

Sachbericht – Teil 1

Projektdaten

Projekttitel: Hipwings: Der smarte Bewegungsassistent für das Büro
Förderkennzeichen: 16SV8915

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand

Evolutionär hat sich der menschliche Körper auf viel Bewegung im Alltag eingestellt. Doch die moderne Arbeitswelt ist geprägt von langen Sitzzeiten und körperlicher Inaktivität. Dies führt zu Volkskrankheiten wie Rückenschmerzen, Diabetes und Herz-Kreislaufkrankungen. Ergonomische Büroausstattung und Maßnahmen der betrieblichen Gesundheitsförderung können die steigenden Fallzahlen bisher nicht aufhalten.

Im Projekt Hipwings wurde deshalb ein smarterer Bürostuhl erforscht, der die sitzende Person zu Bewegungen anregt, ohne ihre Konzentration zu stören. Dazu wurden elektromotorisch bewegte Sitzteile eingesetzt, die sich interaktiv und automatisch an die Bewegungsbedürfnisse der Person anpassen. Das Projekt zielte darauf ab, eine Bewegungsförderung zu ermöglichen, die über lange Zeiträume während sitzender Tätigkeiten Bewegungen aufbringen und damit körperliche Inaktivität und statische Sitzhaltungen vermeiden kann. Zusätzlich zur Bewegungsförderung wurde im Projekt untersucht, ob sich mit der interaktiven Technologie Stress detektieren und reduzieren sowie Rückenschmerzen lindern lassen.

2. Ablauf des Vorhabens

Die Projektarbeit wurde in fünf aufeinander aufbauenden Arbeitspaketen (AP) durchgeführt:

AP 1: Interaktive Schnittstelle

Es wurde eine interaktive Nutzerschnittstelle entwickelt, die Nutzerbedürfnisse während sitzender Tätigkeiten in Echtzeit detektieren und die Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls automatisch daran anpassen kann.

AP 2: Parameterstudie zur Erhöhung der Bewegungszeit

Es wurde untersucht, welche Form und Intensität der Bewegungsanregungen Nutzerinnen und Nutzer während verschiedener Arbeitsphasen bevorzugen. Mit diesen Erkenntnissen wurde eine automatische Bewegungssteuerung entwickelt, um die Bewegungszeit und -intensität der Person während ihres Arbeitstages zu steigern.

AP 3: Stresserkennung

Es wurde ein Algorithmus zur Stresserkennung entwickelt und erforscht. In Arbeitsphasen mit erhöhtem Stressempfinden wurde untersucht, ob sich das Stressempfinden mit Bewegungsanregungen durch den smarten Bürostuhl reduzieren lässt.

AP 4: Neuromuskuläres Aktivierungsprogramm

Es wurde ein individuell angepasstes Perturbationstraining für den smarten Bürostuhl entwickelt. Damit wurde untersucht, ob sich unspezifische chronische Schmerzen des unteren Rückens reduzieren lassen.

AP 5: Förderung des Bewegungsverhaltens

Es wurde das individuelle Sitzverhalten von Personen untersucht, um personalisierte Empfehlungen für ein gesundheitsbewusstes Bewegungsverhalten zu ermöglichen.

3. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Das Verbundprojekt *Hipwings* wurde von der Vintus GmbH und dem Lehr- und Forschungsbereich Sportmedizin und Sporternährung der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt.

Im Rahmen des Projekts wurde eine interaktive Software entwickelt, die Nutzerbedürfnisse während sitzender Tätigkeiten erkennt und die Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls automatisch daran anpasst. Dazu wurden Sensoren zur Messung von Kräften, Bewegungen und Sitzhaltungen der Person eingesetzt. Mit diesem System wurden sowohl Labor- als auch Feldversuche mit Probandinnen und Probanden an ihren Büroarbeitsplätzen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass sich die Bewegungszeit mit der interaktiven Software um bis zu 32 % im Vergleich zur Nutzung des smarten Bürostuhls mit manueller Bewegungseinstellung steigern ließ. Die Bewegungszeit während eines Arbeitstages ließ sich mit dem System bei allen Personengruppen steigern und damit die Sitzzeiten mit statischen Sitzhaltungen reduzieren. Während die interaktive Technologie bei Personen mit dynamischem Sitzverhalten genutzt wurde, um ihre Eigenbewegungen zu steigern, profitierten Personen mit inaktivem Sitzverhalten ebenfalls von der Technologie. Denn in diesem Fall regte der smarte Bürostuhl die Personen über lange Sitzzeiten automatisch zu Bewegungen an, in denen sie sich ansonsten nicht bewegt hätten.

Über die Bewegungsförderung hinaus wurde im Projekt untersucht, ob sich das Stresslevel einer Person mit Hilfe der vom smarten Bürostuhl detektierten Bewegungsdaten quantifizieren lässt. Dazu wurde ein Algorithmus zur Stresserkennung entwickelt und erforscht. Es zeigte sich ein Zusammenhang zwischen den Bewegungsdaten der Person und ihrem Stresslevel. Allerdings beeinträchtigten die Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls diese Messungen. Deshalb wurden die Stressmessungen während kurzer Pausen der Bewegungsanregungen durchgeführt.

Weiterhin wurde erforscht, ob sich mit dem smarten Bürostuhl unspezifische chronische Schmerzen des unteren Rückens reduzieren lassen. Dazu wurden Perturbationstrainings eingesetzt. Perturbationen sind zufällig erzeugte Störungen der Wirbelsäulenstabilität, die die neuromuskuläre Kontrolle, als wichtigem Teil der Wirbelsäulenstabilität, verbessern. Um mit dem smarten Bürostuhl Perturbationen auf die sitzende Person aufbringen zu können wurde eine entsprechende Software entwickelt. Dieser Ansatz wurde anschließend in Laborstudien mit Probandinnen und Probanden untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich mit dem smarten Bürostuhl höhere Muskelaktivierungen bei den Probandinnen und Probanden anregen ließen, als für die Wirksamkeit von Perturbationstrainings erforderlich ist. Auf dieser Grundlage wurde ein automatisiertes Perturbationstraining zur Nutzung mit dem smarten Bürostuhl entwickelt, das mehrmalige Interventionen mit darauf abgestimmten Pausenzeiten vorsieht.

Auf Basis der vorherigen Arbeitspakete wurde anschließend ein Algorithmus zur Förderung des Bewegungsverhaltens entwickelt. Dieser ermittelt zunächst den „Sitztyp“ einer Person, der ihr intrinsisches Bewegungsverhalten beschreibt. Mit dieser Analyse passte der Algorithmus die Bewegungsanregungen an den individuellen Bedarf der Person an. Zudem erhielt die Person über eine Smartphone App ein Feedback zu ihrem Bewegungsverhalten sowie passende Empfehlungen zur Steigerung ihrer Bewegungsaktivität im Arbeitsalltag.

Sachbericht – Teil 2

Ausführliche Darstellung der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten

Inhalt

1	Projektdaten	1
2	Projekthintergrund und Aufgabenstellung	1
3	Projektziele	2
4	Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik.....	3
5	Vorarbeiten	3
6	Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse	4
7	Zahlenmäßiger Verwendungsnachweis	11
8	Nutzen im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	11
9	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	12
10	Veröffentlichungen.....	14
11	Quellenverzeichnis	15

1 Projektdaten

Projekttitel:	Hipwings: Der smarte Bewegungsassistent für das Büro
Förderkennzeichen:	16SV8915
Projektträger des BMBF:	VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Zuwendungsempfänger:	Vintus GmbH

2 Projekthintergrund und Aufgabenstellung

Evolutionär ist der menschliche Körper für ständige Bewegung gemacht. Doch heute findet sowohl die Erwerbstätigkeit als auch die Freizeit überwiegend im Sitzen statt. Dies führt im Alltag zu langen Zeiten körperlicher Inaktivität. Die Folge sind Volkskrankheiten wie Rückenschmerzen, Diabetes, Herz-Kreislaufkrankungen, Übergewicht und Depressionen.¹ Unternehmen und Sozialversicherungen reagieren in den letzten Jahren verstärkt durch erhöhte Investitionen in ergonomische Büroausstattung und Maßnahmen der Betrieblichen Gesundheitsförderung (BGF)². Dennoch nehmen Volkskrankheiten wie Rückenschmerzen zu³, da die Sitzzeiten aufgrund der Digitalisierung, längerer Lebensarbeitszeiten und dem demografischen Wandel stetig steigen⁴. Studien zeigen, dass der gesundheitsschädigende Effekt des Dauersitzens durch sportliche Betätigung kaum kompensiert werden kann.⁵ Um Gesundheitsrisiken zu vermeiden sind deshalb selbst Sportlerinnen und Sportler mit sitzenden Tätigkeiten darauf angewiesen, leichte Bewegungen über den Tag verteilt zu integrieren.⁶ Da Beschäftigte durchschnittlich 60 % ihrer Tageszeit am Arbeitsplatz verbringen, hat das Verhalten im Büro einen entscheidenden Einfluss auf ihre Gesundheit.⁷ Mit über 18 Millionen Beschäftigten im Büro ist in Deutschland mehr als die Hälfte der Erwerbsbevölkerung betroffen.⁸

Ergonomische Büroausstattung wird in der Breite angenommen, da sie bequem und ohne zusätzlichen Zeitaufwand anwendbar ist. Allerdings ist ihre Wirksamkeit begrenzt, weil die Bewegungsfunktionen in der Praxis zu selten und zu wenig genutzt werden. Denn durch die passiv mechanischen Funktionsprinzipien heutiger Bürostühle kann Bewegung nur durch Nutzerinnen und Nutzer selbst ausgelöst werden. Ihr Fokus liegt jedoch auf der Arbeit, sodass die Bewegungsfunktionen in der Praxis nicht regelmäßig angewendet werden und es deshalb auch mit ergonomischen Bürostühlen zu körperlicher Inaktivität und einseitigen Belastungshaltungen kommt. Maßnahmen des BGF, wie Fitnessübungen am Arbeitsplatz, sind wirkungsvoller, aber erfordern ein höheres persönliches Engagement und Unterbrechen den Arbeitsfluss. BGF Maßnahmen werden deshalb vorrangig von Personen mit ohnehin schon aktivem Lebensstil genutzt, während Personen mit inaktivem Lebensstil und damit dem höchsten Bedarf für Bewegungsförderung kaum erreicht werden.⁹

Mit dem Ziel eine wirkungsvolle Bewegungslösung für das Büro mit einer breiten Akzeptanz zu verbinden, hat die Vintus GmbH die smarten Bürostühle *Hipwings* entwickelt. Sie sorgen für regelmäßige leichte Bewegungen im Arbeitsalltag. Nutzerinnen und Nutzer können sich wie auf bekannten ergonomischen Bürostühlen darauf bewegen, werden aber zusätzlich durch elektromotorisch bewegte Sitzteile auch aktiv zu Bewegungen angeregt. Dies geschieht durch eine eigens entwickelte Bewegungskinematik und Elektronik, die von Elektromotoren angetrieben und von einem integrierten Akku versorgt wird. Hipwings regen Nutzerinnen und Nutzer damit zu natürlichen Bewegungen an, ohne das konzentrierte Arbeiten zu stören. Durch diesen Ansatz wird es möglich die Bewegung während der Büroarbeit zu erhöhen, ohne dass die Person ihre Arbeit unterbrechen oder ihr Verhalten verändern müsste.

Um die Bewegungsförderung über möglichst lange Zeiträume während der Bürotätigkeit möglich zu machen, muss sich der smarte Bürostuhl an die zeitlich veränderlichen Nutzeranforderungen während eines realen Arbeitsalltags anpassen. Denn entwicklungsbegleitende Probandentests haben gezeigt, dass das Bewegungsbedürfnis und die -bereitschaft durch verschiedene Arbeitssituationen zeitlichen Änderungen unterliegt. Für eine langzeitige und ablenkungsfreie Anwendung während der Büroarbeit ist deshalb eine automatische Anpassung der Bewegungsanregung notwendig. Ziel dieses Projekts war deshalb die Erforschung einer interaktiven Schnittstelle, die die veränderlichen Nutzerbedürfnisse detektieren und die Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls automatisch daran anpassen kann.

3 Projektziele

Ziel des Fördervorhabens war es, die aktuellen Nutzerbedürfnisse während sitzender Tätigkeiten zu monitoren und eine interaktive Schnittstelle zwischen Mensch und Technik zu erforschen, die die Bewegungsanregungen automatisch an die aktuellen Nutzerbedürfnisse anpasst. Damit sollte das gesundheitsfördernde Bewegungspotential während eines Arbeitstages nutzbar gemacht werden. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde deshalb eine interaktive Schnittstelle zur Analyse des aktuellen Nutzerbedürfnisses und einer in Echtzeit darauf abgestimmten Bewegungsanregung erforscht. Zusätzlich zur Bewegungsförderung sollten weitere Analyse- und Interventionsmöglichkeiten für die Gesundheitsförderung mit der neu entwickelten interaktiven Schnittstelle untersucht werden. Dies war zum einen die neuromuskuläre Aktivierung zur Therapie von Rückenschmerzen. Zum anderen, wie das aktuelle Stressempfinden detektiert und ob Stress mit Bewegungsanregungen vorgebeugt werden kann. Die Forschungsziele wurden in drei Forschungsfragen zusammengefasst:

- 1) *Wie muss eine interaktive Unterstützung durch den smarten Assistenten aussehen, um das individuelle Potential für Bewegung während der Büroarbeit auszuschöpfen?*
- 2) *Wie lässt sich das aktuelle Stressempfinden der Person mit Hilfe einer interaktiven Schnittstelle messen und durch die Verknüpfung mit individuellen Routinen der Bewegungsanregung reduzieren?*
- 3) *Wie kann die Echtzeit-Interaktion der Schnittstelle genutzt werden, um Rückenschmerzen mit Hilfe von personalisierten neuromuskulären Aktivierungen zu reduzieren?*

4 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Die internationale Studienlage ist eindeutig hinsichtlich der negativen Folgen des sedentären Lebensstils.^{1,6,10,11} Weltweit ist sie in Leitlinien von Gesundheitsbehörden eingeflossen.¹² Forschungslücken zeigen sich hingegen bei der Frage nach wirksamen Präventions- und Interventionsansätzen.¹³ Verbreitete Lösungen für die Bewegungsförderung am Arbeitsplatz sind ergonomische Bürostühle und Stehtische. Sie werden ergänzt um BGF Maßnahmen, die ein Teilgebiet des Betrieblichen Gesundheitsmanagements (BGM) sind. Wissenschaftliche Studien zeigen jedoch, dass der primär-präventive Einsatz verschiedener ergonomischer Stühle keinen Einfluss beispielsweise auf die Inzidenz von Rückenschmerzen verglichen mit Standardmöbeln hat.¹⁴ Denn dazu werden die Bewegungsmöglichkeiten in der Praxis zu selten und zu wenig genutzt. Stehtische ermöglichen zusätzliche Körperhaltungen während der Büroarbeit. Gesundheitsförderlich ist dabei insbesondere der Wechsel zwischen dem Sitzen und Stehen. In der Praxis findet dieser Wechsel der Körperhaltung durchschnittlich jedoch nur 3 Mal am Tag statt. Das Verharren in der stehenden Körperhaltung ist hingegen ähnlich problematisch wie das Sitzen.¹⁵ Mit aktuellen Ansätzen anderer Forschungsgruppen wird versucht, Haltungswechsel auf dem Bürostuhl anzuregen, indem akustische oder haptische Signale ausgegeben werden, wenn ein Beschleunigungssensor zu lang Zeiten der Inaktivität detektiert.¹⁶ Ein anderes Forschungsprojekt untersucht, ob sich regelmäßige Haltungswechsel durch eine automatische Konturanpassung der Sitz- und Rückenfläche des Bürostuhls realisieren lassen.¹⁷ Wissenschaftliche Studien zu Nischenanwendungen wie Office Bikes oder Laufbändern unter dem Schreibtisch zeigen, dass sie zwar positive gesundheitliche Effekte haben, gleichzeitig aber wenig genutzt werden¹⁸. Ursächlich sei, dass das Design dieser ursprünglich für den Fitnessbereich entwickelten Geräte nicht zu den Büroanforderungen passe, dass sie nicht in die soziale Arbeitsumgebung passten, und dass sie wegen bestehender Angewohnheit nicht genutzt würden.^{13,19}

5 Vorarbeiten

Am Lehr- und Forschungsbereich Sportmedizin und Sporternährung der Ruhr-Universität Bochum wurde 2020 eine Vergleichsstudie zwischen Hipwings mit manueller Einstellung der Bewegungsanregungen und einem marktüblichen ergonomischen Bürostuhl mit 20 Probandinnen und Probanden durchgeführt.

Als Schlüsselfaktor zur Vorbeugung von Rückenschmerzen gelten regelmäßige Bewegungen der Wirbelsäule und damit verbundene Belastungswechsel.²⁰ Ihren Ursprung haben Rückenschmerzen am häufigsten im Bereich der Lendenwirbelsäule (LWS).²¹ Im Rahmen der Vergleichsstudie wurde deshalb untersucht, welchen Einfluss Hipwings auf die Bewegung der Lendenwirbelsäule sowie die Aktivität der Haltemuskulatur des Rückens haben. Dazu wurde die Wirbelsäulenbewegung und die Muskelaktivität des Lumbar Erector Spinae (LES) bei der Nutzung von Hipwings verglichen mit der Nutzung eines heute marktüblichen ergonomischen Bürostuhls. Die Auswertung der Lendenwirbelsäulenbewegung aller 20 Probandinnen und Probanden zeigte, dass im Durchschnitt 125 Bewegungen pro Stunde mit dem ergonomischen Referenzstuhl stattfanden. Bei

der Nutzung von Hipwings wurden im Durchschnitt 1494 Bewegungen pro Stunde gemessen. Damit war die Bewegungsintensität mit Hipwings im Durchschnitt um den Faktor 11 höher als auf dem ergonomischen Referenzstuhl. Zur Einordnung, aus der Literatur ist bekannt, dass sich die Bewegungsintensität mit Sitzbällen um den Faktor 2 steigern lässt.²²

Neben der Anzahl der Bewegungen war auch das Ausmaß der Lendenwirbelsäulenbewegung mit Hipwings statistisch signifikant erhöht. Damit konnte gezeigt werden, dass die kontinuierliche Bewegung statische Körperhaltungen und einseitige Belastungshaltungen vermeidet.

Um die Reaktion der Haltemuskulatur auf die äußere Bewegungsanregung zu untersuchen, wurde die Muskelaktivität des LES gemessen. Im Durchschnitt aller Probandinnen und Probanden kam es auf dem ergonomischen Referenzstuhl zu 46 Muskelaktivierungen pro 30 min. Bei der Nutzung von Hipwings kam es zu 203 Aktivierungen pro 30 min. Die Anzahl der Muskelaktivierungen war mit Hipwings damit um den Faktor 4,4 höher.

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass neben regelmäßiger Bewegung der Wirbelsäule, die Wirbelsäulenstabilität entscheidend für eine wirkungsvolle Prävention von Rückenschmerzen ist. Die Wirbelsäulenstabilität wiederum hängt von der Muskelstärke, aber insbesondere auch von der Funktion der neuromuskulären Kontrolle ab.²³ Der relevante Musculus erector spinae besteht aus vielen kleineren Muskeln, die für die Segmentale Stabilität der Wirbelsäule mitverantwortlich sind.²⁴ Aus der Literatur ist bekannt, dass eine Aktivierung der Muskulatur mit geringen „maximum voluntary isometric contractions“ (MVIC) von 1-3 % bereits ausreichend für die Stabilisierung des Spinalsystems ist.²⁵ Mit der untersuchten Bewegungsbahn der Hipwings wurde eine Muskelaktivierung von bis zu 8 % MVIC erzielt. Durch die Modifikation der Bewegungsbahn lässt sich zudem die Muskelaktivierung und der daraus resultierende MVIC sowohl steigern als auch senken.

Um sicherzustellen, dass die Bewegungsanregungen der Hipwings die Konzentration auf die Arbeit nicht beeinträchtigt, wurde in der Vergleichsstudie sowohl ein standardisierter Konzentrationstest zur objektiven Messung der Konzentrationsfähigkeit, als auch eine Befragung der Probandinnen und Probanden zu ihrem subjektiven Empfinden durchgeführt. Sowohl die Messung der Konzentrationsfähigkeit als auch die Befragungen zeigten, dass die angewandte Bewegungsanregung die Konzentration nicht beeinträchtigte und nicht als ablenkend empfunden wurde.²⁹

6 Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im Projekt wurden die drei Forschungsfragen (siehe Kapitel 3 – Projektziele) in fünf Arbeitspaketen (AP) untersucht. AP 2 bis 5 wurden in Kooperation mit dem Lehr- und Forschungsbereich Sportmedizin und Sporternährung der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt. Im Folgenden werden die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse dargestellt.

AP 1: Interaktive Schnittstelle (Software)

Das Arbeitspaket wurde wie geplant abgeschlossen. Es wurde eine interaktive Nutzerschnittstelle zwischen Mensch und smartem Bürostuhl entwickelt, die die Grundlage für die weiteren Forschungsarbeiten war. Dazu wurde die hardwareseitige vorhandene Sensorik genutzt. Sie besteht aus einem Beschleunigungssensor, einem Sitzsensor und einem patentierten Verfahren, mit dem die Nutzerkräfte auf den smarten Bürostuhl analysiert werden konnten. Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Softwareentwicklung. Die Software besteht aus einem Analyseteil, der die aktuellen Nutzerbedürfnisse detektiert, und einem Steuerungsteil, der die

Bewegungsanregungen laufend an diese erkannten Nutzerbedürfnisse anpasst. Der Analyseteil gibt die Parameter „Störgrenze“ und „Bewegungsbereitschaft“ zur Beschreibung der aktuellen Nutzerbedürfnisse an den Steuerungsteil der Software weiter. Dabei ist der Parameter „Störgrenze“ die Intensität der Bewegungsanregung, ab der die Person sich in der aktuellen Situation gestört und von ihrer Arbeit abgelenkt fühlen würde. Die Bewegungsanregungen müssen also stets unterhalb dieser laufend neu ermittelten Störgrenze bleiben. Die Bewegungsbereitschaft zeigt hingegen an, mit welcher Intensität die Person in der aktuellen Situation zu Bewegungen angeregt werden möchte. Mit diesen Parametern wurde in den nachfolgenden Arbeitspaketen eine automatische Anpassung der Bewegungsanregungen ermöglicht, ohne dass die Person sie manuell an ihre Bedürfnisse anpassen musste und dadurch von ihrer Arbeit abgelenkt wurde. Während der Softwareentwicklung in AP 1 wurden regelmäßig Rückmeldungen von Testnutzerinnen und Testnutzern eingeholt.

AP2: Parameterstudie zur Erhöhung der Bewegungszeit

Das Arbeitspaket wurde mit etwas Verzögerung abgeschlossen, da die Feldversuche in externen Unternehmen entsprechend der dortigen betrieblichen Belange abgestimmt wurden. Es wurden zunächst die technischen, rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen für die Durchführung von Versuchen mit Probandinnen und Probanden in externen Organisationen geschaffen. Die Personen wurden aufgeklärt und an ihrem Arbeitsplatz in die Nutzung der Hipwings eingewiesen. In den Versuchen konnten die Personen die Intensität und Form der Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls manuell über eine Smartphone-App einstellen und es waren in diesem Versuchsteil absichtlich noch keine automatischen Anpassungen der Bewegungsanregungen aktiviert. Damit wurde in einem ersten Schritt untersucht, welche Bewegungsintensitäten und Bewegungsformen die Probandinnen und Probanden von sich aus während ihrer unterschiedlichen Arbeitsphasen auswählten. Sowohl die von den Personen eingestellten Parameter als auch deren Nutzungsdaten wurden nach ihrem informierten Einverständnis teilanonymisiert aufgezeichnet. Von besonderem Interesse war hinsichtlich der ersten Forschungsfrage (siehe Kapitel 3 - Projektziele), welche messbaren Parameter mit dem Bewegungsverhalten der Personen korrelierten und damit für eine automatisierte Steuerung zur Steigerung der Bewegungszeit genutzt werden konnten.

Die Analyse der Versuchsdaten zeigte, dass eine positive Korrelation besteht, einerseits zwischen den Kräften, die vom Kraftsensor gemessen und von der Person auf den Stuhl aufgebracht wurden, sowie andererseits der Störgrenze. Das bedeutet, dass eine Person die von sich aus vermehrt Kräfte auf die Sitzfläche aufbringt auch ohne Störungen stärker zu Bewegungen angeregt werden kann.

Daraus konnte abgeleitet werden, dass die aktiven Bewegungsanregungen reduziert werden sollten, wenn entsprechende Kraftsignale der Person detektiert werden, um eine Störung während der Arbeitstätigkeit zu vermeiden. Die Bewegungen der Person auf dem smarten Bürostuhl wurden weiterhin mit einem Beschleunigungssensor am Gestell des smarten Bürostuhls gemessen. Es wurde eine positive Korrelation zwischen diesen Eigenbewegungen der Person und der Störgrenze festgestellt. Das bedeutet, dass eine Person stärkere Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls während der Arbeitstätigkeit annimmt, wenn zuvor verstärkte Eigenbewegungen der Person detektiert wurden. Relevant waren die Intensität und Häufigkeit dieser Eigenbewegungen, nicht relevant war hingegen die Richtung der Eigenbewegungen im Raum. Soweit mit dem verwendeten Sitzsensor eine ungleichmäßige Haltung der Person auf dem Stuhl festgestellt wurde, korrelierte diese negativ mit der Nutzungsdauer. Das bedeutet, dass eine Person, die über längere Zeit eine ergonomisch nicht empfohlene Sitzhaltung einnimmt auch die zusätzlichen Bewegungsanregungen weniger

nutzt. Die Datenanalyse zeigte zudem, dass Personen die die Bewegungsanregungen in den ersten Minuten ihrer erstmaligen Nutzung durchgehend aktiviert ließen, diese doppelt so häufig auch während des gesamten Versuchszeitraums intensiv nutzten, im Vergleich zu Personen, die die Bewegungsanregungen kurz nach der erstmaligen Nutzung mindestens einmal deaktivierten. Weiterhin zeigte sich, dass Nutzerinnen und Nutzer, die die voreingestellten Bewegungsparameter eigenständig über die Smartphone App veränderten, die Bewegungsanregungen intensiver nutzten als Personen, die ausschließlich die voreingestellten Bewegungsparameter eingestellt ließen. Es wurde untersucht in welchen Phasen Personen die Bewegungsanregungen deaktivierten. Dabei zeigte sich, dass in 73% der Fälle in denen die Bewegungsanregungen deaktiviert wurden eine niedrige Störgrenze vorlag. Die Erkenntnisse aus den Probandenversuchen flossen jeweils in die Weiterentwicklung der Softwaresteuerung der automatischen Bewegungsanregungen ein.

Die entwickelte Bewegungssteuerung wurde in Feldversuchen gegenüber der Referenz, der manuellen Einstellung der Bewegungsanregungen über die Smartphone App, getestet. Die Probandengruppe mit manueller Bewegungssteuerung nutzte die Bewegungsanregungen 63 % ihrer sitzenden Arbeitszeit. Die Probandengruppe mit der neu entwickelten Bewegungssteuerung nutzten die Bewegungsanregungen 79 % ihrer sitzenden Arbeitszeit. Mit der Bewegungssteuerung wurde die Zeit, in der zu zusätzlichen Bewegungen angeregt wurde damit um 25 % gesteigert. Zusätzlich zeigte sich, dass sich die Dauer der Bewegungsanregungen zwischen Phasen mit deaktivierten Bewegungsanregungen verlängerte. Bewegungsanregungen mit einer Dauer von mindestens 30 min vor der nächsten Unterbrechung hatten bei der manuellen Bewegungssteuerung einen Anteil von 41 % aller genutzten Bewegungsanregungen. Bei der automatischen Bewegungssteuerung stieg dieser Anteil auf 87 %.

Die in den Versuchen erfassten Daten wurden zusätzlich mit Methoden des Machine Learnings untersucht, um Muster in diesen Daten zu identifizieren, die sich möglicherweise für eine interaktive Steuerung nutzen ließen. Um den Parameter „Bewegungsbereitschaft“ zu bestimmen wurden dazu Zeitreihenprognosen und Long Short Term Memory (LSTM) Modelle verwendet. Es zeigte sich, dass die Daten starke individuelle Unterschiede aufwiesen. Die Versuchsdaten von einer Person waren aufgrund der zeitlichen Limitationen bei der Versuchsdurchführung begrenzt. Die Auswertung mit den genannten Machine Learning Ansätzen stießen aufgrund der verfügbaren Datenbasis deshalb an ihre Grenzen. Die Möglichkeiten ein Machine Learning Ansatz on-the-edge, also im smarten Bürostuhl selbst umzusetzen wurden untersucht. Dabei zeigte sich, dass die erforderliche Rechenleistung für eine on-the-edge Auswertung eine zu hohe Prozessorleistung und einen damit verbundenen zu hohen Akkuverbrauch des smarten Bürostuhls gehabt hätte. Abweichend von den ursprünglich geplanten Arbeiten ließen sich beim Machine Learning Ansatz das Modelltraining und die Modellupdates deshalb nicht in Echtzeit on-the-edge, also auf dem Mikrokontroller des smarten Bürostuhls, realisieren. Mit der Rechenleistung der zurzeit wirtschaftlich verfügbaren Mikroprozessoren kam deshalb aktuell nur eine Analyse in der Cloud in Frage. Als Alternative zu den rechenintensiven Machine Learning Modellen wurde im Projekt untersucht, ob lineare Funktionen um verschiedene Betriebspunkte und ohne laufende Modellupdates ausreichend genaue Ergebnisse liefern konnten. Denn sie benötigen einen bedeutend geringeren Rechenaufwand und sind deshalb on-the-edge ausführbar. Dieser Ansatz konnte umgesetzt werden, allerdings mit einer zu starken Einschränkung der Vorhersagegenauigkeit. Aus diesem Grund wurde dieser Ansatz nicht weiterverfolgt.

AP3: Stresserkennung

Arbeiten aus AP3 wurden zeitlich mit Arbeiten aus AP2 getauscht, weil sich der Start der Feldversuche in AP2 leicht verzögerte. Aus diesem Grund wurde bereits früher als geplant mit Arbeiten aus AP3 begonnen. In diesem AP wurde untersucht, ob sich die interaktive Schnittstelle nutzen ließ, um Stress zuverlässig zu detektieren und durch aktive Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls zu reduzieren. Denn in diesem Fall hätten Hipwings sowohl als körpernaher Sensor zur Stressdetektion, als auch zur Intervention gegen Stress genutzt werden können. Dies wäre insbesondere vorteilhaft, da das einfache Sitzen auf Hipwings für die Messung ausreichen würde und dadurch, im Vergleich zu Sensoren, die beispielsweise auf die Haut geklebt werden müssen, auch eine langzeitige Anwendung möglich würde.

In Vorversuchen zeigte sich, dass sich die messbaren Bewegungsreaktionen von Personen unterscheiden, je nachdem ob sie unter Stress stehen oder nicht. Diese Beobachtung deckte sich mit den Ergebnissen anderer Forschergruppen, die individuelle Merkmale in den Nutzerbewegungen beim Sitzen identifiziert haben²⁶ und diese in neuern Studien auch mit dem aktuellen Stressempfinden verknüpfen konnten.²⁷

Im Stand der Technik werden zur Quantifizierung des Stresslevels einer Person die Herzratenvariabilität oder die Hautleitfähigkeit gemessen. Mit dem Ziel einen Zusammenhang zwischen den Bewegungsdaten der Person, die Hipwings aufzeichnen, und ihrem aktuellen Stresslevel zu finden, wurden in Probandenstudien zeitgleich die Bewegungsdaten sowie die Herzratenvariabilität und Hautleitfähigkeit gemessen. Hipwings zeichneten das Bewegungsverhalten der Person dabei sowohl auf, wenn die motorischen Bewegungsanregungen eingeschaltet waren als auch ausgeschaltet waren. Die stressbezogenen Parameter Herzratenvariabilität und Hautleitfähigkeit zeigten eine mittlere Korrelation zu den aufgezeichneten Beschleunigungsdaten der Person, wenn die motorischen Bewegungsanregungen nicht aktiv waren. Die Korrelation war schwach, sobald die Messungen während der aktivierten motorischen Bewegungsanregungen aufgezeichnet wurden. Um diese Ergebnisse einzuordnen muss berücksichtigt werden, dass selbst bei den Goldstandards im Stand der Technik zur Quantifizierung des Stressempfindens einer Person, der Messung der Herzratenvariabilität oder Hautleitfähigkeit, nach wie vor nicht zu vernachlässigende Einschränkungen bestehen und auch hier die Messqualität insbesondere durch Bewegungseinflüsse beeinträchtigt wird.

Mit den vorhandenen Zusammenhängen wurde ein regelbasierter Algorithmus zur Stresserkennung entwickelt und auf dem Mikrocontroller der Hipwings implementiert. Zusätzlich wurde untersucht, ob sich mit Machine Learning Ansätzen Muster in den Bewegungsdaten identifizieren lassen, mit denen das Stresslevel einer Person quantifiziert werden kann. Dazu wurden sowohl der Ansatz des Long Short-Term Memory (LSTM) als auch des Convolutional Neural Network (CNN) untersucht. Es zeigte sich, dass die Daten hohe individuelle Unterschiede zwischen den Personen aufwiesen. Es konnten deshalb keine Muster gefunden werden, die auf die gleiche Weise für unterschiedliche Personen funktioniert hätten. Mit der vorliegenden Datenbasis konnten die Machine Learning Modelle deshalb nicht auf Personengruppen generalisiert werden. Das bedeutet, dass die Anwendbarkeit in der Praxis eingeschränkt ist, sofern nicht bereits Langzeitdaten von einer betreffenden Person vorliegen.

Sofern das System ein hohes Stresslevel erkennt, soll es durch angepasste Bewegungsanregungen zu einer Senkung des Stresslevels beitragen. Durch Probandenbefragungen wurden dazu Bewegungsanregungen identifiziert, die die Probandinnen und Probanden als beruhigend empfanden. Diese Bewegungsformen wurden softwareseitig eingesetzt, um einem möglichen Stressanstieg entgegenzuwirken.

In Kombination mit dem regelbasierten Algorithmus zur Stresserkennung wurden diese Bewegungsformen in Probandenversuchen validiert. Es zeigte sich, dass die motorischen Bewegungsanregungen die Stressmessung beeinträchtigen. Mit den vorliegenden Versuchsdaten konnte eine laufende Stressmessung während der Bewegungsanregungen deshalb nicht zuverlässig umgesetzt werden. Im Hinblick auf die zweite Forschungsfrage (siehe Kapitel 3 - Projektziele) kann deshalb festgehalten werden, dass die Stressmessung nach Möglichkeit in Pausen, ohne motorische Bewegungsanregungen, durchgeführt werden sollte. Zudem stellte sich heraus, dass die befragten Probandinnen und Probanden ähnliche Bewegungsmuster als „beruhigend“ beschreiben und Erkenntnisse an dieser Stelle zwischen Personen übertragbar sind. Aus diesen Ergebnissen konnte für die Praxisanwendung deshalb eine konzeptionelle Änderung abgeleitet werden. Um die Zuverlässigkeit der Messungen zu erhöhen, wurde das Stresslevel der Person in Phasen mit deaktivierter Bewegungsanregungen analysiert. Für Stressmessungen bringt die Bewegungssteuerung die Bewegungsanregungen deshalb sanft zum Halten und lässt sie für die Durchführung der Stressmessung einen kurzen Moment deaktiviert. Nach erfolgter Messung fährt sie die Bewegungsanregungen dann automatisch und sanft wieder an.

AP4: Neuromuskuläres Aktivierungsprogramm

In AP4 kam es zu zeitlichen Verzögerungen durch den Rekrutierungsaufwand geeigneter Probandinnen und Probanden für die Versuchsdurchführung. Die Personen mussten zum einen spezielle Merkmale (z.B. chronische Schmerzen des unteren Rückens in einer bestimmten Intensität) aufweisen, hingegen nicht die im Ethikantrag genannten Ausschlussgründe. Zusätzlich musste eine räumliche Verfügbarkeit gegeben sein und die Versuchsdurchführung auf die persönlichen und betrieblichen Belange (Abwesenheitstage, Urlaube, etc.) abgestimmt werden. AP4 konnte bis zum Projektende abgeschlossen werden.

Perturbationen sind zufällig erzeugte Störungen der Wirbelsäulenstabilität, die die neuromuskuläre Kontrolle, als wichtigem Teil der Wirbelsäulenstabilität, verbessern. In diesem AP sollte untersucht werden, wie sich die im Stand der Technik als wirksam gegen Rückenschmerzen nachgewiesenen Perturbationstrainings so modifizieren lassen, dass sie mit Hipwings aufgebracht werden können.

Um die sichere Anwendung für die Probandinnen und Probanden zu jeder Zeit zu gewährleisten, wurden die Perturbationstrainings im Labor, nach vorheriger Einweisung und begleitet durch geschultes Personal durchgeführt. Es wurde zudem eine technische Sicherheitsvorrichtung umgesetzt, damit nur berechnete Personen die Perturbationstrainings mit den smarten Bürostühlen nutzen konnten. Die unbeaufsichtigte und eigenständige Nutzung der Perturbationstrainings durch Laien ist möglich, würde aber die bisherige Zweckbestimmung des Produkts ändern. Zu diesem Zweck wären technische Sicherheitseinrichtungen zu entwickeln und das Konformitätsbewertungsverfahren für diese neue Produktvariante durchzuführen. Diese Arbeiten waren nicht Projektbestandteil. Aus diesem Grund wurden Laborversuche und keine Feldversuche durchgeführt.

Es wurde zunächst eine Software zur Aufbringung von Perturbationen mit dem smarten Bürostühlen geschrieben. Zur Entwicklung eines neuromuskulären Aktivierungsprogramms zur Therapie von Rückenschmerzen wurden dann Laboruntersuchungen mit Probandinnen und Probanden durchgeführt. Dabei wurde die Muskelaktivität gemessen, die Hipwings durch die Perturbationen im menschlichen Körper verursachen. Die Aktivität verschiedener Muskeln im Rücken- und Bauchbereich wurde dazu mittels Elektromyographie (EMG) während der Nutzung der Perturbationstrainings gemessen. Die Datenauswertung zeigte, dass die Perturbationen die höchsten Muskelaktivierungen im Bereich des unteren Rückens verursachten, also genau dort, wo in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle Rückenschmerzen verortet sind.

Eine starke Korrelation zwischen der Muskelaktivität in der unteren Wirbelsäule und den aufgetragenen Perturbationen der Hipwings konnte nachgewiesen werden. Die in den Versuchen eingestellten Perturbationen lösten Muskelaktivitäten bis zu 70% der Maximum Voluntary Contraction (MVC) aus. Dies ist ein hoher Wert, der über das für ein Perturbationstraining erforderliche Maß hinausgeht. Damit konnte gezeigt werden, dass sich Hipwings für diesen Anwendungsfall eignen. Auf Basis der Labormessungen wurde die Perturbationsintensität für die weiteren Versuche deshalb softwareseitig reduziert. Gleichzeitig wurde ein Perturbationstraining entwickelt, das mehrmalige Interventionen mit abgestimmten Pausenzeiten und Perturbationsintensitäten vorsieht. Dazu wurde ein Algorithmus entwickelt, der die Trainingsintensität basieren auf Nutzermerkmalen und dem Bewegungsverhalten der Person anpasst. Es wurde softwareseitig die Möglichkeit geschaffen Perturbationstrainings mit hohen Intensitäten als kurze Interventionsprogramme während Arbeitspausen einzusetzen. Dazu können die Nutzenden Parameter wie Kraft, Auslenkung, Richtung und Dauer des Trainings innerhalb eines sicheren Bereichs eigenständig variieren. Zudem wurde eine Software entwickelt, die Arbeitsphasen mit geringem Störimpfinden detektiert. Dies ist die Grundlage, um niedrigintensive Perturbationstrainings automatisiert und über längere Zeiträume der Anwendung aktivieren zu können.

Das Perturbationstraining wurde mit einem vordefinierten Parametersatz in Anlehnung an die Studie von Arampatzis et al.²⁸ in Probandenversuchen im Labor validiert. Ziel dieses Parametersatzes war es eine Muskelaktivität von etwa 35% MVC durch die Perturbationen hervorzurufen, da diese Intensität der Muskelaktivität in der genannten Studie für ein Training im Rückenbereich empfohlen wurde. Die Probandinnen und Probanden wurden umfassend aufgeklärt und die Muskelaktivitäten im Labor aufgezeichnet. Die Datenauswertung zeigte, dass es starke individuelle Unterschiede in der ausgelösten Muskelaktivität bei der Aufbringung des gleichen Parametersatzes für die Perturbationen gab. Bei einer Person wurde eine maximale Muskelaktivität von bis zu 100% des MVC ausgelöst, was über dem maximalen Wert lag, der in den vorbereitenden Untersuchungen der Muskelaktivität gemessen wurde und höher war als beabsichtigt. Bei den anderen Studienteilnehmenden lagen die Maximalwerte der Muskelaktivität zwischen 25 % und 88 % des MVC. Dies zeigte, dass die starken Unterschiede zwischen Personen eine umfangreiche Versuchsdatenbasis erforderlich machten, um die Wirkung der aufgetragenen Perturbationen für verschiedene Personengruppen besser verstehen und eine sichere Anwendung möglich zu machen. Bezogen auf die gleiche Person konnten wiederholbare Werte der Muskelaktivität mit der Aufbringung des gleichen Parametersatzes für die Perturbationstrainings festgestellt werden.

Nutzerbefragungen zeigten, dass selbst trainierte Probandinnen und Probanden nach dem initial entwickelten Perturbationstraining Muskelkater verspürten. Dies war ein Hinweis auf die hohe Trainingsintensität die realisiert wurde. Die Trainingsintensität wurde daraufhin softwareseitig reduziert.

Im Hinblick auf die dritte Forschungsfrage (siehe Kapitel 3 - Projektziele) wurde auf Basis der vorliegenden Versuchsdaten geschlossen, dass der vordefinierte Parametersatz für die Perturbationstrainings zur Reduzierung von Rückenschmerzen geeignet ist. Dieser Parametersatz ist als Interventionsprogramm in Arbeitspausen einsetzbar. Die gleichen Perturbationsintensitäten verursachten in der Studie individuell sehr verschiedene Muskelaktivierungen. Aufgrund dieser Ergebnisse wird empfohlen den individuellen Zusammenhang zwischen Perturbationsaufbringung und Muskelaktivität vor der Durchführung der Perturbationstrainings zu messen und sie an diesem Zusammenhang anzupassen.

AP5: Förderung des Bewegungsverhaltens

Die Arbeiten zu AP5 wurden wegen der Verzögerungen in AP4 verspätet begonnen. AP5 konnte zum Projektende abgeschlossen werden.

Ziel dieses Arbeitspakets war es das individuelle Sitzverhalten einer Person zu analysieren. Damit sollte zum einen ein Bewusstsein bei der Person über ihr eigenes Bewegungsverhalten während sitzender Tätigkeiten gefördert werden, zum anderen individualisierte Empfehlungen für ein gesundheitsbewusstes Verhalten vorgeschlagen werden. Es wurde dazu eine Software entwickelt, die das Bewegungsverhalten der Person auf dem smarten Bürostuhl nach dem informierten Einverständnis analysiert. Für den Algorithmus wurden die Datenpunkte Sitzzeiten mit und ohne Bewegungen, Beschleunigungen und Kraftaufbringungen während der Bewegung analysiert. Mit diesen Daten ermittelte der Algorithmus den „Sitztyp“ der Person, der das intrinsische Bewegungsverhalten einer Person beschreibt.²⁹ Es wurde zwischen dem dynamischen, gemischten, und trägen Sitztyp unterschieden. Der Bewegungsalgorithmus zielte darauf ab durch die automatischen Bewegungsanregungen diejenigen Bewegungsanteile der Person zu fördern, die durch das eigene Bewegungsverhalten nicht auftraten. Dabei lag der Fokus bei Personen mit einem dynamischen Sitztyp darauf Eigenbewegungen zu verstärken, um das Bewegungspotential während der Arbeitszeit nutzbar zu machen. Bei Personen mit einem trägeren Sitztyp lag der Fokus hingegen darauf längere Zeiten ohne Bewegung zu vermeiden. Dazu wurden sehr leichte Bewegungsanregungen aufgebracht, die allerdings sehr häufig und mit geringen zeitlichen Pausen angeregt wurden. Dies sollte regelmäßige Haltungswechsel fördern und statische Sitzhaltungen vermeiden. Dabei wurden bewusst nur sehr kleine Bewegungen angeregt, damit die Personen das System möglichst den ganzen Tag über aktiv ließ und häufige Haltungswechsel angeregt wurden. Bei der Personengruppe mit gemischtem Sitztyp war es sowohl das Ziel die eigenen Bewegungen weiter zu fördern, als auch längere Zeiten ohne Bewegung zu vermeiden. Der eigene Sitztyp wurde in der App angezeigt. Durch die automatisierte Analyse des Sitzverhaltens wurde bei den Nutzenden das Bewusstsein über ihr eigenes Bewegungsverhalten am Büroarbeitsplatz gefördert. In der App wurden Empfehlungen auf Basis des ermittelten Sitztyps gegeben. Stellte die Software einen trägen Sitztyp fest, wurde in der App zudem auf ein möglicherweise erhöhtes Risiko für chronische Schmerzen des unteren Rückens hingewiesen. Zudem wurde diesen Probandinnen und Probanden die Anwendung von Perturbationstrainings im Laborumfeld angeboten (siehe AP4). Die automatisierte Risikoanzeige fördert das Problembewusstsein und könnte zukünftig genutzt werden, um Personen mit erhöhtem Risiko zusätzlich auf weiterführende Angebote wie beispielsweise der Betrieblichen Gesundheitsförderung aufmerksam zu machen.

Die Probandinnen und Probanden nutzten die Bewegungsanregungen der smarten Bürostühle an ihrem eigenen Büroarbeitsplatz. Die Daten zeigten, dass sich die Eigenbewegungen einer Person in Abhängigkeit verschiedener Parameter veränderten. Bei Personen mit einem trägen Sitztyp waren stärkere Eigenbewegungen ein wahrscheinliches Anzeichen dafür, dass die Person die automatischen Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls unmittelbar danach aktivieren wird. Personen mit tragem Sitztyp ließen sich vom smarten Bürostuhl zu Bewegungen anregen, wiesen aber nur einen geringen Anteil an Eigenbewegungen auf. Wenn diese Personen starke Eigenbewegungen während der laufenden Bewegungsanregungen zeigten, war dies häufig ein Zeichen dafür, dass sie die Bewegungsanregungen unmittelbar danach deaktivierten. Personen mit einem dynamischen Sitztyp aktivierten die Bewegungsanregungen im Durchschnitt 18% häufiger als Personen mit einem trägen Sitztyp. Auch während der Bewegungsanregungen wiesen sie erhöhte Eigenbewegungen im Vergleich zu Personen mit tragem

Sitztyp auf. Personen mit gemischtem Sitztyp wiesen Merkmale beider Gruppen in verschiedenen Anteilen auf.

Die Bewegungsanregungen führten bei Personen mit einem trägen Sitztyp zu einer Erhöhung ihrer Bewegungszeit über einem Arbeitstag von 29 %. Zudem wechselte diese Personengruppe mit aktivierten Bewegungsanregungen zwei Mal so häufig ihre Körperhaltung während eines Arbeitstages im Vergleich zu der Gruppe ohne Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls. Bei Personen mit dynamischen Sitztypen erhöhte sich die Bewegungszeit über einen Arbeitstag um 20%. Zudem erhöhte sich der Anteil ihrer Eigenbewegung mit aktivierten Bewegungsanregungen um 14 %. Bei Personen mit gemischtem Sitztypen erhöhte sich die Bewegungszeit im Durchschnitt um 32 %. Zudem zeigte sich, dass sich der Sitztyp einer Person, wie angenommen, auch nach mehrwöchiger Versuchszeit nicht veränderte.

Die Probandinnen und Probanden wurden zu Rückenschmerzen vor und nach der Nutzung des smarten Bürostuhls befragt. Dabei zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse, wobei eine Personengruppe besonders von den Bewegungsanregungen profitierte. Die Personen dieser Gruppe beschrieben vor der Versuchsdurchführung, dass sie ihre Rückenschmerzen spürbar lindern konnte, wenn sie während der Arbeitszeit sehr konsequent Pausen für Bewegungsübungen einlegten. Sie beschrieben auch, dass sie nach einem Arbeitstag spürbare Beschwerden hätten, wenn sie dies nicht konsequent umsetzten. Es war eben diese Personengruppe, die die Nutzung der Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls am effektivsten gegen ihre Rückenschmerzen empfanden. Sie berichteten davon, dass sie selbst dann keine merklichen Rückenschmerzen nach einem Arbeitstag bekommen hatten, wenn sie ihre Bewegungsübungen nicht so konsequent anwendeten, dafür aber die Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls aktiviert ließen.

7 Zahlenmäßiger Verwendungsnachweis

Für die Projektdurchführung sind überwiegend Personalkosten angefallen. Mittel, die u.a. für Beschäftigungsentgelte, die Vergabe von Aufträgen, Verbrauchsmaterial, und Dienstreisen bewilligt wurden, standen innerhalb der Projektlaufzeit nicht für den Abruf zur Verfügung und blieben deshalb ungenutzt.

Die durchgeführten Arbeiten im Projekt waren erforderlich, um die Projektziele zu erreichen. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit war über den gesamten Projektverlauf gewährleistet.

8 Nutzen im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Schutzrechte

Im Oktober 2023 wurde der Vintus GmbH das Europäische Einheitspatent für die Patentanmeldung EP4051056 erteilt. Die angemeldeten Patentansprüche wurden in vollem Umfang und ohne Einschränkungen erteilt. Neben der Eigennutzung werden auch Gespräche über die Lizenzierung an externe Unternehmen für verschiedene Anwendungen geführt.

Wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten

Die entwickelte Technologie bietet zum einen neue Analysemöglichkeiten für den menschlichen Körper in sitzenden Tätigkeiten, zum anderen eine neue Interventionsmöglichkeit durch Bewegungsanregungen in Echtzeit. Damit ergeben sich verschiedene wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten:

- Wie ursprünglich konzipiert als smarterer Bürostuhl zur Bewegungsförderung
- Als bewegungsförderndes Produkt für Beschäftigte mit wenig Bewegungsmöglichkeiten während der Arbeitszeit, beispielsweise Berufskraftfahrende oder Beschäftigte in Leitstellen

- Durch die Nutzung der Sensor- und Analysemöglichkeiten des smarten Bürostuhls, um Funktionen von Drittanbietern zu unterstützen oder zu ermöglichen (z.B. intelligente Verknüpfung mit Stehtischen)
- Durch die Nutzung der Bewegungsanregungen des smarten Bürostuhls durch Geräte von Drittanbietern (z.B. Smartwatches, die das Bewegungsverhalten oder das Stresslevel einer Person detektieren und die Bewegungsfunktionen der smarten Bürostühle zur daran angepassten Intervention nutzen können)
- Anwendungen im Gaming Bereich zur Detektion des Nutzerverhaltens und/oder der Rückkopplung von Spielsituationen durch Bewegungsanregungen auf die Person
- Perspektivisch in autonom fahrenden Personenkraftwagen
- Als Medizinprodukt gegen unspezifische chronische Schmerzen des unteren Rückens mittels individuell angepasster Perturbationstrainings
- Als Medizinprodukt zur individuellen Prophylaxe von Dekubitus, z.B. für pflegebedürftige Personen
- Als Hilfsmittel für Personen mit eingeschränkten Bewegungsmöglichkeiten wie z.B. Personen, die auf einen Rollstuhl angewiesen sind

Wissenschaftliche Verwertungsmöglichkeiten

- Die smarten Bürostühle liefern anonymisierte Daten zum Bewegungsverhalten während sitzender Tätigkeiten. Diese Daten sind relevant für die Erforschung von interaktiven Unterstützungssystemen im Alltag von Menschen, denn sie liefern reale Nutzungsdaten für die Wissenschaft. Aus diesem Grund ist bereits eine Zusammenarbeit mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Kaiserslautern entstanden.
- Die Datenbasis ist darüber hinaus für weitere wissenschaftliche Ansätze relevant, beispielsweise zur Erforschung bedarfsgerechter Maßnahmen der betrieblichen Gesundheitsförderung. Denn mit den gewonnenen Daten können die Auswirkungen von Präventionsmaßnahmen auf das Bewegungsverhalten der Menschen im Alltag untersucht werden. Dies erlaubt es Präventionsmaßnahmen umfassender zu bewerten und zielgruppenspezifisch anzupassen.
- Die neue Möglichkeit der Analyse- und Bewegungsintervention in Echtzeit ermöglicht wissenschaftliche Untersuchungen für neuromuskuläre Aktivierungsprogramme für den Spitzensport und die Breitenbevölkerung.
- Der mit der Technologie detektierbare Zusammenhang zwischen dem Bewegungsverhalten von Personen und ihrem Stressempfinden eröffnet ein breites Feld für wissenschaftliche Folgestudien zur Detektion und Intervention von Stress.

9 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Bewegungsförderung

Hao Wu und Grantham Pang³⁰ stellen in ihrer Publikation einen Stuhl zur Messung der Druckverteilung beim Sitzen und ihrer elektromotorischen Veränderung vor. Mit dem System soll Dekubitus und Druckgeschwüren vorgebeugt werden. Das System kann die Druckverteilung beim Sitzen durch eine Sensormatte detektieren. Elektromotorische Verstellmechanismen können die Sitzfläche punktuell anheben oder absenken, um die Druckverteilung zu verändern.

Wang et.al.³¹ entwickelten ein intelligentes Stuhlsystem, das das Sitzverhalten detektiert und personalisiertes Feedback zur Verbesserung der Sitzhaltung gibt. Das System nutzt eine "Liquid State Machine" (LSM), um 15 Sitzhaltungen zu klassifizieren. Die LSM erlaubt die zeitlich variable Verarbeitung der Informationen, um die aktuelle Sitzhaltung zu detektieren. Die LSM gehört wie die im Projektvorhaben Hipwings eingesetzten LSTM Modelle zur Kategorie der Recurrent Neural Networks unter den Machine Learning Algorithmen.

Bourahmoune et. al.³² entwickelten ein intelligentes Training für die Körperhaltung während sitzender Tätigkeiten, die auf einer Echtzeit-Sitzhaltungserkennung mit Machine Learning basiert und das IoT-Kissen „LifeChair“ nutzt.

Die Publikationen von Wang et.al. und Bourahmoune et. al. zeigen, dass Sitzhaltungen mit hoher Zuverlässigkeit von den genutzten technischen Systemen erkannt werden können. Vorstellbar ist, diese Technologien zusätzlich in das Projekt Hipwings einfließen zu lassen, um eine präzise Identifizierung der aktuellen Körperhaltung auf dem smarten Bürostuhl zu erreichen. Die Bewegungsinterventionen könnten dann zusätzlich auch auf die Körperhaltung abgestimmt werden.

Therapie von unspezifischen chronischen Schmerzen des unteren Rückens

Fleckenstein et. al.³³ untersuchten in einem systematischen Review die Effekte von individualisierten Trainingsinterventionen gegen chronisch unspezifische Schmerzen des unteren Rückens. Dabei wurden sowohl Trainingsinterventionen alleine, als auch in Kombination mit psychologischen Interventionen untersucht. Die Studienergebnisse zeigen, dass personalisierte Interventionen in Kombination mit psychotherapeutischen Verfahren wie der kognitiven Verhaltenstherapie chronische Rückenschmerzen um 38 % stärker reduzieren, als Standardtherapien. Die Autoren empfehlen aufgrund ihrer Studienergebnisse multimodale Therapien stärker zu fördern.

Im Projekt Hipwings wurde ein interaktives Sitzsystem entwickelt, mit dem aktuelle Nutzerbedürfnisse detektiert und personalisierte Bewegungsinterventionen aufgebracht werden können. Damit lässt sich das System sehr gut in ein multimodales Therapiekonzept gegen chronische unspezifische Rückenschmerzen integrieren. Vorstellbar ist es dabei, mindestens Teile der psychologischen Interventionen in die digitale Anwendung zu integrieren.

Canal-Pino et. al.³⁴ führten eine randomisierte kontrollierte klinische Studie durch, um die Auswirkungen eines lasergeführten und eines beaufsichtigten Trainings gegen chronische unspezifische Rückenschmerzen zu untersuchen. In der Studie wurden zwei Probandengruppen gebildet. Eine Probandengruppe führte die beaufsichtigten Übungen durch, während die andere Gruppe lasergeführte Übungen durchführte. Die Studienergebnisse zeigten eine signifikante Abnahme der Schmerzintensität in beiden Gruppen, wobei die Gruppe mit lasergeführten Trainings die höchste Wirksamkeit aufwies.

Die lasergeführten Übungen finden in der sitzenden Körperhaltung statt. Vorstellbar wäre die Studienergebnisse in das Projekt Hipwings einfließen zu lassen. Dazu könnten die Laser der Studie beispielsweise durch haptisches Feedback der Hipwings ersetzt werden. Zudem könnten Hipwings die Intensität der Trainings automatisch und personalisiert anpassen.

Detektion von Stress

Van de Ven et. al.³⁵ untersuchten, wie Stress mit dem Konzept der „additional heart rate“ (aHR) präziser quantifiziert werden kann. Denn die Messung der Herzfrequenz (HR) eignet sich nur bedingt zur Erkennung von psychischem Stress, weil die Herzfrequenz auch durch körperliche Aktivität und die aktuelle Körperhaltung beeinflusst wird. Mit dem Konzept der aHR sollten diese Einflüsse berücksichtigt werden, um damit präziser auf den psychischen Stress schließen zu können. Die Autoren nutzten zu diesem Zweck einen Beschleunigungssensor und entwickelten einen Algorithmus, um die Körperhaltung (Sitzen, Stehen oder Liegen) und den Aktivitätstyp (Gehen, Joggen, Radfahren oder Treppensteigen) aus den Signalen des Beschleunigungssensors zu klassifizieren. Die Studienergebnisse zeigen, dass mittels aHR präziser auf den psychischen Stress geschlossen werden kann, als mit der alleinigen Messung der Herzfrequenz. Vorstellbar wäre es, diesen Ansatz mit den zusätzlichen Sensordaten der smarten Bürostühle Hipwings zu kombinieren, um eine präzisere Analyse des psychischen Stresses in sitzenden Tätigkeiten zu ermöglichen.

Linderung von Stress

Die Freie Universität Berlin (Arbeitsbereich Klinisch-Psychologische Intervention) und die Gesundheitsdatenplattform Thryve (mHealth Pioniers GmbH) führen mit Unterstützung der Techniker Krankenkasse die „BluesWatch-Studie“ durch. In der Studie wird untersucht, ob sich das psychische Wohlbefinden anhand von Aktivitäts- und Vitaldaten erkennen lässt. Dazu werden Wearables (z. B. Smartwatches) genutzt. Ziel ist es, frühzeitig Veränderungen im Wohlbefinden erkennen zu können und passende Unterstützungsangebote entwickeln zu können. Die Studie soll helfen das psychische Wohlbefinden einer Person anhand von objektiv messbaren Verhaltensdaten zu ermitteln.

10 Veröffentlichungen

Aus den Vorarbeiten des Projekts ist eine wissenschaftliche Publikation hervorgegangen: Schaefer et. al., "A novel motorized office chair causes low-amplitude spinal movements and activates trunk muscles: A cross-over trial", 2023, PLOS One, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294778>

Eine weitere wissenschaftliche Publikation ist zur Wirksamkeit des smarten Bürostuhls gegen unspezifische Rückenschmerzen geplant. Die dazu durchgeführte prospektive Studie wurde im Deutschen Register Klinischer Studien (DRKS) unter der DRKS-ID: DRKS00035954 registriert.

11 Quellenverzeichnis

- 1 Young et. al., "Sedentary Behavior and Cardiovascular Morbidity and Mortality: A Science Advisory From the American Heart Association", 2016, *Circulation* 134 (13), e262ff
- 2 KJ1 Statistik des Bundesministeriums der Gesundheit, 2019
- 3 DAK Gesundheitsreport 2018,
- 4 Young et. al., 2016, *Circulation* 134 (13), e262ff, doi: 10.1161/CIR.0000000000000440
- 5 Finni et. al., Exercise for fitness does not decrease the muscular inactivity time during normal daily life, *Scand J Med Sci Sports*, 2012
- 6 Puig-Ribera et. al. 2017, *BMC Public Health*, doi: 10.1186/s12889-017-4367-8
- 7 Gesundheit durch Bewegung fördern. Empfehlungen für Wissenschaft und Praxis., *Liga.Fokus* 12, ISBN 978-3-88139-174-0, S. 74
- 8 Abruf: 08.12.2020: <https://iba.online/arbeitsplatz-buero/fachschriften/bsso-studie-2015/>
- 9 Abruf: 08.12.2020: https://www.haufe.de/arbeitsschutz/gesundheit-umwelt/gesundheitsfoerderung-warum-erreicht-man-immer-nur-die-falschen_94_446374.html
- 10 Rhodes et. al., Adult Sedentary Behavior – A Systematic Review, *Am J Prev Med* 2012;42(3):e3– e28
- 11 Biswas et. al., Sedentary Time and Its Association With Risk for Disease Incidence, Mortality, and Hospitalization in Adults, *Ann Intern Med.* 2015;162:123-132
- 12 Rütten et.al., Nationale Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung, Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, Sonderheft 03, ISBN 978-3-946692-30-0
- 13 Tudor-Locke et. al., Changing the way we work: elevating energy expenditure with workstation alternatives; *International Journal of Obesity* (2014) 38, 755–765
- 14 Nationale Versorgungs-Leitlinie „Nicht-spezifischer Kreuzschmerz“, Langfassung, S. 68 [329; 330]
- 15 Júdice et. al., Randomized controlled pilot of an intervention to reduce and break-up overweight/obese adults' overall sitting-time, *Trials* (2015) 16:490
- 16 Abruf: 08.12.2020: <https://www.interstuhl.com/prdb/PB01IG00.pdf>
- 17 Abruf: 08.12.2020: <https://www.technik-zum-menschen-bringen.de/projekte/sensa-chair>
- 18 Torbeyns et. al., Active Workstations to Fight Sedentary Behaviour, *Sports Medicine*, 2014, 10.1007/s40279-014-0202-x
- 19 Graves et. al., Evaluation of sit-stand workstations in an office setting: a randomised controlled trial, 2015, *BMC Public Health*, doi: 10.1186/s12889-015-2469-8
- 20 Krämer, J. (1973). Biomechanische Veränderungen im lumbalen Bewegungssegment In: Junghans, H.: *ie Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, Bd. 58, Stuttgart, Hippokrates
- 21 Abruf: 08.12.2020: <https://gelenk-klinik.de/wirbelsaeule/rueckenschmerzen-richtig-erkennen-und-behandeln.html#anatomie>
- 22 Pries et. al. (2015). Application of a novel spinal posture and motion measurement system in active and static sitting. *Ergonomics*, 58(9), 1605–1610. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1019938>
- 23 Engel et. al., Perturbations in prevention and therapy of low back pain: a new approach. *Dtsch Z Sportmed.* 2018; 69: 247-254.
- 24 Shamsi, M., Sarrafzadeh, J., Jamshidi, A., Arjmand, N., & Ghezelbash, F. (2017). Comparison of spinal stability following motor control and general exercises in nonspecific chronic low back pain patients. *Clinical Biomechanics* (Bristol, Avon), 48, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.07.006>
- 25 Cholewicki, J., & McGill, S. M. (1996). Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clinical Biomechanics* (Bristol, Avon), 11(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(95\)00035-6](https://doi.org/10.1016/0268-0033(95)00035-6)
- 26 Schoen et. al.; Field Study on Dynamic Sitting under Different Work Station Conditions, *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 02/2009, S. 44–55

-
- 27 Yu et. al.; An Unobtrusive Stress Recognition System for the Smart Office, 2019, doi: 10.1109/EMBC.2019.8856597
- 28 Arampatzis et al. A random-perturbation therapy in chronic non-specific low-back pain patients: a randomised controlled trial <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3742-6> - Springer-Verlag GmbH Germany 2017
- 29 Schaefer et. al., "A novel motorized office chair causes low-amplitude spinal movements and activates trunk muscles: A cross-over trial", 2023, PLOS One, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294778>
- 30 Hao Wu and Grantham Pang, „NOVEL CHAIR DESIGN TO MANAGE PRESSURE DISTRIBUTION“, 2023, Mechatronic Systems and Control, <https://doi.org/10.2316/J.2023.201-0390>
- 31 Jianquan Wang et. al., "Sitting Posture Recognition Using a Spiking Neural Network", 2022, IEEE SENSORS JOURNAL, <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3016611>
- 32 Bourahmoune et. al., „Intelligent Posture Training: Machine-Learning-Powered Human Sitting Posture Recognition Based on a Pressure-Sensing IoT Cushion“, 2022, Sensors, <https://doi.org/10.3390/s22145337>
- 33 Fleckenstein et. al., "Individualized Exercise in Chronic Non-Specific Low Back Pain: A Systematic Review with Meta-Analysis on the Effects of Exercise Alone or in Combination with Psychological Interventions on Pain and Disability", 2022, The Journal of Pain, <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2022.07.005>
- 34 Cana-Pino et. al., „Supervised exercise with or without laser-guided feedback for people with non-specific chronic low back pain. A randomized controlled clinical trial“, 2023, Journal of Electromyography and Kinesiology, <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2023.102776>
- 35 Van de Ven et. al., „Accelerometer-based heart rate adjustment for ambulatory stress research“, 2024, Psychophysiology, <https://doi.org/10.1111/psyp.14721>