

Zusammenfassung

Mehr Bewegung am Sitzarbeitsplatz

Untersuchung zu den Auswirkungen
der 3D-Kinematik Trimension auf
Rückenmuskulatur, Bewegungsvielfalt
und physiologische Aktivierung

Prof. Ingo Froböse

Dr. Boris Feodoroff

Peter Schams

Mai 2018

Einleitung

80–90 % aller Erwerbstätigen in Deutschland arbeiten überwiegend sitzend. Da zumeist auch der Weg zur Arbeit im Sitzen bestritten wird (Bus, Bahn oder Auto) und in der Freizeit gern auf dem Sofa Platz genommen wird, entsteht bei den Menschen ein Bewegungsdefizit. Das empfohlene Mindestmaß an körperlicher Aktivität (World Health Organization, 2010) wird nicht mehr erreicht und negative gesundheitliche Begleiterscheinungen treten auf. Die negativen Folgen körperlicher Inaktivität sind umfassend und betreffen unter anderem das Muskelskelettsystem sowie das Herzkreislaufsystem.

Neben aktiven können auch passive Strukturen durch überdauernde statische Belastung degenerieren und zu Einschränkungen führen, die rein funktionell das Bewegungsausmaß betreffen können, aber auch für die Genese von Schmerzen und muskuloskelettalen Problemen mit verantwortlich sein können. Eine der am häufigsten benannten Folgen sind Rückenschmerzen. Als mögliche Ursache für die Entstehung von Rückenschmerzen durch langes Sitzen wird die Degeneration von Rumpfmuskeln benannt (Mörl und Bradl 2013).

Der aktuelle DAK Gesundheitsreport (2018) unterstreicht diese Problematik: Die häufigste Ursache für Fehltage am Arbeitsplatz sind nach wie vor Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems. Eigentlich sollte erwartet werden, dass durch die zunehmende körperliche Entlastung mit Automation, Digitalisierung und ergonomischen Fortschritten die Entwicklung eher rückläufig sein sollte. Aber das Gegenteil ist der Fall. Trotz vieler Anstrengungen und Angebote im Betrieblichen Gesundheitsmanagement werden keine Verbesserungen erzielt. Rückenschulen, Bewegungstracker, Fitnessangebote und ähnliche Maßnahmen greifen offensichtlich zu kurz und erreichen gerade diejenigen nicht, die es am dringendsten nötig haben.

Langandauernde Phasen der körperlichen Inaktivität müssen dementsprechend unterbrochen werden, um dem Körper adäquate Reize zu liefern und diesen funktionstüchtig, leistungsfähig und gesund zu erhalten. Als Ansatzpunkt zur Integration von mehr Bewegung in den Alltag bietet sich das Setting Arbeitsplatz besonders an, da Erwerbstätige durchschnittlich den halben Tag an ihrem Arbeitsplatz verbringen und somit eine Vielzahl von körperlich inaktiven Menschen erreicht werden kann (Conn et al. 2009).

Im Fokus der Diskussion steht der Ansatz, das Sitzen als solches aktiver zu gestalten und den Menschen während des Sitzens in seinen natürlichen Bewegungsabläufen zu unterstützen. Wir

wissen heute, dass ausreichende Bewegung für nahezu alle Gesundheits- und Wohlfühlparameter verantwortlich ist: Gute Laune, Gesundheit der Knochen und Gelenke, Herz-Kreislauf, Stressresilienz und Immunsystem, Lunge, Stoffwechselprozesse und sogar die neurologische Entwicklung des Gehirns. Die Bewegungsförderung muss also schon während des Sitzens beginnen!

Forschungsfragen

Es bedarf neuer Strategien in der Ergonomie, die auf den biologischen Anforderungen und vor allem auf den Grundlagen der Stoffwechselprozesse basieren. Der in dieser Studie untersuchte Bürostuhl IN verfolgt das Ziel, über vielfältige dreidimensionale Bewegungsreize die Gelenkfunktionen zu aktivieren und den lokalen Stoffwechsel der lumbalen Rückenmuskulatur zu fördern, um negativen Folgen des langandauernden Sitzes zu begegnen. Die vorliegende Studie vergleicht die Auswirkungen der Nutzung des IN mit seiner dreidimensionalen Bewegungsmöglichkeit mit der Nutzung eines herkömmlichen, 2D-beweglichen Bürostuhls im Büroalltag. Als Parameter der Auswirkungen auf den lokalen Stoffwechsel dient die Sauerstoffsättigung der lumbalen Rückenmuskulatur. Hieraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Ermöglicht der IN im Vergleich zu einem herkömmlichen Bürostuhl eine ausgeprägtere Range of Motion (ROM)?
- Führen Bewegungen auf dem IN im Vergleich zu einem herkömmlichen Bürostuhl während alltagsnaher Büroarbeit zu einer besseren Sauerstoffsättigung in der lumbalen Rückenmuskulatur?
- Wie wird das Mehr an Bewegung von den Probanden subjektiv wahrgenommen und bewertet?

Zusätzlich soll ein Messinstrument evaluiert werden, welches die Bewegung auf dem Bürostuhl abbildet. Eine Bewegungsanalyse ist häufig sehr aufwendig. Deswegen wird versucht, einen einfacheren Sensor im Bürostuhl zu integrieren, um die Bewegungen auf dem Bürostuhl zu quantifizieren. Hieraus ergibt sich zusätzlich folgende Forschungsfrage:

- Kann ein Lage-Sensor am Bürostuhl die Bewegung des Sitzenden ausreichend abbilden?

Methoden

Untersuchungsgut

Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden zwei Bürostühle der Wilkening+Hahne GmbH+Co.KG miteinander verglichen. Der herkömmliche Bürostuhl Neos entspricht den herkömmlichen, kinematischen Konzepten dynamisch beweglicher Bürostühle, die sich durch eine synchronisierte Neigungsmöglichkeit von Sitzfläche und Rückenlehne nach hinten und vorne auszeichnen. Dieser Bürostuhl wird im weiteren Verlauf als „2D-Bürostuhl“ bezeichnet und mit dem IN („3D-Bürostuhl“) verglichen. Der IN ermöglicht neben der Neigung nach hinten und vorne zusätzlich eine Seitneigung der Sitzfläche und der Rückenlehne sowie im Speziellen eine Verdrehung der Rückenlehne. Beide Bürostühle werden in Abbildung 1 illustriert.



Abbildung 1: Darstellung des 3D-Bürostuhles „IN“ (links) und des 2D-Bürostuhles „Neos“ (rechts).

Untersuchungsverlauf

Insgesamt 25 anamnetisch gesunde Probanden (Alter: $27,9 \pm 4,9$ Jahre; Körpergröße: $184 \pm 3,8$ cm; Körpergewicht: $80,4 \pm 5,6$ kg) nutzen die zu vergleichenden Bürostühle in randomisierter Reihenfolge für standardisierte Büroarbeit. In Abbildung 2 wird der Untersuchungsverlauf grafisch dargestellt. Während der Büroarbeit wird kontinuierlich die physiologische Aktivierung der Rückenmuskulatur sowie die Bewegung der Bürostühle als auch der Probanden dokumentiert. Vor und nach der 20-minütigen Büroarbeit liegen die Probanden bäuchlings für 10 Minuten zur Ruhewertbestimmung der physiologischen Aktivierung bzw. zum Ausgleich einer etwaigen veränderten Aktivierung auf einer Liege. Nach der standardisierten Büroarbeit wird jeweils ein Fragebogen zum subjektiven Empfinden der Bürostuhlnutzung ausgefüllt.

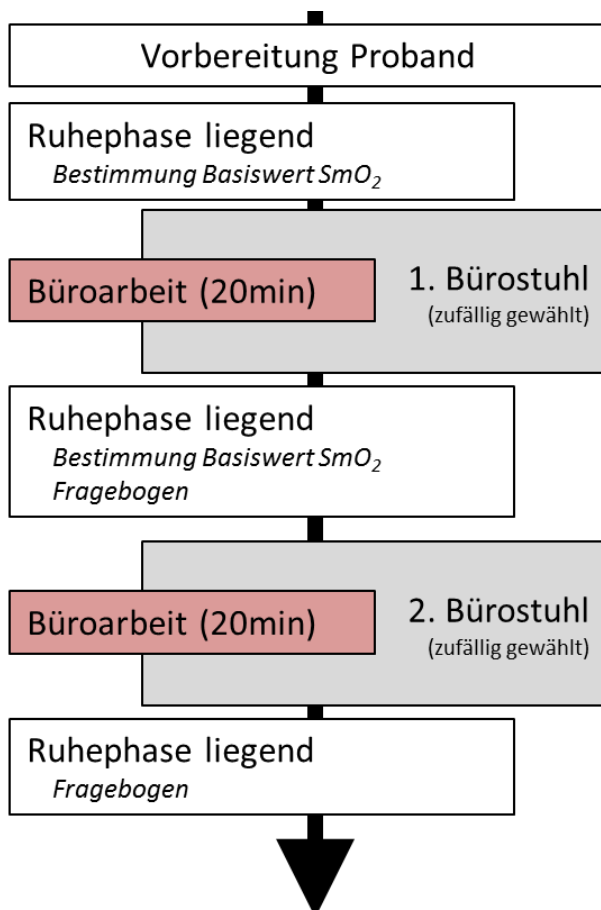


Abbildung 2: Grafische Darstellung des Untersuchungsverlaufs

Standardisierte Büroarbeit

Die standardisierte Büroarbeit beinhaltet fünf Phasen mit einer Dauer von jeweils 4 Minuten, in denen die Probanden typische Arbeiten des Büroalltages durchführen (vgl. Ellegast, R. P. et al. 2012; Grooten, W. J. et al. 2017; O'Sullivan, K. et al. 2012; Van Dieën, J.H., De Looze, M.P., Hermans, V., 2001). Die Phasen beinhalteten folgende Arbeitsformen:

- Phase 1: Arbeit an der Tastatur
 - Übertrag eines gedruckten Textes per Tastatur in ein Schreibprogramm auf dem PC
- Phase 2: Arbeit mit der PC-Maus
 - Übertrag einer gedruckten Grafik in ein Zeichenprogramm mittels Nutzung der PC-Maus
- Phase 3: Arbeit am Schreibtisch
 - Gegenstände auf dem Schreibtisch bewegen, z.B. Akten sortieren und abheften, Informationen in Büchern heraussuchen, etc.
- Phase 4: Persönliches Mitarbeitergespräch
 - Persönliches Gespräch mit einem Mitarbeiter – Brainstorming, Ideenvorstellung, Diskussion
- Phase 5: Telefongespräch
 - Gespräch mit einem Mitarbeiter am Telefon – Informationen aus Akten und Internet heraussuchen, einhändig mit der PC-Maus oder Tastatur arbeiten, Diskussion, Brainstorming, etc.

Die Aufgaben der Büroarbeit sind für jeden Probanden gleich und werden während der Nutzung beider Bürostühle gleichermaßen durchgeführt. Lediglich die Inhalte der Gespräche werden modifiziert.

Verwendete Messmethoden

Es wird generell auf bereits erprobte Messmethoden zurückgegriffen, die den gängigen wissenschaftlichen Gütekriterien entsprechen. Allen Methoden werden in bereits durchgeführten Untersuchungen eine hohe Validität, Reproduzierbarkeit und Reliabilität bescheinigt. Im Folgenden werden die verwendeten Testapparaturen und Testverfahren beschrieben.

Sauerstoffsättigung (SmO₂) – Analyse der physiologischen Aktivierung

Zur Analyse der physiologischen Aktivierung der Muskulatur im lumbalen Rückenbereich wird der DR2-Sensor (Oxy4[®]) genutzt (siehe Abbildung 3). Dieser Sensor ermöglicht mit der Nah-Infrarot Technologie (NIRS) eine nicht-invasive mobile Echtzeit-Messung der SmO₂ in der Skelettmuskulatur und erfasst somit die lokalen metabolischen Reaktionen. Der Sensor wird vor der Messung auf dem Muskelbauch des rechten M. erector spinae 2 – 3 cm lateral des 3. Lendenwirbels platziert.



Abbildung 3: NIRS DR2-Sensor von Oxy4[®]

Motion Capturing - Bewegungsanalyse

Um die Bewegung des Probanden und der Bürostühle objektiv zu analysieren, wird ein Motion Capturing (MoCap) System genutzt (Qualisys®). Dabei wird ein einfaches biomechanisches Modell erstellt, welches die Positionsbestimmung von Körpersegmenten zueinander ermöglicht.

Für die Erfassung der Bewegungen des Menschen und der Bürostühle werden reflektierende Marker an insgesamt 19 anatomischen Referenz-Positionen am Körper der Probanden (van Sint Jan, S., 2007) und jeweils 14 an den Stühlen angebracht (Abbildung 4).

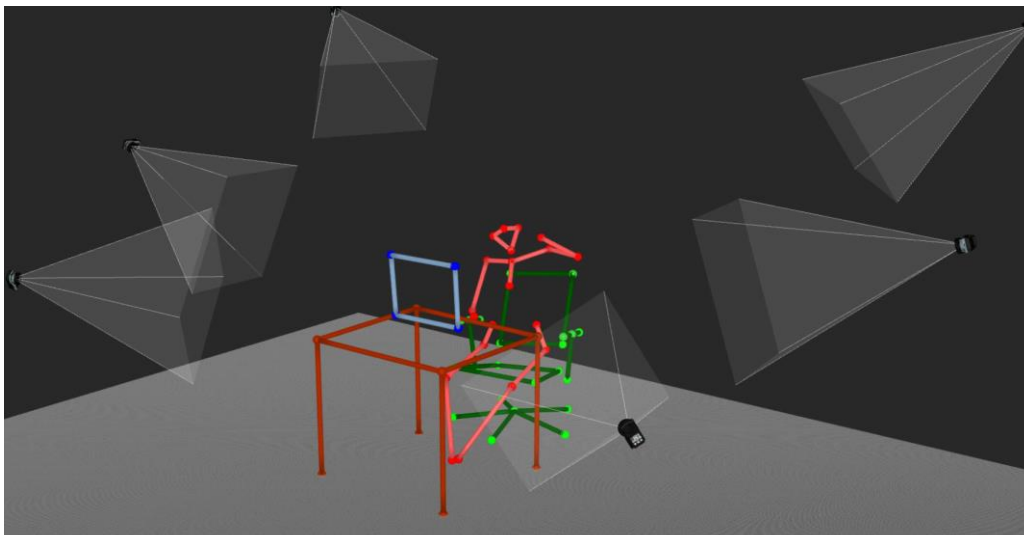


Abbildung 4: Biomechanisches Modell im Studiensetting mit Aufnahmekegel der Kameras (rot = Mensch; grün = Bürostuhl; braun = Schreibtisch; blau = Monitor)

Die Positionen der Marker werden mit sechs Infrarot-Hochgeschwindigkeitskameras (Oqus 100, Qualisys®) mit einer Frequenz von 100 Hz erfasst. Die durchschnittliche Messtoleranz beträgt dabei <1 mm. Die Kameras werden um den Büroarbeitsplatz herum positioniert (siehe Abbildung 5).

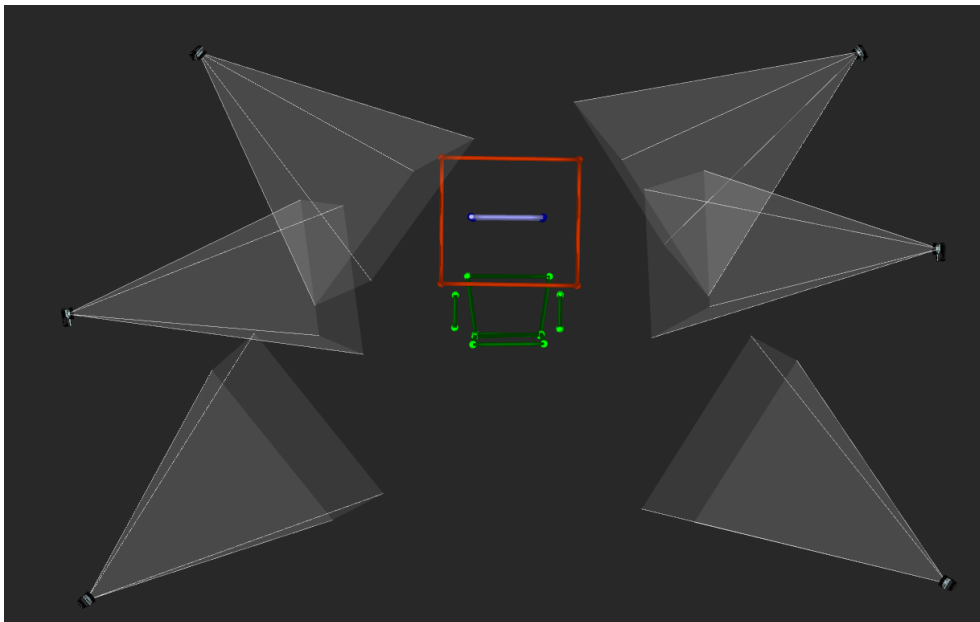


Abbildung 5: Aufbau des Settings des Motion Capturings aus der Vogelperspektive ohne Menschmodell mit Aufnahmekegel der Kameras

Lage-Sensor – Bewegungsanalyse

Ergänzend wird die Bewegung der Sitzfläche mit einem weiteren Messinstrument erfasst. Ein 9-achsiger Lage-Sensor (BNO055, Bosch Sensortec) wird in die Bürostühle integriert (siehe Abbildung 6), so dass das Sitzverhalten des Nutzers aufgezeichnet und analysiert werden kann. Zur Berechnung der Bewegung bzw. der Lageänderung der Sitzfläche werden die sog. Euler-Winkel genutzt. Die Euler-Winkel definieren die Drehlage eines festen Körpers im dreidimensionalen Raum anhand von drei unabhängigen Winkeln, welche die Rotation um die Achsen des 3D-Koordinatensystems beschreiben. Der Lage-Sensor nimmt die Veränderungen der Winkelpositionen mit einer Frequenz von 25 Hz auf.



Abbildung 6: Position des Lage-Sensors unter dem Bürostuhl und grafische Darstellung der Messebenen

Fragebogen – subjektives Empfinden der Nutzung

Anhand einer fünf-stufigen Likertskala werden die Probanden im Anschluss an die Nutzung eines jeden Bürostuhls gebeten, folgende Aussagen (von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“) zu bewerten:

- Ich konnte neue 3D-Bewegungsmöglichkeiten während des Sitzens entdecken.
- Mein Rücken fühlte sich aktiviert an.
- Ich habe das Gefühl die Bewegungsmöglichkeiten des Bürostuhls haben positive Auswirkungen auf meinen unteren Rücken.
- Dieser Bürostuhl fördert die Bewegung des unteren Rückens.
- Dieser Bürostuhl fördert die Bewegung der Hüfte.
- Ich würde diesen Bürostuhl gerne an meinem Arbeitsplatz nutzen.
- Ich sitze gerne auf diesem Bürostuhl.

Ergebnisse

Bewegungsanalyse

Die Bewegung der Probanden wird während der Nutzung der beiden Bürostühle in den drei Körperebenen analysiert:

- Sagittalebene → Sicht von der Seite
- Transversalebene → Sicht von oben (bzw. unten)
- Frontalebene → Sicht von hinten (bzw. vorne)
-

Abbildung 7 illustriert diese Ebenen.

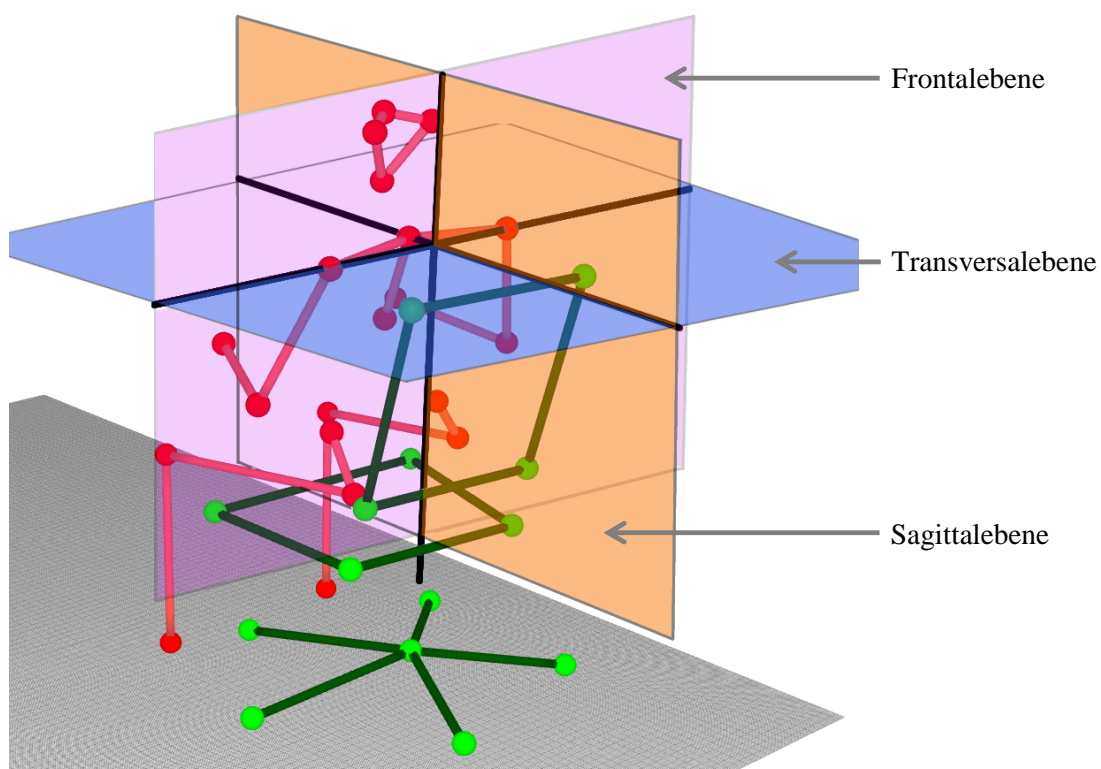


Abbildung 7: Darstellung der Körperebenen im Setting der Bewegungsanalyse (Frontalebene = violett; Transversalebene = blau; Sagittalebene = orange)

Im Folgenden wird das Bewegungsausmaß beider Bürostühle durch die einzelnen Angaben der gemittelten maximalen Winkel aller Probanden von verschiedenen Körper- und Bürostuhlachsen beschrieben. Diese Ergebnisse werden in die verschiedenen Phasen der standardisierten Büroarbeit eingeteilt:

- Phase 1: Arbeit an der Tastatur
- Phase 2: Arbeit mit der PC-Maus
- Phase 3: Arbeit am Schreibtisch
- Phase 4: Persönliches Mitarbeitergespräch
- Phase 5: Telefongespräch

Die Phasen 1 und 2 werden im weiteren Verlauf als *statische Phasen* zusammengefasst, da in diesen Phasen vor allem Bewegungen mit den Händen stattfinden, der restliche Körper aber relativ starr bleibt. Die Phasen 3 bis 5 mit viel Bewegung des Oberkörpers werden dahingegen als *dynamische Phasen* bezeichnet.

Motion Capturing

Transversalebene - Rotation Schulterachse und Rückenlehne

Die Transversalebene sowie die Achsen der Schulter und der Rückenlehne werden in Abbildung 8 dargestellt. Die Rotation der genannten Achsen wird in der folgenden Beschreibung ohne die Rotation des Bürostuhls selbst aufgeführt. Die Rotation des herkömmlichen Drehgelenkes, welches sich an der Unterseite der Sitzfläche befindet, hat keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Es wird ausschließlich die Verdrehung der Schulterachse bzw. der Rückenlehne zur Ausrichtung der Sitzfläche beschrieben.

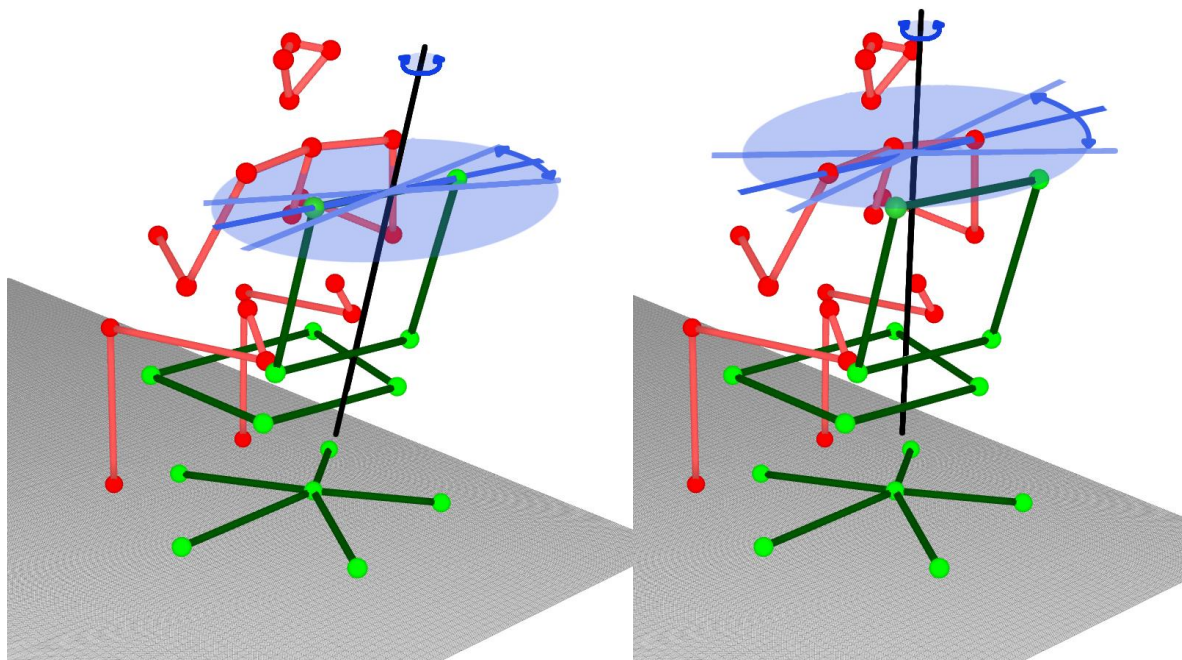


Abbildung 8: Rotation der Rückenlehne (linkes Bild) und der Schulterachse (rechtes Bild) in der Transversalebene (blau); Menschmodell (rot), Bürostuhlmodell (grün)

In den statischen Phasen ist zu erkennen, dass die Schulterachse nur eine geringe Rotation in der Transversalebene vollzieht. So liegen die gemittelten maximalen Winkel während der Arbeiten mit Tastatur und PC-Maus bei beiden Bürostühlen zwischen ca. 8° und 12° . In den dynamischen Phasen werden gemittelte maximale Werte über 12° bis hin zu 44° erreicht. Die Rotation der Rückenlehne in der Transversalebene fällt im Vergleich zur Schulterachse geringer aus. In den statischen Phasen rotiert die Rückenlehne des 2D-Bürostuhls weniger als

0,7°, dahingegen rotiert die Lehne des 3D-Bürostuhl zwischen 1° und 2°. In den dynamischen Phasen werden beim 2D-Bürostuhl gemittelte maximale Winkel bis zu 1,3° erreicht, demgegenüber wird auf dem 3D-Bürostuhl ein maximaler Winkel von 3,5° genutzt. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass in der Einzelfallbetrachtung eine absolute maximale Rotation der Rückenlehne des 3D-Bürostuhls von 11,6° genutzt wird. Diese Bewegungsmöglichkeit wird jedoch nicht von allen Probanden vollzogen. Dahingen weist die Rückenlehne des 2D-Bürostuhls nur eine absolute maximale Rotation von 3,4° auf. In Tabelle 1 werden die gemittelten maximalen Winkel in den verschiedenen Phasen aufgelistet.

Tabelle 1: Gemittelte maximale Winkel (n=25) der Rotation der Schulterachse und der Rückenlehnen in der Transversalebene [Winkelgrad] unterteilt in die verschiedenen Phasen der standardisierten Arbeit

Während der Nutzung:	Achsen	Winkel [°] Phase 1	Winkel [°] Phase 2	Winkel [°] Phase 3	Winkel [°] Phase 4	Winkel [°] Phase 5
3D-Bürostuhl	Schulter	8,42	11,61	36,49	14,02	29,40
	Rückenlehne	0,98	1,55	3,49	2,33	2,72
2D-Bürostuhl	Schulter	9,06	9,33	43,91	13,24	30,71
	Rückenlehne	0,68	0,48	1,29	0,72	1,09

Frontalebene - Seitneigung Schulterachse und Rückenlehne

Abbildung 9 zeigt die Seitneigung der Schulterachse und der Rückenlehnen in der Frontalebene – aus einer Perspektive hinter dem Bürostuhl. Die Winkelgrade werden zur allgemeinen Horizontalen angegeben.

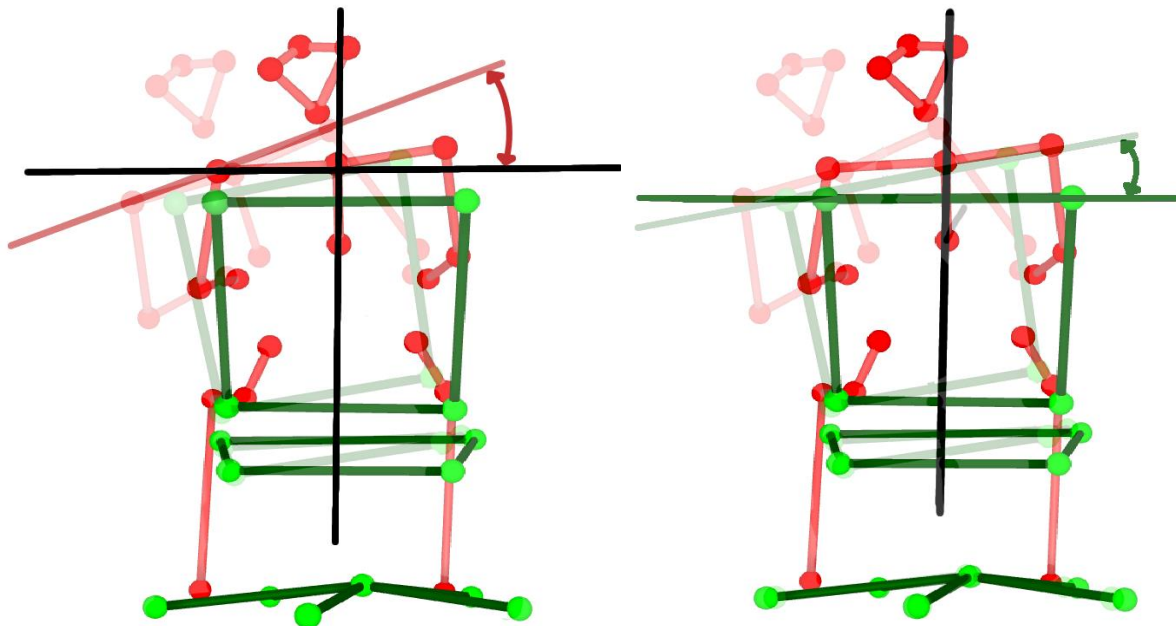


Abbildung 9: Seitneigung der Schulterachse (linkes Bild, rot) und der Rückenlehne (rechtes Bild, grün) in der Frontalebene (Sicht von hinten); Menschmodell (rot), Bürostuhlmodell (grün)

In der Frontalebene kann in den statischen Phasen eine gemittelte maximale Seitneigung unter $6,33^\circ$ der Schulterachse während der Nutzung des 2D-Bürostuhls festgestellt werden. Dahingegen neigt sich die Schulterachse der Probanden während der Nutzung des 3D-Bürostuhls im Mittel bis $11,27^\circ$ zur Seite. Bedingt durch die höhere körperliche Bewegung in den dynamischen Phasen ergibt sich eine deutlich höhere Seitneigung. Diese weitere Neigung der Schulterachse des Sitzenden zur Seite ist während der Nutzung beider Bürostühle zu erkennen. Sowohl in den statischen Phasen als auch in dynamischen Phasen ist keine nennenswerte Seitneigung des 2D-Bürostuhls zu erkennen. Dahingegen ist der 3D-Bürostuhl in der Lage, der Bewegung des Sitzenden sowohl in den statischen als auch den dynamischen

Phasen zu folgen und so eine physiologische Begleitung des Sitzenden zu ermöglichen. Alle gemittelten maximalen Winkel werden in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2: Gemittelte maximale Winkel der Seitneigung der Schulterachse und der Rückenlehne in der Frontalebene angegeben in Winkelgrad unterteilt in die verschiedenen Phasen der standardisierten Arbeit erhoben mit dem Motion Capturing System

Während der Nutzung:	Achsen	Winkel [°] Phase 1	Winkel [°] Phase 2	Winkel [°] Phase 3	Winkel [°] Phase 4	Winkel [°] Phase 5
3D-Bürostuhl	Schulter	4,71	11,27	44,08	18,44	30,90
	Rückenlehne	1,66	2,36	8,86	4,40	7,29
2D-Bürostuhl	Schulter	3,77	6,33	51,51	9,68	32,40
	Rückenlehne	0,28	0,30	1,47	0,89	1,51

Vergleich Bewegungsanalyse: Lage-Sensor mit Motion Capturing

Zur Prüfung, ob der Lage-Sensor die Bewegung der Sitzfläche ausreichend abbildet, wird dieses Messinstrument mit dem MoCap System verglichen. Das MoCap System ist das Goldstandard-Verfahren in der Sportwissenschaft zur Bestimmung von Bewegung und wird daher als Referenzsystem genutzt. Zur detaillierteren Analyse wird die Bewegung zunächst in der Sagittal- und Frontalebene getrennt voneinander beschrieben. Abbildung 10 verdeutlicht die Definition der Winkel in den zwei Ebenen. Danach werden die Winkel der beiden Ebenen zusammenhängend in zwei Schaubildern (Abb. 11 und 12) zur Untersuchung der Range of Motion aufgeführt.

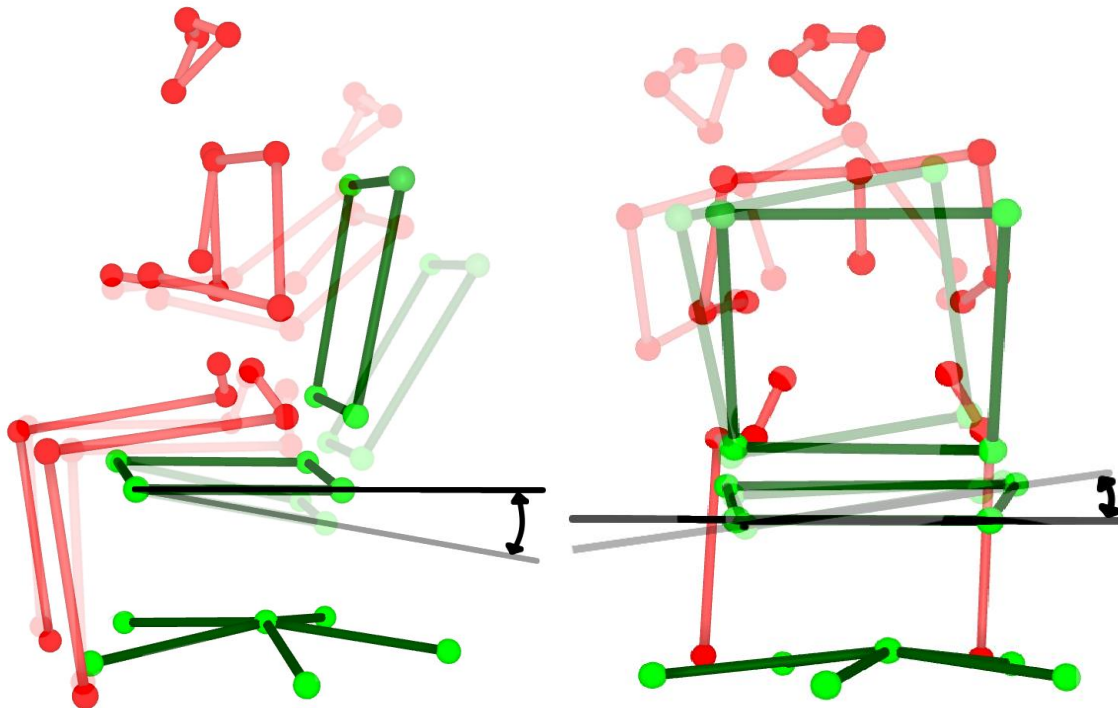


Abbildung 10: Neigung der Sitzfläche des Bürostuhles in der Sagittalebene (linkes Bild, schwarz) und Seitneigung der Sitzfläche in der Frontalebene (rechtes Bild, schwarz); Menschmodell (rot), Bürostuhlmodell (grün)

Sitzfläche – Bewegung in der Sagittalebene

Die in dieser Studie untersuchten Bürostühle haben einen unterschiedlichen Aufbau, so dass unter anderem die Sitzflächen ohne Einwirkung eines Sitzenden eine unterschiedliche Neigung in der Sagittalebene aufweisen. Zum Vergleich werden daher die Winkel in der Sagittalebene immer ausgehend von dem Ausgangs-Neigungswinkel des jeweiligen Bürostuhls angegeben. Die Winkel werden positiv dokumentiert, es handelt sich dabei immer um das Zurück/Unten-Kippen der Sitzfläche.

In der Betrachtung der gemittelten maximalen Neigung in der Sagittalebene des MoCap Systems, ist zu erkennen, dass sich die Sitzflächen beider Bürostühle gleichermaßen weit neigen.

Die Daten des Lage-Sensors weichen durchschnittlich um $3,8^\circ$ von denen des MoCap Systems ab, wobei bei kleineren Bewegungen innerhalb der statischen Phasen die Abweichungen geringer ausfallen als bei größeren Bewegungen innerhalb der dynamischen Phasen.

Tabelle 3: Gemittelte maximale Winkel der Neigung der Sitzfläche in der Sagittalebene [Winkelgrad] unterteilt in die verschiedenen Phasen der standardisierten Arbeit erhoben mit dem Motion Capturing System und dem Lage-Sensor

Gemittelte maximale Neigung Sitzfläche in der Sagittalebene		Winkel [°] Phase 1	Winkel [°] Phase 2	Winkel [°] Phase 3	Winkel [°] Phase 4	Winkel [°] Phase 5
Motion Capturing	3D-Bürostuhl	5,27	5,75	17,97	14,66	17,52
	2D-Bürostuhl	5,29	5,00	19,56	17,38	19,17
Lage-Sensor	3D-Bürostuhl	4,83	4,94	12,08	8,62	11,71
	2D-Bürostuhl	3,25	2,55	8,43	7,73	8,76

Sitzfläche – Bewegung in der Frontalebene

Das MoCap System erfasst in der Frontalebene beim 2D-Bürostuhl in allen Phasen keine größere Bewegung als $1,2^\circ$ Seitneigung. Dahingegen neigt sich der 3D-Bürostuhl in den statischen Phasen bis zu $3,12^\circ$ zur Seite und in den dynamischen Phasen sogar bis zu $9,23^\circ$.

Die Ergebnisse des Lage-Sensors weichen in der Frontalebene ebenfalls von denen des MoCap Systems ab (ca. 1° im Mittel) Auch in dieser Analyse dokumentiert der Lage-Sensor geringere Neigungen als das Goldstandard-Verfahren.

Tabelle 4: Gemittelte maximale Winkel der Seitneigung der Sitzfläche in der Frontalebene [Winkelgrad] unterteilt in die verschiedenen Phasen der standardisierten Arbeit erhoben mit dem Motion Capturing System und dem Lage-Sensor

Gemittelte maximale Seitneigung Sitzfläche in der Frontalebene		Winkel [°] Phase 1	Winkel [°] Phase 2	Winkel [°] Phase 3	Winkel [°] Phase 4	Winkel [°] Phase 5
Motion Capturing	3D-Bürostuhl	2,50	3,12	9,23	4,92	8,22
	2D-Bürostuhl	0,65	0,67	1,18	1,17	1,20
Lage-Sensor	3D-Bürostuhl	1,45	3,18	7,50	2,39	6,81
	2D-Bürostuhl	0,44	0,55	2,16	2,35	1,91

Range of Motion

In den Abbildungen 11 und 12 wird die ROM der Sitzflächen beispielhaft dargestellt. Sie komplettieren die vorher aufgeführten Ergebnisse des Lage-Sensors und zeigen inwieweit sich die Sitzflächen in der Frontal- und Sagittalebene verhalten.

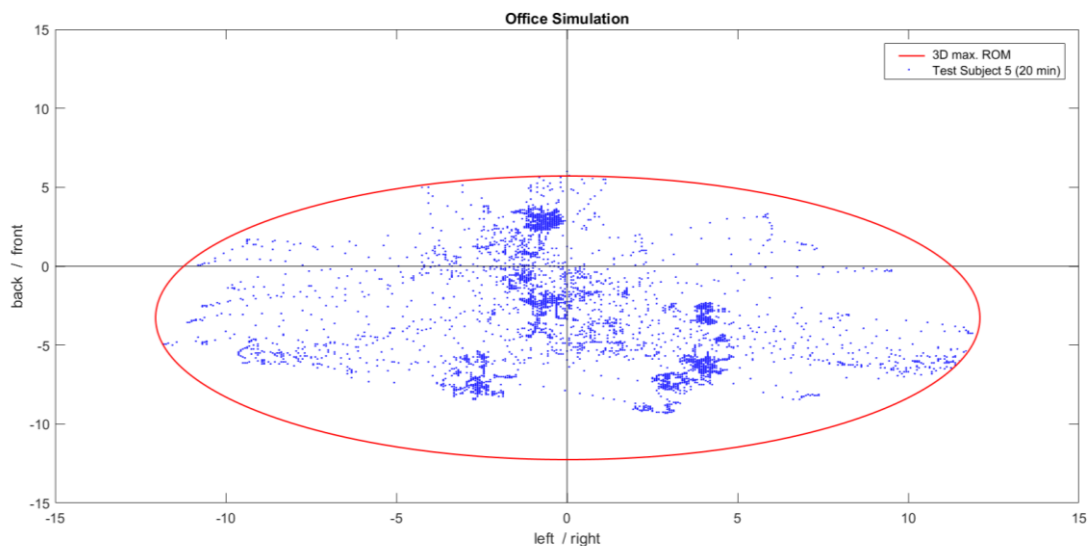


Abbildung 11: Range of Motion der Sitzfläche des 3D-Bürostuhls. Die blauen Punkte zeigen die Winkelstellungen in der Frontalebene (x-Achse) und Sagittalebene (y-Achse) zueinander an. Die rote Linie markiert die maximal mögliche Range of Motion.

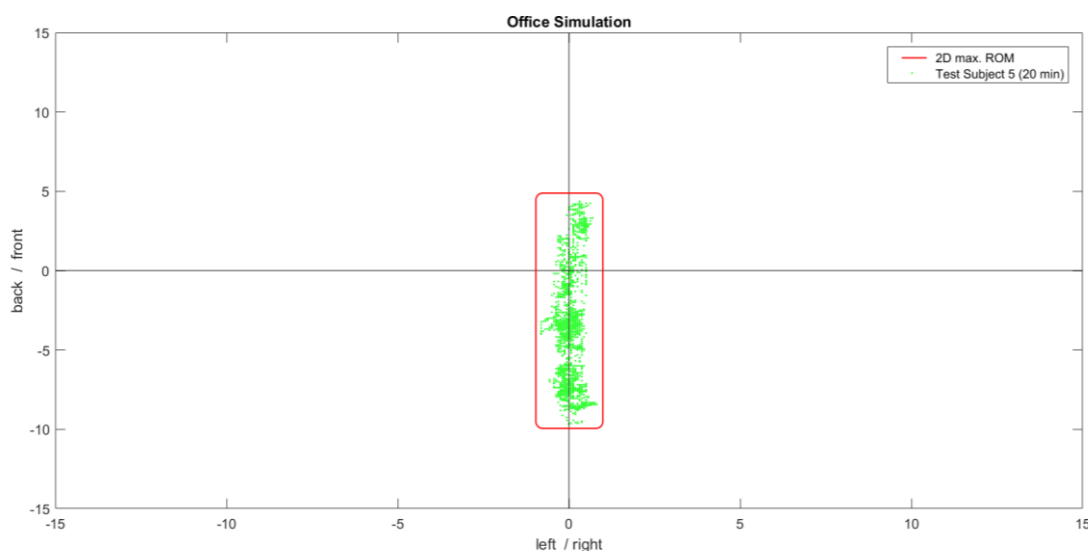


Abbildung 12: Range of Motion der Sitzfläche des 2D-Bürostuhls. Die grünen Punkte zeigen die Winkelstellungen in der Frontalebene (x-Achse) und Sagittalebene (y-Achse) zueinander an. Die rote Linie markiert die maximal mögliche Range of Motion.

Sauerstoffsättigung

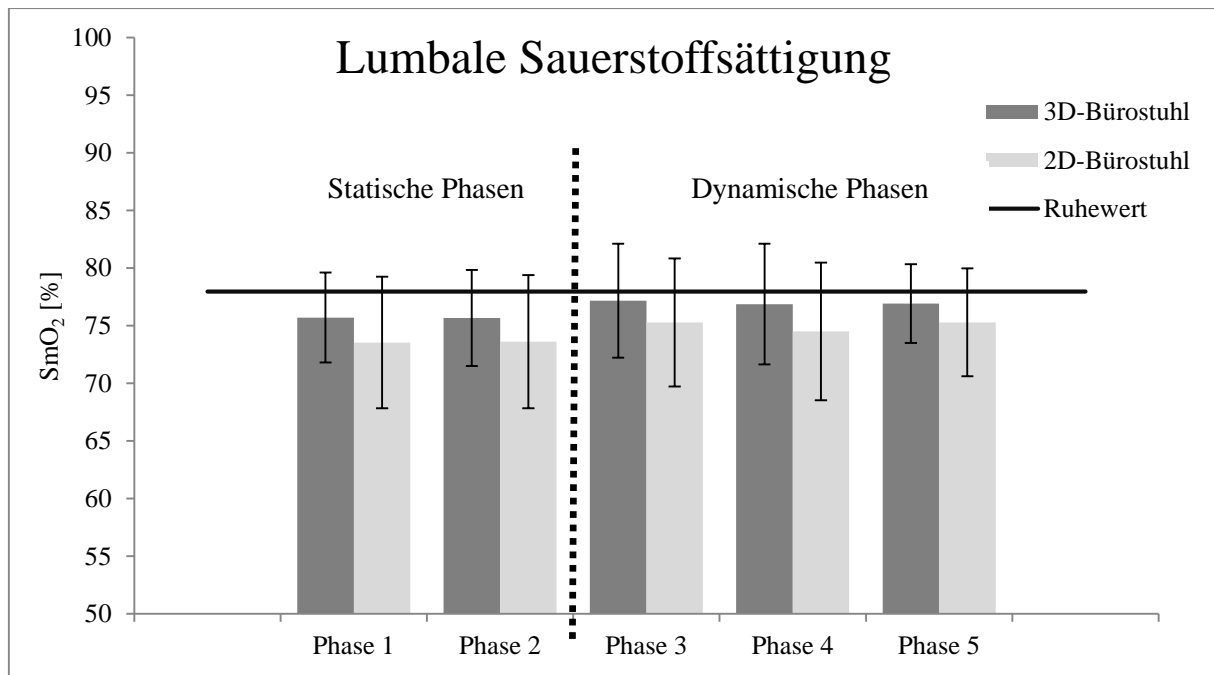


Abbildung 13: Gemittelte Durchschnittswerte der Sauerstoffsättigung sowie deren Standardabweichung und der gemittelte Ruhewert [%], unterteilt in die verschiedenen Phasen der standardisierten Büroarbeit

In den Ruhephasen vor der standardisierten Büroarbeit wird ein gemittelter Ausgangswert der Sauerstoffsättigung der lumbalen Rückenmuskulatur von 78% ($\pm 5,3\%$) erhoben. In den statischen Phasen der standardisierten Büroarbeit liegen die gemittelten Durchschnittswerte während des Sitzens auf dem 3D-Bürostuhl bei ca. 75,7% ($\pm 4,0\%$) bzw. bei 73,5% ($\pm 5,7\%$) beim 2D-Bürostuhl.

In den dynamischen Phasen erfahren die Durchschnittswerte der Sauerstoffsättigung eine Steigerung im Vergleich zu den Werten der statischen Phasen. So steigert sich die Sauerstoffsättigung in den dynamischen Phasen während der Nutzung des 3D-Bürostuhls auf einen Durchschnittswert von $78\% \pm 4,5\%$ und beim 2D-Bürostuhl auf $75\% \pm 5,4\%$.

Im Allgemeinen ist somit die Abweichung vom Ruhewert in allen Phasen während der Nutzung des 3D-Bürostuhls geringer als beim 2D-Bürostuhl. Die gemittelten Durchschnittswerte der Sauerstoffsättigung in der lumbalen Rückenmuskulatur sowie der durchschnittliche Ruhewert werden in Abbildung 13 grafisch dargestellt, des Weiteren lassen sich die genauen Ergebnisse der Tabelle 5 entnehmen.

Tabelle 5: Gemittelte Durchschnittswerte der Sauerstoffsättigung im Lendenmuskel in Prozent unterteilt in die verschiedenen Phasen der standardisierten Arbeit

		SmO ₂ [%] Phase 1	SmO ₂ [%] Phase 2	SmO ₂ [%] Phase 3	SmO ₂ [%] Phase 4	SmO ₂ [%] Phase 5
3D- Bürostuhl	Gemittelte Durchschnittswerte	75,72	75,68	77,17	76,88	76,93
	Standardabweichung	± 3,90	± 4,16	± 4,95	± 5,24	± 3,42
	In den Phasen zusammengefasst	75,7 ± 4,0		78 ± 4,5		
2D- Bürostuhl	Gemittelte Durchschnittswerte	73,54	73,61	75,29	74,51	75,29
	Standardabweichung	± 5,71	± 5,78	± 5,55	± 5,97	± 4,68
	In den Phasen zusammengefasst	73,5 ± 5,7		75 ± 5,4		

In der Einzelfallbetrachtung der Probanden sind innerhalb der Phasen Schwankungen der Sauerstoffsättigung zu erkennen. Diese Schwankungen lassen sich durch den Wechsel von Kontraktion und Relaxation des Muskels erklären. Während der Kontraktion des Muskels findet eine verringerte Durchblutung durch die Verengung der Blutgefäße statt. Wenn der Muskel im Anschluss wieder entspannt, weiten sich die Blutgefäße und der Muskel kompensiert die vorherige verminderte Durchblutung. Je nach Länge und Stärke der Kontraktion folgt sogar eine verstärkte Durchblutung.

Die Messung der Sauerstoffsättigung jeder Phase dauert 4 Minuten und wird für jede Phase im Anschluss als Mittelwert zusammengefasst. Dieses Vorgehen wird für jeden Probanden gleichermaßen durchgeführt und danach muss über alle Probanden wieder ein Mittelwert gebildet werden, um den Vergleich zwischen den Stühlen herstellen zu können. Durch das Mitteln aller Probanden wird die Varianz zwischen den Probanden dargestellt, die Varianz innerhalb einer Messung geht dadurch verloren. Daher wird in Abbildung 14 die Varianz der einzelnen Messungen anhand der Spannweite als Streuungsmaß verdeutlicht. Die folgende Abbildung zeigt somit die gemittelten Minima (unteres Ende der Balken) und Maxima (oberes Ende der Balken) der Sauerstoffsättigung der lumbalen Rückenmuskulatur sowie die resultierende Spannweite (gesamter Balken).

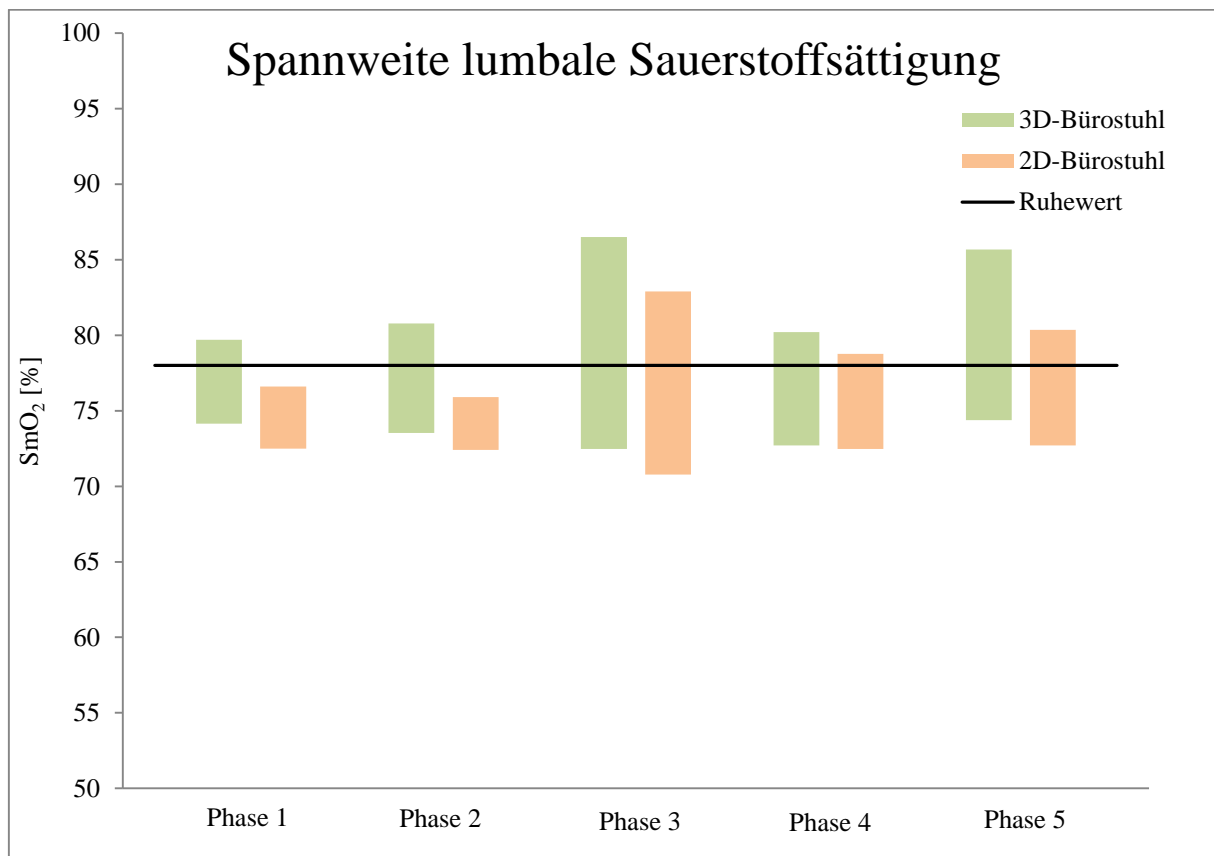


Abbildung 14: Grafische Darstellung der mittleren Minima, Maxima und resultierende Spannweite der Sauerstoffsättigung in der lumbalen Rückenmuskulatur [%], unterteilt in die verschiedenen Phasen der standardisierten Arbeit

Subjektiver Bewertungsfragebogen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Probanden-Befragung im Anschluss an die Nutzung der Bürostühle wiedergegeben. Zudem werden in den Klammern die Mittelwerte sowie die Standardabweichung der Antworten entsprechend der fünfstufigen Likert-Skala (von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“) aufgeführt. Diese Werte sind einheitslos und werden zum Verständnis im Fließtext umschrieben.

Nach der Nutzung des 3D-Bürostuhls geben die Probanden im Mittel eindeutig an, die dreidimensionalen Bewegungsmöglichkeiten zu entdecken ($4,08 \pm 0,81$). Die Probanden empfinden ihren Rücken durch den 3D-Bürostuhl um ein Vielfaches aktiver ($4,2 \pm 0,65$) als durch den 2D-Bürostuhl ($1,32 \pm 0,48$). Diese Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen,

dass die lumbale Rückenmuskulatur eine höhere physiologische Aktivierung in Form einer verbesserten Sauerstoffversorgung hat.

Durch die Nutzung des 2D-Bürostuhls nehmen die Probanden kaum bis gar keine positiven Auswirkungen auf ihren unteren Rücken wahr ($1,76 \pm 0,60$). Im Gegensatz dazu spüren die Probanden auf dem 3D-Bürostuhl positive Auswirkungen viel deutlicher ($2,96 \pm 0,61$). Hierbei ist anzumerken, dass die relativ kurze Zeit der dynamischen Nutzung (12 Minuten) die wahrnehmbaren Effekte wahrscheinlich stark eingeschränkt hat.

Nach der Nutzung des 3D-Bürostuhls fühlen die Probanden, dass die Freiheitsgrade des Bürostuhles die Bewegung des Rückens ($3,92 \pm 0,91$) und auch der Hüfte fördern (Hüfte: $3,12 \pm 0,67$). Dahingegen werden nach der Nutzung des 2D-Bürostuhls diese Aussagen als eher nicht zutreffend bewertet (Rücken: $2,00 \pm 0,44$; Hüfte: $1,68 \pm 0,48$). Auf dem 3D-Bürostuhl sitzen die Probanden gerne ($3,72 \pm 0,89$) und würden diesen Bürostuhl auch sehr gerne an ihrem Arbeitsplatz nutzen ($4,16 \pm 0,69$). Der 2D-Bürostuhl schneidet auch hier deutlich schlechter ab. In Abbildung 15 sind die Ergebnisse der Befragung in einem Netzdiagramm dargestellt.

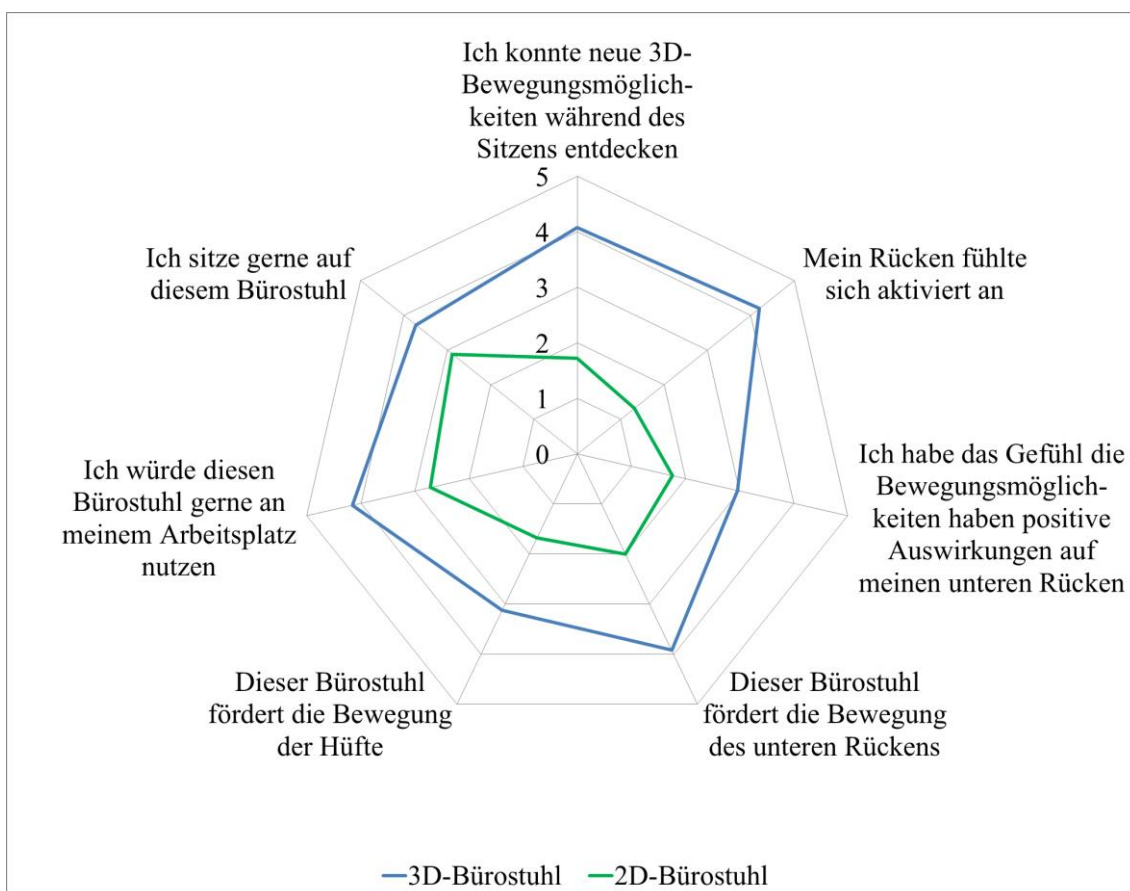


Abbildung 15: Grafische Darstellung der Ergebnisse der Befragung nach der Nutzung der Bürostühle

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie ist es zu untersuchen, ob die neuartigen dreidimensionalen Bewegungsmöglichkeiten des Bürostuhls „IN“ in einem (simulierten) Büroalltag genutzt werden und ob diese im Vergleich zu Bewegungen auf einem herkömmlichen Bürostuhl zu einer besseren Sauerstoffsättigung der lumbalen Rückenmuskulatur führen. Des Weiteren evaluiert diese Studie, ob ein anwenderfreundlicher Lage-Sensor zur Bestimmung der Bürostuhl-Bewegungen geeignet ist.

Die Bewegungsanalyse zeigt, dass vor allem die Bewegung der Seitneigung des 3D-Bürostuhls von den Sitzenden während typischer Büroarbeit genutzt wird, die Rotation der Rückenlehne wird nur teilweise genutzt. Zudem wird die Versorgung der lumbalen Rückenmuskulatur mit sauerstoffreichem Blut durch die vielseitigeren Bewegungen des 3D-Bürostuhls gefördert. Um diese Aktivierung zu quantifizieren, eignet sich ein Lage-Sensor nur bedingt.

Die Bewegungsanalyse anhand des MoCap Systems und des Lage-Sensors zeigt, dass sich sowohl der Sitzende als auch der Bürostuhl sehr stark in Abhängigkeit von der zu bewältigenden Aufgabe bewegen. In den statischen Phasen, in denen fast nur Arbeit mit den Händen verrichtet werden muss, bleibt der Körper des Sitzenden relativ starr. Dementsprechend bewegt sich der Bürostuhl ebenfalls wenig. Muss der Sitzende eine Aufgabe erledigen, bei denen neben der Hand weitere Gliedmaßen und sogar eine Neigung des Oberkörpers notwendig ist, bewegen sich beide Bürostühle ebenfalls mehr. Die höhere körperliche Aktivität spiegelt sich in den Ergebnissen der Untersuchung der Stoffwechselprozesse wider. So führt eine gesteigerte Aktivität im Sitzen zu einer Steigerung der Sauerstoffsättigung in der lumbalen Rückenmuskulatur. Diese Ergebnisse werden unterstützt durch vorherige Studien zur Aktivität des Muskels beim aktiven Sitzen (Ellegast, R. P. et al. 2012; van Dieën, J. H., Looze, M. P. de, Hermans, V. 2001). In der vorliegenden Studie kann gezeigt werden, dass Bewegungshäufigkeit und Bewegungsausmaß im direkten Zusammenhang mit der Sauerstoffsättigung in der lumbalen Rückenmuskulatur stehen.

Des Weiteren zeigen sich in der genaueren Betrachtung der Bewegungsanalyse Unterschiede im Bewegungsausmaß der Bürostühle und des Nutzers, welche ebenfalls einen Einfluss auf die Sauerstoffsättigung in der Rückenmuskulatur haben:

Werden die Bewegungen der Bürostühle verglichen, zeigt sich, dass der 3D-Bürostuhl die Bewegungen des Sitzenden in allen Phasen mehr begleitet als der 2D-Bürostuhl. Und dies vor

allem auf physiologische Weise, da Neigung, Kippen und Rotation des menschlichen Beckens so gut wie nicht isoliert durchgeführt werden können.

Lediglich im Bewegungsausmaß in der Sagittalebene schneiden die beiden Bürostühle gleich ab. Der 2D-Bürostuhl ermöglicht nur geringfügige Bewegungen in der Transversal- und Frontalebene, das genutzte Bewegungsausmaß des 3D-Bürostuhls dahingegen ist um ein vielfaches größer. Die Rotations-Bewegungen des 3D-Bürostuhls werden nicht komplett ausgeschöpft, wie die Untersuchung der Range of Motion zeigt. Dies wird dadurch erklärt, dass zumeist bei einem seitlichen Nachhinten-greifen das Zurücklehnen gegenüber der Rotation präferiert wird. In einigen Fällen kann eine Rotation der Rückenlehne bis zu 11° beobachtet werden, welche jedoch von den Probanden nur selten genutzt wird. Demgegenüber wird sich mit dem 3D-Bürostuhl stark zur Seite geneigt. Der 3D-Bürostuhl begünstigt sogar in den statischen Phasen eine Veränderung der Sitzposition.

Diese gesteigerte körperliche Aktivität, welche durch den 3D-Bürostuhl begünstigt wird, spiegelt sich in einer besseren Versorgung der lumbalen Rückenmuskulatur mit Sauerstoff sowohl in den dynamischen als auch in den statischen Phasen wider. Der 3D-Bürostuhl fördert den Wechsel zwischen An- und Entspannung der Rückenmuskulatur deutlich besser, so dass der Rückenmuskulatur häufiger eine erhöhte Versorgung mit sauerstoffreichem Blut zur Verfügung steht (vgl. Abb. 14). Während der Nutzung des 3D-Bürostuhls weicht der Durchschnittswert der Sauerstoffsättigung klar weniger vom Ausgangswert ab, als beim 2D-Bürostuhl (vgl. Abb. 13).

Im Vergleich der Bewegungsanalyse der Sitzfläche zwischen Lage-Sensor und MoCap System wird ersichtlich, dass der Lage-Sensor durchaus eine Möglichkeit bietet, das Sitzverhalten des Nutzers abzubilden. Bewegungen der Sitzfläche werden mit einer tolerierbaren Messgenauigkeit erhoben. Gerade vor dem Hintergrund der Anwenderfreundlichkeit, sowie Zeit- und Kosteneinsparung erscheint solch ein Lage-Sensor als durchaus vielversprechender Ansatz. So wird ein Unterschied in der Bewegungshäufigkeit und dem Bewegungsausmaß der offerierten Bewegungsmöglichkeiten deutlich. Die Analyse der Rückenlehn-Bewegungen bedürfte jedoch eines weiteren Sensors. Die Ableitung zu den Bewegungen des Sitzenden kann zumindest eingeschränkt Verwendung finden.

Die Befragung der Probanden nach der Nutzung der Bürostühle zeigt, dass die dreidimensionalen Bewegungsmöglichkeiten des 3D-Bürostuhles intuitiv entdeckt werden. Die

Sitzenden registrieren während der Nutzung der vielfältigeren Bewegungsmöglichkeiten des 3D-Bürostuhls eindeutig eine Aktivierung ihres Rückens, welche auf dem 2D-Bürostuhl nicht auffällt. Zudem haben die Probanden das Gefühl, dass der 3D-Bürostuhl positive Auswirkungen auf ihren unteren Rücken hat, wohingegen der 2D-Bürostuhl dieses Gefühl nicht hervorruft.

Fazit

Der 3D-Bürostuhl fördert während typischer Büroarbeit, bei denen der Körper relativ starr bleibt, Veränderungen der Sitzposition. Zudem unterstützt er die Bewegungen des Sitzenden auf eine natürliche Art und Weise bei Bewegungen. Die Nutzung eines 3D-Bürostuhls ist ein effektiverer Ansatz, um die negativen Folgen des langen Sitzens durch eine erhöhte Aktivität zu reduzieren. Vielversprechend sind ebenfalls die Ergebnisse der physiologischen Versorgung der Rückenmuskulatur. Das 3D-Sitzen führt zu einer höheren Sauerstoffsättigung der lumbalen Rückenmuskulatur im Vergleich zum Sitzen auf einem herkömmlichen Bürostuhl.

In Kombination mit einem höhenverstellbaren Tisch ist der 3D-Bürostuhl ein deutlich effizienterer Ansatz dem monotonen Sitzen entgegenzuwirken.