuungunsten der EMF in den jüngeren der untersuchten Jahrgängen sowie mit einer hoch signifikanten Abhängigkeit der Häufigkeitsverteilung subjektiver lumbaler Beschwerden bei den EMF von den Schweregraden degenerativer LWS-Befunde.

Aufgrund der "neuen Erkenntnisse" und der Erfüllung der "... übrigen Voraussetzungen des Absatzes 1 ..." (§ 551 der

RVO) müßte es in Zukunft möglich sein, in Anwendung der sogenannten "Generalklausel" (d.i. Absatz 2 des § 551 der RVO) "... im Einzelfall eine Krankheit ..." wie degenerative LWS-Veränderungen mit klinischer Symptomatik eines Lumbalsyndroms bei EMF mit langjähriger Ganzkörper-Vibrationsbelastung "..., auch wenn sie nicht in der Rechtsverordnung verzeichnet ist ..., wie eine Berufskrankheit ..." zu behandeln.

Zusammengefaßt bedarf es dazu im Einzelfalle, da die degenerativen Veränderungen der LWS sich nicht als vibrations-typisch abgrenzen lassen, nach DUPUIS und ZERLETT (1986) folgender Befundkonstellation zur differentialdiagnostischen Abklärung z.B. gegenüber einem unspezifischen chronischen Bandscheibenleiden:

- Zugehörigkeit des Individuums zu einer belastungshomogenen Berufsgruppe, für die eine "Ursächlichkeit" zwischen Schwingungsbelastung und Wirbelsäulenschädigung epidemiologisch-statistisch wahrscheinlich erscheint,
- tägliche Schwingungs-Belastungs-Dosis am Arbeitsplatz oberhalb der Richtwertkurve und langjährige Expositionszeit,
- klinisch relevantes Lumbalsyndrom,
- röntgenologischer Nachweis von im Vergleich zu der natürlichen altersabhängigen Entwicklung ausgeprägterer degenerativer LWS-Veränderungen.

Im Falle eines Zutreffens dieser Bedingungen könnte bei EMF die Zusammenhangsfrage zwischen beruflicher Ganzkörper-Vibrationsbelastung und degenerativen LWS-Veränderungen mit Lumbalsyndrom im juristischen Sinne - wie in wissenschaftlichen Gutachten üblicherweise formuliert - als mit "... hinreichender Wahrscheinlichkeit ursächlich ..." angesehen werden (DUPUIS und ZERLETT, 1986).

### 6.3.3 Prävention

Unabhängig von der in der Bundesrepublik Deutschland nicht gegebenen Anerkennung der Wirbelsäulenschäden durch Ganzkörper-Vibrationsbelastung "als" oder "wie" eine Berufskrankheit, gilt dennoch bezüglich der Prävention solcher Erkrankungen für Erdbaumaschinen eine Unfallverhütungsvorschrift, in welcher der § 7 (1) vorschreibt, daß "... Fahrersitze von Erdbaumaschinen ... einstellbar sein ... (müssen) ... und so gestaltet, gefedert und gedämpft sein, daß Gesundheitsschäden durch Erschütterungen vermieden werden" (Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, 1976). Dabei wird "... für die Gestaltung und Bemessung von Fahrersitzen ..." ausdrücklich auf die VDI-Richtlinie 2057 hingewiesen, welche auch bei der Ermittlung des Belastungsfaktors Ganzkörper-Vibration bei RHEINBRAUN-EMF zugrunde liegt (vgl. Kap. 2.3 und 6.1).

Laut DUPUIS und ZERLETT (1984) wird darüber hinaus an einer Unfallverhütungsvorschrift UVV "Vibration" auf seiten des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften hingearbeitet. Diese soll "... Hinweise auf Vorkommen und Gefahrenquellen sowie Maßnahmen zum Schwingungsschutz enthalten ..."

Bisher nicht in bundesdeutsches Recht umgesetzt wurde das Abkommen Nr. 148 der ILO (= IAO - Internationale Arbeitsorganisation, 1977), in welchem festgelegt wurde, daß Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer gegen Vibrationen (z.B. Expositionsgrenzwerte) zu ergreifen sind.

Als Konsequenz aus den Untersuchungsergebnissen des Forschungsprojektes zur "Humanisierung des Arbeitslebens" (KÖHNE, ZERLETT und DUNTZE, 1982; s.a. Kap. 1) sind bei RHEINBRAUN im Sinne der oben genannten Forderungen neuartige Sitzkonstruktionen mit verbesserten Schwingungsdämpfungseigenschaften auf den Erdbaumaschinen eingeführt worden.

Neben den angesprochenen ergonomischen Präventivmaßnahmen soll ferner eine Überwachung des Gesundheitszustandes der Arbeitnehmer, die Berufsgefahren infolge Vibrationen an ihren Arbeitsplätzen ausgesetzt sind, durch eine ärztliche Untersuchung vor und während der betreffenden beruflichen Exposition gewährleistet werden (arbeitsmedizinische Prävention):

" - Mit Zielsetzung einer Entwicklung 'Berufsgenossenschaftlicher Grundsätze über Ganz-Körper-Schwingungen' erfolgen zur Zeit vorbereitende Arbeiten für einen Entwurf für entsprechende arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen" (DUPUIS und ZERLETT, 1984).

## 7 Zusammenfassung

Das untersuchte belastungshomogene Kollektiv der RHEIN-BRAUN-Erdbaumaschinenfahrer weist eine derartige, die zulässigen täglichen Expositionszeiten nach VDI-Richtlinien überschreitende Schwingungsbelastung auf, daß im Sinne der Reichsversicherungsordnung (§ 551 Abs. 1) die Ganzkörper-Vibrationsbelastungen auf Erdbaumaschinen mit unzureichend schwingungsdämpfenden Sitzkonstruktionen als "... besondere Einwirkungen ..., denen bestimmte Personengruppen durch ihre Arbeit in erheblich höherem Grade als die übrige Bevölkerung ausgesetzt sind ...", gewertet werden müssen. Überwiegend sitzende Körperhaltung und temporäre Wirbelsäulendrehungen und -beugungen bei den Erdbaumaschinenfahrern werden in ihrer pathotropen Valenz bezüglich degenerativer Bandscheibenveränderungen als Mitbelastungsfaktoren angeführt.

Neben der Beschreibung der Belastungsfaktoren bei Erdbau-maschinenfahrern werden nach Darstellung der anatomischen, biomechanischen und pathologischen Grundlagen die Einfluß-möglichkeiten der Ganzkörper-Vibrationsbelastung auf die Bandscheibendegeneration dargelegt.

Zur Erfassung der Bandscheibendegeneration als Beanspruchungsfaktor nach langjähriger Ganzkörper-Vibrationsbelastung dienen als Parameter röntgenologisch nachweisbare degenerative Wirbelsäulenbefunde bei den Erdbaumaschinenfahrern.

Dazu werden Lendenwirbelsäulen-Röntgenaufnahmen aus dem Arbeitsmedizinischen Zentrum der RHEINBRAUN von 273 Erdbau-maschinenfahrern mit mindestens zehnjähriger, im Durchschnitt 17,6-jähriger Berufspraxis und täglicher Ganzkörper-Vibrationsexposition von mindestens sechs Stunden ausgewertet. In diesem Kollektiv beträgt bei einem Mindestalter von 32 Jahren das Durchschnittsalter 42,8 Jahre, das Alter bei Berufsbeginn liegt bei mindestens 22 Jahren und im Durchschnitt bei 25,2 Jahren.

324 männliche Einstellungsbewerber bei RHEINBRAUN aus den Jahren 1973 bis 1980 mit einem Mindestalter von 32 Jahren und einem Durchschnittsalter von 41,4 Jahren bilden das Vergleichskollektiv.

Als ergänzende Untersuchung werden Ergebnisse einer betriebsärztlichen Befragungsaktion hinsichtlich subjektiv geschilderter LWS-Beschwerden bezogen auf den Zeitpunkt der vorgegebenen LWS-Röntgenuntersuchung bei einem Teilkollektiv von 217 Erdbaumaschinenfahrern analysiert.

Während die Häufigkeitsverteilungen der Zeichen lumbaler Bandscheibendegeneration bei Erdbaumaschinenfahrern und im Vergleichskollektiv jeweils eine höchst signifikante Altersabhängigkeit aufweisen, zeigt sich bei den Erdbaumaschinenfahrern ebenso eine hoch signifikante Beziehung zwischen der Anzahl der Berufsjahre und dem Auftreten der degenerativen Bandscheibenbefunde.

Im Vergleich zwischen EMF-Kollektiv und Kontrollgruppe ergibt sich ein höchst signifikanter Verteilungsunterschied hinsichtlich der Häufigkeiten verschiedener Schweregrade degenerativer LWS-Veränderungen:

Normalbefunde	:	EMF 17,2 % - VK 36,7 %
leichtgradige Befunde	:	EMF 54,2 % - VK 44,8 %
schwergradige Befunde	:	EMF 28,6 % - VK 18,5 %

Dieses Gesamtergebnis basiert auf statistisch gesicherten Unterschieden in den jüngeren Altersgruppen der beiden Kollektive, wobei eine vergleichende Betrachtung der Altersabhängigkeit der Schweregrade degenerativer LWS-Veränderungen weitere Differenzierungen erlaubt.

Der Anteil der EMF mit Normalbefunden nimmt altersabhängig ab, so daß nach dem 47. Lebensjahr alle EMF degenerative LWS-Veränderungen aufweisen. Jeweils zeitversetzt um fünf bis zehn Jahre später zeigt sich auch im Vergleichskollektiv eine mit zunehmendem Alter abnehmende Häufigkeit der Normalbefunde, die jedoch im VK auch in höheren Altersgruppen vereinzelt noch nachweisbar sind. Ausgehend von



größeren Differenzen in den jüngeren Altersgruppen besteht die Tendenz zur Verkleinerung der Verteilungsunterschiede in den höheren Altersgruppen - jedoch mit konstantem Überwiegen der Häufigkeiten von Normalbefunden im Vergleichskollektiv in allen Altersklassen gegenüber dem EMF-Kollektiv.

Die leichtgradigen Befunde machen in beiden Kollektiven den größten Anteil degenerativer LWS-Veränderungen aus, zeigen aber auch altersabhängige Unterschiede zwischen den untersuchten Kollektiven. Bis zur Halbdekade "42-46 Jahre" dominieren sie bei den EMF in einer Größenordnung, derzufolge die danach eintretende Umkehrung der Verhältnisse das Gesamtüberwiegen der leichtgradigen Veränderungen bei den EMF nicht mehr beeinflußt. Ferner zeigt sich ein Unterschied darin, daß das Häufigkeitsmaximum für leichtgradige Veränderungen bei den EMF etwa zehn Jahre früher als im Vergleichskollektiv auftritt.

Die altersabhängige Zunahme der schwergradigen degenerativen LWS-Befunde erfolgt in beiden Kollektiven in kontinuierlicher Form mit einem allgemeinen Überwiegen der EMF - bei den EMF zusätzlich mit größerer Progression als im Vergleichskollektiv, so daß mit zunehmendem Alter die Diskrepanz zwischen den Kollektiven zuungunsten der EMF größer wird.

Insgesamt sind die morphologischen Veränderungen als Ausdruck einer lumbalen Bandscheibendegeneration bei EMF häufiger, frühzeitiger und in stärkerer Ausprägung als bei den Personen des Vergleichskollektivs nachweisbar.

Die Analyse der Befragungsergebnisse über LWS-Beschwerden des EMF-Teilkollektivs erbringt als Gesamtergebnis, daß nahezu zwei Drittel der EMF Symptome im Sinne eines Lumbalsyndroms vortragen, wobei die Häufigkeitsverteilung der Angaben eine gesicherte Altersabhängigkeit zeigt. Aufgrund der Selektion des EMF-Kollektivs durch Einstellungsunter-

suchungen und der Voraussetzung einer mindestens zehnjährigen Berufspraxis resultiert, daß die EMF mit sowie die EMF ohne LWS-Beschwerden jeweils nur eine schwache Korrelation ihrer nahezu übereinstimmenden Berufsaltersstruktur zum Lebensalter aufweisen, so daß die Beschwerdehäufigkeit als Ausdruck eines "healthy-worker-effect's" keine statistisch signifikante Abhängigkeit von der zunehmenden Anzahl der Berufsjahre erbringt. Eine andererseits hoch signifikante Korrelation zwischen lumbalen Beschwerden der EMF und den Schweregraden ihrer degenerativen röntgenologischen LWS-Veränderungen dokumentiert eine hohe Übereinstimmung zwischen den untersuchten subjektiven und objektiven LWS-Daten der EMF.

Die Erfassung und Quantifizierung des Belastungsfaktors "Ganzkörper-Vibration" sowie des Beanspruchungsfaktors "lumbale Bandscheibendegeneration" dienen als notwendige Bedingungen und die statistische Absicherung der vorliegenden epidemiologischen Untersuchungsergebnisse als hinreichende Bedingung im Sinne des arbeitswissenschaftlichen Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts zur Formulierung folgender "Wahrscheinlichkeitssaussage":

Bei Erdbaumaschinenfahrern besteht ein Kausalzusammenhang zwischen langjähriger beruflicher Ganzkörper-Vibrationsbelastung und Häufigkeit, Ausmaß und zeitlichem Auftreten lumbaler Bandscheibendegeneration.

Aufgrund dieser - in § 551 Abs. 2 der Reichsversicherungsordnung als Grundvoraussetzung geforderten "... neuen Erkenntnis ..." - müssten bandscheibenbedingte LWS-Erkrankungen bei EMF zukünftig in der Bundesrepublik Deutschland grundsätzlich "... wie eine Berufskrankheit ..." behandelt werden können.

Die verschiedenen Formen der Anerkennung von Wirbelsäulenschädigungen durch Erschütterungen als Berufskrankheit durch internationale Berufskrankheiten-Verordnungen werden aufgezeigt.

Hinsichtlich der Prävention arbeitsbedingter Bandscheibendegeneration durch Ganzkörper-Vibrationsexposition werden bestehende, teilweise internationale Regelungen angeführt und ausblickend wird hingewiesen auf die Vorbereitung einer Unfallverhütungsvorschrift "Vibration" (ergonomische Prävention) durch den Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften sowie auf die Entwicklung "Berufsgenossenschaftlicher Grundsätze über Ganz-Körper-Schwingungen" für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (arbeitsmedizinische Prävention).

8 Literaturverzeichnis

BAU-BERUFGENOSSENSCHAFT:

Erdbaumaschinen

Schriftenreihe der Bau-Berufgenossenschaften

ZH 1/533, 1980

BECHTOLDT, W.:

Zur Frage der Überlastungsschäden der Wirbelsäule  
bei Bandscheibendegeneration

Z.Orthop. 106, 5-32, 1969

BERUFGENOSSENSCHAFT DER CHEMISCHEN INDUSTRIE:

Unfallverhütungsvorschrift Abschnitt 37

Bagger, Lader, Planiergeräte, Schürfgeräte und  
Spezialmaschinen des Erdbaus (Erdbaumaschinen)

vom 1. April 1976 (VBG 40)

Jedermann, Heidelberg

BEUTEL, P., KÜFFNER, H., SCHUBÖ, W.:

Statistik-Programm - System für die

Sozialwissenschaften: SPSS 8

Fischer, Stuttgart-New York 1980

BUNDESGESETZBLATT:

Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure  
und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit

Arbeitsmed.Sozialmed.Präventivmed. 9,

VI-IX, 1974

CHRIST, W.:

Aufbaustörungen der Wirbelsäule bei den in der  
Landwirtschaft tätigen Jugendlichen im Hinblick

auf das Schlepperfahren

Grundl.d.Landt. 13-15, 1963

CHRIST, W., DUPUIS, H.:

Über die Beanspruchung der Wirbelsäule unter dem  
Einfluß sinusförmiger und stochastischer

Schwingungen

Int.Z.angew.Physiol. 22, 258-278, 1966

CHRIST, W., DUPUIS, H.:  
Untersuchung der Möglichkeit von  
gesundheitlichen Schädigungen im Bereich der  
Wirbelsäule  
Med.Welt 19, 1919-1920 und 1967-1972, 1968

CREMONA, E.:  
Betrachtungen über die Wirbelsäule bei  
Schwerarbeitern der Eisen- und Stahlindustrie  
sowie des Bergbaus  
Dok.Nr. 1911/72d der Kommission der  
Europäischen Gemeinschaften 1972

DUPUIS, H.:  
Einwirkung berufsbedingter Vibrationen auf die  
Wirbelsäule  
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis 92,  
45-50, 1980 (a)

DUPUIS, H.:  
Stand der arbeitsmedizinischen Bewertung  
mechanischer Schwingungen am Arbeitsplatz  
Arbeitsmed.Sozialmed.Präventivmed.15, 236-243,  
1980 (b)

DUPUIS, H.:  
Wirkung mechanischer Schwingungen auf das  
Hand-Arm-System - Literaturanalyse  
Forschungsbericht Nr. 308 BAU  
Wirtschaftsverlag, Bremerhaven 1982

DUPUIS, H., CHRIST, W.:  
Untersuchung der Möglichkeit von Gesundheits-  
schädigungen im Bereich der Wirbelsäule bei  
Schlepperfahrern  
Max-Planck-Inst.f.Landarbeit und Landtechnik  
(Abschlußbericht), Bad Kreuznach 1966

DUPUIS, H., CHRIST, W.:  
Untersuchung der Möglichkeit von Gesundheits-  
schädigungen im Bereich der Wirbelsäule bei  
Schlepperfahrern - Zweite Folgeuntersuchung  
Max-Planck-Inst.f.Landarbeit und Landtechnik,  
Heft A 72/2, Bad Kreuznach 1972

DUPUIS, H., ZERLETT, G.:  
Beanspruchung des Menschen durch mechanische  
Schwingungen - Kenntnisstand zur Wirkung von  
Ganz-Körper-Schwingungen  
Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen  
Berufsgenossenschaften e.V., 1984

- DUPUIS, H., ZERLETT, G.:  
Ganz-Körper-Schwingungen und Wirbelsäule  
Stellungnahme (I)  
Arbeitsmed.Sozialmed.Präventivmed. 21,  
186-187, 1986
- ELSNER, G., BRIESKE, R.:  
Arbeit und Rheuma - Darstellung und Analyse von  
Forschungsansätzen und -ergebnissen bei arbeits-  
bedingten degenerativen rheumatischen Erkran-  
kungen  
Universitätsdruck, Bremen 1984  
Schriftenreihe "Humanisierung des Arbeitslebens"  
(in Vorbereitung)
- ERDMANN, H.:  
Gesichtspunkte zur Begutachtung von Anträgen auf  
Entschädigung von Wirbelsäulenschäden "wie eine  
Berufskrankheit"  
Schriftenreihe: Unfallmedizinische Tagungen der  
Landesverbände der gewerblichen Berufsgenossen-  
schaften H 1, 155-164, 1966
- EVERITT, B.S.:  
The Analysis of Contingency Tables  
Chapman and Hall, London 1977
- FARFAN, H.F.:  
Mechanical Disorders of the Low Back  
Lea & Febiger, Philadelphia 1973
- FRANKE, W.:  
Ärztliche Untersuchungen der Fahrer schwerer  
Fahrzeuge im Salzbergbau  
Kali und Steinsalz 7, 253-255, 1978
- GORN:  
zit. n. TELEKY (1934)
- GÜNTZ, E.:  
Nicht entzündliche Wirbelsäulenerkrankungen  
In: Hohmann, G., Hackenbroch, M., Lindemann, K.:  
Handbuch der Orthopädie, Bd. II  
Thieme, Stuttgart 1958
- HABERMEHL, A.:  
Kontingenztafel  
Deutsches Ärzteblatt 81, 1085-1086, 1984

HÄUBLEIN, H.G.:  
Die Gesundheitsrelevanz der körperlichen Schwer-  
arbeit im Bauwesen - eine epidemiologische Studie  
Ber.Z.Inst.f.Arb.Med.d.DDR, Berlin 1977

HÄUBLEIN, H.G.:  
Berufsbelastung und Bewegungsapparat  
Volk und Gesundheit, Berlin (DDR) 1979

HANRAETS, P.R.M.J.:  
THE DEGENERATIVE BACK AND ITS DIFFERENTIAL  
DIAGNOSIS  
Elsevier, Amsterdam-London-New York-Princeton 1959

HEIDE, R.:  
Zur Wirkung langzeitiger beruflicher Ganzkörper-  
vibrationsexposition  
Diplomarbeit und Belegarbeit, Berlin (DDR) 1977

HEIDE, R., SEIDEL, H.:  
Folgen langzeitiger beruflicher Ganzkörper-  
vibrationsexposition  
Z.ges.Hyg. 24, 153-159, 1978

HILFERT, R., TOUSSAINT, R., KÖHNE, G.,  
ZERLETT, G., DUNTZE, H.:  
Die praktische Anwendung der VDI-Richtlinie 2057.  
Auswirkungen mechanischer Ganzkörperschwingungen  
auf den Menschen  
Zbl.Arbeitsmed. 29, 265-270, 1979

HILFERT, R., KÖHNE, G., TOUSSAINT, R.,  
ZERLETT, G.:  
Probleme der Ganzkörperschwingungsbelastung von  
Erdbaumaschinenführern  
Zbl.Arbeitsmed. 31, 152-155, 1981

HOLSTEIN, E.:  
Melde- und Entschädigungspflicht bei Berufskrank-  
heiten  
Barth, Leipzig 1971

INTERNATIONALE ARBEITSORGANISATION (IAO) =  
INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO)  
zit. n. DUPUIS und ZERLETT (1984)  
zit. n. KRÖNER-MOOSMANN (1980)

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION:  
Guide for the evaluation of human exposure  
to whole - body vibration  
INTERNATIONAL STANDARD ISO 2631, 1974

JOCHHEIM, K.A., LOEW, F., RÜTT, A.:  
Lumbaler Bandscheibenvorfall  
Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1961

JUNGHANNS, H.:  
Die Wirbelsäule in der Arbeitsmedizin  
Teil I, Biomechanische und biochemische Probleme  
der Wirbelsäulenbelastung  
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis 78,  
1979 (a)

JUNGHANNS, H.:  
Die Wirbelsäule in der Arbeitsmedizin  
Teil II, Einflüsse der Berufsarbeit auf die  
Wirbelsäule  
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis 79,  
1979 (b)

JUNGHANNS, H., FISCHER, H., SEIFERT, J.:  
Nomenclatura Columnae Vertebralis  
Wörterbuch der Wirbelsäule  
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis 75, 1977

KEIDEL, W.D.:  
Vibrationsreception  
Erlanger Forschungen Reihe B: Naturwissenschaften  
Bd. II, 1956

KÖHNE, G., ZERLETT, G., DUNTZE, H.:  
Ganzkörperschwingungen auf Erdbaumaschinen - Ent-  
wicklung geeigneter Dämpfungssysteme  
Schriftenreihe "Humanisierung des Arbeitslebens"  
32, 1982

KOLÁŘ, J.:  
Röntgendiagnostik arbeitsbedingter Skelettleiden  
Thieme, Stuttgart-New York 1981

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN:  
Merkblätter zu der Berufskrankheitenliste der  
Europäischen Gemeinschaften  
Bundesanzeiger, Köln 1972



- KRÄMER, J.:  
Bandscheibenbedingte Erkrankungen: Ursache,  
Diagnose, Behandlung, Vorbeugung, Begutachtung  
Thieme, Stuttgart 1978
- KRÖNER-MOOSMANN, I.:  
Wieder mit den USA  
Bundesarbeitsblatt 12, 5-10, 1980
- KUNZ, F., MEYER, H.R.:  
Rückenbeschwerden und Wirbelsäulenbefunde bei  
Führern schwerer Baumaschinen  
Z. Unfallmed. Berufskr. 62, 178-189, 1969
- LANGE, W.:  
zit. n. Zentralblatt Tagungsberichte (1981)
- LAURIG, W., ROHMERT, W.:  
Ansätze zur Beurteilung von Belastung und Bean-  
spruchung vorwiegend energetisch-effektorischer  
Arbeit  
Schriftenreihe "Arbeitswissenschaft und Praxis"  
34, 9-43, 1974
- LENNARTZ, H.:  
Histochemische Untersuchung am bradytrophen Gewebe  
Dissertation, Köln 1961
- LINDEMANN, K., KUHLEND AHL, H.:  
Die Erkrankungen der Wirbelsäule  
Enke, Stuttgart 1953
- MILBY, T.H., SPEAR, R.C.:  
Relationsship between whole body vibration  
morbidity patterns among heavy equipement  
operators  
NIOSH-Publications No. 74-131, 1974
- NACHEMSON, A.:  
IN VIVO DISCOMETRY IN LUMBAR DISCS WITH  
IRREGULAR NUCLEOGRAMS  
Acta orthop.Scandinav. 36, 418-434, 1965
- NACHEMSON, A.:  
The Load on Lumbar Discs in Different Positions  
of the Body  
Clin.Orthop. 45, 107-122, 1966

NACHEMSON, A., MORRIS, J.M.:  
In Vivo Measurements of Intradiscal Pressure  
J. Bone Jt. Surgery 46 A, 1077-1092, 1964

REISCHAUER, F.:  
Untersuchungen über den lumbalen und cervikalen  
Wirbelbandscheibenvorfall  
Thieme, Stuttgart 1949

ROSEGGER, R.:  
Über vorzeitige Aufbraucherscheinungen der  
Wirbelsäule bei Schlepperfahrern und ihre mögliche  
Abhängigkeit von Erschütterungen  
Dissertation, Erlangen-Nürnberg 1967

ROSEGGER, R., ROSEGGER, S.:  
Arbeitsmedizinische Erkenntnisse beim Schlepper-  
fahren  
Arch.f.Landtechn. 2, 3-65, 1960

ROSEGGER, S.:  
Vorzeitige Aufbraucherscheinungen bei Kraftfahrern  
Z.Orthop. 108, 510-516, 1970

RUTENFRANZ:  
zit.n. TOUSSAINT und ZERLETT (1980)

SCHMORL, G.:  
Zur pathologischen Anatomie der Lendenbandscheiben  
Klinische Wochenschrift 11, 1369-1371, 1932

SCHMORL, G., JUNGHANNS, H.:  
Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgen-  
bild und Klinik  
Thieme, Stuttgart 1968

SCHOKNECHT, G., BARICH, G.:  
Ist die Häufigkeit von Wirbelsäulenveränderungen  
bei Berufskraftfahrern erhöht?  
Arbeitsmed.Sozialmed.Präventivmed. 13,  
281-283, 1978

SLESINA, W., RENNER, A.:  
Belastungshomogene Tätigkeitsgruppen als  
Grundlage für das Erkennen arbeitsbedingter  
Gesundheitsrisiken  
Frühjahrskongreß der Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft in Düsseldorf 1984

STEINHÄUSER, J., BOLT, W.:  
Arbeit und Verkehr  
In: Witt, A.H., Rettig, H., Schlegel,  
K.F., Hackenbroch, M., Hupfauer, W.:  
Orthopädie in Praxis und Klinik, Band I  
Thieme, Stuttgart-New York 1980

TELEKY, L.:  
Rheumatismus und Beruf  
WIENER KLINISCHE WOCHENSCHRIFT 32, 985-988, 1934

TOUSSAINT, R., ZERLETT, G.:  
Bericht über die Jahrestagung 1980 der  
Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin  
Zbl. Arbeitsmed. 30, 268-270, 1980

VALENTIN, H., KLOSTERKÖTTER, W., LEHNERT, G.,  
PETRY, H., RUTENFRANZ, J., WEBER, G., WENZEL,  
H.G., WITTGENS, H.:  
Arbeitsmedizin  
Band I: Grundlagen für Prävention und Begutachtung  
Thieme, Stuttgart 1979 (a)

VALENTIN, H., LEHNERT, G., PETRY, H., WEBER, G.,  
WITTGENS, H., WOITOWITZ, H.J.:  
Arbeitsmedizin  
Band II: Berufskrankheiten  
Thieme, Stuttgart 1979 (b)

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE:  
Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen  
VDI 2057, Blatt 1, Blatt 2, Blatt 3  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1987

VOGT, H.L., COERMANN, R.R., FUST, H.D.:  
Mechanical Impedance of the Sitting Human Under  
Sustained Acceleration  
Aerospace Medicine 39, 675-679, 1968

WAGNER, R., ZERLETT, G.:  
Berufskrankheiten der Berufskrankheiten-Verordnung  
(BeKV)  
Kohlhammer, Stuttgart 1979 und 1982

WASSILEV, W.:  
Über das Vorkommen aktiver Zonen in der  
Zwischenwirbelscheibe  
Verh. Anat. Ges. 64, 445-450, 1970

ZENTRALBLATT TAGUNGSBERICHTE:  
Kongreß für Arbeitsmedizin 1981 in Berlin  
Zbl.Arbeitsmed. 31, 258-264, 1981

9 A n h a n g



Name \_\_\_\_\_ Vorname \_\_\_\_\_

Geburtsdatum \_\_\_\_\_

Kontrollnummer \_\_\_\_\_ Einstellungsdatum \_\_\_\_\_

Betriebsabteilung \_\_\_\_\_

**A**

Anhang Nr. 1

Seite 1

**Teil I Tätigkeitsfeld des Mitarbeiters**

1. Seit wann sind Sie Hilfsgerätefahrer (Jahr)?

2. Welche Gerätetypen haben sie gefahren?

Radgeräte

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Schlüssel


wieviele Jahre?


Kettengeräte

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Sonst. Geräte

(Unimog, Muldenkip.  
Gleisgeräte usw.)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



3. In welchem Betriebsführerbereich?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Abt.-Nr.


Abt. E 1

**Teil II techn. Daten**

Gerätetyp \_\_\_\_\_

Typ 1

--	--

Typ 2

--	--

Beurteilungspegel dB (A)

--	--	--	--

--	--	--	--

Leistung kW

--	--	--	--

--	--	--	--

Eigengewicht (t)

--	--	--	--

--	--	--	--

Ab wann mit Fahrerhaus ausgestattet?

--	--	--	--

--	--	--	--

Ab wann mit Heizung versehen?

--	--	--	--

--	--	--	--

Ab wann mit Schwingsitz ausgestattet?

--	--	--	--

--	--	--	--

Name _____	Vorname _____
Geburtsdatum _____	
Kontrollnummer _____	Einstellungsdatum _____
Betriebsabteilung _____	

<b>B</b>
Anh. Nr. 2
Seite 1

Nur für den Betriebsarzt bestimmt.

Abt. E 2

1. Treten (oder traten) während Ihrer Tätigkeit Beeinträchtigungen der Gesundheit oder des Wohlbefindens auf? Ja  Nein

2. Treten (oder traten) bei Ihnen nach Schichtende Beeinträchtigungen der Gesundheit oder des Wohlbefindens auf? Ja  Nein

Wenn Ja zu 1) und 2) Welche?   \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

3. Arm- und/oder Beinbeschwerden? Welche?    
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

4. Wirbelsäulenbeschwerden? Welche?    
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

5. Kopfbeschwerden? Welche?    
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6. Störungen der Sinnesorgane?  
 z. B. Gehör, Augen. Welche?    
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

7. Magenbeschwerden? Welche?    
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



Name \_\_\_\_\_ Vorname \_\_\_\_\_  
 Geburtsdatum \_\_\_\_\_  
 Kontrollnummer \_\_\_\_\_ Einstellungsdatum \_\_\_\_\_  
 Betriebsabteilung \_\_\_\_\_

<b>B</b>
Anh. Nr. 3
Seite 2

Nur für den Betriebsarzt bestimmt.

Abt. E 2

8. Herz- und/oder Kreislaufbeschwerden?  
 z. B. zu niedriger oder zu hoher Blutdruck;  
 unregelmäßiger Puls.

Welche? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

9. Beschwerden von seiten des Nervensystems?  
 z. B. Kribbeln an Händen und Füßen;  
 Taubheitsgefühle der Haut.

Welche? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10. Vegetative Beschwerden?  
 z. B. Schlaflosigkeit; nervliche Übererregbarkeit;  
 Gereiztheit; Gefühl der Erschöpfung.

Welche? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

11. Wann sind die von Ihnen vorgetragene  
 Beschwerden erstmalig aufgetreten?

Zeitpunkt: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

12. Stehen Sie wegen gesundheitlicher Störungen  
 in ärztlicher Behandlung?

Wegen welcher? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

13. Bestehen sonstige Beschwerden, nach denen  
 nicht gefragt wurde?

Welche? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Diagnose \_\_\_\_\_

EMF-BERUFSJAHREVERTEILUNG

BERUFSJAHRE

CODE	FREQ	CODE	FREQ	CODE	FREQ
10	5	20	28	30	0
11	11	21	15	31	1
12	13	22	10	32	0
13	8	23	2	33	1
14	21	24	9		
15	19	25	3		
16	27	26	3		
17	35	27	2		
18	33	28	3		
19	24	29	0		

MEAN : 17,6    MAXIMUM : 33,0    MINIMUM : 10,0

VALID CASES : 273

EMF - ALTERSVERTEILUNG  
 FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81 )

ALTER

CODE	FREQ	ADJ PCT	CUM PCT	CODE	FREQ	ADJ PCT	CUM PCT	CODE	FREQ	ADJ PCT	CUM PCT
32.	1	0	0	42.	12	4	53	52.	10	4	94
33.	5	2	2	43.	13	5	58	53.	4	1	96
34.	7	3	5	44.	12	4	62	54.	1	0	96
35.	10	4	8	45.	17	6	68	55.	5	2	98
36.	10	4	12	46.	8	3	71	56.	3	1	99
37.	16	6	18	47.	18	7	78	57.	1	0	99
38.	22	8	26	48.	17	6	84	60.	1	0	100
39.	24	9	35	49.	6	2	86	62.	1	0	100
40.	23	8	43	50.	7	3	89				
41.	15	5	49	51.	4	1	90				

MEAN	42.810	MEDIAN	41.792	MODE	39.000
STD DEV	5.819	VARIANCE	33.861	MINIMUM	32.000
MAXIMUM	62.000				

VALID CASES 273 MISSING CASES 0

VK - ALTERSVERTFILING  
 FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

ALTER

CODE	FREQ	ADJ PCT	CUM PCT	CODE	FREQ	ADJ PCT	CUM PCT	CODE	FREQ	ADJ PCT	CUM PCT
32.	18	6	6	42.	12	4	61	52.	11	3	93
33.	26	8	14	43.	10	3	64	53.	3	1	94
34.	25	8	21	44.	9	3	67	54.	1	0	94
35.	15	5	26	45.	15	5	72	55.	2	1	94
36.	23	7	33	46.	13	4	76	56.	3	1	95
37.	19	6	39	47.	9	3	78	57.	7	2	98
38.	11	3	42	48.	10	3	81	58.	5	2	99
39.	17	5	48	49.	8	2	84	59.	2	1	100
40.	14	4	52	50.	9	3	87	60.	1	0	100
41.	18	6	57	51.	8	2	89				

MEAN	41.373	MEDIAN	40.071	MODE	33.000
STD DEV	7.190	VARIANCE	51.702	MINIMUM	32.000
MAXIMUM	60.000				

VALID CASES 324 MISSING CASES 0



FRDRAUMASCHINENFAHRER  
 FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

\*\*\*\*\* C R O S S T A R U L A T I O N O F \* \* \* \* \*  
 ROESTAD BY GR32 ALTERSHALBDECADEN \* \* \* \* \*  
 \*\*\*\*\* PAGE 1 OF 1

GR32

COUNT	ROW	PCT	132-36	37-41	42-46	47-51	52-56	GE	57	ROW		
COL	PCT	TOT	PCT	PCT	PCT	PCT	PCT	PCT	PCT	TOTAL		
0.	I	15	I	24	I	7	I	1	I	0	I	47
	I	31.9	I	51.1	I	14.9	I	2.1	I	0.0	I	17.2
	I	45.5	I	24.0	I	11.3	I	1.9	I	0.0	I	0.0
	I	5.5	I	8.8	I	2.6	I	.4	I	0.0	I	0.0
1.	I	14	I	64	I	34	I	27	I	8	I	148
	I	9.5	I	43.2	I	23.0	I	18.2	I	5.4	I	54.2
	I	42.4	I	64.0	I	54.8	I	51.9	I	34.8	I	33.3
	I	5.1	I	23.4	I	12.5	I	9.9	I	2.9	I	.4
2.	I	4	I	12	I	21	I	24	I	15	I	78
	I	5.1	I	15.4	I	26.9	I	30.8	I	19.2	I	2.6
	I	12.1	I	12.0	I	33.9	I	46.2	I	65.2	I	66.7
	I	1.5	I	4.4	I	7.7	I	8.8	I	5.5	I	.7
COLUMN	TOTAL	33	100	62	52	23	23	3	273	100.0		
	TOTAL	12.1	36.6	22.7	19.0	8.4	1.1	100.0				

RAW CHI SQUARE = 66.58054 WITH 10 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0000

FRDRAUMASCHINENFAHRER  
 FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81 )

\*\*\*\*\*  
 ROESTAD BY GR10 ALTERSDECADEN  
 \*\*\*\*\*  
 C R O S S T A R U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*  
 P A G E 1 O F 1

COUNT	GR10	42-51	6E 52	ROW TOTAL
0.	ROESTAD	32.I	42.I	52.I
I 83.0	I 39	I 8	I 0	I 47
I 29.3	I 17.0	I 7.0	I 0.0	I 17.2
I 14.3	I 7.0	I 0.0	I 0.0	
I 14.3	I 2.9	I 0.0	I 0.0	
1.	GR10	61	9	148
I 52.7	I 41.2	I 6.1	I 54.2	
I 58.6	I 53.5	I 34.6		
I 28.6	I 22.3	I 3.3		
2.	GR10	45	17	78
I 16	I 17	I 21.8	I 28.6	
I 20.5	I 57.7	I 65.4		
I 12.0	I 39.5	I 6.2		
I 5.9	I 16.5			
COLUMN TOTAL	133	114	26	273
TOTAL	48.7	41.8	9.5	100.0

RAW CHI SQUARE = 54.83395 WITH 4 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0000

VERGLEICHSKOLL (CREATION DATE = 30/03/81 )  
 FILE NONAME

\*\*\*\*\*  
 ROESTAD BY GR32 ALTERSHALBDECADEN  
 \*\*\*\*\*  
 OF \*\*\*\*\*  
 PAGE 1 OF 1

		GR32										ROW
COUNT		37-41	42-46	47-51	52-56	GE 57	TOTAL					TOTAL
ROW	PCT	37-41	42-46	47-51	52-56	GE 57						
COL	PCT	32.I	37.I	42.I	47.I	52.I						
0.	I	73	26	13	4	1						119
	I	61.3	21.8	10.9	3.4	.8						36.7
	I	68.2	32.9	22.0	9.1	5.0						
	I	22.5	8.0	4.0	1.2	.3						
1.	I	31	43	30	27	10						145
	I	21.4	29.7	20.7	18.6	6.9						44.8
	I	29.0	54.4	50.8	61.4	50.0						
	I	9.6	13.3	9.3	8.3	3.1						
2.	I	3	10	16	13	9						60
	I	5.0	16.7	26.7	21.7	15.0						18.5
	I	2.8	12.7	27.1	29.5	45.0						
	I	.9	3.1	4.9	4.0	2.8						
COLUMN		107	79	59	44	20						324
TOTAL		33.0	24.4	18.2	13.6	6.2						100.0

RAW CHI SQUARE = 104.06955 WITH 10 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0000



VERGLEICHSKOLL (CREATION DATE = 30/03/81 )  
FILE NONAME

\* \* \* \* \* C R O S S T A R U L A T I O N O F \* \* \* \* \*  
\* \* \* \* \* R O E S T A D B Y G R 1 0 A L T E R S D E C A D E N \* \* \* \* \*  
\* \* \* \* \* P A G E 1 O F 1

GR10

COUNT	ROW	PCT	I32-41	42-51	GE	52	ROW		
							TOTAL		
	0.	I	99	I	17	I	3	I	119
		I	83.2	I	14.3	I	2.5	I	36.7
		I	53.2	I	16.5	I	8.6	I	
		I	30.6	I	5.2	I	.9	I	
	1.	I	74	I	57	I	14	I	145
		I	51.0	I	39.3	I	9.7	I	44.8
		I	39.8	I	55.3	I	40.0	I	
		I	22.8	I	17.6	I	4.3	I	
	2.	I	13	I	29	I	18	I	60
		I	21.7	I	48.3	I	30.0	I	18.5
		I	7.0	I	28.2	I	51.4	I	
		I	4.0	I	9.0	I	5.6	I	
COLUMN			186		103		35		324
TOTAL			57.4		31.8		10.8		100.0

RAW CHI SQUARE = 75.57597 WITH 4 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0000

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

\*\*\*\*\* C R O S T A R U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 EMFVK BY ROFSTAD \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* PAGE 1 OF 1

		ROFSTAD			
COUNT	ROW	COL	TOT	ROW	
PCT	PCT	PCT	PCT	TOTAL	
1.	I	47	148	78	273
	I	17.2	54.2	28.6	45.7
	I	28.3	50.5	56.5	
	I	7.9	24.8	13.1	
	I				
2.	I	119	145	60	324
	I	36.7	44.8	18.5	54.3
	I	71.7	49.5	43.5	
	I	19.9	24.3	10.1	
	I				
	COLUMN	166	293	138	597
	TOTAL	27.8	49.1	23.1	100.0

RAW CHI SQUARE = 29.46571 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0000

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81 )

EMFVK \*\*\*\*\* C R O S S T A R U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 CONTROLLING FOR... BY ROESTAD  
 GR32 ALTERSALRDECADFN VALUE 32. 32-36  
 \*\*\*\*\* PAGE 1 OF 1

		ROESTAD			ROW
COUNT	I				TOTAL
ROW PCT	I				
COL PCT	I				
TOT PCT	I	0.1	1.1	2.1	
1.	I	15	14	4	33
	I	45.5	42.4	12.1	23.6
	I	17.0	31.1	57.1	
	I	10.7	10.0	2.9	
2.	I	73	31	3	107
	I	68.2	29.0	2.8	76.4
	I	83.0	68.9	42.9	
	I	52.1	22.1	2.1	
COLUMN	RR	45	7		140
TOTAL		62.9	32.1	5.0	100.0

RAW CHI SQUARE = 7.87950 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0195

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

\*\*\*\*\*  
 FMFVK  
 CONTROLLING FOR..  
 GR32  
 \*\*\*\*\*  
 C R O S S T A R U L A T I O N O F  
 R Y R O E S T A D  
 VALUE  
 37. 37-41  
 \*\*\*\*\*  
 P A G E 1 O F 1

		ROESTAD		
EMFVK	COUNT	ROESTAD	ROESTAD	ROW TOTAL
	ROW PCT			
	COL PCT			
	TOT PCT	0.1	1.1	2.1
1.	I	24	64	100
	I	24.0	64.0	12.0
	I	48.0	59.8	54.5
	I	13.4	35.8	6.7
2.	I	26	43	79
	I	32.9	54.4	12.7
	I	52.0	40.2	45.5
	I	14.5	24.0	5.6
	COLUMN TOTAL	50	107	179
	TOTAL	27.9	59.8	12.3
				100.0

RAW CHI SQUARE = 1.94642 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .3779

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

EMFVK \*\*\*\*\* C R O S T A B U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 CONTROLLING FOR.. ALTERSHALDECADEN VALUE 42. 42-46  
 BY ROESTAD \*\*\*\*\* PAGE 1 OF 1

ROFSTAD

EMFVK	COUNT	ROW PCT	COL PCT	TOT PCT	1.I	2.I	ROW TOTAL
1.	7	11.3	54.8	33.9	21	62	
EMF	35.0	53.1	56.8	17.4			51.2
2.	13	22.0	50.8	27.1	16	59	
VK	65.0	46.9	43.2	13.2			48.8
COLUMN TOTAL	20	64	37				121
TOTAL	16.5	52.9	30.6				100.0

RAW CHI SQAPE = 2.65293 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .2654

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

\*\*\*\*\*  
 EMFVK \*\*\*\*\* C R O S T A R U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 CONTROLLING FOR... BY ROESTAD  
 GR32 AL TERSHALDECADEN VALUE 47. 47-51  
 \*\*\*\*\*

EMFVK	ROESTAD	0.I	1.I	2.I	ROW TOTAL
1.	I	1	27	24	52
	I	1.9	51.9	46.2	54.2
	I	20.0	50.0	64.9	
	I	1.0	28.1	25.0	
2.	I	4	27	13	44
	I	9.1	61.4	29.5	45.8
	I	80.0	50.0	35.1	
	I	4.2	28.1	13.5	
	I	5	54	37	96
	I	5.2	56.3	38.5	100.0

RAW CHI SQUARE = 4.43440 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .1089

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81 )

\*\*\*\*\*  
 EMFK \*\*\*\*\* C R O S S T A R U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 BY ROESTAD \*\*\*\*\*

CONTROLLING FOR..  
 GR32 ALTERSHALRECADEN VALUE 52. 52-56  
 \*\*\*\*\* PAGE 1 OF 1

		ROESTAD		ROW
EMFK	COUNT	COL PCT	TOT PCT	TOTAL
	1.	0.0	1.1	23
FMF	0.0	34.8	65.2	53.5
	0.0	44.4	62.5	
	0.0	18.6	34.9	
VK	1	10	9	20
	5.0	50.0	45.0	46.5
	100.0	55.6	37.5	
	2.3	23.3	20.9	
COLUMN	1	18	24	43
TOTAL	2.3	41.9	55.8	100.0

RAW CHI SQUARE = 2.52521 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .2829

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81 )

\*\*\*\*\* C R O S S T A B U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 EMFVK BY ROESTAD \*\*\*\*\*

CONTROLLING FOR... VALUE 57. GE 57  
 GR32 ALTERSHALRDECADEN \*\*\*\*\* PAGE 1 OF 1  
 \*\*\*\*\*

		ROESTAD		
EMFVK	COUNT	ROESTAD	ROESTAD	ROW TOTAL
	ROW PCT	I	I	
	COL PCT	I	I	
	TOT PCT	I	I	2.1
1.	0	I	1.1	
	0.0	I	1	2
	0.0	I	33.3	66.7
	0.0	I	20.0	18.2
	0.0	I	5.6	11.1
2.	2	I	4	9
	13.3	I	26.7	60.0
	100.0	I	80.0	81.8
	11.1	I	22.2	50.0
	2	I	5	11
	11.1	I	27.8	61.1
	TOTAL			100.0

RAW CHI SQUARE = .45818 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .7953



FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

\*\*\*\*\* C R O S S T A B U L A T I O N O F R O E S T A D R O E S T A D \*\*\*\*\*

CONTROLLING FOR: EMFVK VALUE 32. 32-41  
 GRID ALTERSDFCADEN

ROESTAD

EMFVK	COUNT	ROW PCT	COL PCT	TOT PCT	ROW TOTAL
1.	39	78	1.1	2.1	133
EMF	29.3	58.6	12.0	41.7	
	28.3	51.3	55.2		
	12.2	24.5	5.0		
2.	99	74	13	186	
VK	53.2	39.8	7.0	58.3	
	71.7	48.7	44.8		
	31.0	23.2	4.1		
COLUMN TOTAL	138	152	29	319	
	43.3	47.6	9.1	100.0	

RAW CHI SQUARE = 18.19929 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0001

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

\*\*\*\*\*  
 EMFK  
 CONTROLLING FOR..  
 GR10  
 \*\*\*\*\*  
 VALUE 42. 42-51  
 \*\*\*\*\*  
 BY ROESTAD  
 \*\*\*\*\*  
 PAGE 1 OF 1

		ROESTAD		ROW
COUNT	ROESTAD	0.I	1.I	TOTAL
1.	8	61	45	114
	7.0	53.5	39.5	52.5
	32.0	51.7	60.8	
	3.7	28.1	20.7	
2.	17	57	29	103
	16.5	55.3	28.2	47.5
	68.0	48.3	39.2	
	7.8	26.3	13.4	
COLUMN	25	118	74	217
TOTAL	11.5	54.4	34.1	100.0

RAW CHI SQUARE = 6.29362 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0430

FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81 )

\*\*\*\*\*  
 EMFVK \*\*\*\*\* C R O S T A R U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 CONTROLLING FOR... BY ROESTAD  
 GR10 ALTEPSEFCADEN VALUE 52. GE 52  
 \*\*\*\*\*

EMFVK	COUNT	ROW PCT	COL PCT	TOT PCT	ROW TOTAL
1.	0	0.0	0.0	0.0	26
	9	34.6	39.1	1.1	42.6
2.	3	14.3	14.8	1.1	35
	14	40.0	60.9	1.1	57.4
	23	60.9	23.0	1.1	61
TOTAL	3	4.9	37.7	57.4	100.0

RAW CHI SQUARE = 2.84969 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .2405

ERDRAUMSCHIFFENFAHRER  
 FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81)

\*\*\*\*\*  
 RESCHW \*\*\*\*\* C R O S S T A B U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* BY BJ5 \*\*\*\*\* PAGE 1 OF 1

		BJ5					ROW TOTAL
		15-19	20-24	25-29	30-34		
1.	COUNT I	71	37	9	1	118	
I	ROW PCT I	49.3	25.7	6.3	.7	66.4	
I	COL PCT I	64.5	67.3	100.0	100.0		
I	TOT PCT I	32.7	17.1	4.1	.5		
2.	COUNT I	39	18	0	0	57	
I	ROW PCT I	53.4	24.7	0.0	0.0	33.6	
I	COL PCT I	35.5	32.7	0.0	0.0		
I	TOT PCT I	18.0	8.3	0.0	0.0		
	COLUMN TOTAL	110	55	9	1	217	
	TOTAL	19.4	25.3	4.1	.5	100.0	

RAW CHI SQUARE = 5.62549 WITH 4 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .2289

NUMBER OF MISSING OBSERVATIONS = 56

ERDBAUMSCHINENFAHRER  
 BESCHW BY ALTERSHALBDECADEN

	ALTER					GE 57	ROW TOT
	32-36	37-41	42-46	47-51	52-57		
J A	15 10,4 60,0 6,9	46 31,9 56,8 21,2	32 22,2 66,7 14,7	32 22,2 76,2 14,7	19 13,2 95,0 8,8	0	144 66,4
BESCHW							
NEIN	10 13,7 40,0 4,6	35 47,9 43,2 16,1	16 21,9 33,3 7,4	10 13,7 23,8 4,6	1 1,4 5,0 0,5	1 1,4 100,0 0,5	73 33,6
COL TOT	25 11,5	81 37,3	48 22,1	42 19,4	20 9,2	1 0,5	217 100,0

CHI SQUARE = 14,88 WITH 5 DEGREES OF FREEDOM . SIGNIFICANCE < 0,025

ERBAUMSCHINENFAHRER

BESCHW BY ALTERSDECADEN

		ALTER			ROW
		32-41	42-51	GE 52	TOT
BESCHW	JA	61 42,4 57,5 28,1	64 44,4 71,1 29,5	19 13,3 90,4 8,8	144 66,4
	NEIN	45 61,6 42,5 20,7	26 35,6 28,8 12,0	2 2,7 9,5 0,9	73 33,6
COL		106	90	21	217
TOT		48,8	41,5	9,7	100,0

CHI SQUARE = 10,34 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM . SIGNIFICANCE < 0,01

ERDRAUMASCHINENFAHRER  
 FILE NONAME (CREATION DATE = 30/03/81 )

\*\*\*\*\*  
 RESCHW \*\*\*\*\* C R O S S T A B U L A T I O N O F \*\*\*\*\*  
 BY ROESTAD \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* PAGE 1 OF 1

ROESTAD

RESCHW	COUNT	ROW PCT	COL PCT	TOT PCT	0.I	1.I	2.I	ROW TOTAL
1.	1	21	80	43	144			144
JA	1	14.6	55.6	29.9	66.4			66.4
	1	52.5	63.0	86.0				
	1	9.7	36.9	19.8				
2.	1	19	47	7	73			73
NFIN	1	26.0	64.4	9.6	33.6			33.6
	1	47.5	37.0	14.0				
	1	8.8	21.7	3.2				
COLUMN TOTAL	40	127	50	217				217
RESCHW TOTAL	18.4	58.5	23.0	100.0				100.0

RAW CHI SQAPE = 12.72683 WITH 2 DEGREES OF FREEDOM. SIGNIFICANCE = .0017  
 NUMBER OF MISSING OBSERVATIONS = 56







