

Zentralblatt

für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie



**Studie über das Ausmaß der Beckenrückdrehung beim Sitzen
in Abhängigkeit vom Sitzneigungswinkel**

**Feldstudie zum dynamischen Sitzen unter verschiedenen
Arbeitsplatzbedingungen**

**Untersuchungen zur Bestimmung des individuellen
Sitzneigungswinkels**

Sonderdruck

Vorwort zu den drei Sonderdrucken

Dr. Fritz Andreas Schön

Diese drei Publikationen aus dem Bereich der „Sitzforschung“ bauen inhaltlich aufeinander auf, wobei der Schwerpunkt stets das körpergerechte Sitzen darstellt; jedoch immer mit einem völlig anderen und unabhängigen methodischen Ansatz.

Die Untersuchungen aus dem Jahr 2000 hatten zum Ziel, den individuellen Sitzneigungswinkel in einer freien und lotrechten Sitzhaltung zu ermitteln. Hier zeigte sich bereits deutlich, dass die gewohnheitsmäßige Sitzhaltung fast immer mit einer mehr oder minder starken Beckenrückdrehung einhergeht und somit stets zu geringeren Sitzneigungswinkeln führt. Der mittlere Sitzneigungswinkel für Bürodrehstühle mit beweglichen Sitzflächen konnte im Bereich von -8° ermittelt werden, wobei kurzfristig auch Neigungswinkel von -12° auftreten können.

Ein weiteres interessantes Teilergebnis stellte die Abhängigkeit der Beinstellung vom Sitzneigungswinkel dar.

Dieses letzte Untersuchungsergebnis veranlasste uns, das dynamische Sitzen auf einem serienmäßigen Bürodrehstuhl mit Hilfe eines speziellen Aufzeichnungsgerätes nach Art eines „Fahrten-schreibers fürs Büro“ unter verschiedenen realistischen Arbeitsplatzbedingungen zu untersuchen. Im einzelnen waren dies Büroarbeitsplätze, Arbeitsplätze in einem Callcenter, einer Leitstelle für Überwachungstätigkeit und der Bereich einer Seminarveranstaltung für Studie-

rende. Ein Zusammenhang zwischen einer bestimmten Tätigkeit und dem Sitzverhalten konnte nur für stereotype Arbeitsabläufe wie beispielsweise dem Arbeiten an einem Flachbettscanner hergestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen Bewegungsverhalten und Arbeitsaufgabe ergab sich nicht, wenn man verschiedene Personen unter identischen Arbeitsplatzbedingungen und identischen Arbeitsaufgaben vergleicht. Das individuelle Sitzverhalten ist offensichtlich so prägend wie der menschliche Gang.

Die weitverbreitete Meinung, man würde bei einer Sitzflächenneigung von -10° aus dem Stuhl rutschen, konnte eindeutig nicht bestätigt werden.

Ein Vergleich der prozentualen Verteilung der verschiedenen Sitzhaltungen ergab für die untersuchten Arbeitsplatzbedingungen eine herausragende Stellung für die vordere Sitzhaltung, selbst für Arbeitsaufgaben wie bei einer Überwachungstätigkeit, bei der man dies gemeinhin nicht erwartet hätte.

Unser letzter methodischer Ansatz diente dem Phänomen der Beckenrückdrehung in Abhängigkeit zum Sitzneigungswinkel. Was man bereits durch einfaches Anlegen der beiden Hände an den Beckenkamm demonstrieren kann, wobei der Handrücken quasi die „fiktive Kreuzbeindeckplattentangente“ darstellt, wollten wir mit einem neuartigen digitalen Winkelmesser messtechnisch hinlänglich genau erfassen.

Wenngleich wir mit dieser neuen, strahlenfreien Versuchsmethode eine Fülle von Messdaten bis hin zu umfangreichen Videoaufzeichnungen erheben konnten, lag der Schwerpunkt der dritten Publikation weniger in der Methoden- als in der Ergebnisdiskussion. Aus diesem Grunde wurden nur zwei Messreihen aus der Fülle der Messergebnisse herangezogen. Sie bestätigen unsere bisher publizierten Daten aus dem Jahre 2000. Des weiteren konnte statistisch gesichert werden, dass sich die Beckenrückdrehung auf einer -4° geneigten Sitzfläche nicht wesentlich von der auf einer horizontalen unterscheidet.

Am Beispiel eines naturidentischen Wirbelsäulenmodells konnte veranschaulicht werden, dass das gewohnheitsmäßige Sitzen im Rundrücken zwangsläufig zu einer Überlastung der fibrillären Strukturen der Bandscheiben im dorsalen Bereich sowie der empfindlichen Strukturen der Wirbelbogengelenke und ihres Kapselapparates führt.

Wirbelsäulen-Beschwerden können in ihrer Symptomatik unterschiedliche Ursachen haben. Der permanente Einfluss der Biomechanik steht allerdings außer Frage; denn die Gravitationskraft der Erde wirkt immer und überall. Es bleibt zu hoffen, dass diese banale Erkenntnis stets berücksichtigt wird; denn nur so definiert sich aus unserer Sicht das körpergerechte Sitzen.

Inhalt

Fritz A. Schön, Dieter Preim
**Untersuchungen zur Bestimmung
des individuellen Sitzneigungswinkels**
3–10

Fritz A. Schön, Dieter Preim
**Feldstudie zum dynamischen Sitzen
unter verschiedenen Arbeitsplatz-
bedingungen**
11–22

Fritz A. Schön, Dieter Preim, Doris Keller
**Studie über das Ausmaß der Becken-
rückdrehung beim Sitzen in Abhängig-
keit vom Sitzneigungswinkel**
23–32

Hochschularzt der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

Untersuchungen zur Bestimmung des individuellen Sitzneigungswinkels

Fritz A. Schön, D. Preim,

Fritz A. Schön, D. Preim: *Untersuchungen zur Bestimmung des individuellen Sitzneigungswinkels*. Zbl Arbeitsmed 50 (2000) 78-85

Schlüsselwörter: Sitzneigungswinkel

Zusammenfassung: Auf der Basis von über 1500 Einzelmesswerten an 39 gesunden Versuchspersonen beiderlei Geschlechtes lässt sich sagen, dass ein mittlerer Sitzneigewinkel bei Bürodrehstühlen mit beweglichen Sitzflächen in einem Bereich von -8° anzusiedeln ist, wobei kurzfristig Neigungswinkel von bis zu -12° auftreten können.

Geschlechtsspezifische Differenzen konnten statistisch nicht gesichert werden.

Bei durch Federkraft gebremsten beweglichen Sitzflächen ist der Grad des Neigungswinkels nicht nur von der Beckenkip-pung sondern auch von der Beinstellung abhängig. Das Sitzen auf beweglichen Sitzflächen ist gewöhnungsbedürftig und erfordert im Idealfall eine Sitzhaltung, bei der sich die Wirbelsäule „im Lot“ befindet.

Examinations on the determination of individual posture tilt-angles during sitting

Fritz A. Schön, D. Preim: *Examinations on the determination of individual posture tilt-angles during sitting*. Zbl Arbeitsmed 50 (2000) 78-85

Key words: Posture tilt-angle during sitting

Summary: Based upon more than 1500 individual measurement values in 39 healthy test persons of both genders, it can be said that the average posture tilt-angle while sitting on an office swivel-chair with a movable seat is to be found in the vicinity of -8° , whereby short term temporary posture angles of up to -12° can be observed.

Gender-specific differences could not be statistically proven.

The degree of the posture tilt-angle in movable seats with a spring support mechanism is not only dependant upon the tilt-angle of the pelvis but also upon the positioning of the legs. Sitting on movable seats does require some getting used to and ideally calls for a sitting posture with perfect alignment of the spine.

Analyses visant à déterminer l'angle d'inclinaison individuel du siège

Fritz A. Schön, D. Preim: *Analyses visant à déterminer l'angle d'inclinaison individuel du siège*. Zbl Arbeitsmed 50 (2000) 78-85

Mots-clé: Angle d'inclinaison du siège

Résumé: Sur la base de plus de 1500 données d'analyses individuelles réalisées sur 39 personnes-tests des deux sexes en bonne santé, il est possible d'affirmer qu'un angle moyen d'inclinaison du siège pour les fauteuils de bureaux pivotants à siège mobile est d'env. -8° , des angles pouvant aller jusqu'à -12° pouvant de temps à autre se présenter.

D'un point de vue statistique, il n'a pas pu être constaté de différences propres au sexe de la personne.

Pour les sièges mobiles freinés par effet de ressort, le degré de l'angle d'inclinaison ne dépend pas uniquement du basculement du bassin mais également de la position des jambes. Être assis sur des sièges mobiles demande une certaine acclimatation et, dans le cas idéal, une position dans laquelle la colonne vertébrale se trouve en position verticale.

1. Problemstellung

Nicht zuletzt vor dem Hintergrund der neuen Bildschirmarbeitsverordnung werden in der betriebsärztlichen Praxis zunehmend Fragen zur Beurteilung von geeigneten Bürodrehstühlen diskutiert. Das Angebot an z.T. hervorragenden ergonomischen Arbeitsstühlen ist überaus groß.

Mechanismen wie die Synchronmechanik, bei der eine Rückneigung von Sitzfläche und Rückenlehne in einem bestimmten Verhältnis zueinander erfolgt und das „dynamische Sitzen“ erlaubt, gehören heute bereits zum ergonomischen Standard. Auch die Option zur individuellen Einstellung des Lehnendruckes ist heute nicht mehr allein den Bürodrehstühlen der gehobenen Preisklasse vorbehalten.

Wenn man den Markt für Bürodrehstühle in den letzten Jahren verfolgt hat, so fällt auf, dass zunehmend eine Technik an Bedeutung gewinnt, bei der die Sitzfläche nach vorne geneigt werden kann. Dies wird technisch von den verschiedensten Herstellern unterschiedlich umgesetzt. So

kann z. B. der vordere Anschlag der Synchronmechanik mittels Hebelauslösung so verstellt werden, dass die Sitzfläche einen Neigungswinkel von beispielsweise konstant -4° einnimmt. Bei anderen Mechaniken kann dieser Neigungswinkel wiederum mittels Hebelauslösung stufenlos von 0° bis -12° verstellt werden. Andere Mechaniken gestatten eine permanente Änderung des Neigungswinkels mittels Federwiderstand, wobei der jeweilige Winkel sich allein durch Verlagerung des Körpergewichtes einstellt.

Hinsichtlich der Frage des optimalen Neigungswinkels herrscht bei den Bürodrehstuhlherstellern keine Einigkeit. So ist es nicht verwunderlich, dass die Neigungswinkel unabhängig von der jeweilig eingesetzten Mechanik im Bereich von -2° bis -15° schwanken. Einige Hersteller bieten sogar verschiedene Mechaniken mit unterschiedlich großen Neigungswinkeln an, um damit praktisch ein größeres Spektrum abzudecken.

Auch aus den Literaturdaten ist die Frage unbefriedigend zu beantworten. So liegen unseres Wissens lediglich die Aussagen von Grandjean und Hünting (1989) vor, die den negativen Sitzwinkel auf -2° begrenzen und diejenigen von Kurz und Diebschlag (1992), die einen maximalen Sitzneigungswinkel von -4° empfehlen, wonach sich auch die Güte-siegelkriterien des TÜV-Rheinlandes (1996) orientieren.

2. Methodik

Wir wollten daher klären, wie groß der individuelle Sitzwinkel bei gesunden Versuchspersonen beiderlei Geschlechtes im Alter zwischen 18 und 55 Jahren unter verschiedenen Versuchsbedingungen ist.

Der Versuchsträger zur Ermittlung des individuellen Sitzwinkels (siehe Abbildung 1) war für die erste Versuchsreihe mit einem elektromotorischen Antrieb verse-

hen. Die Versuchsperson konnte über einen Schalter den Antrieb so steuern, dass die Sitzfläche in den für sie optimalen Neigungswinkel gelangte. Es wurde darauf geachtet, dass der Spindelantrieb mit einer geringen Drehgeschwindigkeit erfolgte. Diese entsprach 4,5 Sekunden pro Grad Sitzneigung. Die Neigungsverstellung erfolgte somit so langsam, dass sich der Proband gewissermaßen in den optimalen Sitzwinkel „hineinfühlen“ konnte. Durch mehrmaligen Vorwärts- und Rückwärtslauf konnte die Versuchsperson entsprechende Korrekturen vornehmen. Jeder Einzelversuch wurde dreimal wiederholt, wobei die Sitzfläche jedesmal wieder in die 0° -Position gebracht wurde.

In einer ersten Versuchsreihe wurde der individuelle Sitzwinkel bei ein und derselben Versuchsperson mit jeweils 3 Einzelversuchen unter den folgenden Messbedingungen durchgeführt:

1. Sitzfläche gerade,
2. Sitzfläche konturiert,
3. Drehpunkt an der vorderen Sitzkante,
4. Drehpunkt 25 mm vor der Sitzsäule.

Diese Einzelversuche erfolgten zum einen in der freien, mittleren Sitzhaltung (siehe Abbildung 2) und zum anderen in der vorderen Sitzhaltung mit Auflage der Unterarme auf einer Tischfläche (Abbildung 3), deren Höhe auf das jeweilige Körpermaß eingestellt wurde.

Daraus ergeben sich für jede Versuchsperson 8 Teilversuche.

Der Sitzwinkel konnte vom Untersucher an einem Winkelmesser mit einer Genauigkeit von $0,1^\circ$ abgelesen werden, wobei die 0° -Ebene mittels einer eingebauten Wasserwaage justiert werden konnte. Wenngleich die Winkel- und Antriebsmechanik spielfrei ausgelegt war, ergaben sich bei



Abbildung 1: Versuchsträger

Figure 1: Chair used for testing purposes

Figure 1: Support d'essai

Zentralblatt Themenvorschau Heft 4/2000

**Umgang mit Gefahrstoffen und
Umsetzung der Gefahrstoffverordnung
an Hochschulinstituten aus arbeits-
medizinischer Sicht**

**Regularien zum Gesundheitsschutz
beim Umgang mit atemwegssensibili-
sierenden Arbeitsstoffen**

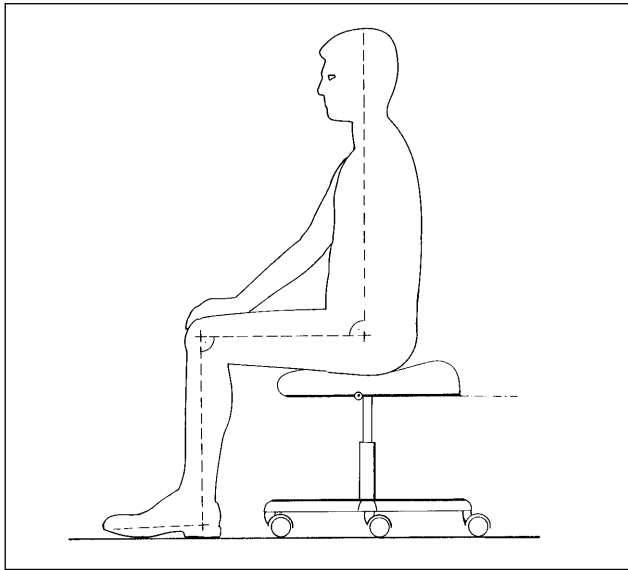


Abbildung 2: Freie, mittlere Sitzhaltung
 Figure 2: Free, mid-position sitting posture
 Figure 2: Position assise moyenne, libre

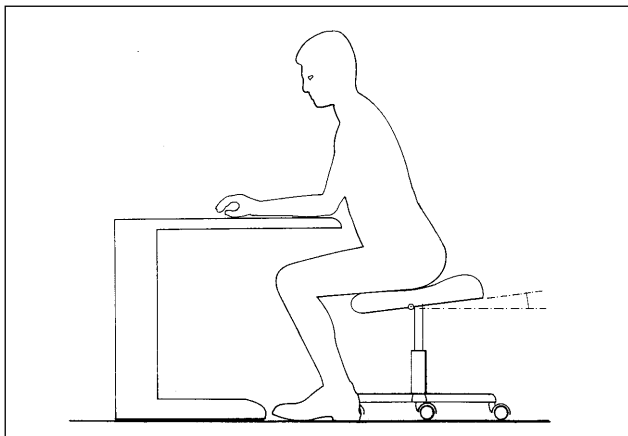


Abbildung 3: Vordere Sitzhaltung mit Abstützung der Unterarme
 Figure 3: Anterior sitting posture while supporting the forearms
 Figure 3: Position assise avant avec appui sur les avant-bras

Belastung eine Abweichung von bis zu $0,3^\circ$, die in der elastischen Verformung des Fußkreuzes zu suchen ist.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde unter realistischen Büroarbeitsbedingungen an weiteren 6 Versuchspersonen die Abhängigkeit des individuellen Sitzneigewinkels von der Beinstellung untersucht. Zu diesem Zweck wurde der elektromotorische Antrieb gegen eine Druck- und Zugfeder mit einer Federkraft von 340 N ausgetauscht. Aus technischen Gründen konnte nur der mittlere Drehpunkt gewählt werden, da aufgrund der Versuchsanordnung ein negativer Sitzwinkel bei einem vorderen Drehpunkt aktiv nicht ausgelöst werden konnte.

Während des Versuches saß der Untersucher links hinter dem Probanden und notierte im Abstand von 15 Sekunden

den jeweils anliegenden Sitzwinkel und gleichzeitig die Beinstellung. Beide Informationen wurden in das Versuchsprotokoll aufgenommen. Wie in Abbildung 4 dargestellt, sind vier unterschiedliche Beinstellungen möglich. Der statistische Vergleich wurde erhoben zwischen den Sitzneigewinkeln, die der Beinstellung I zuzuordnen sind (Ober- und Unterschenkel bilden einen 90° -Winkel) und den übrigen Beinstellungen.

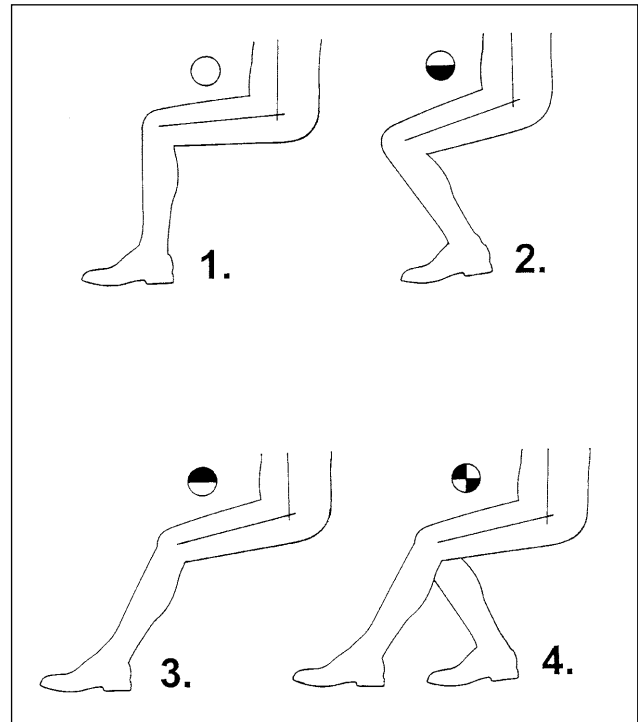


Abbildung 4: Unterschiedliche Beinstellungen
 Figure 4: Varying leg positions
 Figure 4: Différentes positions des jambes

Auf der Basis von über 1500 Einzelmeßwerten wurden Mittelwertberechnungen und Signifikanztests durchgeführt. Die Signifikanzanalyse erfolgte mit dem Wilcoxon-Test bei einer Signifikanzgrenze von $p \leq 0,05$.

3. Ergebnisse

In einer ersten Versuchsreihe wurde an 33 Probanden beiderlei Geschlechts (15 weiblich; 18 männlich) im Alter von 18 bis 55 Jahren der individuelle Sitzneigewinkel mittels elektromotorischem Antrieb bestimmt. Die Versuchsperson konnte über einen Wechselschalter den Motorantrieb in jedem beliebigen Winkelbereich von 0° bis 18° stoppen. Da man bei diesen Versuchen davon ausgehen kann, dass die gewohnheitsmäßige Sitzhaltung einer Person einen entscheidenden Einfluss auf das Messergebnis haben wird, wollten wir in einem Vorversuch bei 10 Versuchspersonen zunächst wissen, wie das Messergebnis aus-

fallen würde, wenn die Versuchsperson über die richtige aufrechte freie Sitzhaltung nicht instruiert würde.

Die Versuchsperson wurde lediglich aufgefordert, auf dem Versuchsstuhl Platz zu nehmen. Bei allen Probanden war eine mehr oder minder starke Rückdrehung des Beckens zu beobachten. In dieser Sitzposition sollte nun die Vorneigung der Sitzfläche in die individuell angenehmste Stellung erfolgen. Es ist bemerkenswert, dass 5 der Versuchspersonen bereits bei einem Neigungswinkel von -1° bis -2° stoppten. Der stärkste Neigungswinkel wurde bei einem Probanden mit $-4,9^\circ$ erreicht. Insgesamt ergab sich bei den 10 Versuchspersonen ein mittlerer negativer Sitzwinkel von $-2,9^\circ$. Im unmittelbaren Anschluss an diesen ersten Versuch erhielt jede Versuchsperson einzeln eine eingehende Instruktion über das wirbelsäulengerechte Sitzen in der freien Sitzhaltung und zwar in der Weise, wie wir das auch bei unseren Teilnehmern der Rückenschule praktizieren. Anhand eines Funktionsmodelles der Wirbelsäule wurden dem Probanden die funktionell anatomischen Zusammenhänge zwischen Beckenkipfung und Lendenlordose erläutert, sowie zwischen der Kräfteverteilung innerhalb der gesamten Wirbelsäule, wenn diese sich „im Lot“ befindet.

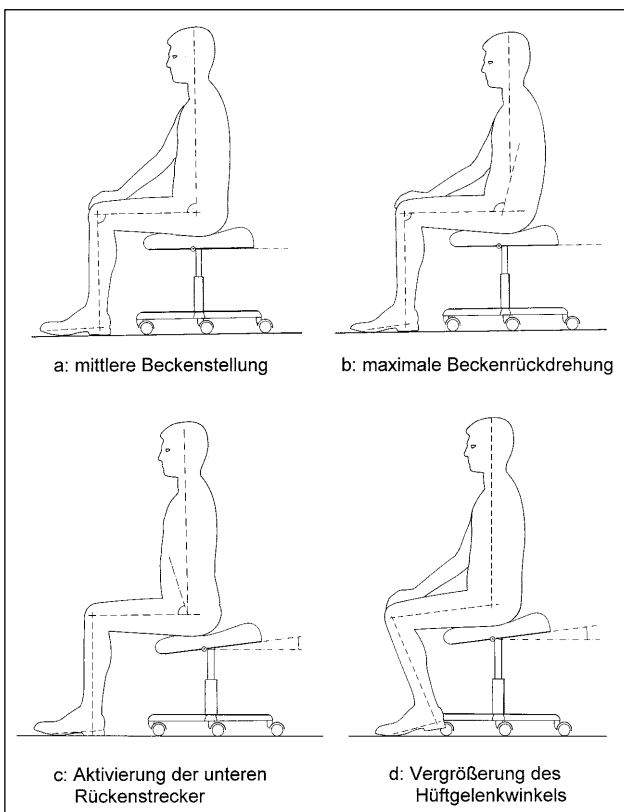


Abbildung 5: Schematische Darstellung unterschiedlicher Beckenstellungen

Figure 5: Schematic depiction of varying positions of the pelvis

Figure 5: Représentation schématique des diverses positions du bassin

Auf der Basis dieser Vorinformationen wurde der Versuch unter den selben Bedingungen wiederholt. Bei jeder Versuchsperson kam es zu einer deutlichen Steigerung des negativen Sitzwinkels. Die Differenzen zum ersten Test waren derart deutlich, dass wir diesen Vorversuch auf die geringe Zahl von 10 Versuchspersonen beschränken konnten.

Für alle weiteren Versuche war die eingehende Instruktion zur richtigen Sitzhaltung eine Vorbedingung für den Versuchsablauf.

In den anschließenden Tests wollten wir die folgenden Fragen beantworten:

- *Versuchsreihe 2:* Bestehen geschlechtsspezifische Unterschiede im individuellen negativen Sitzwinkel?
- *Versuchsreihe 3:* Bestehen Unterschiede im Sitzneigungswinkel bei mittlerer und vorderer Sitzhaltung?
- *Versuchsreihe 4:* Bestehen Unterschiede im Sitzneigungswinkel, wenn sich der Drehpunkt an der Sitzvorderkante oder in der Nähe der Sitzsäule befindet?
- *Versuchsreihe 5:* Bestehen Unterschiede im Sitzneigungswinkel bei einer flach gepolsterten gegenüber einer konturierten Sitzfläche?
- *Die Versuchsreihe 6* unterschied sich insofern von den vorangegangenen, als hier der elektromotorische Antrieb am Versuchsträger entfernt und durch eine Druck- und Zugfeder mit einer Federkraft von 340 N ersetzt wurde. Damit konnte der individuelle Sitzneigungswinkel allein durch die Verlagerung des Körpergewichtes oder die Änderung der Beinstellung erreicht werden.

Wie aus der Tabelle 1 zu entnehmen ist, ließen sich die Differenzen in den Versuchsergebnissen statistisch nur zum Teil sichern. Im einzelnen gilt dies für den Vergleich der Sitzneigungswinkel vor und nach einer Instruktion über die

Tabelle 1: Ergebnisse der 6 Versuchsreihen (n=39)

Table 1: Results of the 6 test series (n=39)

Tableau 1: Résultats des 6 séries de tests (n=39)

Versuch Nr.	Mittelwert 1		Mittelwert 2		p
	min.	max.	min.	max.	
1. Vergleich vor u. n. Instruk. (n=10)	-2,89°	-1,0° -4,9°	-8,35°	-5,6° -9,8°	0,0020
2. Vergleich männlich/weiblich	-9,22°	-6,2° -11,8°	-8,17°	-6,5° -11,2°	0,1749
3. Vergleich mittl./vord. Sitzh.	-8,28°	-5,5° -11,8°	-8,67°	-4,9° -13,3°	0,3248
4. Vergleich vord./mittl. Drehp.	-9,23°	-5,8° -13,6°	-7,79°	-4,6° -11,8°	0,0010
5. Vergleich Stand/Contoursitz	-8,45°	-5,5° -13,3°	-8,52°	-4,8° -12,8°	0,7303
6. Vergleich Beinstellung I./II. (n=6)	-4,94°	-2,2° -7,5°	-8,81°	-7,2° -10,8°	0,0001

richtige Sitzhaltung, den Vergleich hinsichtlich des Drehpunktes an der Sitzfläche und den Vergleich in bezug auf die unterschiedlichen Beinstellungen.

4. Diskussion

Die Ergebnisse aus der *1. Versuchsreihe* (Vergleich vor und nach Instruktion) geben letztlich das wieder, was der aufmerksame Beobachter vielerorts sehen kann, wenn eine Person auf einer Sitzfläche Platz nimmt, ohne dass die Möglichkeit besteht, den Rücken an einer Lehne abzustützen. In diesem Fall krümmt sich der Oberkörper, der Schwerkraft folgend, und die Wirbelsäule nimmt eine kyphotische Stellung ein, die noch durch eine Rückdrehung des Beckens verstärkt wird. Wir vermeiden bewusst den anatomischen Begriff der Beckenaufrichtung, weil diese schädliche und bandscheibenbelastende Sitzhaltung schwerlich einem medizinischen Laien im Zusammenhang mit einer gesunden Sitzhaltung zu erklären ist, bei der es zu einer Aufrichtung des Oberkörpers kommen soll.

Aus der langjährigen Erfahrung von Rückenschulkursen wissen wir, wie wichtig die Vermittlung einer richtigen Sitzhaltung ist. Dreh- und Angelpunkt ist hier die Beckenkipfung. In diesem Zusammenhang sei auf die sehr informativen Ausführungen von Brügger (1990) hingewiesen.

Für die Praxis bedeutet dies, dass die technischen Möglichkeiten einer Sitzneigemechanik an einem ergonomischen Arbeitsstuhl erst dann voll zum Tragen kommen, wenn der Benutzer über die wirbelsäulengerechte Sitzhaltung aufgeklärt ist.

Hinsichtlich einer möglichen geschlechtsspezifischen Differenz im individuellen Sitzneigewinkel sind wir von der anatomischen Gegebenheit ausgegangen, dass der Beckenneigungswinkel bei der Frau normalerweise größer ist als beim Mann (Rauber und Kobsch 1987). Da dieser Winkel aber von der Haltung der Person und von der Form der Wirbelsäule abhängt, ist aufgrund der großen individuellen Streubreite und der vergleichsweise kleinen Fallzahl nicht mit einem signifikanten Unterschied zu rechnen. In unserem Kollektiv lagen die niedrigsten Sitzneigewinkel bei $-6,2^\circ$ (männlich) und $-6,5^\circ$ (weiblich), die höchsten Werte bei $-11,8^\circ$ (männlich) und $-11,2^\circ$ (weiblich). Dass wir bei den weiblichen Versuchspersonen im Mittel sogar geringere individuelle Sitzneigewinkel gemessen haben, ist nach unserer Beobachtung auf den Umstand zurückzuführen, dass die meisten der Probandinnen hautenge Jeans trugen. Bei der Demonstration der richtigen Sitzhaltung fiel auf, dass gerade diese Versuchspersonen Schwierigkeiten mit der Beckenkipfung hatten.

Auch diesem Umstand müssen wir in der Praxis Rechnung tragen. Da der individuelle Sitzneigewinkel unter möglichst praxisnahen Bedingungen ermittelt werden soll-

te, konnten und wollten wir jedoch auf diesen Faktor keinen Einfluss nehmen.

Zum Vergleich der Sitzneigewinkel in der mittleren und vorderen Position ist folgendes zu sagen. Geht man von der Überlegung aus, dass in der gewählten vorderen Sitzposition mit Abstützung der Unterarme der Oberkörper nach vorne verlagert wird und somit die Wirbelsäule insgesamt aus der Lotrechten ausweicht, dann müsste sich diese Stellung theoretisch auch in einer stärkeren Beckenkipfung aus der Lotrechten zeigen. Obschon im Vergleich mittlere/vordere Sitzhaltung im Mittel ein um $0,39^\circ$ größerer Sitzneigewinkel gemessen wurde, konnten die Differenzen statistisch nicht gesichert werden. Es wurden zwar einerseits mit $-13,3^\circ$ die größten Sitzneigewinkel gemessen, andererseits mit $-4,9^\circ$ ein Minimalwert, der noch niedriger ist als in der mittleren Sitzhaltung. Bei dieser Versuchsperson war die Beckenrückdrehung, die man bei vielen in dieser Sitzposition beobachten kann, besonders ausgeprägt. Unsere Annahme, dass in einer vorderen Sitzposition mit Abstützung der Unterarme auf der Tischplatte, grundsätzlich die größeren Sitzneigewinkel zu beobachten sind, wurde demnach nicht bestätigt.

In der *4. Versuchsreihe* sollten mögliche Differenzen im Sitzneigewinkel bei unterschiedlicher Position des Drehpunktes ermittelt werden. Im ersten Fall befand sich der Drehpunkt in der Nähe der Sitzvorderkante und im zweiten Fall 25 mm vor der Sitzsäule, also ungefähr in der Mitte der Sitzfläche. Wie aus der Tabelle 1 zu entnehmen ist, konnten diese Differenzen statistisch gesichert werden. Mit $-9,23^\circ$ lag der Sitzneigewinkel bei vorderer Drehpunktlage um $1,44^\circ$ höher als bei mittlerer Drehpunktlage. Dieses Versuchsergebnis ist allerdings nur mit Einschränkung auf die Praxis übertragbar.

Die Tatsache, dass in der vorderen Drehpunktlage die im Mittel größeren Sitzneigewinkel gemessen wurden, liegt darin begründet, dass in dieser Konfiguration eine größere Kontaktfläche zum Sitz besteht (siehe Abbildungen 6 und 5c) und sich damit der Rutscheffekt weniger störend bzw. erst bei einer größeren Schräglage bemerkbar macht. Ob dies in der Praxis an einem serienmäßigen Bürodrehstuhl auch der Fall sein wird, ist zweifelhaft. Aufgrund der mechanischen Gegebenheiten wird hier die Sitzneigung erst dann voll ausgelöst, wenn eine intendierte „Aufstehbewegung“ erfolgt. Ansonsten bleibt der Sitz in einer mehr oder minder schwachen Neigung, oder gar in der Neutralposition.

In der *5. Versuchsreihe* sollten mögliche Differenzen in bezug auf die Sitzform aufgezeigt werden. Wie der Vergleich ergeben hat, waren die mittleren Sitzneigewinkel in beiden Testreihen nahezu identisch. Im ersten Fall war die Sitzfläche völlig plan bei einer Polsterdicke von etwa 3 cm, im zweiten Fall zeichnete sich der Sitz durch eine Sitzmul-

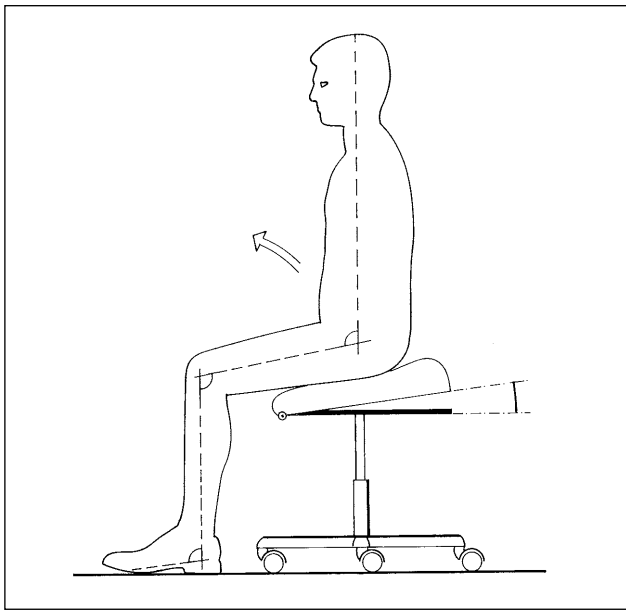


Abbildung 6: Sitzneigewinkel bei vorderem Drehpunkt

Figure 6: Posture angle during sitting with anterior pivot

Figure 6: Angle d'inclinaison du siège sur point de rotation avant

de aus, bei der die Vorderkante in einem Radius von etwa 8 cm abgerundet war und der hintere Bereich eine Aufpolsterung von etwa 6 cm aufwies. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde die Hauptbezugslinie der Sitzfläche in der 0°-Ebene justiert. Beide Versuchssitze wiesen denselben Bezugsstoff auf. Die Tatsache, dass bei unterschiedlich geformten Sitzen keine signifikant unterschiedlichen Sitzneigewinkel zu verzeichnen sind, kann nicht dahingehend interpretiert werden, dass die Formgestaltung der Sitzschale keinen entscheidenden Einfluss auf den Sitzkomfort und somit auf das Sitzverhalten hat. Sie wirkt sich lediglich nicht entscheidend auf den individuellen Sitzwinkel aus, wenn man im Falle einer konturierten Sitzfläche den Hauptanteil der Sitzfläche auf die 0°-Ebene bezieht. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass die interindividuellen Differenzen in den Sitzneigewinkeln bei den meisten Probanden relativ gering waren. Sie lagen im Durchschnitt bei 1,4°, wobei in Einzelfällen Maximaldifferenzen von 3 bis 3,5°, in vielen anderen Fällen Abweichungen von weniger als 1° gemessen wurden. Vergleicht man die 24 erhobenen Einzelwerte einer Versuchsperson, so lässt sich bei einigen von ihnen eine deutliche Tendenz zu einer verbesserten „Treffergenauigkeit“ gegenüber anderen Versuchspersonen feststellen, was im Sinne eines unterschiedlichen Körper- und Bewegungsempfindens zu interpretieren wäre.

In der 6. Versuchsreihe sollte, wie bereits erwähnt, ein möglicher Zusammenhang zwischen Beinstellung und Sitzneigewinkel hergestellt werden. Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, konnten die Differenzen in den Sitzneigewinkel bei rechtwinkliger Beinstellung gegenüber den an-

deren drei möglichen Beinstellungen (siehe Abbildung 4) statistisch gesichert werden. Unter der Voraussetzung einer Federmechanik mit Drehpunkt in der Nähe der Sitzsäule, bestehen die folgenden biomechanischen Bedingungen: Werden die Kniegelenke aus der 90°-Position gebeugt und/oder gestreckt, so wandert die Kniegelenkebene unter die Hüftgelenkebene. Damit vergrößert sich der Hüftgelenkwinkel, was die Tendenz der Beckenkipfung nach ventral begünstigt.

Verglichen mit einer Beckenkipfung, die durch Aktivierung des M. Erector spinae im Lendenbereich erfolgt (siehe Abbildung 5c), ist hier keine ermüdende Muskularbeit erforderlich (Schoberth 1989). Auf diese Weise kann im Sitzen eine Beckenkipfung erreicht werden, wie sie für eine im Lot befindliche aufrechte Wirbelsäulenhaltung nötig ist (Brügger 1990).

Dass der Wechsel des Sitzneigewinkels und somit der Beckenkipfung sehr stark vom individuellen Verhalten und der Art der Tätigkeit abhängig ist, mögen die beiden unterschiedlichen Verlaufsprofile in den Abbildungen 7 und 8 exemplarisch verdeutlichen. Im ersten Fall ist der zeitliche Verlauf des Sitzneigewinkels bei einer Person wiedergegeben, die typische Schreibtischarbeiten wie Telefonieren, handschriftliche Aufzeichnungen und Akten-

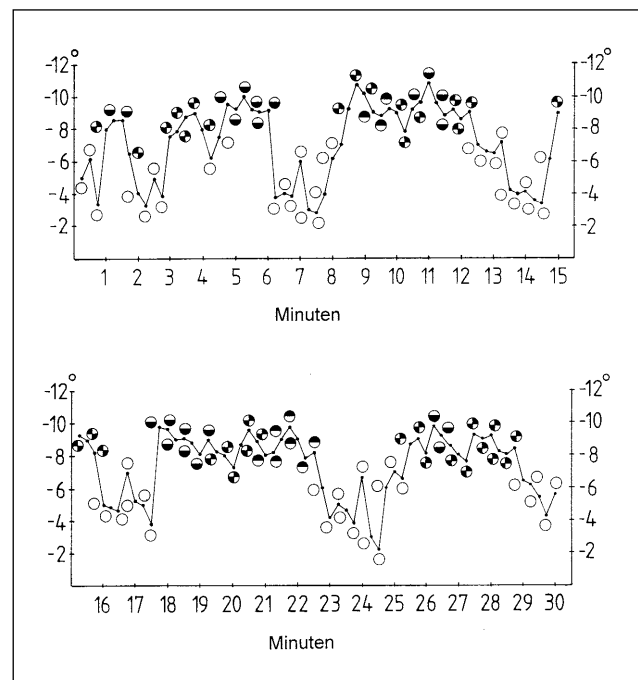


Abbildung 7: Änderung des Sitzneigewinkels durch Veränderung der Beinstellung (Bedeutung der Symbole: siehe: Abbildung 4)

Figure 7: Changes in the posture tilt-angle caused by changes in the positioning of the legs (for the significance of the symbols, see figure 4)

Figure 7: Modification de l'angle d'inclinaison du siège par modification de la position des jambes (importance des symboles: cf. figure 4)

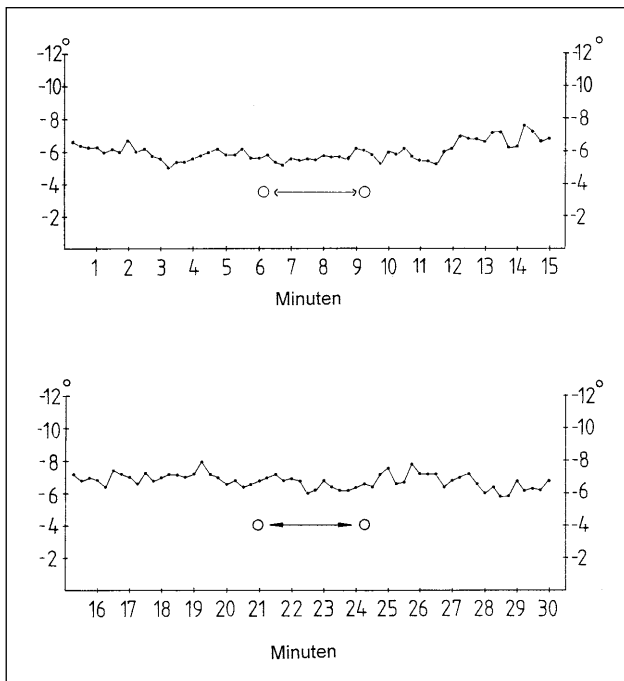


Abbildung 8: Relativ konstanter Sitzneigewinkel bei konstanter Beinpositionierung

Figure 8: Relatively consistent posture tilt-angle in conjunction with a consistent positioning of the legs

Figure 8: Angle d'inclinaison du siège relativement constant lorsque la position des jambes est constante

studium verrichtete. Es fällt auf, dass hier ein stetiger Wechsel der Sitzneigung erfolgt. Die Symbole an den Messpunkten geben die Beinpositionierung wieder. Deutlich ist zu erkennen, dass regelmäßig Phasen mit geringem Sitzneigewinkel von Phasen mit großem Sitzneigewinkel abgelöst werden; alles in allem ein sehr dynamischer Vorgang. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass aus methodischen Gründen positive Sitzneigewinkel wegen der fehlenden Rückenlehne und der besonderen Mechanik nicht erreicht werden konnten.

Ein völlig anderes Profil ergibt sich bei der Aufzeichnung einer Versuchsperson, die während der 30-minütigen Beobachtungsphase ausschließlich mit der Dateneingabe am PC nach Aktenvorlage beschäftigt war. Es fällt auf, dass während der gesamten Beobachtungszeit, die Beinpositionierung nicht verändert wurde (Ober- und Unterschenkel annähernd rechtwinklig) und der Sitzneigewinkel lediglich zwischen -6° und -8° schwankte. Dies ist nicht unbedingt ein typisches Profil für das Sitzverhalten am PC bei der Dateneingabe, sondern typisch für das Sitzverhalten einer einzelnen Person. Auf die Frage, weshalb während des Tests praktisch keine nennenswerten Beinbewegungen stattgefunden haben, gab die betreffende Versuchsperson zu Protokoll, dass sie als Schreibkraft gewohnt sei nach Tonbanddiktat zu schreiben und das Gerät mit einem Fußschalter

steuert. Somit sei sie es gewohnt, die Füße relativ unbeweglich zu halten.

Die Verlaufprofile anderer Versuchspersonen zeigten in der Tat auch bei der PC-Arbeit größere Schwankungen im Sitzneigewinkel.

Es soll mit diesen beiden Beispielen lediglich gezeigt werden, dass eine klare Abhängigkeit zwischen Beinpositionierung und Sitzneigewinkel besteht und dass es darüberhinaus sehr große individuelle Schwankungen hinsichtlich dieses Aspektes des Sitzverhaltens gibt.

5. Schlussfolgerungen für die Praxis

Auf der Basis von über 1500 Einzelmesswerten an 39 gesunden Versuchspersonen beiderlei Geschlechtes lässt sich sagen, dass ein mittlerer Sitzneigewinkel in einem Bereich von -8° anzusiedeln ist, wobei kurzfristig Neigungswinkel von bis zu -12° auftreten können. Konstruktiv begrenzte Neigungswinkel von -2° bis -4° halten wir aufgrund dieser Messergebnisse für zu gering. Auch auf der Ebene der Sitzflächenneigung kann das Sitzen bei entsprechenden technischen Voraussetzungen ein sehr dynamischer Prozess sein, wie der Abbildung 7 eindrucksvoll zu entnehmen ist. Dies lässt sich jedoch nur mit Mechaniken umsetzen, die eine permanente und selbsttätige Anpassung an den jeweiligen Sitzneigewinkel durch Verlagerung des Körpergewichtes ermöglichen. Jene Mechaniken, bei denen durch Betätigung eines Hebels ein bestimmter Sitzneigewinkel eingestellt und fixiert werden kann, halten wir für weniger geeignet, weil dieser Winkel bei jeder Lageänderung neu eingestellt werden müsste. Aus unserer Erfahrung mit Büroarbeitsplätzen wissen wir, dass dies in der Regel von den Benutzern nicht praktiziert wird, wobei die Sitzfläche meist in einer leichten Negativneigung oder sogar in der Neutralposition verbleibt. Ein längeres Verweilen in einer stärkeren Sitzneigung wird als unangenehm empfunden und ist auch aus ergonomischer Sicht nicht empfehlenswert. Erst ein dynamischer, angepasster Wechsel einer Sitzneigung an die jeweilige Beckenstellung stellt unseres Erachtens eine optimale Lösung dar.

Wir halten daher eine selbsttätig arbeitende Sitzneigemechanik für einen entscheidenden ergonomischen Fortschritt in der technischen Entwicklung von Bürodrehstühlen. Diese Art des dynamischen Sitzens ist aus unserer Erfahrung aber gewöhnungsbedürftig.

Aus den Ergebnissen unseres Vorversuches lässt sich interpretieren, dass viele Personen noch nicht gelernt haben, in einer freien Sitzhaltung das Becken so zu kippen, dass sich ihre Wirbelsäule „im Lot“ befindet, wie es bei Brügger (1990) eindrucksvoll beschrieben wird.

Diese Art der Haltungskontrolle halten wir für einen wichtigen Faktor bei der Vermittlung verhaltenspräventi-

ver Maßnahmen im Zusammenhang mit dem gesunden Sitzen am Arbeitsplatz.

In den verschiedensten Rückenschulskonzepten wird dies angemessen berücksichtigt. Bei einigen Bürodrehstuhlherstellern wird diesem Aspekt ebenfalls Rechnung getragen.

Aus verhaltenspräventiver Sicht ist zu wünschen, dass diese an sich alte Erkenntnis durch geeignete methodisch-didaktische Maßnahmen von den verschiedensten Einrichtungen wie den Bürodrehstuhlherstellern, Krankenversicherungsträgern, Therapiezentren, innerbetrieblichen Gesundheitszirkeln und vorrangig von Betriebsärzten weiterhin verstärkt vermittelt wird.

Literatur

Brügger A (1990) Gesunde Körperhaltung im Alltag. Verlag Dr. A. Brügger, Zürich

Grandjean E, Hünting W (1989) Sitzen Sie richtig? Schriftenreihe für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik. Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München

Kurz B, Diebschlag W (1992) Arbeitsmedizinische Expertise zum Einstellbereich der Sitzflächenneigung bei Bürodrehstühlen. Industrieverband für Bürositzmöbel, Düsseldorf

Rauber A, Kopsch F (1987) Anatomie des Menschen, Band I: Bewegungsapparat. Thieme, Stuttgart - New York

Schoberth H (1989) Orthopädie des Sitzens. Springer, Berlin - Heidelberg - New York

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dipl. Math. Thorsten Reineke vom Institut für Biometrie, Universitätsklinikum der RWTH Aachen für die statistische Auswertung der Messergebnisse.

Eingang: 11. Januar 2000; Angenommen: 18. Februar 2000

Anschrift für die Verfasser:

Dr. med. Fritz Andreas Schön

Hochschularzt der RWTH Aachen

Roermonder Straße 7 ■ D-52072 Aachen

Telefon +49+241-80.4444 ■ Telefax +49+241-8888.320

E-Post: Schoen@hsa.RWTH-Aachen.DE

ISBN: 3-87284-024-X

Der rollstuhlgerechte Arbeitsplatz

Handlungsanleitung zur Gestaltung des Arbeitssystems Rollstuhl / Fahrer

W. Rohmert, W. Lesser

Die Handlungsanleitung zur Gestaltung des Arbeitssystems Rollstuhl/Fahrer stellt eine praxisnahe Zusammenfassung der Ergebnisse des vom HdA geförderten Forschungsvorhabens „Ergonomische Untersuchungen zum Arbeitseinsatz von Rollstuhlfahrern“ dar. Ziel dieser Forschungen war es, wissenschaftliche Defizite im Bereich der Arbeitsgestaltung für Rollstuhlfahrer aufzuzeigen, die notwendige Erkenntnissammlung durchzuführen und diese Erkenntnisse schließlich den Interessenten zur Verfügung zu stellen.

Als Interessenten werden mit diesem Handbuch alle Personen angesprochen, die bei der Arbeitsplatzgestaltung für Rollstuhlfahrer mitwirken.

Zu diesem Leserkreis gehören insbesondere innerbetrieblich und überbetrieblich tätige Arbeitsplatzgestalter, Mediziner, Organisatoren und Vorgesetzte. Auch für die Betroffenen selbst sind wichtige Hinweise in dieser Anleitung enthalten.

Die Autoren dieser praxisbezogenen Broschüre, die als Band 12 in der Schriftenreihe des Zentralblattes für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie erschienen ist, sind Prof. Dr. W. Rohmert und Dr. W. Lesser. Die Broschüre umfaßt 136 Seiten mit zahlreichen Abbildungen und ist zum Preis von 34,30 DM zzgl. Versandkosten und Mehrwertsteuer über die Dr. Curt Haefner-Verlag GmbH zu beziehen.



Dr. Curt Haefner-Verlag GmbH

Postfach 10 60 60, 69050 Heidelberg, Tel.: 0 62 21/64 46-0

Fax: 0 62 21/64 46-40, e-mail: haefner-verlag@hei-net.de

Hochschulärztliche Einrichtung der Rheinisch Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

Feldstudie zum dynamischen Sitzen unter verschiedenen Arbeitsplatzbedingungen

Fritz A. Schön, Dieter Preim

F.A. Schön, D. Preim: Feldstudie zum dynamischen Sitzen unter verschiedenen Arbeitsplatzbedingungen. *Zbl Arbeitsmed* 59 (2009) 44–55

Schlüsselwörter: Dynamisches Sitzen – Sitzneigungswinkel – Bewegungsprofil

Zusammenfassung:

Es wurde an insgesamt 64 freiwilligen, gesunden Versuchspersonen beiderlei Geschlechts das Sitzverhalten auf einem serienmäßigen Bürodrehstuhl mittels eines speziell entwickelten Aufzeichnungsgerätes unter verschiedenen realistischen Arbeitsplatzbedingungen untersucht. Im Einzelnen waren dies Büroarbeitsplätze, Arbeitsplätze in einem Callcenter, eine Leitstelle mit Überwachungstätigkeit und der Bereich einer Seminarveranstaltung für Studierende. Es wurden insgesamt 77 Messprotokolle mit einer Gesamtaufzeichnungszeit von 380 Stunden angefertigt.

Ein Zusammenhang zwischen den Bewegungen von Sitzfläche und Rückenlehne in Abhängigkeit von der Tageszeit konnte nur am Arbeitsplatz mit Überwachungstätigkeit festgestellt werden und zwar für die Zeit von Mitternacht bis 5:00 Uhr morgens. Hinweise, dass in der Phase des nachmittäglichen Tiefs am Büroarbeitsplatz vermehrt die hintere Sitzposition eingenommen werden würde, ergaben sich nicht. Einen Zusammenhang zwischen einer bestimmten Tätigkeit und dem Sitzverhalten konnten wir nur für stereotype Arbeitsabläufe herstellen wie beispielsweise dem Arbeiten an einem Flachbettscanner. Ein Zusammenhang zwischen Bewegungsverhalten und Arbeitsaufgabe ergab sich nicht, wenn man verschiedene Personen unter identischen Arbeitsplatzbedingungen und identischen Arbeitsaufgaben vergleicht. Das individuelle Sitzverhalten ist offensichtlich so prägend wie der menschliche Gang. Bei einem Teil der Versuchspersonen konnten in den Messprotokollen immer wiederkehrende Mikrobewegungen beobachtet werden, so dass man in solchen Fällen sogar von einer Art „motorischem Fingerabdruck“ sprechen könnte.

Die Vermutung, dass man bei einer Sitzflächenneigung von -10° aus dem Stuhl rutscht, kann eindeutig nicht bestätigt werden. In keinem einzigen Fall ist dies von den Probanden berichtet worden, selbst von denen nicht, die vor dem Versuch dieser Meinung waren.

Vergleicht man die prozentuale Verteilung der verschiedenen Sitzhaltungen, dann zeigt sich für die untersuchten Arbeitsplatzbedingungen eine herausragende Stellung für die vordere Sitzhaltung, selbst für Arbeitsaufgaben wie einer Überwachungstätigkeit, bei der man dies gemeinhin nicht erwartet hätte.

Field Study on Dynamic Sitting under Different Work Station Conditions

F.A. Schön, D. Preim: Field Study on Dynamic Sitting under Different Work Station Conditions. *Zbl Arbeitsmed* 59 (2009) 44–55

Key words: Dynamic sitting – seat inclination – sitting behaviour

Summary:

A total of 64 voluntary and healthy subjects of both genders were tested with respect to the sitting behaviour on a standard office chair (swivel chair) by means of a specially developed recording device under various realistic work station conditions. The experimental equipment was located in offices, in a call centre, in a control centre with monitoring function and in the area of a seminar event for students. A total of 77 test charts and a recording time of 380 hrs have been generated during this field study. A relation between the movements of seat and backrest against the time of the day could only be detected at the work station with monitoring function, namely between midnight and 05:00 am.

There is no conclusive evidence that the subjects used the posterior position of the chair more often during the low in the afternoon. A relation between a certain occupation and the sitting behaviour could only be observed for stereotypical operations (e.g. working with the flat bed scanner).

Anschrift für die Verfasser

Dr. Fritz Andreas Schön ■ Hochschulärztliche Einrichtung der Rheinisch Westfälischen Technischen Hochschule Aachen ■ Roermonder Straße 7 D-52072 Aachen ■ Telefon: +49+241-80-94444 ■ Facsimile: +49+241-80-92320 ■ E-Mail: schoen@hsa.rwth-aachen.de

The field study did not show any evidence for a relation between sitting behaviour and the operational task when comparing different persons with identical working conditions and tasks. Apparently, the individual sitting behaviour is as formative as human walking behaviour.

Some subjects featured repetitive micro-movements on the test charts which can be regarded as a type of “neuromuscular fingerprint”.

The assumption that one would slide from the chair with a seat inclination of -10° could not be confirmed. There is not a single case in which such a behaviour was observed, not even in those cases where the subjects had anticipated it.

When comparing the percentage distribution of the various sitting postures, it shows that the front position of the seat is still the preferred one for all the work station conditions observed, even for monitoring tasks (here, the first assumption was the posterior seat position).

1. Einleitung

Eine Recherche unter den namhaftesten deutschen und ausländischen Herstellern von Bürodrehstühlen hat ergeben, dass man über das Sitzverhalten auf einem serienmäßigen Bürodrehstuhl relativ wenig weiß.

Der Begriff „dynamisches Sitzen“ ist zwar allgemein bekannt, bezieht sich aber im Verständnis der meisten Befragten auf eine Bewegung, die zwischen Rückenlehne und Sitzfläche erfolgt. Diese Form der Bewegung auf einem Bürodrehstuhl kann man heute aus ergonomischer Sicht als Mindeststandard ansehen.

Mechanismen, die zusätzlich eine automatische Bewegung der Sitzfläche nach vorne ermöglichen, werden nur von wenigen Bürodrehstuhl-Herstellern angeboten.

Bei der überwiegenden Mehrheit der Hersteller herrscht die Meinung vor, dass der Neigewinkel auf maximal -4° begrenzt sein müsste (Grandjean & Hünting 1989; Kurz & Diebschlag 1992).

In der Regel geschieht das durch eine Hebeleinstellung, die die Sitzfläche konstant auf -4° neigt. Dieser Neigungsgrad bleibt auch dann bestehen, wenn er bei einer Rückneigung wieder aufgehoben werden sollte.

Zur Zeit besteht bei vielen Herstellern die Meinung, dass eine Sitzneigemechanik eher von untergeordneter Bedeutung sei, da die Sitzhaltung der Zukunft ohnehin die hintere Sitzposition sein würde. Zur Begründung verweist man auf zukünftige Technologien wie die Spracheingabe und die überwiegende Arbeit an Flachbildschirmen, die man möglichst entspannt in einer hinteren Sitzposition betrachten sollte.

Ungeachtet dieser Zukunftsszenarien sollte einmal die Frage geklärt werden, wie sich das Sitzverhalten unter den derzeitigen Arbeitsbedingungen darstellt.

Folgende Fragestellung ist hier von Interesse:

1. Wie lange wurde der Stuhl besessen?
2. Wie sind die Bewegungen von Sitzfläche und Rückenlehne über den Arbeitstag verteilt?
3. Wie groß ist der prozentuale Anteil von vorderer, mittlerer und hinterer Sitzposition?
4. Wie häufig sind die Wechsel in den verschiedenen Sitzhaltungen?
5. Bestehen Unterschiede zu den jeweiligen Arbeitsaufgaben?
6. Trifft es zu, dass man bei -10° Sitzneigung aus dem Stuhl rutscht?

2. Methodik

Um dies an einem serienmäßigen Bürodrehstuhl mit automatischer Sitzneigemechanik zu erproben, wurde ein Aufzeichnungsgerät entwickelt, das die Drehbewegungen von Rückenlehne und Sitzfläche kontinuierlich über einen 8-Stunden-Arbeitstag aufzeichnet. Bei dem Bürodrehstuhl handelte es sich um einen ergonomischen Arbeitsstuhl Modell ContourLine der Firma Dauphin, Offenhausen. Dieses Bürodrehstuhlmodell befindet sich seit mehreren Jahren an vielen Büroarbeitsplätzen unserer Hochschule.

Das Aufzeichnungsgerät ist batteriebetrieben und zeichnet über zwei Messwertaufnehmer die Drehbewegungen, die auf ein Trimm-Potentiometer übertragen werden, über zwei Servomotoren in einer Linearbewegung auf eine Schreibertrummel auf. Die Aufzeichnungstrummel hat einen Umfang von

500 mm, so dass bei einer Schreibergeschwindigkeit von 1 mm/Minute ein ganzer 8-Stunden-Arbeitstag aufgezeichnet werden kann.

Die Aufzeichnung erfolgt linear über zwei Schreiberkurven durch Stahlnadeln, die sich über einer beruhten Aluminiumfolie bewegen. Dadurch können haarfeine Kurven erzeugt werden. Nach der Aufzeichnung wurde die beruhte Folie mit Klarlack fixiert.

Der Vorteil dieses Messverfahrens gegenüber einer digitalen Aufzeichnung liegt darin, dass man bereits nach der Messung einen ersten direkten Überblick über das Sitzverhalten gewinnen kann, gewissermaßen nach Art eines Fahrtenschreibers. Durch die Direktaufzeichnung jeder noch so kleinen Bewegung und der spielfreien Ansteuerung der Schreibernadeln konnten auch kleinste Bewegungen beobachtet werden. Bei einem Vorschub von 1 mm/Minute (8-Stunden-Aufzeichnung) sind drei Ausschläge noch eindeutig als Einzelbewegung zu erkennen. Die Schreibertrummel wird über einen Schrittmotor angetrieben, dessen Elektronikmodul eine Aufzeichnung über zwei Stunden, vier Stunden oder acht Stunden zuließ.

Die folgenden Abbildungen sollen einen Überblick über den Aufbau dieses Aufzeichnungsgerätes vermitteln.

Umfang der Feldstudie

Die Untersuchungen an den verschiedenen Arbeitsplätzen erstreckten sich über einen Zeitraum von einem Jahr.

Die Messungen erfolgten unter möglichst realistischen Arbeitsbedingungen. Die Versuchspersonen wurden lediglich gebeten, in einem Protokollblatt ihre

Tätigkeiten stichwortartig zu notieren. Am Ende der Aufzeichnung wurde das Stundenprotokoll mit der Schreiberaufzeichnung verglichen.

Im Einzelnen wurde die Feldstudie in den folgenden Arbeits- und Tätigkeitsbereichen durchgeführt.

Büroarbeitsplatz (21 Probanden; 16 weiblich; 5 männlich)

Aufzeichnungszeit: 195 Stunden.

Bei diesen Arbeitsplätzen handelte es sich um Arbeitsplätze im Bereich der Hochschulverwaltung, die mit einem PC ausgestattet waren, bei denen die PC-Arbeit jedoch nicht ausschließlich im Vor-

dergrund stand. Es handelte sich also in den meisten Fällen um den klassischen Mischarbeitsplatz. Neben der Dateneingabe am PC oder der Internetrecherche erstreckten sich die Tätigkeiten auch in der typischen Bürotätigkeit wie Telefonieren, Bearbeiten von Akten durch handschriftliche Notizen, das Lesen, Ar-



Abbildung 1 (links oben): Sitzträger des Bürodrehstuhlmodells „ContourLine“ der Firma Dauphin, Offenhausen
Figure 1 (left above): Support of the office chair, Mod. „ContourLine“, Dauphin, Offenhausen

Abbildung 2 (rechts oben): Schreibereinheit ohne Elektronikmodule. Über die elektronische Ansteuerung des Schrittmotors konnte die Aufzeichnungszeit für zwei, vier oder acht Stunden eingestellt werden.
Figure 2 (right above): Recorder without electronic control system. The duration of registration is two, four or eight hours.

Abbildung 3 (links unten): Aufzeichnungsgerät von der Seite. Vorne links das Elektronikmodul für den Schrittmotor, dahinter das Elektronikmodul für die beiden Servomotoren.
Figure 3 (left below): Recorder from the left side. On the left of the front the electronic control system for the stepping motor; behind it the electronic control system for the two servo motors.

Abbildung 4 (rechts unten): Aufzeichnungsgerät am Büroarbeitsplatz. Die Aufhängung an der Sitzsäule ist so konzipiert, dass eine individuelle Einstellung aller Stuhlfunktionen und jede Bewegung ohne Behinderung durch die Messeinheit im Stuhl möglich ist.
Figure 4 (right below): Experimental equipment at the office place. The equipment is fastened below the office chair, so that it is possible to adjust all individual functions of the test subject.

chivieren und die übliche Kommunikation mit Kolleginnen und Kollegen.

Fünf der Versuchspersonen in der Abteilung Zentraleinkauf der RWTH Aachen hatten identische Arbeitsplatzbedingungen und einen identischen Aufgabenbereich, so dass sich hier möglicherweise beobachten ließ, ob sich ein bestimmtes Bewegungsverhalten einer bestimmten Tätigkeit zuordnen lassen würde.

Einige der Versuchspersonen, bei denen ein auffälliges Muster im Kurvenverlauf direkt zu beobachten war, wurden gebeten, den Versuch einige Tage später unter den gleichen Bedingungen zu wiederholen. Die Anzahl der Messprotokolle im Bereich „Büroarbeitsplatz“ ist daher größer als die Anzahl der Probanden.

Callcenter (24 Probanden; weiblich)

Aufzeichnungszeit: 80 Stunden.

Bei diesem Arbeitsplatz handelt es sich um die Telefonvermittlung des Universitätsklinikums Aachen. Die Untersuchungen wurden in der Zeit von 8:00 Uhr bis 18:00 Uhr durchgeführt, in denen die meisten Telefonate stattfinden. Es handelt sich hierbei um ein Großraumbüro mit ca. 10 Arbeitsplätzen, die dem neuesten technischen Standard entsprechen.

Leitstelle „Hochschulwache“ (5 Probanden; männlich)

Aufzeichnungszeit: 82 Stunden.

Die Leitstelle der RWTH Aachen ist rund um die Uhr besetzt:

- Schicht 1: 06:00 Uhr bis 14:00 Uhr;
- Schicht 2: 14:00 Uhr bis 22:00 Uhr;
- Schicht 3: 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr.

Es wurden insgesamt 13 Aufzeichnungen erstellt: zwei für die 1. Schicht,

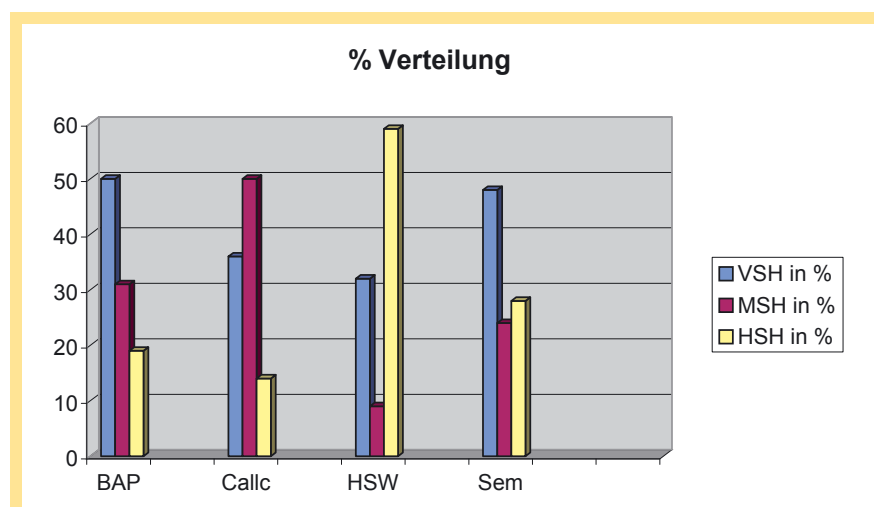


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung von vorderer (VSH), mittlerer (MSH) und hinterer (HSH) Sitzhaltung für die verschiedenen Arbeitsbereiche. Büroarbeitsplatz (BAP); Callcenter (Callc.) Hochschulwache (HSW); Seminarveranstaltung (Sem)

Figure 5: Percentage of forward (VSH), upright (MSH) and reclining (HSH) seated posture for the different working conditions. Office place (BAP), Callcenter (Callc.), Attendant office of the university (HSW), participants in a seminar (Sem)

sieben für die 2. Schicht und vier für die 3. Schicht.

Die Aufgaben der Bediensteten der Leitstelle sind wie folgt: Annahme von Telefonaten und weitere Vermittlung, Funkkontakt mit den Kollegen im Außenbereich; Beobachtung mehrerer Monitore von Überwachungskameras; Schlüsseldienst für verschiedene Gebäude.

Seminarveranstaltung (14 Probanden; 5 weiblich; 9 männlich)

Aufzeichnungszeit: 23 Stunden.

Die Lehrveranstaltung an der RWTH Aachen war Teil eines internationalen Studienganges für Naturwissenschaftler.

Die Ausstattung des Seminarraumes bestand aus 30 Objektstühlen an 6 Tischiereihen in frontaler Anordnung zu Tafel

und Overheadprojektor. Der Dozent lehrte im üblichen Stil des Frontalunterrichts.

Zur **Auswertung der Schreiberaufzeichnungen** ist folgendes zu sagen:

Um eine Differenzierung der verschiedenen Sitzhaltungen zu erreichen, wurde jede Schreiberauslenkung über -5° als vordere und jede Auslenkung über $+5^\circ$ als hintere Sitzhaltung definiert.

In Vorversuchen hat sich diese Vorgehensweise bei diesem Arbeitsstuhlmodell als praktikabel erwiesen, da bei der Beobachtung der Probanden in der Sagittalebene noch keine größere Vordere oder Rückneigung zu beobachten war, wohl aber ein deutlicher Schreiberausschlag.

Tabelle 1: Ergebnis der Auswertung von 77 Messprotokollen. n.bes. = nicht besessen; VSH = vordere Sitzhaltung; MSH = mittlere Sitzhaltung; HSH = hintere Sitzhaltung; Pos.We = Positionswechsel

Table 1: Evaluation of 77 records. N.bes. = not taken; VSH = forward seated posture; MSH = upright seated posture; HSH = reclining seated posture; Pos.We = change of postures

Arbeitsplatz	Anzahl Prob.	Aufz.-Zeit Std.	Stuhl n.bes. Std.	% Anteil	Ges-SitzZ Std.	VSH %	MSH %	HSH %	Pos We/Std.
Büroarbpl.	21	195	40	20,5	155	50	31	19	22
Callcenter	24	80	6	7,5	74	36	50	14	41
Hochschulw.	5	82	6	7,3	76	32	9	59	37
Seminar	14	23	2	8,7	21	48	24	28	22
Summe	64	380							

3. Ergebnisse

Die Tabelle 1 gibt die Gesamtheit aller Daten wieder, die diesem Auswertemodus bei 77 Messprotokollen zugrunde liegen. In erster Linie interessierte uns die prozentuale Verteilung der drei Sitzpositionen.

In der Abbildung 5 sind die drei Sitzpositionen für die verschiedenen Arbeitsbereiche grafisch dargestellt.

Die folgenden Graphiken geben die Verteilungen der verschiedenen Sitzhaltungen und der Positionswechsel in Form von sog. Boxplots wieder.

Der Mittelstrich im Kasten des Boxplots stellt den Median dar, der untere Rand des Kastens das untere Quartil (25%-Quantil) und der obere Rand das obere Quartil (75%-Quantil).

Die beiden Linien im Boxplot reichen bis zum größten bzw. kleinsten Wert im jeweiligen Kollektiv, der sich noch innerhalb einer Entfernung von 1,5 Kastenlängen vom oberen oder unteren Rand des Kastens befindet. Zur Hervorhebung von möglichen Ausreißern sind Messwerte, die sich mehr als 1,5 Kastenlängen vom oberen oder unteren Rand

des Kastens entfernt befinden, durch Kreise dargestellt.

Für die vordere Sitzhaltung (Abbildung 6) ist zu sagen, dass sie am meisten am Büroarbeitsplatz repräsentiert wird, gefolgt vom Seminarbereich, wobei hier die Streuung der ermittelten Werte größer ist.

Die mittlere Sitzhaltung (Abbildung 7) ist eindeutig an den Arbeitsplätzen des Callcenters vorherrschend. Der Verteilungsunterschied im Vergleich zum Seminarbereich, zur Hochschulwache und zu den Büroarbeitsplätzen ließ sich

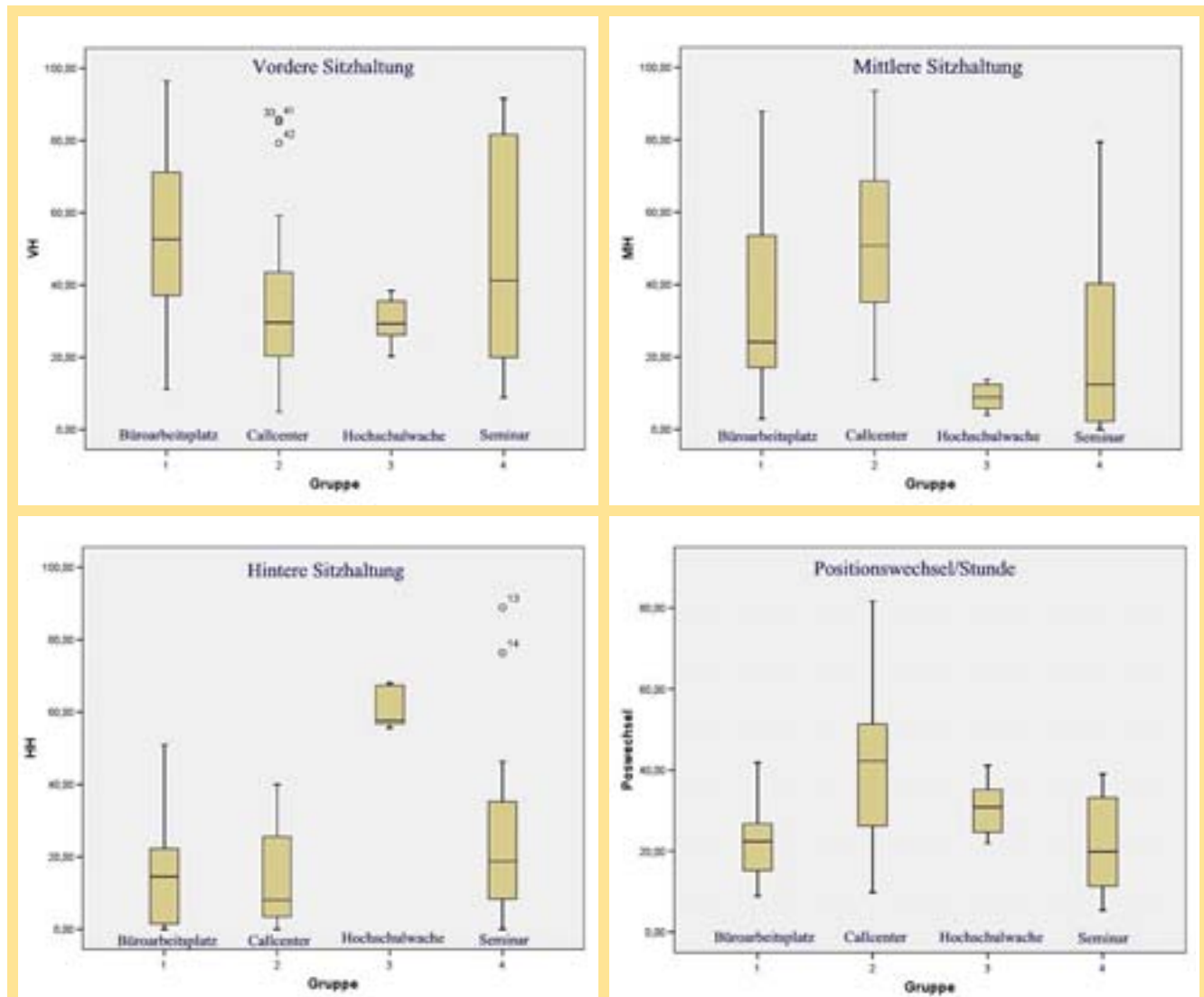


Abbildung 6 (links oben): Boxplot „Vordere Sitzhaltung“. Figure 6 (left above): Boxplot “Forward seated posture”

Abbildung 7 (rechts oben): Boxplot „Mittlere Sitzhaltung“. Figure 7 (right above): Boxplot “upright seated posture”

Abbildung 8 (links unten): Boxplot „Hintere Sitzhaltung“. Figure 8 (left below): Boxplot “reclining seated posture”

Abbildung 9 (rechts unten): Boxplot „Positionswechsel/Stunde“. Figure 9 (right below): Boxplot “change of seated postures”

statistisch sichern (jeweils mindestens $p < 0,02$). Bezüglich der statistischen Analyse ist allerdings auf die relativ kleine Probandenanzahl von 5 im Arbeitsbereich „Hochschulwache“ hinzuweisen.

Die hintere Sitzhaltung (Abbildung 8) ist offensichtlich für den Bereich der Überwachungstätigkeit vorherrschend (im Gegensatz zu den drei anderen Arbeitsbereichen). Dieser deutliche Unterschied ist ebenfalls statistisch signifikant (jeweils $p < 0,01$).

Positionswechsel (Abbildung 9) traten erwartungsgemäß häufiger bei Arbeitsplätzen im Callcenter auf. Es besteht ein signifikanter Verteilungsunterschied im Vergleich zu den Bereichen Seminar und Büroarbeitsplatz (jeweils $p < 0,01$).

4. Diskussion der Ergebnisse

Wie aus den Graphiken zu ersehen ist, stellt die vordere Sitzhaltung die dominierende Haltung für den Büro- und Seminarbereich dar.

Selbst in den beiden anderen Bereichen, dem Callcenter ist diese Sitzhaltung mit 36% und an einem Arbeitsplatz mit Überwachungstätigkeit wie der Hochschulwache mit 32% vertreten. Dies zeigt die überragende Bedeutung einer entsprechenden Stuhlmechanik selbst für Arbeitsbereiche, von denen man bisher gemeint hatte, dies vernachlässigen zu können.

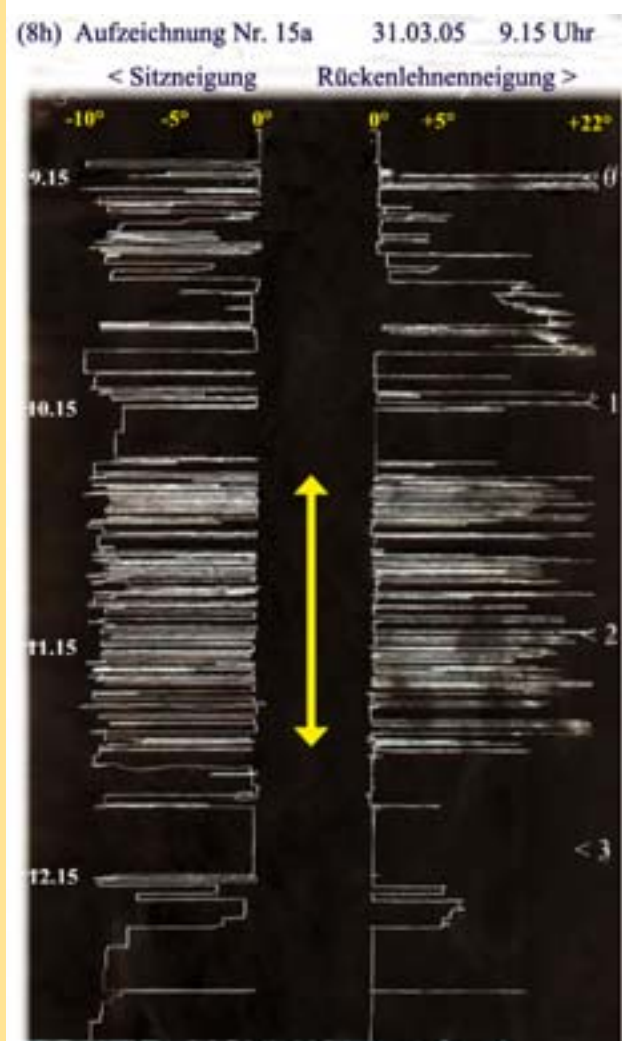
In diesem Zusammenhang muss man einschränkend sagen, dass das Aufzeichnungsgerät exakt den maximalen Winkel von -10° anzeigt, der Proband aber diesen Winkel praktisch auf zweifache Weise erreichen kann, einmal mit Kontakt zur Rückenlehne und einmal ohne Rückenlehnenkontakt, indem er auf der Vorderkante des Stuhles sitzt. Diese sog. „Vorderkantensitzer“ kann man an jedem Arbeitsplatz beobachten. Bei einem Stuhl ohne Sitzneigemechanik würde dies zwangsläufig zu einer belastenden Beckenrückdrehung führen. Bei einem Arbeitsstuhl mit automatischer Sitzneigemechanik käme dann auch in der freien Sitzhaltung gewissermaßen der „Sitzkeileffekt“ zum Tragen.

Büroarbeitsplätze

Die Frage, ob es ein bestimmtes Sitzverhalten gibt, das man eindeutig einer

Abbildung 10:
Messprotokoll eines
Büroarbeitsplatzes.
In dem Zeitabschnitt
des Doppelpfeils er-
folgte das Einscan-
nen von Bildvorla-
gen auf einem Flach-
bettscanner und der
anschließende Aus-
druck.

Figure 10:
Record of motion
study at an office
place. The interval
of the double arrow
represents the work-
ing with the flat bed
scanner and the fol-
lowing prints.



bestimmten Tätigkeit zuordnen kann, lässt sich nur bedingt bejahen.

Wenn es sich um so stereotype Bewegungen wie das Scannen von Bildvorlagen und den anschließenden Ausdruck der Bilder handelt, dann kann man das sicherlich feststellen. Die Abbildung 10 zeigt ein derartiges Beispiel.

In dem Zeitabschnitt des Doppelpfeils wurden die Bildvorlagen auf einen rechts stehenden Flachbettscanner gelegt, was zu einer starken Vorneigung im Sitz führte. Der anschließende Scan- und Druckvorgang wurde in der hinteren Sitzhaltung abgewartet. Auf diese Weise entsteht ein charakteristisches „Kammmuster“ auf beiden Aufzeichnungskanälen.

Anders ist allerdings die Frage zu beantworten, ob es Übereinstimmungen

bei verschiedenen Personen gibt, die dieselben Aufgabenbereiche wahrnehmen, wie beispielsweise fünf Bedienstete der Abteilung Zentraleinkauf. Diese Versuchspersonen verfügten über dieselbe Arbeitsplatzausstattung und waren mit identischen Arbeitsabläufen betraut, wie Dateneingabe in den PC, Internetrecherchen, Bearbeitung von Beschaffungsanträgen in der Papierform.

Eventuelle Übereinstimmungen zu irgendeiner der Tätigkeiten konnten nicht einmal im Ansatz erkannt werden. Bei den fünf Versuchspersonen war zum Teil ein extrem abweichendes Sitzverhalten zu beobachten, was sich allein schon im Einzelvergleich der prozentualen Verteilungen zeigt.

Da gab es zum einen die typische „Vorderkantensitzerin“ mit einem pro-

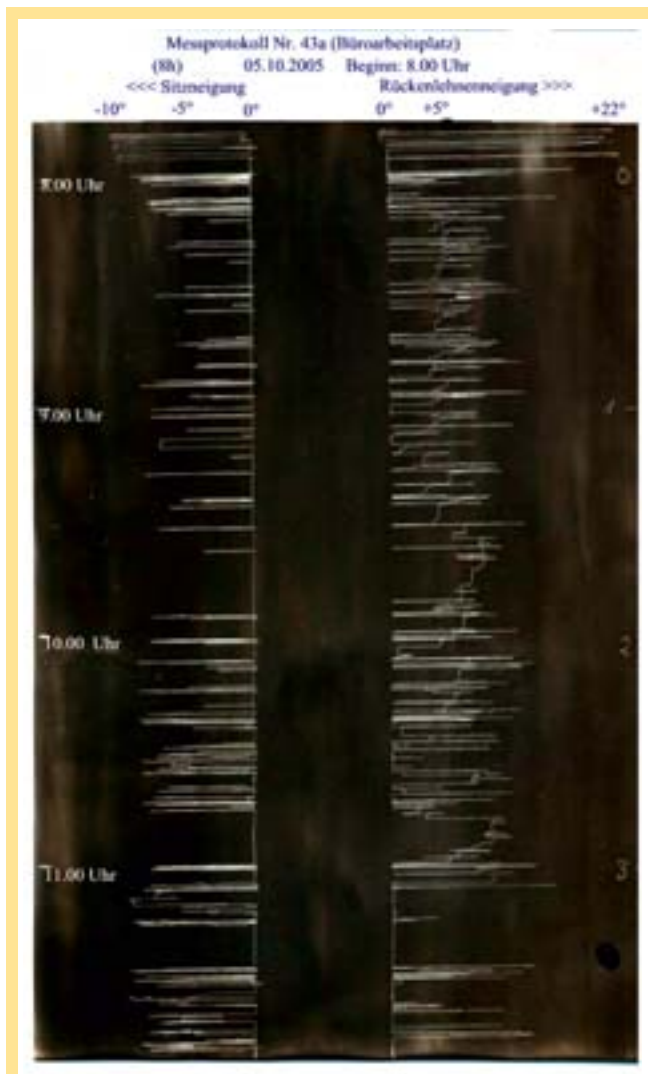


Abbildung 11:
Aufzeichnung „Büro-
arbeitsplatz“ mit typi-
schem Bewegungsmu-
ster in der Rückenleh-
nenneigung, das nur
bei dieser Versuchs-
person zu beobachten
war.

Figure 11:
Record of motion stu-
dy at an office place
with typical recurrent
pattern in the motion
of the backrest, which
is characteristic for
this test subject.

Für die anderen Arbeitsbereiche liegt dieser Anteil jeweils unter 10% und ergibt sich allein schon von der jeweiligen Arbeitsaufgabe. So wurde beispielsweise der Stuhl während des Seminars nur von den Studierenden verlassen, die einen Beitrag an der Tafel oder am Overheadprojektor zu leisten hatten.

Arbeitsplatz mit Überwachungstätigkeit

Für einen Arbeitsplatz wie der Leitstelle unserer Hochschulwache ist man spontan geneigt zu behaupten, dass die vorrangige Sitzposition die hintere Sitzhaltung sei. Dies ist auch im Mittel der Fall, wie das Säulendiagramm in Abbildung 5 und der Boxplot in Abbildung 8 zeigen.

Der hohe prozentuale Anteil von 32% für die vordere Sitzposition ist jedoch bemerkenswert. Es mag sicher an dem regen Publikumsverkehr gelegen haben, der in der Zeit zwischen 9:00 Uhr bis 20:00 Uhr zu beobachten war, dass hier diese häufigen Haltungswechsel stattfanden. Überraschend ist, dass der Haltungswechsel im Mittel sogar höher liegt als an einem Büroarbeitsplatz und nur noch von den Arbeitsplätzen im Callcenter übertroffen wurde. Man kann dieses Bewegungsverhalten so interpretieren, dass aufgrund der oben genannten sehr unterschiedlichen Einzeltätigkeiten ein Verweilen in der hinteren Sitzposition, wie es bei einer reinen Überwachungstätigkeit von Monitoren gegeben ist, überhaupt nicht möglich war. Dieser Arbeitsanteil herrschte erst in der Zeit von 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr morgens vor, was die Aufzeichnungsprotokolle eindeutig wiedergeben. Für die Interpretation der Positionswechsel ist wichtig zu wissen, dass diese Zahl nur den Wechsel von einer in die andere Sitzposition wiedergibt. Es ist daher durchaus möglich, dass ein hoher Anteil überwiegend durch den Wechsel von der vorderen in die hintere Sitzposition zustande gekommen ist, wie in den Aufzeichnungen an der Leitstelle der Hochschulwache und im anderen Fall, wie im Callcenter noch höhere Werte dadurch entstehen, dass ein häufiger Wechsel für alle Sitzhaltungen zu beobachten ist. Der Zahlenwert allein gibt das nicht her.

zentualen Anteil von 87% in der vorderen, 7% in der mittleren, 6% in der hinteren und ganzen 9 Positionswechseln pro Stunde gegenüber einer Versuchsperson mit 50% vorderer, 29% mittlerer, 21% hinterer und 38 Positionswechseln pro Stunde.

Dieser Vergleich zeigt bereits, dass das Bewegungsverhalten auf einem Bürodrehstuhl weniger von der Arbeitsaufgabe als vielmehr vom „motorischen Temperament“ der betreffenden Person abhängt.

Bei einem Teil der Versuchspersonen ließ sich in regelmäßigen Zeitabständen ein immer wiederkehrendes Muster feststellen, das sich entweder in der Lehnerrückneigung oder auch in der Sitzflächenneigung zeigte.

Die Abbildung 11 zeigt ein derartiges Beispiel für die Rückenlehnenneigung.

Dieser treppenförmige Kurvenverlauf kommt dadurch zustande, dass die Versuchsperson in einer bestimmten Winkelstellung für 2 bis 3 Minuten innehält und dann wieder eine kleine Teilbewegung auslöst. Dieser Vorgang wiederholt sich in regelmäßigen Zeitabständen. Man kann in solchen Fällen geradezu von einer Art „motorischem Fingerabdruck“ sprechen, der charakterisiert ist durch ständig wiederkehrende Mikrobewegungen.

Der prozentuale zeitliche Anteil von 20,5% für den Büroarbeitsplatz, an dem der Stuhl im Mittel nicht besessen wurde (siehe Tabelle 1), ist höher als der tarifliche Pausenanteil und belegt, dass der Arbeitsstuhl während des Arbeitstages auch öfter verlassen wurde, um Botengänge zu verrichten oder auch bestimmte Tätigkeiten im Stehen durchzuführen.

Die folgenden beiden Aufzeichnungen zeigen den typischen Verlauf eines Messprotokolls an der Leitstelle unserer Hochschulwache zum einen für die Zeit von 6:00 Uhr bis 10:00 Uhr (1. Schicht) und zum anderen für einen Zeitraum von 2:00 Uhr bis 5:30 Uhr (3. Schicht).

In der Abbildung 12 ist deutlich zu erkennen, dass von 6:00 Uhr bis 8:00 Uhr die hintere Sitzposition überwiegt, gelegentlich unterbrochen von einigen Haltungswechseln in die vordere Sitzposition. Über einen längeren Zeitraum von 20 bis 30 Minuten finden keine Hal-

tungswechsel statt und die Rückenlehnenneigung befindet sich am Anschlag, nur unterbrochen von einigen Wippbewegungen in der hintersten Sitzposition, die an den breiten hellen Stellen zu erkennen sind, an denen der Schreibstift durch die raschen kurzen Bewegungen die Aluminiumfolie regelrecht blank poliert hat.

Ab 8:30 Uhr ändert sich das Profil und es finden vermehrt Bewegungen in der Sitzfläche statt. Dieses Bewegungsverhalten ist bis zum späten Nachmittag zu beobachten.

Die Abbildung 13 zeigt ein Beispiel für eine Aufzeichnung in der 3. Schicht für den Zeitraum von 2:00 Uhr bis 5:30 Uhr. Während dieser Zeit findet im Normalfall nur noch die ständige Überwachung der zahlreichen Monitore für die Überwachungskameras statt.

Die Rückenlehne befindet sich über mehrere Stunden praktisch am Anschlag. Bewegungen sind nur noch in gelegentlichen Wippbewegungen in der hintersten Sitzposition zu registrieren.

Erst gegen 5:00 Uhr findet wieder ein Wechsel in die vordere Sitzposition statt.

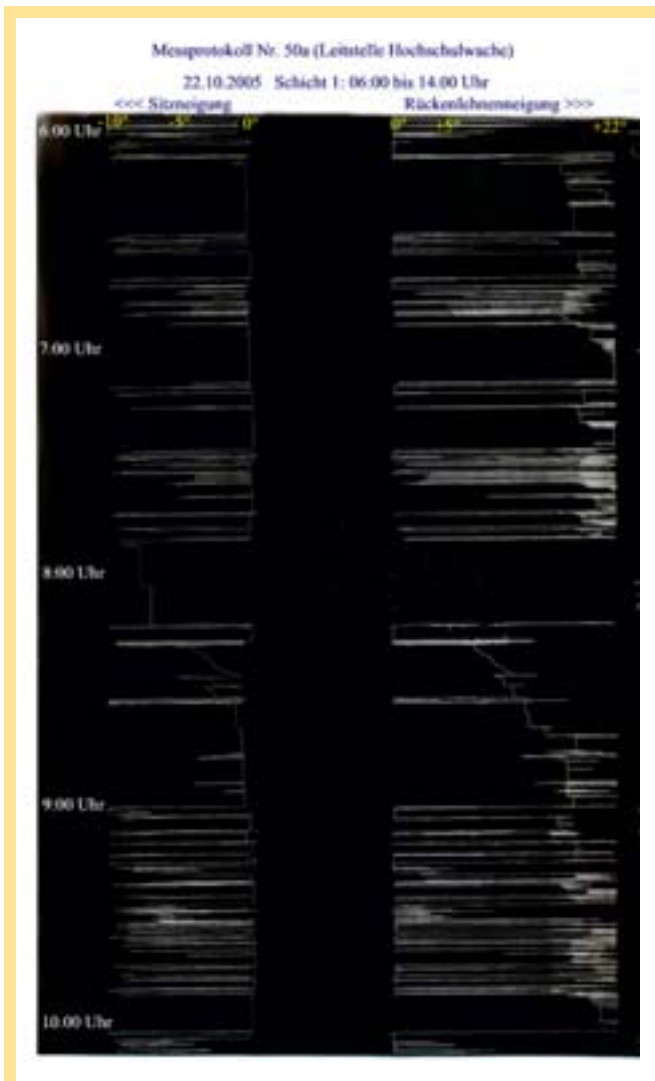


Abbildung 12: Aufzeichnung Leitstelle der Hochschulwache für den Zeitraum von 6:00 Uhr bis 10:00 Uhr. In der Zeit um 8:00 Uhr fanden die Einträge in das Wachbuch statt (ausschließliche vordere Sitzhaltung).

Figure 12: Record of motion study; attendant office of the university at the interval between 6:00 and 10:00 am. At 8:00 am registration in the watch bill (only forward seated posture).

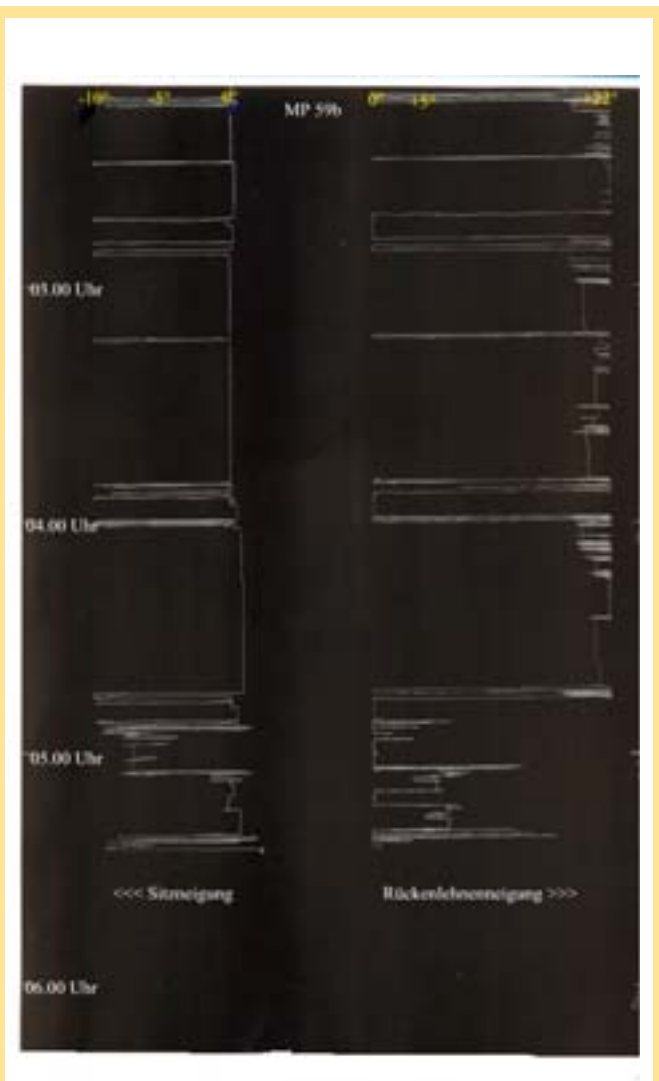


Abbildung 13: Aufzeichnung Leitstelle der Hochschulwache für den Zeitraum von 2:00 Uhr bis 5:30 Uhr. Fast ausschließliche extreme hintere Sitzposition. In der Zeit um 5:00 Uhr fanden die Einträge ins Wachbuch statt.

Figure 13: Record of motion study; attendant office of the university at the interval between 2:00 and 5:30 am almost reclining seated posture. At 5:00 am registration in the watch bill.

Dies ist der Zeitraum, in dem die Eintragungen in das Wachbuch stattfinden.

Callcenter

Bei den 24 weiblichen Versuchspersonen des Callcenters des Aachener Universitätsklinikums handelt es sich überwiegend um Teilzeitkräfte mit einer qualifizierten Ausbildung als Pflegekraft oder einer anderen Ausbildung im Gesundheitswesen. Ihre Aufgabe ist nicht allein die Vermittlung von Telefongesprächen aus dem öffentlichen Netz zu jeder Stelle des Großklinikums mit tausenden von Festanschlüssen und dem gesamten Hausfunk, sondern auch die

Beantwortung von Patientenfragen oder von deren Angehörigen. Es stellt somit eine sehr anspruchsvolle Tätigkeit dar, die ein hohes Maß an Konzentration verlangt. Der Arbeitsplatz ist nach den neuesten technischen Standards mit einer Vermittlungsanlage und einem vernetzten PC mit spezieller Datenbank ausgestattet.

Wie aus dem Diagramm in Abbildung 5 hervorgeht, ist der Anteil der mittleren Sitzhaltung mit 50% am höchsten, gefolgt von der vorderen Sitzhaltung mit 36% und der hinteren mit 14%.

Auffallend ist der hohe Anteil der Sitzpositionswechsel, die darauf zurück-

zuführen sind, dass oft im Minutentakt die Telefonate eingingen und entsprechende Aktionen am Tastenfeld oder der PC-Tastatur erforderlich wurden. Bezeichnend ist, dass selten eine maximale Rückenlehnenneigung zu beobachten war, wie dies bei dem Arbeitsplatz mit Überwachungstätigkeit (Hochschulwache) schon beinahe der Standard war.

Die Abbildungen 14 und 15 zeigen typische Aufzeichnungen für den Arbeitsplatz einer Telefonvermittlung. Gegen 12:00 Uhr wurde der Versuchsstuhl von einer anderen Versuchsperson besessen (Beginn 2.VP). Die Abbildung 15 zeigt daher ein anderes Bewegungsprofil.

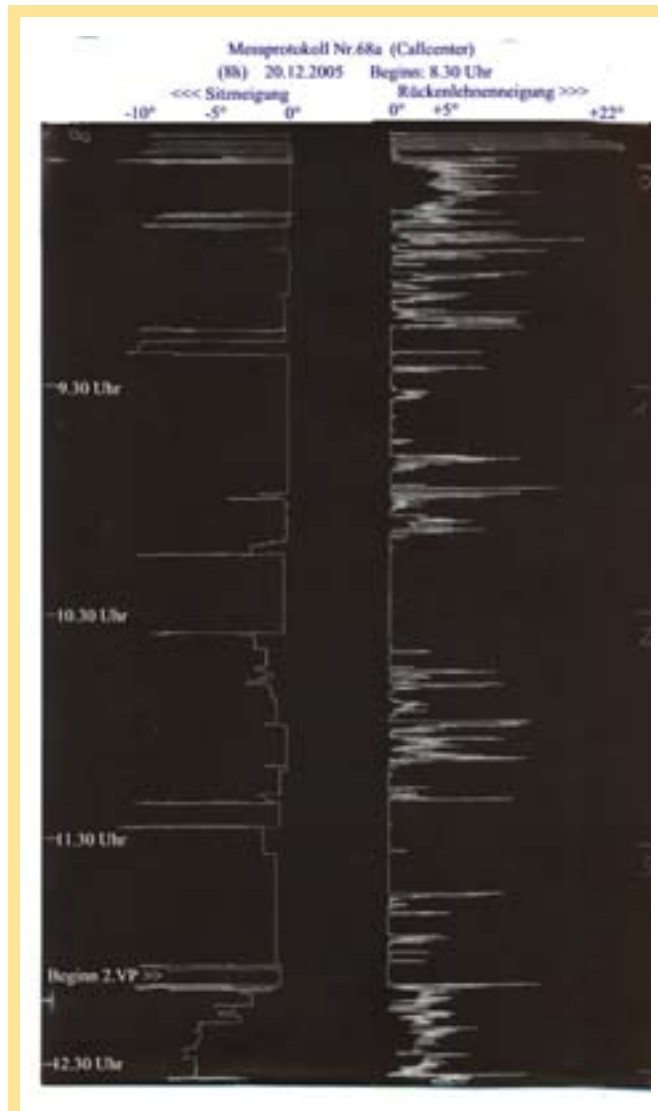


Abbildung 14: Aufzeichnung Callcenter, Vormittagsschicht
Figure 14: Record of motion study; Callcenter; morning shift

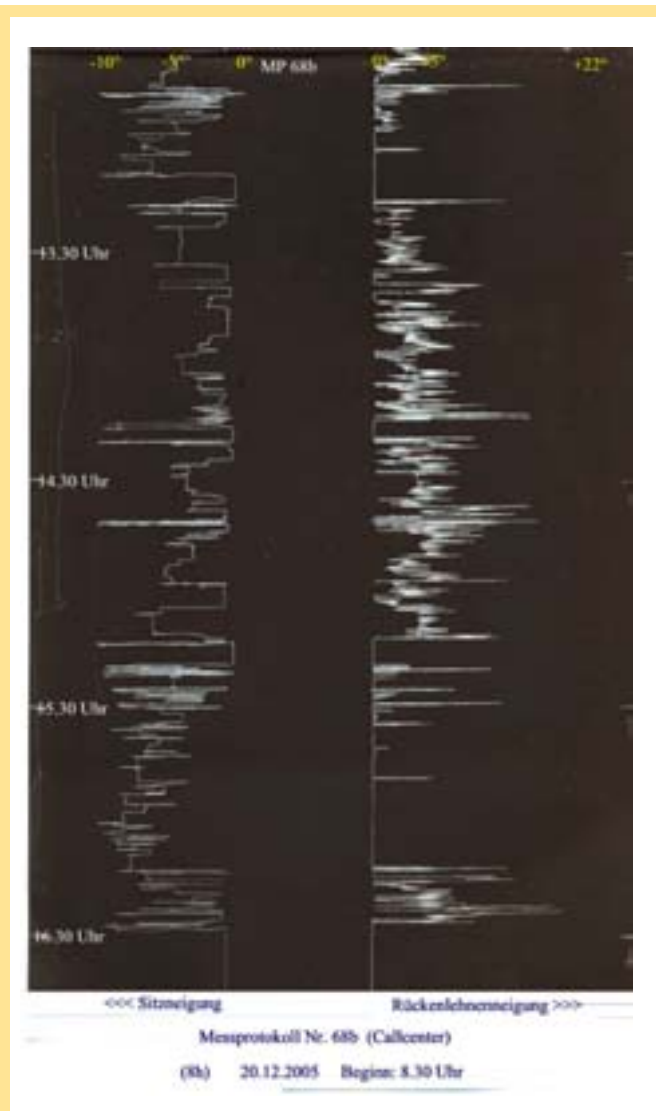


Abbildung 15: Aufzeichnung Callcenter, Nachmittagsschicht
Figure 15: Record of motion study; Callcenter; afternoon shift

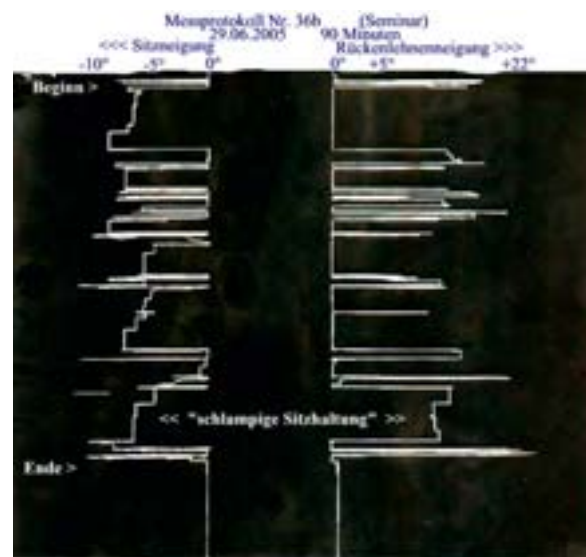
Seminarveranstaltung

An diesem „Arbeitsplatz“ wurde das Sitzverhalten von fünf weiblichen und neun männlichen Studierenden eines internationalen Studienganges für Naturwissenschaftler an der RWTH Aachen untersucht. Die Gruppengröße lag bei ca. 15 bis 20 Studierenden. Das Seminar wurde von einem Dozenten geleitet, der den üblichen Frontalunterrichtsstil praktizierte, wobei als Medien Tafel und Overheadprojektor zum Einsatz kamen. Die Aufgaben der Studierenden bestanden im Wesentlichen im Zuhören und Mitschreiben. Es liegt nahe, dass man beim Mitschreiben die vordere Sitzposition einnimmt. Beim Zuhören kann man alle drei Sitzhaltungen wählen, was auch von vielen praktiziert wurde. Einige Versuchspersonen saßen während der gesamten Veranstaltung fast ausschließlich auf der Sitzvorderkante mit Abstützung der Unterarme auf der Tischplatte; andere Teilnehmer nahmen überwiegend die hintere Sitzposition ein. Das waren die Extremfälle. Im Durchschnitt zeigte sich aber ein Sitzverhalten, wie es in etwa in der Abbildung 16 wiedergegeben ist.

Am Ende der Veranstaltung ist bei dieser Versuchsperson eine deutliche „schlampige Sitzhaltung“ zu erkennen (siehe Markierung). Diese Sitzhaltung lässt sich eindeutig dadurch erkennen, dass Sitzneigung und Rückenlehnenneigung gleichzeitig ausgelöst werden. Bei einer korrekten Sitzhaltung mit vollem Kontakt zur Rückenlehne geht bei einer Rückneigung zuerst der Schreiber für die Sitzfläche auf die Nulllinie, bevor die Bewegung in der Rückenlehne startet. Bei einer „schlampigen Sitzhaltung“ sitzt der Betreffende wie in einer Hängematte und hat dabei das Gesäß weit in Richtung Sitzvorderkante geschoben. Durch diese Massenverlagerung wird die Sitzneigung bereits zum Teil ausgelöst, wie man in der Abbildung 17 deutlich sehen kann. Dieses Phänomen konnten wir allerdings nicht nur bei diesem Studenten beobachten, sondern auch bei einem Teil der Versuchspersonen unter anderen Arbeitsbedingungen.

Abbildung 16:
Aufzeichnung während
einer Seminarveranstaltung
bei einem männlichen
Studierenden

Figure 16:
Record of motion study
of a male test subject
during a lesson at the
university



5. Schlussfolgerungen für die Praxis

In Fachkreisen wird das dynamische Sitzen am Arbeitsplatz gerade in letzter Zeit kontrovers diskutiert. Dazu haben nicht zuletzt die Untersuchungen von Wilke et al. (1999) beigetragen, der anhand von intradiskalen Druckmessungen feststellte, „dass die lässige Sitzposition, die allgem. als schädlich gilt, bei seinen Messungen zu einer sehr deutlichen Druckreduzierung führte“. Das haben zahlreiche renommierte Bürodrehstuhlhersteller zum Anlass genommen, die „Lümmelhaltung“ in der Laienpresse als die nach den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen richtige Sitzhaltung zu postulieren. Dem muss widersprochen werden.

Aus biomechanischer Sicht ist es nicht haltbar, die mechanischen Belastungen beim Sitzen im Rundrücken ausschließlich auf den Bandscheibeninnendruck zu reduzieren. Es ist seit langem bekannt, dass nicht die Druckbelastung sondern die Zugbelastung das eigentlich schädigende Moment für den Anulus fibrosus ist (Junghanns 1979 a, S. 91.).

Dies ist auch der Grund, weshalb Orthopäden das Sitzen für die Wirbelsäule als belastender ansehen als das Stehen und daher einem Bandscheibenpatienten für die Wiedereingliederung an den Arbeitsplatz eher ein Stehpult als den geeigneten ergonomischen Arbeitsstuhl

verordnen. Diese Aussage gilt aber nur unter der Voraussetzung, dass die betreffende Person nicht gelernt hat, „im Lot zu sitzen“ (Brügger 1990). Dreh- und Angelpunkt dieser aufrechten Sitzhaltung ist die Stellung des Beckens. Wir haben dies an ein und derselben Person röntgenologisch einmal im Stehen und zum anderen auf einem Sitzträger in einer 0°-Neigung und in einer 8°-Neigung untersucht. Das Ergebnis ist in Form von Röntgenpausen in der Abbildung 17 dargestellt.

Bei der untersuchten Person beträgt der Neigungsgrad der Kreuzbeindeckplattentangente im Stehen 41° (1). Dies ist nach Literaturdaten ein Wert, der einer normalen Beckenkipfung im Stehen zuzuordnen ist (Rauber & Kopsch 1987, S. 228 u. 229). Eder und Tilscher sprechen in diesem Zusammenhang von einem Normalbecken (Eder & Tilscher 1978, S. 18).

Auf einer horizontalen Sitzfläche kommt es erwartungsgemäß zur Beckenrückdrehung und der Neigungsgrad reduziert sich auf 11° (2). In der Literatur werden bei starker Rundrückenbildung sogar negative Winkelgrade angegeben. (Schober 1989). Interessant ist die Beckenstellung bei einer geneigten Sitzfläche von -8° (3). Hier erreicht der Neigungsgrad der Kreuzbeindeckplattentangente mit 34° fast den Wert wie in der stehenden Position.

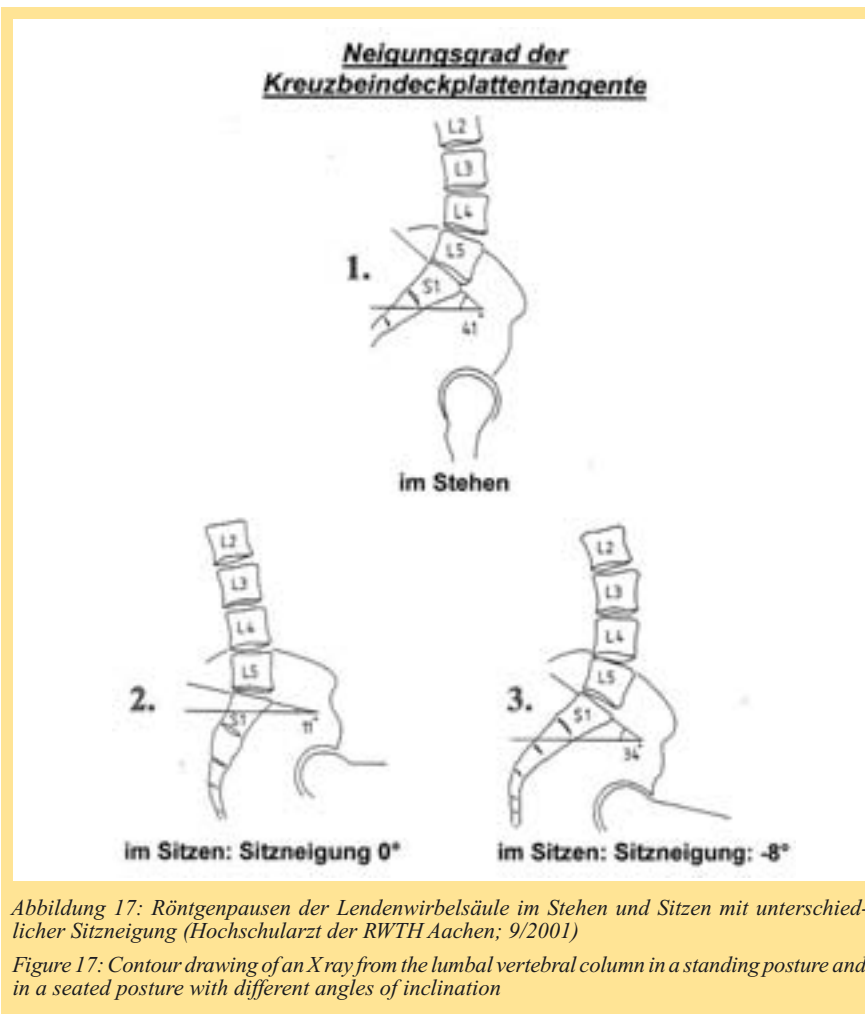


Abbildung 17: Röntgenpausen der Lendenwirbelsäule im Stehen und Sitzen mit unterschiedlicher Sitzneigung (Hochschularzt der RWTH Aachen; 9/2001)

Figure 17: Contour drawing of an X-ray from the lumbar vertebral column in a standing posture and in a seated posture with different angles of inclination

An sich sind diese Fakten nicht neu. Nur sollte man sie im Zusammenhang mit den verschiedenen Sitzhaltungen wieder in Erinnerung rufen. Auf einem Bürodrehstuhl ohne automatische Sitzneigung wird das Becken zwangsläufig mehr oder weniger stark zurückdrehen. Vergegenwärtigt man sich das Zahnradmodell von Brügger (1990), dann kann man hier nicht mehr von einer lotrechten Sitzhaltung sprechen.

In unserer Studie im Jahre 2000 haben wir in einer Untersuchungsreihe an 39 gesunden, freiwilligen Versuchspersonen einen individuellen Sitzneigungswinkel von durchschnittlich -8° ermitteln können. (Schön & Preim 2000). Diese Neigungswinkel werden auch durch die jetzige Feldstudie bestätigt. Des weiteren konnte in der damaligen Studie festgestellt werden, dass ein klarer Zusammenhang zwischen dem Neigungswinkel der Sitzfläche und der Beinstellung besteht.

Es wird in Fachkreisen immer wieder kritisch angemerkt, dass man nicht über einen längeren Zeitraum in einem Neigungswinkel von -8° oder -10° sitzen kann und sogar die Gefahr einer Hyperlordosierung bestünde.

Dass diese Gefahr nicht besteht, zeigt gerade die vorliegende Feldstudie in eindrucksvoller Weise. Es findet nämlich ein ständiger Wechsel in den Sitzpositionen statt, der einerseits verhindert, dass bestimmte Gruppen der Haltemuskulatur lokal ermüden und somit verspannen und andererseits immer wieder neue Muskelgruppen aktiviert werden. Dieser Effekt findet nicht nur durch die größeren Bewegungsäußerungen statt, sondern insbesondere auch in den Mikrobewegungen.

Wichtig ist, dass die Mechanik eines guten ergonomischen Arbeitsstuhles diese Bewegungen insbesondere die der vorderen Sitzhaltung automatisch zu-

lässt. In der betriebsärztlichen Praxis ist man in der Regel über den Wert eines ergonomischen Arbeitsstuhles mit neigbarer Sitzfläche informiert, so dass viele Großkunden bei der Beschaffung von Bürodrehstühlen die Anforderung einer Sitzneigung in ihr Pflichtenheft aufnehmen. Leider wird dieses Kriterium oft nicht ausreichend differenziert beurteilt. Eine Sitzneigung von -2° und auch -4° wie in den meisten Fällen angeboten, halten wir für völlig unzureichend. Es genügt nicht, wenn die Option für eine Neigeverstellung lediglich in einer manuellen Zuschaltung besteht. Entscheidend ist eine automatische Anpassung über einen Drehbereich von -10° bis -12° .

Das Sitzen auf einer beweglichen Sitzfläche mit diesen Neigungswinkeln will gelernt sein und ist gewöhnungsbedürftig.

Auch der beste ergonomische Arbeitsstuhl kann ein Sitzen im Rundrücken nicht verhindern, sondern nur aufgrund seiner Mechanik beitragen, die wirbelsäulenbelastende Beckenrückdrehung zu vermeiden.

Das schädigende Moment beschränkt sich allerdings nicht allein auf die Bandscheibenstruktur, sondern auch auf die Wirbelbogengelenke, die bei einer Vorbeugung der LWS unnötig stark belastet werden.

Niethard konnte dies an seinen biomechanischen Studien zum lumbosakralen Übergang eindrucksvoll nachweisen (Niethard 1981). Wie er weiterhin festgestellt hat, sind gerade in diesem Bereich vermehrt Facettenasymmetrien zu beobachten, die das Problem bei Fehllagehaltung noch verstärken. Diese hohen mechanischen Belastungen durch eine „schlampige Sitzhaltung“ sind letztlich auch die Ursache für die späteren Abnutzungserscheinungen, die individuell sehr unterschiedlich verlaufen können, je nach morphologischer Ausgangssituation. Der lumbosakrale Übergang ist und bleibt der „Wetterwinkel“ der Wirbelsäule (Niethard 1981). Daher sollten wir im Sinne einer vernünftigen Haltungserziehung alles daran setzen, das „Wettergeschehen“ in diesem Bereich so günstig wie möglich zu beeinflussen.

Der Ansicht von Kössler und Hartmann (2001), dass es sich bei dem Bewegungssegment der Wirbelsäule um ein

Gebilde von komplexen Subsystemen handelt, dessen einzelne Komponenten nicht isoliert betrachtet werden dürfen, kann man nur zustimmen.

Wenn immer wieder das dynamische Sitzen im Zusammenhang mit der Rückengesundheit und hier mit der Bandscheibenernährung durch Aktivierung der Bewegungssegmente in Verbindung gebracht wird, dann sollte man sich kritisch die Frage stellen, wo überhaupt bei der ausschließlichen Relativbewegung zwischen Sitzfläche und Rückenlehne Bewegung am Menschen stattfindet, nämlich überwiegend im Hüftgelenk und nirgendwo sonst. Erst durch die automatische und angepasste Bewegung der Sitzfläche in sich findet die notwendige Schwingung in der Wirbelsäule beim Ausbalancieren in die Lotrechte statt.

Die Ergebnisse aus dem Seminarbereich haben gezeigt, dass das Prinzip der Sitzneigung auch auf den Objektstuhlbereich angewendet werden sollte. Bislang ist man bei der großen Vielzahl an Objektstühlen für Wartezonen und Vortragssäle davon ausgegangen, dass die bevorzugte Sitzhaltung die leichte hintere Sitzposition mit permanentem Rückenlehnenkontakt sei. Dies ist auch nach wie vor der Fall, wenn in diesen

Räumen keine Tischmöblierung besteht. Ist dies aber der Fall, dann ergibt sich nach den oben genannten Beobachtungen eine völlig andere Anforderung an diesen Objektstuhl. Um die belastende Beckenrückdrehung in einer vorderen Sitzhaltung beim Schreiben oder Abstützen der Unterarme auf der Tischplatte zu vermeiden, sollten diese Stühle auch mit einer einfachen Art von Sitzneigemechanik ausgestattet sein, bei denen die Sitzfläche durch Verlagerung des Körpergewichtes jeweils um ca. 10° nach vorne und hinten schwingt. Für Seminar- und Konferenzstühle an entsprechender Tischmöblierung wäre dies aus ergonomischer Sicht ein Fortschritt.

Literatur

- Brügger A (1990) Gesunde Körperhaltung im Alltag. Verlag Dr. A. Brügger, Zürich
- Eder M, Tilscher H (1978) Schmerzsyndrome der Wirbelsäule. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Band 81. Hippokrates, Stuttgart
- Grandjean E, Hünting W (1989) Sitzen Sie richtig? Schriftenreihe für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik. Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München
- Junghanns H (1979 a) Die Wirbelsäule in der Arbeitsmedizin, Teil I, Biomechanische und biochemische Probleme der Wirbelsäulenbelastung. Hippokrates Stuttgart
- Junghanns H (1979 b) Die Wirbelsäule in der Arbeitsmedizin, Teil II, Einflüsse der Berufsarbeit auf die Wirbelsäule. Hippokrates, Stuttgart

Kössler F, Hartmann B (2001) Struktur, Funktion und Degeneration der Bandscheiben unter körperlicher Belastung der Wirbelsäule. Zbl. Arbeitsmed. 51, 74–105

Kurz B, Diebschlag W (1992) Arbeitsmedizinische Expertise zum Einstellbereich der Sitzflächenneigung bei Bürodrehstühlen. Industrieverband der Bürositzmöbel, Düsseldorf

Niethard FU (1981) Die Form-Funktionsproblematik des lumbosakralen Überganges. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis Band 90. Hippokrates Stuttgart

Rauber A, Kopsch F (1987) Anatomie des Menschen, Band I: Bewegungsapparat. Thieme, Stuttgart–New York

Schober H (1989) Orthopädie des Sitzens. Springer, Berlin-Heidelberg-New York

Schön FA, Preim D (2000) Untersuchungen zur Bestimmung des individuellen Sitzneigungswinkels. Zbl. Arbeitsmed. 50, 78–85

Wilke H-J, Neef P, Caimi M, Hoogland T, Claes LE (1999) Neue intradiskale In-Vivo-Druckmessungen bei Alltagsbelastungen. Der Unfallchirurg Heft 271, S.16–24, Springer, Berlin-Heidelberg

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dr. Marco Burkschat vom Institut für Statistik und Wirtschaftsmathematik an der RWTH Aachen für die statistische Auswertung der Messergebnisse und Herrn Max Mascheraux vom Institut für Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung an der RWTH Aachen für den Bau der Elektronikmodule.



Shape mesh lässt sich jeder Körpergröße anpassen. Die Kombination von Netz-Rückenlehne und patentierter **Syncro-Activ-Balance®-Technik** ermöglicht entspanntes Sitzen bei großem Körperöffnungswinkel.

Die automatische Neigeverstellung von Sitz und Rückenlehne bietet bestmögliche Abstützung auch in vorderster Sitzposition und gewährleistet optimalen Support sowohl für den sehr großen als auch kleinen Menschen. Für jeden Beschaffer der ideale, universell einsetzbare Büroarbeitsstuhl. Prävention von Haltungsschäden mit Ausrichtung auf Reduzierung der Krankheitsabwesenheit.

Shape mesh

Kataloganforderung
und weitere Infos unter:
www.dauphin.de



DAUPHIN
HumanDesign® Company

Hochschulärztliche Einrichtung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

Studie über das Ausmaß der Beckenrückdrehung beim Sitzen in Abhängigkeit vom Sitzneigungswinkel mit Hilfe eines neuartigen digitalen Winkelmessers

Fritz A. Schön, Dieter Preim, Doris Keller

F. A. Schön, D. Preim, D. Keller: Studie über das Ausmaß der Beckenrückdrehung beim Sitzen in Abhängigkeit vom Sitzneigungswinkel mit Hilfe eines neuartigen digitalen Winkelmessers. *Zbl Arbeitsmed* 62 (2012) 216–225

Schlüsselwörter: Sitzposition – Beckenstellung – Sitzneigungswinkel – Wirbelsäulenbelastung

Zusammenfassung

Mit Hilfe eines neuartigen digitalen Winkelmessers konnten Drehbewegungen des knöchernen Beckenkammes in der Sagittalebene im Stehen und im Sitzen unter verschiedenen Sitzneigungswinkeln hinlänglich genau gemessen werden. Da das knöcherne Becken eine funktionelle Einheit mit der Wirbelsäule bildet und seine Position einen direkten Einfluss auf die Stellung der Bewegungssegmente insbesondere im Bereich der Lendenwirbelsäule hat, lassen sich Beckenrückdrehungen in einer Sitzhaltung relativ gut erfassen. Diese Beckenrückdrehung führt zum Erscheinungsbild des Rundrückens, der eine erhebliche Belastung der Wirbelsäule beim Sitzen darstellt.

Auf der Datenbasis von 2.675 Einzelmessungen an 11 weiblichen und 6 männlichen, gesunden, freiwilligen Versuchspersonen konnte ein Zusammenhang zwischen dem unterschiedlichen Grad der Beckenrückdrehung in Abhängigkeit vom Sitzneigungswinkel hergestellt werden. Die Messergebnisse bestätigen unsere bisher publizierten Daten (Schön & Preim 2000, 2009). Erst ab einem Sitzneigungswinkel von -8° (Vorzeichen negativ: Sitzfläche nach vorne geneigt; positiv: Sitzfläche nach hinten geneigt) kommt es zu einer positiven Wirkung auf die Beckenposition im Sitzen im Sinne einer möglichst geringen Beckenrückdrehung. Die Beckenrückdrehung auf einer -4° geneigten Sitzfläche unterscheidet sich nicht wesentlich von der auf einer horizontalen Sitzfläche. Ein Sitzneigungswinkel von mehr als -12° erscheint nach unseren Messergebnissen überdimensioniert, weil hier bereits bei einigen Versuchspersonen eine Hyperlordosierung der Lendenwirbelsäule zu beobachten war.

Das gewohnheitsmäßige Sitzen im Rundrücken führt zwangsläufig zu einer Überlastung der fibrillären Strukturen der Bandscheiben im dorsalen Bereich sowie der empfindlichen Strukturen der Wirbelbogengelenke und ihres Kapselapparates. Die Empfehlung im Sinne der Verhaltensprävention lautet, beim Sitzen eine Wirbelsäulenhaltung einzunehmen, die derjenigen im Stehen nahekommt. Die Empfehlung im Sinne der Verhältnisprävention lautet z.B., bei der Beschaffung von Bürodrehstühlen den Modellen mit automatischer, gewichtskraftabhängiger Sitzneigemechanik den Vorzug zu geben.

Study of the degree of pelvic reverse rotation when sitting according to the seat inclination using an innovative digital goniometer

F. A. Schön, D. Preim, D. Keller: Study of the degree of pelvic reverse rotation when sitting according to the seat inclination using an innovative digital goniometer. *Zbl Arbeitsmed* 62 (2012) 216–225

Key words: Sitting position – position of the pelvis – seat inclination – strain of the vertebral column

Summary

With the help of an innovative digital goniometer, there could be measured movements of the osseous iliac crest in standing and seating under different seat inclinations. Because the osseous pelvis is a functional unit together with the spine and its position has a direct influence on the position of the motion segments – especially in the lumbar spine – the pelvic reverse rotation in a sitting position can be recorded relatively well. This pelvic reverse rotation leads to the manifestation of the kyphosis, which is an increasing strain on the spine. On the base of 2.675 single measurements in 11 female and 6 male healthy, voluntary test subjects, a correlation was made between the different degrees of pelvic rotation and from seat inclination. The results confirm our previous published data. Only at a seat inclination of -8° , there is a positive effect on the pelvic position in seating in the

Anschrift für die Verfasser:

Dr. med. Doris Keller ■ Hochschulärztliche Einrichtung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen ■ Roermonder Straße 7–9 ■ D-52072 Aachen ■ Telefon: +49+241–80–94444 ■ Fax: +49+241–80–92320 ■ E-Mail: sekretariat@hsa.rwth-aachen.de

sense of minimum pelvic reverse rotation. The pelvic reverse rotation to a -4° seat inclination is not much different from sitting on a horizontal seat. A seat inclination of more than -12° appears according to our measurement results oversized, because there was already observed in some test subjects a hyperlordosis of the lumbar spine. Habitual sitting in kyphosis necessarily leads to an overload of the fibrillar structures of the intervertebral discs in the dorsal area and the sensitive structures of the vertebral arch joint and their capsules. The recommendation in the sense of behavioral prevention is to have a similar posture in a sitting position in comparison to a standing position. The recommendation in the sense of environmental prevention is for example, to prefer office swivel chairs with automatic seat tilt mechanism.

Einleitung und Problemstellung

Bei der Beurteilung der Literatur zur „Sitzforschung“ fällt auf, dass wesentliche Aussagen hierzu bereits vor etwa 30 Jahren von Autoren wie Junghanns in „Die Wirbelsäule unter den Einflüssen des täglichen Lebens, der Freizeit, des Sportes“ (1986) oder Schoberth in „Orthopädie des Sitzens“ (1989) veröffentlicht wurden. Aussagen über die Wirbelsäulenhaltung in Abhängigkeit zum Neigungsgrad einer Sitzfläche waren aber zu diesem Zeitpunkt nur im Ansatz zu erkennen. Das hat uns veranlasst, eine erste Studie zur Bestimmung des individuellen Sitzneigungswinkels im Jahre 2000 zu publizieren (Schön & Preim 2000). Da des weiteren in der Literatur keine Aussagen über das dynamische Sitzverhalten unter verschiedenen praxisbezogenen Arbeitsplatzbedingungen zu finden waren, schloss sich daran eine Feldstudie an, in der das Sitzverhalten bei 64 freiwilligen, gesunden Versuchspersonen in einer Gesamtaufzeichnungszeit von 380 Stunden dokumentiert wurde (Schön & Preim 2009). Vergleicht man die prozentuale Verteilung der verschiedenen Sitzhaltungen (vordere, mittlere, hintere Sitzhaltung) dann zeigte sich für die untersuchten Arbeitsplatzbedingungen eine herausragende Stellung für die vordere Sitzhaltung, selbst für Arbeitsaufgaben wie einer Überwachungstätigkeit, bei der man dies gemeinhin nicht erwartet hätte. Ein an einem handelsüblichen Büroarbeitsstuhl angebrachtes Aufzeichnungsgerät zeichnete kontinuierlich über 8 Stunden den Neigungsgrad der Sitzfläche von 0° bis -10° und der Rückenlehne von 0° bis 22° auf.

Wie ist nun das Ausmaß der Beckenrückdrehung auf einer horizontalen Sitzfläche zu jener mit unterschiedlichen Neigungsgraden zu beurteilen? Auch

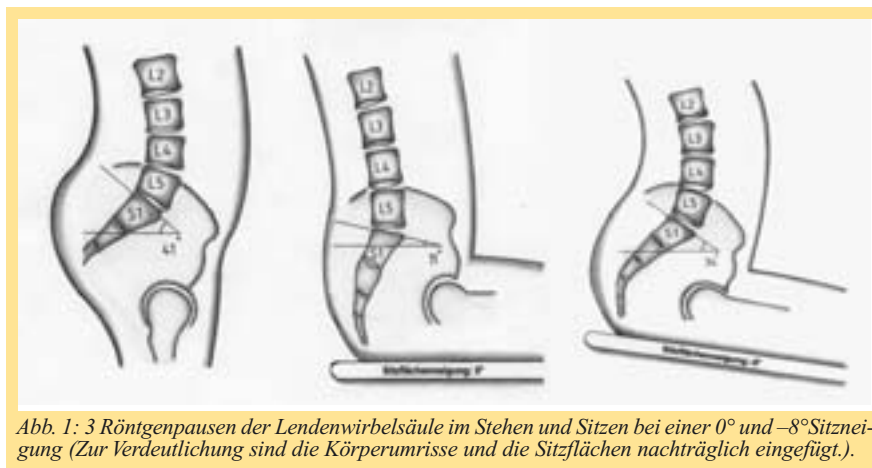


Abb. 1: 3 Röntgenpausen der Lendenwirbelsäule im Stehen und Sitzen bei einer 0° und -8° Sitzneigung (Zur Verdeutlichung sind die Körperumrisse und die Sitzflächen nachträglich eingefügt.).

darüber waren keine Aussagen in der einschlägigen Literatur zu finden. Bezeichnend ist, dass selbst in neueren und speziellen Monographien wie der von Klein und Sommerfeld „Biomechanik der Wirbelsäule“ (2007) auf der Basis von 380 Quellennachweisen kein Hinweis zur Sitzhaltung zu finden ist, obwohl gerade diese Monographie eine Fülle neuester Forschungsergebnisse zu den einzelnen Wirbelsäulenelementen in allen Bewegungsebenen und Belastungssituationen liefert. Die Aussagen basieren überwiegend auf Belastungsversuchen am Leichenmaterial in unterschiedlichen Präparationsstadien. Aufgrund von alters- und geschlechtsspezifischen Unterschieden einerseits, sowie individuellen und interindividuellen Normabweichungen andererseits kann dies dann zum Teil zu sehr unterschiedlichen Aussagen führen. Dennoch lassen sich bei entsprechender Interpretation Aussagen für die Praxis treffen. Die Frage über das Ausmaß einer Beckenrückdrehung bei unterschiedlich geneigten Sitzflächen ist damit immer noch nicht beantwortet. In unserer bereits erwähnten Feldstudie von 2009 haben wir an einer Versuchsperson anhand von Röntgen-

pausen den Neigungsgrad der Kreuzbeindeckplattentangente im Stehen und im Sitzen auf einer horizontalen Sitzfläche und auf einer Sitzfläche von -8° ermittelt (Schön & Preim 2009).

Bei der Beurteilung des körpergerechten Sitzens auf einem Bürodrehstuhl hat die Position des Beckens aus biomechanischer Sicht eine herausragende Bedeutung. Gemeint ist hier die Lage des Beckens in der Sagittalebene. Radiologisch lässt sich diese Lage sehr genau bestimmen (siehe Abb. 1). Für Reihenuntersuchungen und fortlaufende Wiederholungsuntersuchungen ist diese Untersuchungsmethode allein schon wegen der hohen Strahlenbelastung nicht anzuwenden.

Das Sitzen im Rundrücken stellt aus biomechanischer Sicht eine erhebliche Belastung speziell der Bewegungssegmente im Bereich der Lendenwirbelsäule dar. Da das knöcherne Becken eine funktionelle Einheit mit der Wirbelsäule bildet, liefert seine Position beim Sitzen Rückschlüsse auf die jeweilige Stellung der Bewegungssegmente.

Das Ziel dieser Studie war, auf eine strahlenfreie Weise Drehbewegungen des Beckens in der Sagittalebene in Abhän-

gigkeit vom Neigungsgrad einer Sitzfläche zu erfassen (Der Sitzneigungswinkel wird definiert als der Winkel einer geneigten Sitzfläche in Bezug zur Horizontalen und ist mit einem negativen Vorzeichen versehen.). Da das Kreuzbein über eine feste Bandhaft mit den beiden Hüftbeinen verbunden ist, lässt sich über den Neigungswinkel des Beckenkammes (Tangente des Beckenkammes zur Horizontalen, im folgenden als „Beckenwinkel“ definiert) der ungefähre Kreuzbeindeckplattenwinkel hinreichend genau bestimmen (Winkel zwischen Tangente der Kreuzbeindeckplatte und der Horizontalen). Legt man an den Handrücken, der dem Beckenkamm fest aufliegt, einen digitalen Winkelmesser an, so stellt der gemessene Wert gewissermaßen den „fiktiven Kreuzbeindeckplattenwinkel“ dar (Abb. 5).

Zwei Bedingungen müssen allerdings hierbei erfüllt sein. Die erste Voraussetzung ist, dass der Body-Mass-Index (BMI) der betreffenden Person einen Wert von 26 nicht übersteigen sollte. Die Grenzwerte für normalgewichtige Frauen liegen bei 22 und die für normalgewichtige Männer bei 24. Ein BMI-Wert von 26 stellt bereits ein leichtes Übergewicht dar. Bei den 11 weiblichen Versuchspersonen lagen die BMI-Werte zwischen 18 und 24 und bei den 6 männlichen Versuchspersonen zwischen 20 und 26. Die Versuchsperson mit dem höchsten BMI-Wert von 26 konnte das Unterfettgewebe am Beckenkamm gerade noch in der Weise „wegdrücken“, dass die Hand fest am knöchernen Becken angelegt werden und es somit nicht zu einer gleitenden Verschiebung zwischen Unterhautfettgewebe und dem Beckenknochen kommen konnte.

Die zweite Voraussetzung für eine hinreichend genaue Bestimmung des Beckenwinkels ist die fehlerfreie Messung des Winkels in der Sagittalebene, auch dann, wenn sich der Winkelmesser nicht gleichzeitig horizontal in der Transversalebene befindet. Die meisten herkömmlichen digitalen Winkelmesser zeigen erhebliche Messwert-Abweichungen, wenn sich das Gerät gleichzeitig aus der Transversalebene bewegt. Somit sind sie für eine derartige Messung ungeeignet.



Abb. 2:
Digitaler Winkelmesser der Firma Thumedi, Thum-Jahnsbach. Messwertgeber mit integriertem Bluetooth-Modul, Lilon-Akku und 3D-Winkelsensor; Anzeigeeinheit für Winkel-Fernmessung mit integriertem Bluetooth-Modul.



Abb. 3:
Digitaler Winkelmesser am anatomischen Modell des knöchernen Beckens

Methodik

Digitaler Winkelmesser

Da kein auf dem Markt befindlicher digitaler Winkelmesser diese Anforderung erfüllte, wurde die Firma Thumedi, 09419 Thum-Jahnsbach, von uns beauftragt, einen digitalen Winkelmesser mit drahtloser Datenübertragung auf ein Display für unser Messvorhaben zu entwickeln. Das Gerät besteht aus dem Messteil, das auf einer 15 cm langen und 4 cm breiten Kunststoffschiene angebracht ist, die mittels Klebeband am linken Handrücken befestigt wird und einer Anzeigeeinheit für die Winkel-Fernmessung (siehe Abb. 2).

Das Messteil enthält einen neuartigen dreidimensionalen Winkelmesser mit einem Messbereich von 360°. Der Sen-

sor ist in dem Gerät nach Art der Kompassrose so kalibriert, dass die 360° bzw. 0° Marke gegenüber der Erdnormalen nach oben ausgerichtet, die 90° Marke nach rechts, die 180° Marke nach unten und die 270° Marke nach links ausgerichtet ist. Legt man das Messteil auf eine horizontale Fläche, dann zeigt das Display den Wert von 270° an (Abb. 2). An einem anatomischen Beckenmodell (Firma 3B Scientific, Hamburg; Modellsreihe „BoneLike“) soll dies für eine Beckenstellung mit einer Kreuzbeindeckplattentangente von 40° erläutert werden. Abb. 3 zeigt das Beckenmodell mit einem analogen Winkelmesser, der den Neigungswinkel der Kreuzbeindeckplatte mit 40° anzeigt (270° – 40° = 230°). Da der Beckenkamm um 4° nach vorne gegenüber der Kreuzbeindeck-

platte geneigt ist, zeigt das Display den Wert von 226° an. Die Winkelauflösung beträgt $0,1^\circ$, der maximale Messfehler $0,5^\circ$. Für die Messwertaufnahme wurden im Folgenden lediglich die beiden ersten Zahlenwerte hinter dem Komma berücksichtigt. Es sei darauf hingewiesen, dass der Messwert mit zunehmender Beckenrückdrehung ansteigt.

Versuchsträger

Für die Versuche mit den unterschiedlichen Sitzneigungswinkeln haben wir auf unseren Versuchsträger zurückgegriffen, der bereits bei den Grundlagenversuchen aus dem Jahre 2000 zum Einsatz kam. Wir haben ihn – wie in unserer Publikation (Schön & Preim 2000) beschrieben – sowohl mit elektromotorischem Antrieb (Abb. 4) als auch in der Version mit Druck- und Zugfeder eingesetzt.

Versuchsdurchführung

Da es sich um ein völlig neues Messverfahren handelt, haben wir an insgesamt 17 gesunden, freiwilligen Versuchspersonen mehrere Versuchsreihen, unter anderen mit längeren Videoaufzeichnungen durchgeführt. Da der spezielle Handgriff am Beckenkamm zu einer relativ raschen Ermüdung führt, wurden die verschiedenen Messreihen für den einzelnen Probanden mit entsprechenden Pausen versehen und über mehrere Versuchstage verteilt.

Der Schwerpunkt dieses Beitrages sollte jedoch nicht auf einer Methodenstudie dieses Messverfahrens liegen, sondern auf der Ergebnisdiskussion zur Beckenrückdrehung. Daher sollen im Folgenden nur 2 Versuchsreihen aus dem gesamten Spektrum beschrieben werden.

Die Zielsetzung im ersten Versuch war, das Ausmaß der Beckenrückdrehung in Abhängigkeit zu 5 vorgegebenen Sitzneigungswinkeln zu ermitteln. Insbesondere interessierte hier der Vergleich zwischen einer Sitzfläche in 0° -Stellung zur -4° -Stellung einerseits und der Vergleich zur -8° -Stellung.

Im zweiten Versuch sollte das Ausmaß des individuellen Sitzneigungswinkels ermittelt werden, bei der die Beckenstellung weitestgehend der stehenden Position entsprach, um damit die Ergebnisse

aus unserer Studie aus dem Jahre 2000 zu vergleichen (Schön & Preim 2000), obwohl es sich hierbei um eine methodisch völlig andere Vorgehensweise handelt.

An den Versuchen nahmen insgesamt 17 gesunde, freiwillige Versuchspersonen teil (11 weibliche VP, Durchschnittsalter: 38,6 Jahre; BMI von 18 bis 24; 6 männliche VP, Durchschnittsalter: 39,2 Jahre; BMI von 20 bis 26).

Die Digitalanzeigen von Winkelmesser und Versuchsträger befanden sich im Rücken der Versuchsperson, so dass eine optische Beeinflussung durch die Messwert-Anzeige nicht gegeben war. Da die Höhe der Sitzfläche für die Winkelmessung einen entscheidenden Einfluss hat, wurde sie für jede Versuchsperson individuell eingestellt. Die Sitzfläche befand sich zu diesem Zweck in der 0° -Position; Ober- und Unterschenkel der betreffenden Versuchsperson bildeten einen rechten Winkel.

Versuch 1: Die Sitzfläche wurde mittels elektromotorischem Antrieb auf die konstanten Werte von 0° , -4° , -8° , -12° und -15° eingestellt. Die Versuchsperson wurde aufgefordert, sich jeweils 5mal hintereinander hinzusetzen. Es wurden

sowohl der Ausgangswert im Stehen als auch der Beckenwinkel im Sitzen erfasst. Pro Versuchsperson wurden auf diese Weise 75 Messdaten ermittelt.

Bei der 5maligen Wiederholung des Einzelversuches wurde jedesmal der Ausgangswert im Stehen für die Differenzberechnung herangezogen. Idealerweise sollte dieser konstant sein. Die Schwankungsbreite lag bei 2° bis 3° und ist kein Zeichen einer geringen Reliabilität der Messmethode. Diese Differenzen können allein durch eine geringfügige unterschiedliche Beugung oder Streckung in den Knie- und Hüftgelenken bedingt sein.

Versuch 2: Für diesen Versuch wurde der elektromotorische Antrieb am Versuchsträger entfernt und durch eine Druck- und Zugfeder ersetzt. Die Gesamtfederkraft betrug 340N (siehe dazu Schön & Preim 2000). An diesem Versuch nahmen insgesamt 14 der 17 Probanden teil. Zunächst wurde der Beckenwinkel im Stehen erfasst. Dann wurde die Versuchsperson aufgefordert, sich so hinzusetzen, dass keine wesentliche Änderung der Beckenposition eintritt. Es wurde lediglich eine Winkeldifferenz von maximal 5° zu beiden Seiten



Abb. 4: Versuchsträger mit elektromotorischem Antrieb. Die Gleiter wurden gegen Verrutschen mit Klebeband fixiert. Eine Metallschiene zwischen der Basis des Versuchsträgers und der Wand verhinderte eine Drehbewegung der Sitzfläche.

akzeptiert. Ansonsten wurde der Versuch wiederholt. Neben diesem Beckenwinkel wurde dann der anliegende Neigungswinkel der Sitzfläche erfasst. Daraufhin wurde die Versuchsperson aufgefordert, das Becken ganz nach hinten zu kippen. Auch dieser Beckenwinkel wurde mit dem korrespondierenden Sitzneigungswinkel erfasst. Der Versuch wurde 20mal wiederholt. Auf diese Weise wurden pro Versuchsperson 100 Messdaten ermittelt. Die 2 Versuche fanden für die Probanden jeweils an 2 verschiedenen Tagen statt.

Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der Messergebnisse erfolgte am Institut für Statistik und Wirtschaftsmathematik der RWTH Aachen. Untersucht wurden die Differenzwerte des Beckenwinkels zur stehenden Position in Abhängigkeit zu einer sitzenden Position bei verschiedenen Sitzneigungswinkeln. Insbesondere interessierte der statistische Vergleich zwischen einer -4° geneigten und einer -8° geneigten Sitzfläche. Um diesen Unterschied statistisch zu belegen, wurde ein sogenannter Vorzeichentest durchgeführt. Der Vorzeichentest benötigt unter allen nichtparametrischen Tests für die vorliegende Situation die geringsten Modellannahmen. Es werden also keine speziellen Verteilungsannahmen wie z.B. Normalverteilung getroffen. Als Modellannahme wird getroffen: Die Differenzen $D_1, \dots, D_{17}$ sind stochastisch unabhängig und identisch verteilt. Die zugehörige Verteilungsfunktion F ist stetig.

Ergebnisse

Versuch 1: Wie bereits erwähnt, ist der Beckenwinkel im Stehen ein rein fiktiver Wert und dient lediglich als Referenzwert für die Winkeldifferenzen zu den einzelnen Sitzneigungswinkeln. Der Handrücken der Versuchsperson wurde im Stehen so positioniert, dass ein Ausgangswinkel zwischen 30° und 40° anlag (Abb. 5). Dies hat sich bei der Versuchsdurchführung schon deshalb bewährt, weil sich in dieser Konfiguration der Handrücken und der Unterarm ungefähr in einer Linie befindet, so dass bei der anschließenden Beckenrückdrehung noch eine ausreichende Beugung im



Abb. 5:
VP 14; BMI 21;
Beckenwinkel im
Stehen 35° .

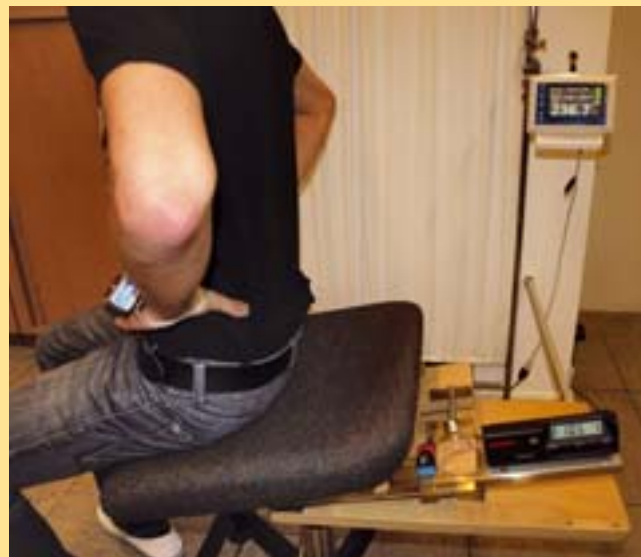


Abb. 6:
VP 14; Beckenwin-
keldifferenz in lot-
rechter Sitzhaltung
 2° ; Sitzneigungs-
winkel $-10,5^\circ$



Abb. 7:
VP 14; Becken-
winkeldifferenz bei
maximaler Rück-
drehung 39° ;
Sitzneigungswinkel
 $-2,3^\circ$.

Handgelenk stattfinden kann, da diese auf keinen Fall die Kreisbogenbewegung einschränken darf. Die in der Tabelle 1 wiedergegebenen Mittelwerte der Winkeldifferenzen beruhen auf der Datenbasis von 1275 Einzelmessungen.

Interessant sind die Mittelwertsvergleiche für den 0° und –4° Sitzneigungswinkel einerseits und dem –4° und –8° Sitzneigungswinkel andererseits. Der Hintergrund ist folgender: Bislang wurden die Gütesiegelkriterien des TÜV Rheinland für Bürodrehstühle so definiert, dass ein maximaler Sitzneigungswinkel von –4° vorgegeben wurde. Dieser Wert stellte ein Ausschlusskriterium dar (TÜV Rheinland 1996). Die Veränderung des Beckenwinkels bei einer ebenen Sitzfläche im Vergleich zu einer um –4° geneigten Sitzfläche beträgt gerade einmal 3,1°. Mit anderen Worten: Eine –4° geneigte Sitzfläche, wie sie in vielen Bürodrehstühlen vorhanden ist und als maximaler Neigungswinkel postuliert wird, verhindert nicht wesentlich eine starke Beckenrückdrehung. Anders dagegen bei einer –8° geneigten Sitzfläche. Hier liegt die mittlere Beckenrückdrehung gegenüber einer stehenden Position bei 9,7°. Die mittlere Differenz zu einer ebenen Sitzfläche liegt bei 12,8° und gegenüber einer 4° geneigten Sitzfläche immer noch bei 9,7°. Selbst die Differenzverteilung zwischen der 4° geneigten und der 8° geneigten Sitzfläche konnte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,1% – gemessen am Median der Differenzverteilung – statistisch gesichert werden. Es versteht sich von selbst, dass alle höheren Neigungswinkel das gleiche statistische Ergebnis zeigen. Vergleicht man die Beckenwinkeldifferenzen für die Sitzneigungswinkel von –12° und –15°, so lässt sich erkennen, dass keine Linearität zu den Abstufungen besteht. Ab einem bestimmten Neigungsgrad ist eine optimale Beckenabstützung in einer lotrechten Sitzhaltung erreicht, die dann nicht mehr verbessert werden kann. Beim höchsten Sitzneigungswinkel von 15° ist in den Differenzwerten des Beckenwinkels zur stehenden Position bei der Versuchspersonen Nr. 16 mit –1°, bei der Versuchsperson Nr. 8 mit –2° leichte Anzeichen und bei der Versuchsperson Nr. 3 mit –9° ein deutliches

Tabelle 1: Differenzwerte des Beckenwinkels zur stehenden Position in Abhängigkeit zum aufsteigenden Sitzneigungswinkel.

VP Nr.	0°	–4°	–8°	–12°	–15°
1.	30°	20°	11°	4°	8°
2.	19°	28°	11°	11°	9°
3.	26°	19°	8°	–6°	–9°
4.	15°	13°	9°	12°	10°
5.	19°	17°	11°	5°	3°
6.	29°	24°	19°	13°	13°
7.	24°	19°	6°	4°	1°
8.	18°	17°	8°	5°	–2°
9.	23°	19°	4°	14°	5°
10.	27°	23°	12°	13°	11°
11.	22°	23°	13°	7°	9°
12.	19°	23°	16°	10°	11°
13.	20°	21°	11°	9°	8°
14.	38°	23°	11°	18°	13°
15.	27°	21°	9°	6°	6°
16.	11°	8°	2°	3°	–1°
17.	16°	11°	4°	8°	9°
Mittelwert	22,5°	19,4°	9,7°	8,0°	6,1°

Anzeichen einer Hyperlordosierung zu erkennen.

Versuch 2: In diesem Versuch sollte der individuelle Sitzneigungswinkel ermittelt werden, indem die Versuchsperson aufgefordert wurde, die Beckenstellung beim Hinsetzen gegenüber der stehenden Position (A) nicht wesentlich zu verändern (BW1). Aufgrund des Federwiderstandes tritt automatisch die für diese Person optimale Neigung der Sitzfläche ein (SW1). Daraufhin wurde die Versuchsperson aufgefordert, das Becken so weit wie möglich nach hinten zu kippen. Das Ausmaß der Beckenrückdrehung ist individuell sehr unterschiedlich und zeigt sich in dem entsprechenden Beckenwinkel (BW2). Daraus ergibt sich der korrespondierende Sitzneigungswinkel (SW2). Die in der Tabelle 2 wiedergegebenen Mittelwerte beruhen auf einer Datenbasis von 1400 Einzelwerten. Zum besseren Verständnis der Körperhaltung werden im Folgenden 3 Abbildungen (siehe Abb. 5 bis 7) von einer männlichen Versuchsperson (VP 14) aus dieser Versuchsreihe wiedergegeben.

Diskussion der Ergebnisse

Geht man von der Überlegung aus, dass die Wirbelsäulenposition im Sitzen derjenigen im Stehen möglichst nahe kommen soll, dann erreicht man dies zum einen durch eine Rückenlehnenabstützung, insbesondere im Bereich der Lendenwirbelsäule und/oder durch eine automatische körperrgewichtabhängige Neigung der Sitzfläche. Beide Teilversuche haben gezeigt, dass eine starke Beckenrückdrehung erst ab einem Sitzneigungswinkel ab –8° verhindert werden kann. Wie aus den Ergebnissen des zweiten Versuches zu entnehmen ist, liegt der korrespondierende mittlere individuelle Sitzneigungswinkel in einer lotrechten Sitzhaltung bei –8,4°. Damit werden unsere seinerzeitigen Untersuchungsergebnisse über den individuellen Sitzneigungswinkel (Schön & Preim 2000) bestätigt. Selbst die individuellen Mittelwerte als kleinster und größter mittlerer Sitzneigungswinkel stimmen gut überein, obwohl die Daten der früheren Studie auf eine methodisch völlig andere Weise erhoben wurden.

Zum Vergleich: Geringster mittlerer Sitzneigungswinkel in lotrechter Sitzhaltung bei VP 16 = $-6,1^\circ$; größter mittlerer Sitzneigungswinkel in lotrechter Sitzhaltung bei VP 1 = $-12,1^\circ$. Siehe hierzu die Vergleichsdaten aus unserer Studie von 2000 (Schön & Preim 2000): Vergleich 2 männlich/weiblich Mittelwert 1: $-8,28^\circ$; Minimum $-6,2^\circ$; Maximum $-11,8^\circ$; Mittelwert 2: $-8,17^\circ$; Minimum: $-6,5^\circ$; Maximum: $-11,2^\circ$.

Interessant ist ein weiterer Mittelwertsvergleich aus der Tabelle 2 in der letzten Spalte. Hier ist die mittlere Differenz zwischen dem Beckenwinkel im Stehen und bei maximaler Beckenrückdrehung im Sitzen wiedergegeben. Der Wert repräsentiert das Ausmaß der individuellen Beckenrückdrehung; im Mittel $21,9^\circ$. Dieser Wert ist in der Tabelle 1 mit der Winkeldifferenz für die 0° Sitzneigung vergleichbar ($22,5^\circ$). Trotz einiger „Ausreißer“ innerhalb der Messreihen der einzelnen Probanden ist die Übereinstimmung der Messwerte selbst bei diesem kleinen Probandenkollektiv erstaunlich gut.

Vergleicht man nun das Ausmaß der individuellen Beckenkippen in der

kleinsten und der größten Form, so werden auch hier die Aussagen von Schoberth (1989) bestätigt, der von einem Bewegungsausmaß des Beckens in der Sagittalebene von 10° bis über 40° ausgeht. Wie aus der letzten Spalte der Tabelle 2 hervorgeht, liegt der kleinste Wert bei $9,7^\circ$ (VP17) und der größte Wert bei $44,4^\circ$ (VP8).

Aufgrund dieser hohen individuellen Streubreite erübrigt sich die Frage nach einem verbindlichen Grenzwert für eine noch zu tolerierende Beckenrückdrehung in Form einer Gradzahl. Das Ausmaß der Beckenrückdrehung ist individuell vom Gesamt-Bewegungsumfang abhängig; wenngleich die Aussagen hinsichtlich des Sitzneigungswinkels vergleichbar sind.

Bei der Beschreibung der bisherigen Messergebnisse mit dem neuartigen digitalen Winkelmesser sind wir uns sehr wohl der Tatsache bewusst, dass es sich um isolierte Bewegungen handelt, die man auf das Bewegungsverhalten auf einem entsprechenden ergonomischen Arbeitsstuhl im Arbeitsalltag nur bedingt übertragen kann. Es bleibt immer ein Problem in der methodischen Vorgehens-

weise derartiger biomechanischer Tests am lebenden Menschen, die Versuchsbedingungen so praxisnah und gleichzeitig so standardisierbar wie möglich zu machen.

Dass es sich bei den Bewegungssegmenten der Wirbelsäule um ein Gebilde von komplexen Subsystemen handelt, wurde bereits von Kössler und Hartmann (2001) beschrieben. Gerade die morphologischen Verhältnisse des lumbosakralen Überganges der Wirbelsäule, wie sie bei Niethard (1981) beschrieben sind, müssen stets berücksichtigt werden, wenn man über Fehlhaltungen beim Sitzen aus biomechanischer Sicht diskutiert.

Es sei nochmals betont, dass die hier vorgestellten Messwerte schon wegen ihrer relativ geringen Messgenauigkeit lediglich Orientierungswerte sein können. Dies ist aber aus biomechanischer Sicht an der Wirbelsäule gar nicht anders möglich, selbst, wenn man sich nur auf den Bereich der Lendenwirbelsäule beschränkt. Genau betrachtet müsste man für die gesamte Wirbelsäule so viele Schwerpunkte und Schwerlinien berücksichtigen, wie diese Bewegungs-

Tabelle 2: Sitzneigungswinkel bei lotrechter Beckenstellung und bei voller Beckenrückdrehung ($n = 14$). (A = Beckenwinkel im Stehen; BW1 = Beckenwinkel in einer lotrechten Sitzhaltung; SW1 = Sitzneigungswinkel in einer lotrechten Sitzhaltung; BW2 = Beckenwinkel bei maximaler Rückdrehung; SW2 = Sitzneigungswinkel bei maximaler Beckenrückdrehung; Diff.A-BW2 = Ausmaß der Beckenrückdrehung).

VP Nr.	A	BW1	SW1	BW2	SW2	Diff. A-BW2
1.	$33,0^\circ$	$34,6^\circ$	$-12,1^\circ$	$63,2^\circ$	$-2,1^\circ$	$30,2^\circ$
2.	$34,9^\circ$	$35,2^\circ$	$-7,7^\circ$	$51,2^\circ$	$-1,0^\circ$	$16,3^\circ$
3.	$38,1^\circ$	$36,8^\circ$	$-7,2^\circ$	$63,1^\circ$	$-0,8^\circ$	$25,0^\circ$
4.	$32,2^\circ$	$36,2^\circ$	$-8,5^\circ$	$51,2^\circ$	$-0,9^\circ$	$19,5^\circ$
6.	$35,3^\circ$	$40,4^\circ$	$-8,6^\circ$	$54,8^\circ$	$-1,4^\circ$	$19,6^\circ$
7.	$40,8^\circ$	$42,6^\circ$	$-7,4^\circ$	$51,4^\circ$	$-0,7^\circ$	$10,6^\circ$
8.	$31,4^\circ$	$31,6^\circ$	$-7,2^\circ$	$75,8^\circ$	$-0,7^\circ$	$44,4^\circ$
9.	$35,6^\circ$	$36,6^\circ$	$-8,4^\circ$	$47,4^\circ$	$-1,2^\circ$	$11,8^\circ$
10.	$39,2^\circ$	$44,6^\circ$	$-7,8^\circ$	$63,4^\circ$	$-1,8^\circ$	$24,2^\circ$
12.	$34,2^\circ$	$28,9^\circ$	$-9,7^\circ$	$49,6^\circ$	$-0,9^\circ$	$15,4^\circ$
14.	$35,8^\circ$	$37,6^\circ$	$-10,3^\circ$	$73,3^\circ$	$-1,0^\circ$	$37,5^\circ$
15.	$38,5^\circ$	$41,2^\circ$	$-9,4^\circ$	$60,4^\circ$	$-0,5^\circ$	$21,9^\circ$
16.	$38,0^\circ$	$37,4^\circ$	$-6,1^\circ$	$58,0^\circ$	$-1,1^\circ$	$20,0^\circ$
17.	$30,4^\circ$	$32,2^\circ$	$-7,7^\circ$	$40,1^\circ$	$-1,9^\circ$	$9,7^\circ$
Mittelwert	$35,5^\circ$	$36,8^\circ$	$-8,4^\circ$	$57,4^\circ$	$-1,1^\circ$	$21,9^\circ$

segmente aufweist. Alle Segmente erfahren durch die Schwerkraft ein Flexionsmoment.

Was die Kinematik des Wirbelsäulensegmentes betrifft, gibt es verschiedene Modelle, die u.a. auch vom Grad der Degeneration abhängig sind (Klein & Sommerfeld 2007). „Hinsichtlich der Orientierung der Wirbelbogengelenke (Zygapophysialgelenke) gibt es große interindividuelle, intersegmentale, links-rechts Unterschiede, sowie Unterschiede zwischen den superioren und inferioren Gelenkflächen. Exakte symmetrische Verhältnisse können so gut wie ausgeschlossen werden“ (Klein & Sommerfeld 2007). Aus diesem Grunde soll der Versuch unternommen werden, an einem naturidentischen Wirbelsäulenmodell die Winkelverhältnisse des knöchernen Beckens und isoliert davon diejenigen zwischen dem Bewegungssegment L5-L4 auf der Grundlage der 3 Röntgenpausen darzustellen.

Das Bewegungssegment L5-L4 stellt das beweglichste Segment innerhalb der Lendenwirbelsäule dar (Schünke 2000). Zur besseren fotografischen Darstellung ist es notwendig, das Bewegungsausmaß von Becken und Bewegungssegment getrennt in einem unterschiedlichen Aufnahmewinkel zu erfassen. Alle Hilfskonstruktionen wie Stative, Winkelmesser, Gelenkverbindung zwischen L5 und L4 wurden mittels digitaler Bildbearbeitung entfernt. Als Referenzwert für die Positionierung des Beckens diente der Winkel der Kreuzbeindeckplattentangente, als Referenzwert für das Bewegungssegment diente zum einen der Winkel der Grundplatte von L5 und zum anderen der Winkel, der sich aus den Tangenten der vorderen Höhen der Wirbelkörper von L5 und L4 ergeben. Für die 41°-Beckenposition betrug dieser Winkel 20°, für die 34°-Beckenposition 18° und für die 11°-Beckenposition 7°. Bei einer maximalen Kyphosierung geht dieser Winkel gegen 0°.

Gemessen wurden mittels Tasterzirkel und digitaler Schieblehre die Abstände der Deck- und Grundplatte von L5 und L4 medial im ventralen und dorsalen Bereich, der Auszug der Gelenkfläche, sowie der Abstand der Proc. spinosae an einer definierten Stelle.

In der Neutralstellung von 40° betrugen an dem verwendeten anatomischen Modell die Abstände am medialen ventralen Rand 11,6 mm, am medialen dorsalen Rand 5,6 mm bei einer mittleren Bandscheibenhöhe von 10,6 mm. Der Abstand der Proc. spinosae betrug 4,2 mm.

Der Vergleich der Beckenposition im Stehen zu derjenigen auf einer -8° ge-

neigten Sitzfläche ergibt nur geringfügige Unterschiede (Abb. 8 und 9). So ist der Wirbelkörperabstand ventral um 0,8 mm reduziert und dorsal um 1,2 mm erhöht. Das entspricht einem Kompressionsgrad am medialen ventralen Rand von ca. 5% und einem Dehnungsgrad am medialen dorsalen Rand von ca. 14%.



Abb. 8a/b: Beckenposition im Stehen; Bewegungssegment L5/L4 in gleicher Position. Die Gelenkflächen sind kongruent; Abstand medialer dorsaler Rand 5,4 mm; Abstand medialer ventraler Rand 11,7 mm



Abb. 9a/b: Beckenposition auf einer -8° geneigten Sitzfläche; Bewegungssegment L5/L4 in gleicher Position; Auszug der Gelenkflächen um ca. 7%; Kompressionsgrad am medialen ventralen Rand ca. 5%; Dehnungsgrad am medialen dorsalen Rand ca. 14%



Abb. 10a/b: Beckenposition auf einer horizontalen Sitzfläche; Bewegungssegment in gleicher Position; Auszug der Gelenkflächen um ca. 36%; Kompressionsgrad am medialen ventralen Rand ca. 25%; Dehnungsgrad am medialen dorsalen Rand ca. 42%

In der 41°-Beckenposition sind die Gelenkflächen kongruent (Abb. 8b) und verschieben sich in der 34°-Beckenposition um 1,0 mm. Gemessen am vertikalen Durchmesser der Gelenkfläche von 15,3 mm entspricht dies einem Grad des „Auseinanderdriftens“ von ca. 7%. An dieser Stelle sei erwähnt, dass es für die Beschreibung der Bewegungen in den Wirbelbogengelenken keine verbindliche Nomenklatur gibt (Klein & Sommerfeld 2007). Der Abstand der Dornfortsätze hat sich an der definierten Stelle um 3,9 mm vergrößert, was eine minimale Dehnung der beteiligten Bandstrukturen bedeutet. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auf einer –8° geneigten Sitzfläche nicht ganz die Wirbelsäulenposition wie im Stehen erreicht wird, so dass man die Gefahr einer Hyperlordosierung auf einer derartig geneigten Sitzfläche ausschließen kann, sofern man die Wirbelsäulenschwungung im Stehen nicht als einen Grad der Hyperlordosierung definiert.

Der Vergleich der Beckenposition im Stehen zu derjenigen auf einer horizontalen Sitzfläche zeigt dagegen erhebliche Unterschiede (Abb. 8 und 10). Der Auszug der Gelenkflächen beträgt hier bereits 5,4 mm, was einem prozentualen Anteil von ca. 36% entspricht. Desweiteren ist der Wirbelkörperabstand am medialen ventralen Rand um 3,1 mm verkürzt und am medialen dorsalen Rand um 2,8 mm erhöht. Gleichzeitig verschiebt sich die Grundplatte von L4 gegenüber der Deckplatte von L5 um 2,4 mm nach ventral. Aufgrund der besonderen Konfiguration der Gelenkflächen ist für den dorsalen Teil der Bandscheibe eine deutliche Hub-Schub-Bewegung zu erkennen (Abb. 8b und 10b). Bezieht man die Lageänderung der Wirbelkörper auf die Bandscheibenverhältnisse, dann entspricht dies für den medialen, ventralen Abschnitt einem Kompressionsgrad von ca. 25% und für den medialen, dorsalen Abschnitt einem Dehnungsgrad von ca. 42%.

Bezüglich der mechanischen Belastbarkeit des Anulus fibrosus sind Zugbelastungen ungleich kritischer zu bewerten als Druckbelastungen. Dies erklärt sich u.a. aus der Lageorientierung der Kollagenfibrillen im peripheren An-

teil. Hier verlaufen die Kollagenfibrillen in einem Winkel von ca. 30° bis 35° zur Grund- und Deckplatte (Stokes 1987). Durch die feste Verankerung mit diesen bewirkt eine Höhenzunahme eine Vergrößerung des Winkels und folglich eine Schwächung des Faserverbundes. Wirken diese Kräfte über einen langen Zeitraum ein, wie dies beim gewohnheitsmäßigen Sitzen im Rundrücken der Fall ist, kann dies zu einer bleibenden Schwächung des Anulus fibrosus führen und den Degenerationsprozess beschleunigen. Miller et al. (1988) haben in einer Untersuchung an 600 lumbalen Bandscheiben bei 90% der 50-Jährigen deutliche Degenerationsphänomene der Disci festgestellt. Da bei der am anatomischen Modell beschriebenen Kyphosierung nicht nur eine Hub- sondern gleichzeitig auch eine Schubbewegung nach ventral zu beobachten ist, steigen auch die interlaminären Scherspannungen deutlich an. Diese werden noch verstärkt, wenn durch einen vorhandenen Degenerationsprozess des Discus bereits Faserrisse und Matrixzerreissungen bestehen. Goel et al. (1995) sprechen in diesem Zusammenhang von einem *circulus vitiosus*.

Wie gestaltet sich nun die Situation für die Wirbelbogengelenke? Nach Cihak (zitiert nach Junghanns 1981) liegt die Frequenz der vier klassifizierten Gelenktypen für die Lendenwirbelsäule bei 70% für den bizylindroiden und bei 17% für den asymmetrischen Gelenktyp. Aufgrund der besonderen Form der Gelenkflächen kann man schließen, dass eine gleichmäßige Übertragung der einwirkenden Kräfte nur in der Neutralstellung wie in der stehenden Position erfolgen kann. Die Mittelpunkte der Gelenkflächen liegen in diesem Fall übereinander. In der Literatur wird beschrieben, dass die Gelenkflächen bei einer Ventralflexion weniger belastet werden als bei einer Dorsalextension, wobei die Aussagen zum Teil widersprüchlich sind. Für eine maximale Extension im Sinne einer Hyperlordosierung trifft dies sicher zu, weil hier die Gelenkflächen regelrecht aufsitzen. In vitro Untersuchungen von Dolan und Adams, (2001) haben ergeben, dass bereits geringe Höhenverluste des Diskus von ca.

1 mm zu Veränderungen der Belastungsverteilung führen. So verschieben sich die Spitzenbelastungen bei Ventralflexion von einer zentral gelegenen Zone zum superioren Gelenkrand.

Abschließend noch einige Anmerkungen zu den ligamentären Strukturen, insbesondere den Ligg. Capsularia: Yamashita et al. (1996) unterscheiden hier zwei Lagen, eine äußere aus kräftigen Kollagenfasern vom Typ II und eine innere Schicht aus elastischen Fasern, die denen des Lig. flavum ähnlich sind. Die Ligg. capsularia erfahren bei Bewegungen in der Sagittalebene deutliche Längenänderungen. Sie haben für Adams & Hutton (1980) eine wesentliche Bremsfunktion bei der Ventralflexion. Da sie nozizeptiv und propriozeptiv reich innerviert sind (Yamashita et al. 1996) ist leicht vorstellbar, dass sie bei chronischer Überdehnung eine mögliche Ursache für lumbale Beschwerden sein können (Mooney, 1987). Im Rahmen degenerativer Prozesse der lumbalen Wirbelbogengelenke wird eine Ausdünnung der Kapselwand bei gleichzeitiger Verkürzung beobachtet. Tanno et al. (2004) beschreiben dieses paradoxe Phänomen als straffe aber schwache Kapsel. Was das Lig. interspinale und Lig. supraspinale bei der Ventralflexion durch die Spreizung der Dornfortsätze erfährt, ist schwierig zu beurteilen, da die maximale Dehnbarkeit des Lig. interspinale im lumbalen Bereich von einem Segment zum anderen über 100% variieren kann (Klein & Sommerfeld 2007). Was die Kinetik betrifft, ist das Lig. interspinale auch für die anteriore Verlagerung des Wirbels verantwortlich (Klein & Sommerfeld 2007).

Zusammenfassende Schlussfolgerung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Fehlhaltungen wie das gewohnheitsmäßige Sitzen im Rundrücken zu einer erheblichen zusätzlichen Belastung der Bewegungssegmente im Lumbalbereich führen. Daraus kann ein vorzeitiger Verschleiß des Bandscheibenapparates und in Folge davon ein Verschleiß an den empfindlichen Strukturen der Wirbelbogengelenke stattfinden. Je nach den individuellen morphologischen Voraussetzungen, wie z.B. Facet-

tenasymmetrien kann dies im Einzelfall unterschiedliche Schmerzsymptome bewirken. Im Sinne einer wirkungsvollen Verhaltensprävention bedeutet dies, während einer sitzenden Tätigkeit in der mittleren und vorderen Sitzposition nach Möglichkeit die Beckenposition weitestgehend so beizubehalten, wie dies für die betreffende Person in einer stehenden Position gilt. Damit werden die statischen und dynamischen Kräfte weitgehend über den gesamten Wirbelschnitt gleichmäßig verteilt.

Für die arbeitsmedizinische Praxis bedeutet dies gleichermaßen im Sinne der Verhältnisprävention, das besondere Augenmerk auf die Beschaffenheit von Bürodrehstühlen sowie Stehsitzen für den Werkstatt- und Laborbereich zu richten. Aus unserer langjährigen Beratungspraxis haben wir den subjektiven Eindruck gewonnen, dass vielen sitzend Tätigen das Sitzen im Rundrücken oft nicht bewusst wird. Ein Bürodrehstuhl mit automatischer, gewichtskraftabhängiger Sitzneigemechanik kann hier wesentlich zur Verbesserung der Arbeitsplatzverhältnisse beitragen.

Ähnliches gilt aus unserer Sicht auch für Objektstühle, die an Konferenz- und Seminartisch-Reihen platziert sind. In der Arbeitshaltung „Zuhören“ werden die meisten die hintere Sitzhaltung einnehmen mit vollem Rückenlehnenkontakt und passiver Abstützung der Wirbelsäule. Was geschieht aber, wenn sich die betreffende Person in einer Schreibhaltung mit vorgeneigtem Oberkörper befindet und eine starre Sitzfläche die natürliche Beckenkipfung nach vorne verhindert? Für diesen besonderen Verwendungsbe- reich wäre die Option einer einfachen Sitzneigemechanik zu empfehlen.

Literatur

- Adams MA, Hutton WC. (1980) The effect of posture on the role of the apophysial joints in resisting intervertebral compressive force. *J Bone Jt Surg.* 62 B: 358 – 362.
- Dolan P, Adams MA. (2001) Recent advances in lumbar spinal mechanics and their significance for modelling. *Clin. Biomech.* 16 (Suppl.1): 8 – 16
- Goel VK, Monroe BT, Gilbertson LG, Brinkmann P. (1995). Interlaminar shear stresses and laminae separation in a disc. *Spine.* 20 (6) : 689 – 698
- Junghanns H. (Hrsg.) (1981) Die Wirbelbogen- gelenke ausschließlich der Okzipito-Zervikal-

region. Band 87 Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis. Hippokrates, Stuttgart

Junghanns H. (Hrsg.) (1986) Die Wirbelsäule unter den Einflüssen des täglichen Lebens, der Freizeit, des Sportes. Band 100 Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis. Hippokrates, Stuttgart

Klein P, Sommerfeld P (2007) Biomechanik der Wirbelsäule. Urban & Fischer, München

Kössler F, Hartmann B (2001) Struktur, Funktion und Degeneration der Bandscheiben unter körperlicher Belastung der Wirbelsäule. *Zbl. Arbeitsmed.* 51, 74–105

Miller JA, Schmatz C, Schultz AB. 1988. Lumbar disc degeneration: Correlation with age, sex and spine level in 600 autopsy specimens. *Spine.* 13 : 173 – 178.

Mooney V. (1987) Where is pin coming from ? *Spine.* 12 (8): 754 – 759.

Niethard FU (1981) Die Form-Funktionsproblematik des lumbosakralen Überganges. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis Band 90. Hippokrates Stuttgart

Schoberth H (1989) Orthopädie des Sitzens. Springer, Berlin-Heidelberg-New York

Schön FA, Preim D (2000) Untersuchungen zur Bestimmung des individuellen Sitzneigungswinkels. *Zbl. Arbeitsmed.* 50, 78–85

Schön FA, Preim D (2009) Feldstudie zum dynamischen Sitzen unter verschiedenen Arbeitsplatzbedingungen. *Zbl. Arbeitsmed.* 59, 44–55

Schünke M. (2000) Topographie und Funktion des Bewegungssystems. Thieme Stuttgart – New York

Stokes IAF. (1987) Surface strain on human intervertebral disc. *J Orthop Res.* 5: 348 – 355

Tanno I, Murakami G, Oguma H, Sato S-I, Lee U-Y, Han S-H, Yamashita T. (2004) Morphometry of the lumbar zygapophyseal facet capsule and cartilage with reference to degenerative osteoarthritic changes: an anatomical study using fresh cadavers of elderly Japanese and Korean subjects. *J Orthop Sci.* 9: 468 – 477.

Thumedi (2010) Bedienungsanleitung RAD Remote Angle Display. Thumedi GmbH, Thum-Jahnsbach

TÜV Rheinland (1996) Prüfprogramm zur Erlangung des TÜV Rheinland Prüfzeichens: „ERGONOMIE GEPRÜFT“ für Bürodrehstühle und Bürodrehstuhl

Yamashita T, Minaki Y, Özkay C, Cavanaugh JH, King AI (1996) A morphological study of the fibrous capsule of the human lumbar facet joint. *Spine* 21 (5): 538 – 543.

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Prof. Dr. Andreas Prescher vom Anatomischen Institut des Universitätsklinikums Aachen für die wertvollen Anregungen zur bildlichen Darstellung der Wirbelsäulenmodelle und Herrn Prof. Dr. Udo Kamps sowie Herrn Dipl.-Math. Tim Fischer vom Institut für Statistik und Wirtschaftsmathematik an der RWTH Aachen für die statistische Analyse der Winkelmessungen.

BSM

Das Standardwerk von Bernhard Tenckhoff und Silvester Siegmann



„Vernetztes Betriebssicherheitsmanagement“ ist mehr als ein Fachbuch. Es ist eine übersichtliche und praxisnahe Anleitung. Hier finden Sie alles, was Sie über Aufbau und Möglichkeiten eines Management-Systems für Betriebssicherheit wissen müssen.

1. Auflage 2009 | 536 Seiten, gebunden | 49,90 EUR | ISBN 978-3-87284-061-5

**Jetzt bestellen für
EUR 49,90**

**Ja, ich möchte das
Buch kaufen.**

Infos und Bestellung unter:

Tel.: +49 62 21 64 46-30

Fax: +49 62 21 64 46-40

Vangerowstraße 14/1

69115 Heidelberg

chv@konradin.de