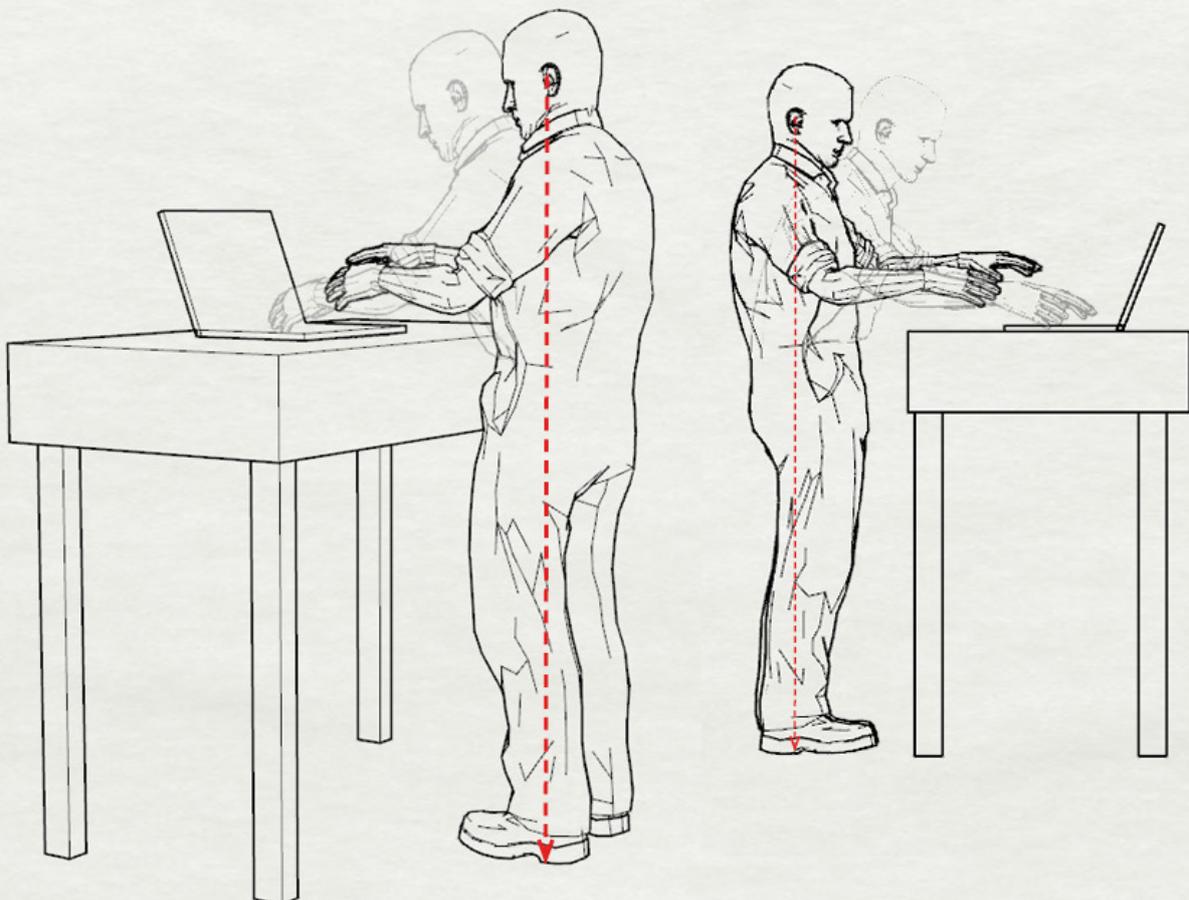


# ERGONOMISCHE ARBEITSPLATZGESTALTUNG





# **ERGONOMISCHE ARBEITSPLATZGESTALTUNG**

**Prinzipien aus Trainings-, Sport- und Arbeitswissen-  
schaft zur Entlastung des Bewegungsapparates**

Urban Daub  
Sarah Gawlick  
Florian Blab

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA - Stuttgart  
Projektpartner: Ergoswiss AG  
Februar 2018  
DOI: 10.24406/IPA-N-481686

**Darstellungen:**

Michael Brück  
Jérémy Lefint



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Einfluss der Höhenverstellbarkeit von Tischen auf den Bewegungsapparat .....</b>	<b>6</b>
2.1 Belastung und Beanspruchung.....	6
2.2 Adaptation des Körpers auf wiederkehrende Belastungsreize .....	6
2.2.1 Dynamische Belastungsreize .....	7
2.2.2 Statische Belastungsreize .....	7
2.2.3 Zu geringe Belastungsreize .....	7
2.3 Einteilung in Belastungsmuster bei Tätigkeiten in der Produktion .....	7
2.3.1 Auswirkungen häufiger Repetitionen auf den Bewegungsapparat .....	8
2.3.2 Auswirkungen statischer Belastung auf den Bewegungsapparat .....	8
2.3.2.1 Zwangshaltungen.....	10
2.3.2.2 Ursachen unauffälliger statischer Belastung.....	10
2.3.3 Auswirkung von hohen Lasten auf den Bewegungsapparat .....	11
2.4 Prinzipien zur ergonomische Einstellung des Arbeitstisches .....	12
2.4.1 Vorgeneigte Haltung des Oberkörpers an Steharbeitsplätzen vermeiden .....	13
2.4.2 Nacken .....	14
2.4.3 Handgelenkstellung und Bewegungen .....	14
<b>3 Arbeitsplatzgestaltung bei Steharbeitsplätzen.....</b>	<b>16</b>
3.1 Ableitung der Tischhöhe nach Handlungsmerkmalen .....	16
3.2 Ableitung der Tischhöhe nach Norm-Vorgaben .....	16
<b>4 Richtig Sitzen.....</b>	<b>18</b>
4.1 Tisch- und Stuhlhöhe bei Sitzarbeitsplätzen.....	18
4.1.1 Sitzarbeitsplatz, an dem sich die Stuhl- und Tischhöhe anpassen lassen .....	18
4.1.2 Sitzarbeitsplatz, an dem sich nur der Stuhl, der Tisch jedoch nicht anpassen lässt .....	18
4.2 Sitzhaltung.....	18
4.2.1 Widersprüche bei der Empfehlung EINER optimalen Sitzhaltung .....	18
4.2.2 Ableitung der Sitzhaltung nach Handlungsmerkmalen .....	19
4.3 Sitzverhalten .....	19
<b>5 Greifräume und Einteilung der Arbeitsmittel.....</b>	<b>20</b>
<b>6 Künstliche Beleuchtung.....</b>	<b>22</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>24</b>
<b>Impressum .....</b>	<b>28</b>



# 1 EINLEITUNG

Muskulo-skelettale Erkrankungen sind seit Jahren die Krankheitsart, die für die meisten Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland verantwortlich ist [1, 2]. Dabei spielen insbesondere Schmerzen im Rücken, sowie Schulter-, Nacken- und Armbereich eine wichtige Rolle [3, 4].

Ihre Entstehung lässt sich häufig nicht auf eine einzelne Ursache beschränken, aber nur wenn der arbeitsbedingte Ursachenanteil reduziert wird, kann die Prävention derartiger Erkrankungen erfolgreich sein [4, 5].

Bei Berufskrankheiten wird die Anzahl der Krankheitstage um 1,6 bis 2,2 Mal höher eingeschätzt, wenn sie nicht durch einen Unfall verursacht wurden [6]. Ein Erklärungsansatz hierfür ist, dass Sie schleichend über die Zeit hinweg entstehen und sich daher stärker manifestieren.

Längerfristige Gesundheitsbeeinträchtigungen und chronische Krankheiten nehmen mit dem Alter zu [7]. Aufgrund der demographischen Entwicklung wird somit die arbeitsmarktpolitische Bedeutung der Themen Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz künftig weiter zunehmen [8, 9].

Ergonomie umfasst die Gestaltung von Produkten, Produktdetails, von Arbeitsplätzen und komplexen Arbeitssystemen nach Kriterien, welche durch Eigenschaften bzw. Leistungsvoraussetzungen des Menschen bestimmt werden [10].

Ergonomische Maßnahmen haben insbesondere dann eine hohe Chance umgesetzt und auch akzeptiert zu werden, wenn die Beteiligten über den Hintergrund aufgeklärt sind und sich damit identifizieren können. Aufklärung und Verständnis zu ergonomischen Prinzipien rücken daher zunehmend in den Fokus ergonomischer Interventionen.

Dieser Ratgeber wurde von der Ergoswiss AG beauftragt und hat sich das Ziel gesetzt, aktuelle Empfehlungen der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung mit physiologischen und trainingswissenschaftlichen Hintergrundinformationen zu ergänzen, um individuelle Maßnahmen für den Leser ableitbar zu machen. Für die korrekte Einstellung des Arbeitsplatzes soll

auch ein Verständnis für die Entstehung häufig auftretender arbeitsbedingter Erkrankungen des Bewegungsapparates geschaffen werden.

Im Sinne der DIN EN 614-1 bzw. DIN EN ISO 6385 ist das Ziel der Ergonomie „[...] das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren“.

# 2 EINFLUSS DER HÖHENVERSTELLBARKEIT VON TISCHEN AUF DEN BEWEGUNGSAPPARAT

Dass eine korrekte Anpassung der Arbeitshöhe ergonomisch sinnvoll ist, wird in der Regel nicht in Frage gestellt. Doch inwiefern die Arbeitshöhe Auswirkungen auf den Bewegungsapparat hat, kann nicht als Allgemeinwissen vorausgesetzt werden. Aus diesem Grund sollen zunächst einzelne physiologische Reaktionen des Körpers auf externe Reize geschildert werden, welche mit Belastungsmustern aus dem Arbeitsalltag in Verbindung gebracht werden. Dies kann unterstützen, um eine ergonomische Einstellung des Arbeitstisches abzuleiten.

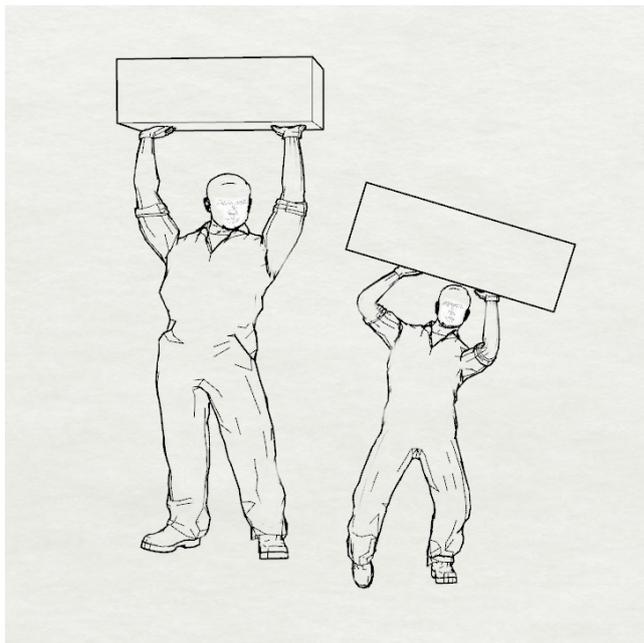


Abbildung 1 Die gleiche Belastung (das Gewicht der Kiste) führt je nach Person zu unterschiedlicher Beanspruchung

## 2.1 BELASTUNG UND BEANSPRUCHUNG

Die Begriffe Belastung und Beanspruchung wurden bereits 1953 von Lehmann [11] beschrieben. Als Belastung wird eine Kräfteinwirkung auf den Körper bezeichnet, welche – je nach gesundheitlicher Verfassung und Trainingsstand – eine indivi-

duelle Beanspruchung bewirkt [12].

Die Beanspruchung ist nach Olivier [13] von den intraindividuellen Voraussetzungen wie körperliche Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten abhängig.

Somit hat ein Arbeitsplatz, an dem regelmäßig Teile mit einem Gewicht von 10 kg umgesetzt werden müssen, stets dieselbe Belastung. Je nach Kraft und Ausdauer des jeweiligen Mitarbeiters an dem Arbeitsplatz ist die Beanspruchung aber sehr individuell.

Die DIN EN ISO 6385 beschreibt die Begriffe folgendermaßen:

- Arbeitsbelastung (äußere Arbeitseinwirkung): „äußere Bedingungen und Anforderungen in einem Arbeitssystem, die auf die physiologische und/ oder psychologische Beanspruchung einer Person einwirken“
- Arbeitsbeanspruchung: „innere Reaktion einer Person auf die Arbeitsbelastung, abhängig von deren individuellen Eigenschaften (z. B. Körpergröße, Alter, Fähigkeiten, Begabungen, Fertigkeiten usw.)“

## 2.2 ADAPTATION DES KÖRPERS AUF WIEDERKEHRENDE BELASTUNGSREIZE

Auf wiederkehrende Reize, die eine Kräfteanstrengung benötigen, ist eine natürliche Antwort des Körpers der Aufbau von Muskulatur. Dies ist nicht zuletzt aus der Trainingslehre bekannt. Aber auch in allen anderen Geweben des Bewegungsapparates stellt sich der Organismus auf wiederkehrende Belastungsreize ein, um somit die Beanspruchung durch die Belastung zu reduzieren [14]. So finden sich bei körperlicher Aktivität beispielsweise Anpassungen in Knorpel, Knochen, Bindegewebe sowie Sehnen [15].

### 2.2.1 Dynamische Belastungsreize

Essenziell für die Anpassungsvorgänge sind adäquate Erholungszeiten, welche im Training individuell geplant werden können [14, 16]. Auch hohe Belastungen kann der Körper temporär kompensieren und eine kurzzeitige Überbelastung kann schnell regeneriert werden. Wirkt die Belastung aber dauerhaft bzw. stark repetitiv oder mit hoher Last, können Überlastungserscheinungen entstehen. Mangelnde Erholungszeiten beeinträchtigen die Wiederherstellungsprozesse und damit die Belastbarkeit [14], was muskulo-skelettale Erkrankungen hervorrufen kann. Diese können sich chronisch manifestieren.

Im Gegensatz zum sportlichen Training, regulieren im Arbeitsalltag nicht der individuelle Trainingsplan, sondern die Arbeitszeiten und die Tätigkeiten den Wechsel von Belastung und Regeneration.

- Dynamische Belastungsreize können vom Bewegungsapparat grundsätzlich gut kompensiert werden.
- Hohe Last oder andauernde Repetition sollten vermieden werden oder ausreichende Erholungszeit berücksichtigen.
- Erholungsprozesse können durch gemäßigte dynamische Belastungsreize unterstützt werden. Job-Rotationen können auf diese Weise entlastend wirken.

### 2.2.2 Statische Belastungsreize

Statisch gleichbleibende Haltungspositionen haben generell einen negativen Effekt auf Muskulatur und Gelenke. Alle Strukturen des Bewegungsapparats sind auf einen Wechsel von Be- und Entlastung angewiesen, um mit ausreichend Nährstoffen versorgt zu werden und Stoffwechselprodukte und CO<sub>2</sub> abbauen zu können [10, 17, 18]. Ist dieser Austausch durch eine statisch anhaltende Belastung, insbesondere in ungünstigen Haltungen wie Überkopftätigkeit gestört, wird die Belastbarkeit reduziert und Muskel- und Gelenkbeschwerden können die Folge sein [19–21].

- Statische Belastungsreize sollten wenn möglich vermieden werden.

### 2.2.3 Zu geringe Belastungsreize

Langfristiges Ausbleiben von Belastungsreizen auf den Bewegungsapparat hat eine Degeneration der muskulo-skelettalen Strukturen und eine allgemeine Reduktion der Belastbarkeit zur Folge [22].

So treten beispielsweise bei Büroarbeitsplätzen häufig Rücken-erkrankungen und Bandscheibenvorfälle auf, die nicht auf eine zu hohe Belastung der Lendenwirbelsäule zurückzuführen sind (vgl. Kapitel 4 Richtig Sitzen). Deren Entstehung lässt sich vielmehr mit einer reduzierten Aktivierung und ungenügendem Trainingszustand der stabilisierenden Wirbelsäulenmuskulatur erklären.

- Wesentliche Ziele der Ergonomie sind es, sowohl Über- als auch Unterbeanspruchungen zu vermeiden [23].

## 2.3 EINTEILUNG IN BELASTUNGSMUSTER BEI TÄTIGKEITEN IN DER PRODUKTION

Arbeitsbedingte Belastungen des Bewegungsapparates können in repetitionsbedingte, haltungsbedingte und lastenbedingte Belastungen eingeteilt werden [20, 24]. Abhängig von der Belastungsart sind verschiedene körperliche Beschwerden wahrscheinlicher.

Repetitionsbedingte und haltungsbedingte Belastungen treten in der Produktion vorwiegend bei stark standardisierten Arbeitsprozessen, wie z.B. am Fließband auf und zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Häufige Wiederholung eines Arbeitsablaufes innerhalb meist kurzer Taktzeiten
- Durch zeit- und ablaufoptimierte Arbeitsplatzanordnung bestehen meist einseitige körperliche Belastungen
- Teilweise Tätigkeiten mit hohem statischem Belastungsanteil

## 2 EINFLUSS DER HÖHENVERSTELLBARKEIT VON TISCHEN AUF DEN BEWEGUNGSAPPARAT

einzelner Gelenke. So müssen bei ungünstig eingestellten Arbeitsplätzen beispielsweise die Schultern permanent angehoben werden, um die repetitive Tätigkeit durchzuführen.

- Hohe Wiederholungsfrequenz, bzw. statische Haltung bei niedriger Last

Lastenbedingte Belastungen finden sich hingegen häufiger bei nicht so stark standardisierbaren Arbeitsplätzen.

→ Ergonomische Maßnahmen sollten in der priorisierten Reihenfolge des TOP-Prinzips erfolgen (Technische Maßnahmen, Organisatorische Maßnahmen, Persönliche Maßnahmen). In Deutschland durch §4 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) festgelegt.

### 2.3.1 Auswirkungen häufiger Repetitionen auf den Bewegungsapparat

Der international verwendete Begriff „Repetitive Strain Injuries“ (RSI) beschreibt Krankheitsbilder, die aufgrund von hochfrequentierten Reizen mit geringer Intensität entstehen. Während ein einzelner solcher Reiz aufgrund seiner geringen Intensität keine hohe Belastung für den Bewegungsapparat darstellt, entwickeln sich RSIs durch eine hohe Wiederholung monotoner Bewegungsabläufe und nicht ausreichender Regenerationsmöglichkeiten. Aus der Sportphysiologie ist bekannt, dass ungenügende Regeneration als eine Ursache für Muskel- und Sehnenverletzungen gilt [16].

Je nachdem wie gut ein Gewebe durchblutet ist und wie stark es im Alltag belastet wird, können Verletzungen besser oder schlechter ausheilen. Sehngewebe hat im Gegensatz zu Muskeln eine gering ausgeprägte Gefäßversorgung [15], muss im Alltag aber hohen Belastungen standhalten. Daraus leitet sich eine verhältnismäßig lange Regenerationsdauer ab. Mikroverletzungen an Sehnenübergängen können durch leichte Schädigungen und andauernder repetitiver Belastung chronische Beschwerden hervorrufen. Aus diesem Grund stehen stark repetitive Tätigkeiten in dem Verdacht eine Ursache für Tennisellenbogen oder Sehnscheidenentzündungen zu sein

[20, 25].

Durch den geringen Wirksamkeitsnachweis der Therapien im Bereich des Tennisellenbogens sowie des Karpaltunnelsyndroms, kommt einer Belastungsreduktion bzw. einer ergonomischen Optimierung des Arbeitsplatzes eine wichtige Bedeutung zu [26, 27].

Allgemein gilt: Prävention ist besser als Therapie [28].

- Beginnende Beschwerden sollten ernstgenommen werden. Abhängig von der Tätigkeit und dem Gewebezustand können Dehnungen oder durchblutungsfördernde Maßnahmen angeraten werden.
- Die Gelenkstellung bei repetitiven Tätigkeiten hat einen Einfluss auf die Belastbarkeit und sollte unbedingt berücksichtigt werden (vgl. 2.4.3 Handgelenkstellung und Bewegungen).

### 2.3.2 Auswirkungen statischer Belastung auf den Bewegungsapparat

Für eine physiologische Arbeitsweise müssen sich die ausreichende Versorgung von Sauerstoff und Nährstoffen und der Abtransport von Stoffwechselprodukten und CO<sub>2</sub>, die in der Muskelzelle bei Aktivität vermehrt entstehen, immer die Balance halten [29].

Jedoch reduziert sich bereits bei geringer statischer Belastung der Nährstoffaustausch der Muskelzelle durch die Spannung des aktiven Muskels [30].

Eine mehrfach beschriebene Theorie zur Entstehung von Muskel-Skelett-Erkrankungen ist eine Unterversorgung von Muskel- oder Sehngewebe durch anhaltende statische Anspannung. Dies führt auf die Dauer zu einer höheren Anfälligkeit für Verletzungen durch Reduktion der Belastbarkeit [31, 32]. Auch der venöse Rücktransport wird bei statischer Belastung erschwert. Venen gehören zum Niederdrucksystem und ihre Rücktransport-Funktion ist von einem Wechsel von Muskelan- und entspannung abhängig, genannt „Muskelpumpe“ [33]. Im Vergleich zu statischer Belastung kann eine dynamische

Arbeit sehr lange ohne Ermüdung durchgeführt werden [10]. Außerdem tritt die Erholung nach dynamischer Muskelarbeit schneller ein als nach statischer [14]. Die Dauer, wie lange einer statischen Belastung standgehalten werden kann, ist abhängig von der individuellen Kraft (Abbildung 2).

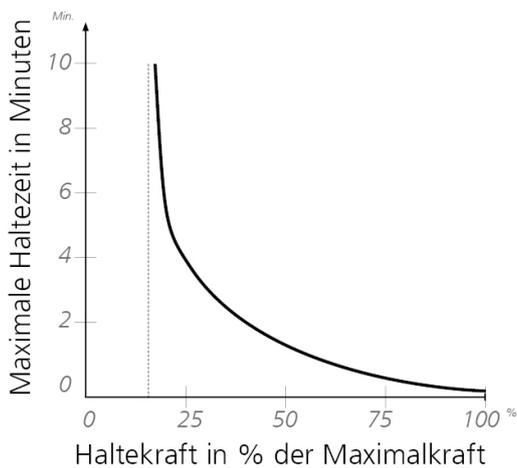


Abbildung 2 Maximale Haltezeit von Bruchteilen der maximalen statischen Kraft, ermittelt an verschiedenen Muskelgruppen und Versuchspersonen (vgl. [35]).

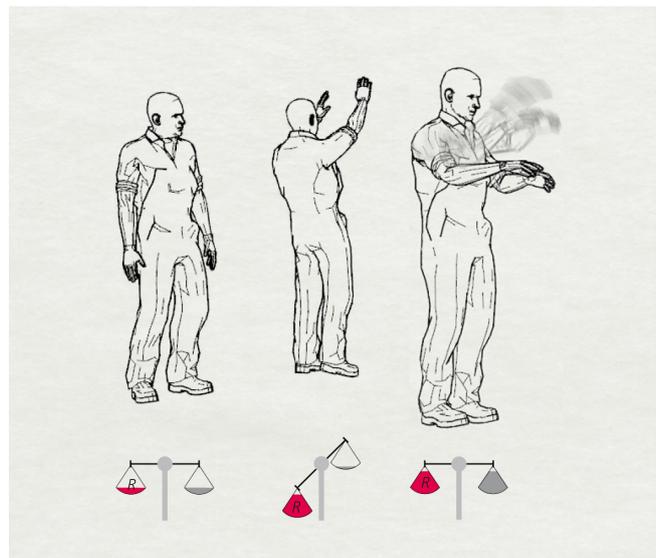


Abbildung 3 Der Durchblutungsbedarf (R: rote Waagschale) und die tatsächliche Versorgung mit Nährstoffen (graue Waagschale) dürfen nicht aus dem Gleichgewicht geraten. Bei statischer Arbeit (mittleres Bild) kann der Muskel nicht ausreichend mit Nährstoffen versorgt werden. Schmerzen können die Folge sein. Sowohl bei Entspannter Haltung (linkes Bild), kann auch - bis zu einer gewissen Dauer und Anstrengung - bei der dynamischen Aktivität (rechtes Bild) das Gleichgewicht gehalten werden.

Bei nicht ausreichender Regeneration kann ein unausgewogenes Verhältnis von Nährstoff-Bedarf und Abtransport von Stoffwechselendprodukten zu Verspannungen oder Muskelverhärtungen, oder in der Konsequenz zu weiteren Erkrankungen des Bewegungsapparates führen [32]. Schon im Bereich von mehr als 15% der Maximalkraft können statische Kräfte zur Muskelermüdung führen [10, 35]. Dieser Wert gilt somit als Dauerleistungsgrenze für statische Arbeit [34] und ist individuell abhängig. Im Gegensatz zum Sportler richtet sich die Regenerationszeit im Arbeitsleben jedoch nicht nach der individuellen Physis, sondern nach den zeitlichen Vorgaben der Produktion.

## 2 EINFLUSS DER HÖHENVERSTELLBARKEIT VON TISCHEN AUF DEN BEWEGUNGSAPPARAT

### 2.3.2.1 Zwangshaltungen

Unter Zwangshaltungen werden „ungünstige Körperhaltungen [verstanden], die zu statischen Muskelüberbeanspruchungen führen“ (DIN 33400). Meist werden darunter einseitige Belastungen oder Tätigkeiten im Knien, Hocken, Liegen, gebückt oder Überkopftätigkeiten gezählt (Abbildung 4). Für diese Tätigkeiten sind häufige Wechsel noch wichtiger. Nach Einschätzung der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt SUVA können durch Zwangshaltungen auch Nerven, andere Gewebe als Muskeln, und Organe überbelastet werden [36].

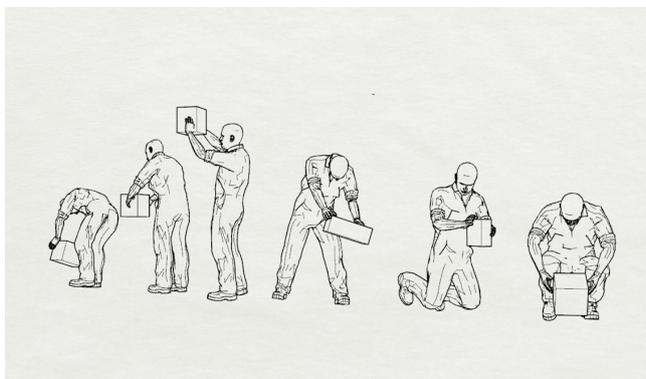


Abbildung 4 Tätigkeiten in Zwangshaltungen sind besonders belastend für den Bewegungsapparat

Zwangshaltungen sind ein häufiges Problem. Bei einer 2006 durchgeführten repräsentativen Befragung von 20.000 Erwerbstätigen in Deutschland, gaben mehr als 14 % der Erwerbstätigen an, häufig in Zwangshaltungen arbeiten zu müssen [37].

→ Zwangshaltungen sollten möglichst vermieden werden. Abhängig von der Tätigkeit und deren räumlichen Umfeld, sollten alle Elemente des TOP-Prinzips in Betracht gezogen werden, um Zwangshaltungen zu vermeiden oder deren Folgen zu reduzieren.

### 2.3.2.2 Ursachen unauffälliger statischer Belastung

Während eine statische Haltung der Schulter bei Überkopftätigkeiten offensichtlich ist, finden sich viele unauffälligere Formen dieser muskulären Haltearbeit in alltäglichen Bereichen. So lassen sich Verspannungen im Nackenbereich mit diesem Erklärungsansatz herleiten, wenn die Schultern über den Tag hinweg unbemerkt aber permanent leicht angehoben werden. Bei zu niedrigen oder ungünstig eingestellten Steharbeitsplätzen bewirkt eine leichte Neigung des Rumpfes nach vorne ebenfalls eine subtile statische Belastung auf die Muskulatur der Lendenwirbelsäule, was auf die Dauer zu Beschwerden führen kann (vgl. Abbildung 5 sowie Kapitel 2.4.1 Vorgeneigte Haltung des Oberkörpers an Steharbeitsplätzen vermeiden).

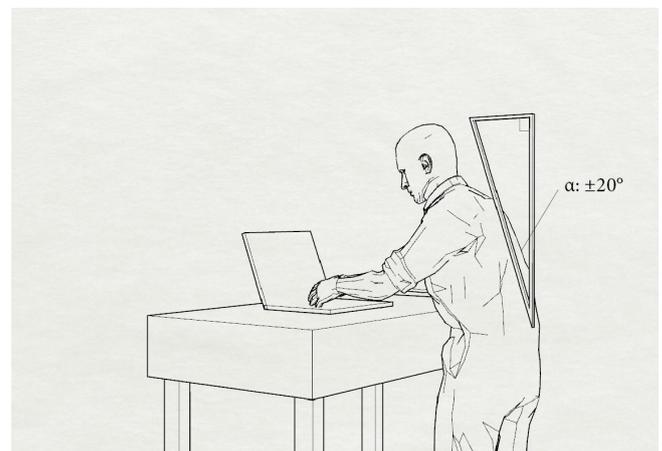


Abbildung 5 Statische Anspannung des unteren Rückens durch leichte Vorneigung des Rumpfes.

Auch die Belastbarkeit des Knorpels ist von einem ständigen Wechsel von Be- und Entlastung der Gelenke abhängig. In diesem Fall liegt allerdings ein etwas anderer Mechanismus zugrunde. Gelenkknorpel wird von der Flüssigkeit versorgt, welche sich innerhalb des Gelenks befindet (Synovia). Wie ein Schwamm im Wasserbad benötigt es auch hier einen Wechsel von Be- und Entlastung, damit der Knorpel ausreichend mit seiner nährstoffreichen Synovia versorgt wird [22]. An Arbeits-

plätzen mit wenig Bewegung und viel Stehen auf der Stelle, findet dieser Nährstoffaustausch somit weniger statt, obwohl er eigentlich verstärkt benötigt würde. Der Knorpel kann dadurch verstärkt beansprucht sein, obwohl er „nur“ das eigene Körpergewicht tragen muss.

- Um die Muskulatur zu entlasten, sollten statische Tätigkeiten durch dynamische Bewegungen möglichst häufig unterbrochen werden. Dies kann arbeitsorganisatorisch oder durch bewusste aktive Bewegungsübungen erreicht werden.
- Statische Haltungen finden oft unbemerkt statt. Um die Belastung zu reduzieren, sollten Mitarbeitern sensibilisiert und Arbeitsplätze adäquat angepasst werden.
- Um Abnutzungsentscheidungen in den Gelenken entgegenzuwirken, sollten Arbeitsplätze so ausgelegt werden, dass regelmäßige Sitz- und/ oder Gangphasen sich mit dem Stehen abwechseln.

### 2.3.3 Auswirkung von hohen Lasten auf den Bewegungsapparat

Hohe Lasten treten in der Produktion meist bei wenig standardisierten Arbeitsabläufen und fern vom Fließband auf. Aufgrund hoher Varianz und geringer Wiederholungszyklen gleicher Arbeitsschritte, ist eine technische Optimierung für einzelne Prozessschritte nicht möglich, bzw. rentabel. Stattdessen finden sich adaptierbare Hilfsmittel, die den jeweiligen Anforderungen angenähert werden können.

Die Tätigkeiten an solchen Arbeitsplätzen, man kann sich sinnbildlich eine Manufaktur vorstellen, zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Hoher Wechsel von Handhabungs- und Bearbeitungsschritten
- Somit ein häufiger Wechsel an körperlichen Anforderungen
- Teilweise Handhabung höherer Lasten oder in einer Zwangshaltung erforderlich, da Hebe- oder Haltevorrichtungen nicht an den einzelnen Prozessschritt optimiert sind.

Abgesehen von den meisten Bereichen der Automobil-Produktion und anderen Branchen, die schon früh hohe Ergonomie-Standards etabliert haben, lassen sich noch viele Arbeitsplätze finden, bei denen große Lasten auch mit hohen Wiederholungszahlen hantiert werden müssen. Lastenbedingte Beschwerden an Rücken oder Armen und Beinen können hier die Folge sein.

Die Beanspruchung des Individuums auf hohe Lasten ist dabei abhängig vom jeweiligen Trainingszustand und der Häufigkeit des Auftretens dieser Belastung. Tritt eine hohe Last in sehr unregelmäßigen und weiten zeitlichen Abständen auf, so kann sich beim Bewegungsapparat nur ein bedingter Trainingseffekt einstellen und die Last wird jedes Mal gleich schwer empfunden.

Wiederholt sich die Belastung sehr häufig und in kurzen Abständen, so steigt die Gefahr der Überlastung aufgrund einer zu geringen Regenerationszeit. Die Anpassung des Leistungsniveaus kann mit dem theoretischen Superkompensationsmodell nach Jankolew [38] vereinfacht dargestellt werden (Abbildung 6). Ausgehend von einem gegebenen Leistungsniveau folgt auf einen Trainingsreiz eine Erholungsphase, die das Leistungsniveau anschließend über den Ausgangswert hinaus steigert (genannt „Superkompensation“). Abhängig vom Zeitpunkt des nächsten Trainingsreizes ist das Leistungsniveau gesteigert oder noch reduziert zum Ausgangswert. Folgt innerhalb des Superkompensationszyklus kein erneuter Trainingsreiz, so pendelt sich das Leistungsniveau auf den Ausgangswert zurück. Die Dauer der Kurve ist abhängig von der Intensität einer Belastung und vom Individuum. Für die Vorstellung in unserem Beispiel kann von ca. 1-3 Tagen zwischen T0 und T3 ausgegangen werden.

## 2 EINFLUSS DER HÖHENVERSTELLBARKEIT VON TISCHEN AUF DEN BEWEGUNGSAPPARAT

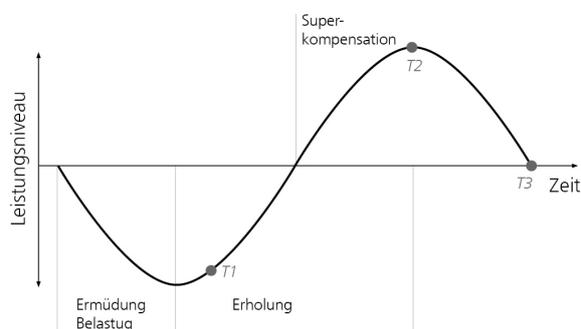


Abbildung 6 Prinzip der Superkompensation.

- T0** Ein Belastungsreiz ist erfolgt, der zu einer spürbaren Ermüdung führt.
- T1** Erfolgt die erneute Belastung innerhalb der Erholungsphase, ist das ursprüngliche Leistungsniveau noch nicht wieder erreicht → Die Last wird somit als noch schwerer empfunden.
- T2** Optimaler Zeitpunkt für einen neuen Belastungsreiz. Das Leistungsniveau ist höher als der Ausgangswert von T0 → Die Last wird als leichter empfunden.
- T3** Erfolgt die Belastung nach der Superkompensation gibt es keinen Unterschied zum Ausgangsniveau T0 → der Trainingseffekt hat sich wieder gelegt und die Last wird genauso schwer empfunden wie beim ersten Mal.

- Reduktion der Belastung durch den Einsatz leichterer Teile oder mechanischer Hilfsmittel zur Lastenaufnahme.
- Gezielte Trainingsmaßnahmen, falls sich hohe Lasten in unregelmäßigen und eher langen Abständen wiederholen oder
- Aktive Regenerationsmaßnahmen, falls hohe Lasten regelmäßig und häufig bei der Tätigkeit hantiert werden müssen.
- Aufklärung und Sensibilisierung für ein ergonomisches Verhalten (Verhaltensprävention).

### **DIN 33411-1, Ausgabe 1982-09**

„Körperkräfte des Menschen; Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen“

### **DIN 33411-4, Ausgabe 1987-05**

„Körperkräfte des Menschen; Maximale statische Aktionskräfte (Isodynien)“

### **DIN 33411-5, Ausgabe 1999-11**

„Körperkräfte des Menschen Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte“

### **ISO 11226, Ausgabe 2000 (E)**

„Ergonomics - Evaluation of static work postures“

### **DIN EN 1005-3, Ausgabe 2009-01**

„Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung; Deutsche Fassung EN 1005:2002+A1:2008“

### **Din EN ISO 6385, Ausgabe 2004 [aktualisiert 10/2014]**

„Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen“

### **Din EN ISO 26800, Ausgabe 2011-11**

„Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte“

## 2.4 PRINZIPIEN ZUR ERGONOMISCHEN EINSTELLUNG DES ARBEITSTISCHES

Um festzustellen, ob ein Arbeitsplatz ergonomisch ist, kann die Haltung bei der Tätigkeit evaluiert werden. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, gelten folgende Haltungsmerkmale als ergonomisch:

- Keine Zwangshaltung (Knien, Bücken, Hocken,...)
- Regelmäßiger Wechsel von Be- und Entlastung
- Regelmäßiger Wechsel von Haltungsmustern

### 2.4.1 Vorgeneigte Haltung des Oberkörpers an Steharbeitsplätzen vermeiden

Die aufrechte Haltung ist in der Auseinandersetzung des Körpers mit der Schwerkraft als eine Stellung definiert, in der die Körpersegmente optimal gegen die Schwerkraft und übereinander ausgerichtet sind. Der Gehörgang, das Schulterdach und die Mittellinie des Beins von der Seite betrachtet bis hinter zum Knöchel stehen in einer gedachten Lotlinie übereinander (vgl. Abbildung 7). Die aufrechte Haltung ist durch Ökonomie, minimalen Energieverbrauch und Effizienz charakterisiert [39].

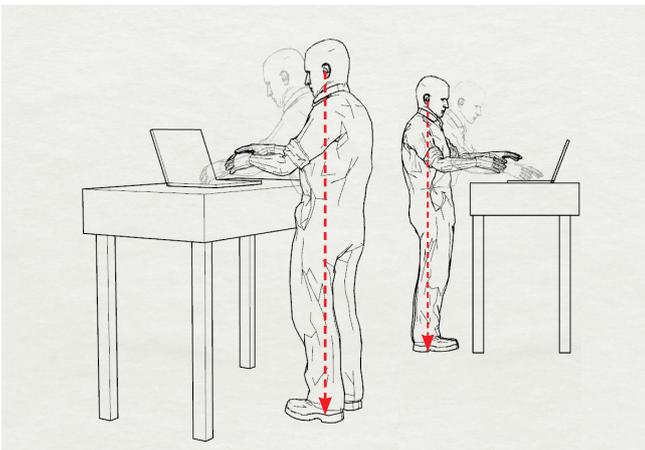


Abbildung 7 Die aufrechte Haltung lässt sich an einer gedachten Lotlinie zwischen Gehörgang des Ohrs und Außenknöchel erkennen.

Eine vorgeneigte Haltung des Oberkörpers, z.B. aufgrund eines zu tiefen Arbeitstisches an einem Steharbeitsplatz hat eine statische Anspannung des Rückenstreckers zur Folge. Durch die Anspannung der Muskulatur, werden die blutzuführenden Gefäße (Arterien) eingeengt. Dauerhaft kann ein zu tiefer Arbeitsplatz somit Verspannungen, Muskelverhärtungen oder in Folge dessen, schwerwiegendere Muskel-Erkrankungen begünstigen. Rückenschmerz ist eine der häufigsten körperlichen

Beschwerden in der Bevölkerung (D, CH) [3, 4].

- Empfohlen wird eine maximale Neigung von 20° nach vorne. Der Zeitfaktor wird leider meist nicht berücksichtigt. Denn bereits bei geringer statischer Anspannung wird die Mikrozirkulation in der Muskulatur vermindert [40, 41].
- Ausgleichsbewegungen im Sinne von gezielten, kurzzeitig gehaltenen Überstreckungen des Rückens (Abbildung 8) sind zu empfehlen, auch um passives Stützgewebe wie die Bandscheibe in Form zu halten [17, 42].

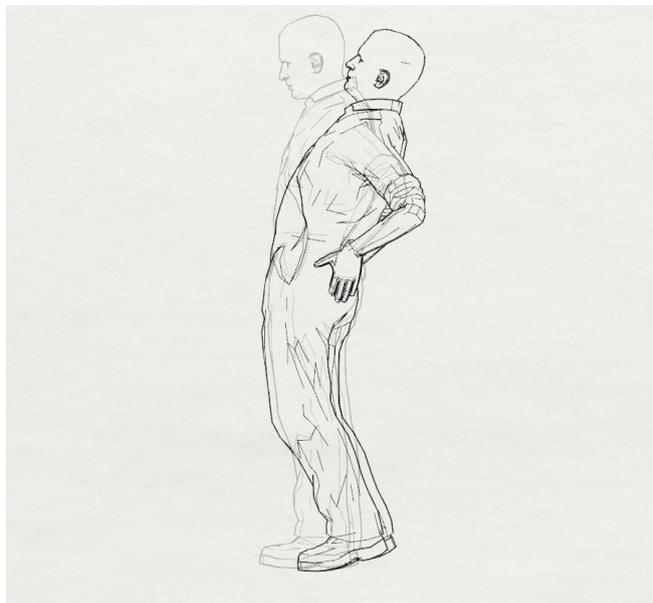


Abbildung 8 Extensionsübung im Stand. Die Hände liegen auf dem Kreuzbein. Es soll stets beachtet werden, dass durch die Überstreckung kein Schmerz provoziert wird.

### 2.4.2 Nacken

Eine Überstreckung des Nackens sollte generell über längere Zeit vermieden werden, da dies eine Steigerung der Kompressionsbelastung von Wirbelbogengelenken und den darin austretenden Nervenwurzeln bedingt [43]. Ferner geben mehrere Autoren an, dass die Augen schneller austrocknen können, wenn der Bildschirm zu hoch platziert wird. Hintergrund ist, dass die Tränenflüssigkeit schneller verdunstet, da die Augenlider weiter geöffnet werden, wenn man noch oben schaut [44].

Eine zu starke Beugung im Nacken kann wiederum Spannungs-Kopfschmerzen verursachen [45].

Nach ISO 11226 (Ergonomics – Evaluation of static work postures) wird für längere Haltungen ein Winkelbereich von 0-25° Vorneigung empfohlen [41].

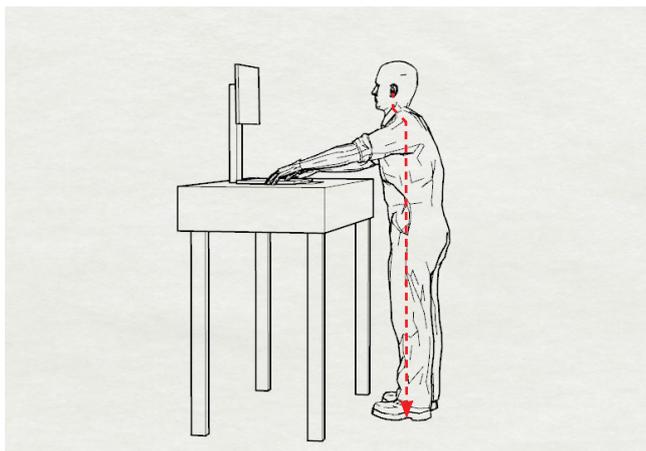


Abbildung 9 Die Positionierung des Bildschirms hat einen Einfluss auf die Nackenbelastung. An diesem Arbeitsplatz ist der Bildschirm zu hoch eingestellt. Wirbelbogengelenke und Nerven können dadurch belastet werden. Außerdem müssen die Schultern zu stark angehoben

- Der Arbeitsplatz sollte so eingerichtet werden, dass weder ein lang andauerndes noch ein häufig wiederholtes Überstrecken des Nackens oder ein Beugen von mehr als 25°, zur Ausübung der Tätigkeit erforderlich sind.
- Bildschirme sollten daher nicht zu hoch eingestellt werden, unabhängig, ob es sich um einen Sitz- oder Steharbeitsplatz handelt. Die Oberkante des Bildschirms sollte auf ca. 5 cm unterhalb der Augenhöhe eingestellt werden.

### 2.4.3 Handgelenkstellung und Bewegungen

Erkrankungen wie Sehnenscheidenentzündungen und Sehnenansatzreizungen, wie Tennis- oder Golfer-Ellenbogen können durch einseitige, langdauernde mechanische Beanspruchung und ungewohnte Arbeiten aller Art bei fehlender oder gestörter Anpassung entstehen [46]. Diese Krankheitsbilder sind häufig und langwierig. So beträgt beispielsweise die durchschnittliche Dauer krankheitsbedingter Abwesenheit beim Tennisarm 29 Tage und tritt bei bis zu 30% aller Montagearbeiter auf [27].

Die Muskulatur kann am besten auf Belastungen reagieren, wenn sie sich in einer mittleren Dehnstellung befindet. Externe Reize oder kleine Impulse, welche beispielsweise durch das Setzen von Steckverbindungen entstehen können, sind weniger belastend, wenn sich das Handgelenk in einer neutralen Stellung befindet.

Insbesondere bei sich häufig wiederholenden Reizen oder Krafteinwirkungen spielt die Handgelenkstellung eine entscheidende Rolle in der Entwicklung von RSI [25, 47] (vgl. auch 2.3.1 Auswirkungen häufiger Repetitionen auf den Bewegungsapparat). Auf eine möglichst neutrale Ausgangsstellung des Handgelenks sollte daher geachtet werden - insbesondere bei Tätigkeiten, mit hohem Kraftaufwand und/ oder hohen Wiederholungszahlen.



Abbildung 10 Maximalstellungen des Handgelenks sollten vermieden werden. Insbesondere die linke Hand muss stark nach hinten gestreckt werden (Dorsalextension).

Das Ergonomie-Bewertungsverfahren EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) gibt jeweils Grenzen zu Gelenkstellungen an, ab denen sie einen negativen Einfluss in die Bewertung des Arbeitsplatzes haben. Diese sind  $45^\circ$ , jeweils für das Beugen und Strecken im Handgelenk und  $15^\circ$  für das seitliche Anwinkeln Richtung Speiche, respektive  $20^\circ$  in Richtung Elle [48].

- Während der Belastung und über die Zeit der Tätigkeit hinweg, sollten sich die Handgelenkstellungen an der Neutralstellung orientieren. Diese entspricht ungefähr der Position, wenn die Hand auf einer Computermouse aufliegt.
- Die Tischhöhe spielt hier eine entscheidende Rolle und sollte entsprechend eingestellt sein. Ist der Tisch zu niedrig, so muss das Handgelenk bei vielen Tätigkeiten nach hinten gestreckt werden (Dorsalextension).
- Wenn möglich immer das Bauteil drehen und nicht um das Bauteil herumgreifen, um extreme Gelenkstellungen zu vermeiden.

# 3 ARBEITSPLATZGESTALTUNG BEI STEHARBEITSPLÄTZEN

Ergonomisch verstellbare Büromöbel und deren korrekte Verwendung erfordert u.a. das notwendige Wissen der Nutzer [49]. Verschiedene Normen machen Angaben zur Arbeitsplatzgestaltung. Die Informationen müssen für die direkte Anwendung allerdings zunächst zusammengestellt werden.

Als Grundlage für die Angaben zur Arbeitsgestaltung dienen Sammlungen von Körpermaßen (beispielweise DIN 33402). Für die Arbeitsplatzgestaltung werden in der Regel je drei Maße für Männer und Frauen angegeben, welche sich auf die Perzentile 5 (nur 5% sind kleiner) 50 und 95 (nur 5% sind größer) beschränken. Die Werte erstrecken sich daher von 154cm (5. Perzentil der Frau) bis 186cm (95. Perzentil des Mannes). Einzelne Maßangaben sind somit nicht veröffentlicht. Da alle Längenmaße untereinander sehr hoch korreliert sind [50], erscheint eine rechnerische Erweiterung dieser Werte legitim.

Nachfolgend werden 2 Methoden beschrieben, um eine ergonomische Tischhöhe abzuleiten.

## 3.1 ABLEITUNG DER TISCHHÖHE NACH HALTUNGSMERKMALEN

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 beschriebenen Einflussfaktoren auf den Bewegungsapparat, sollten folgende Haltungsmerkmale gegeben sein:

- Aufrechte Körperhaltung (weniger als 20° Vorneigung des Rumpfes).
- Oberarme sollten möglichst senkrecht nach unten hängen.
- Die Nackenmuskulatur sollte möglichst nicht (dauer-) angespannt sein.
- Leichte Aktivität der Bauchmuskulatur (nicht ins Hohlkreuz fallen).
- Die Handgelenke sollten vorwiegend in Mittelstellung arbeiten können – insbesondere, wenn höhere Kraftanforderungen notwendig sind.
- Knie sind nicht ganz durchgestreckt (leichte spürbare Spannung auf der vorderen Oberschenkelmuskulatur).

## 3.2 ABLEITUNG DER TISCHHÖHE NACH NORM-VORGABEN

Die nachfolgende Tabelle 1 ermöglicht eine Schnelleinschätzung zur empfohlenen Arbeitshöhe, abhängig von der Körpergröße und Einstufung der Tätigkeit in fein, leicht oder schwer. Unter feinen Tätigkeiten werden Tätigkeiten mit kurzen Sehdistanzen und geringem Kraftaufwand verstanden. Schwere Tätigkeiten beschreiben Arbeiten mit einem hohen Krafteinsatz.

Letztlich ist jedoch nicht die Höhe der Tischplatte, sondern die Arbeitshöhe entscheidend. Diese ist wiederum vom zu bearbeitenden Werkstück abhängig. Ist dieses besonders hoch, so sollte die Tischhöhe nach unten korrigiert werden.

Tabelle 1 kann somit lediglich einen Richtungswert bieten und die Merkmale aus 3.1 Ableitung der Tischhöhe nach Haltungsmerkmalen müssen bei der Tätigkeit immer wieder überprüft werden.

Die Werte ergeben sich wie folgt: Nach DIN 33406 und ÖNORM A8061 orientiert sich die ergonomische Einstellung der Tischhöhe an der Ellenbogenhöhe und Art der Tätigkeit (fein: Ellenbogenhöhe +50 bis +100 mm; leicht: -100 bis -150 mm; schwer: -150 bis -400 mm). Die Werte für die Ellenbogenhöhe wurden aus anthropometrischen Daten der DIN 33402 von den Autoren extrapoliert, um für alle Körperhöhen zwischen 1,45m und 2,10m einzelne Angaben machen zu können. Der angegebene Wert entspricht jeweils der Mitte der empfohlenen Einstellung + 2 cm als Korrekturwert der Körperhöhe durch die getragenen Arbeitsschuhe.

*Tabelle 1 Die empfohlene Einstellung der Tischhöhe in Abhängigkeit von Körpergröße und Art der Tätigkeit.*

Körper- Größe	Feine	Leichte	Schwere	Körper- Größe	Feine	Leichte	Schwere
	Tätigkeit	Tätigkeit	Tätigkeit		Tätigkeit	Tätigkeit	Tätigkeit
	(+/- 2,5 cm)	(+/- 2,5 cm)	(+/- 12,5 cm)		(+/- 2,5 cm)	(+/- 2,5 cm)	(+/- 12,5 cm)
<b>2,10</b>	1,44	1,24	1,09	<b>1,77</b>	1,21	1,01	0,86
<b>2,09</b>	1,43	1,23	1,08	<b>1,76</b>	1,20	1,00	0,85
<b>2,08</b>	1,42	1,22	1,07	<b>1,75</b>	1,20	1,00	0,85
<b>2,07</b>	1,42	1,22	1,07	<b>1,74</b>	1,19	0,99	0,84
<b>2,06</b>	1,41	1,21	1,06	<b>1,73</b>	1,18	0,98	0,83
<b>2,05</b>	1,40	1,20	1,05	<b>1,72</b>	1,17	0,97	0,82
<b>2,04</b>	1,39	1,19	1,04	<b>1,71</b>	1,17	0,97	0,82
<b>2,03</b>	1,39	1,19	1,04	<b>1,70</b>	1,16	0,96	0,81
<b>2,02</b>	1,38	1,18	1,03	<b>1,69</b>	1,15	0,95	0,80
<b>2,01</b>	1,37	1,17	1,02	<b>1,68</b>	1,15	0,95	0,80
<b>2,00</b>	1,37	1,17	1,02	<b>1,67</b>	1,14	0,94	0,79
<b>1,99</b>	1,36	1,16	1,01	<b>1,66</b>	1,13	0,93	0,78
<b>1,98</b>	1,35	1,15	1,00	<b>1,65</b>	1,13	0,93	0,78
<b>1,97</b>	1,35	1,15	1,00	<b>1,64</b>	1,12	0,92	0,77
<b>1,96</b>	1,34	1,14	0,99	<b>1,63</b>	1,11	0,91	0,76
<b>1,95</b>	1,33	1,13	0,98	<b>1,62</b>	1,11	0,91	0,76
<b>1,94</b>	1,33	1,13	0,98	<b>1,61</b>	1,10	0,90	0,75
<b>1,93</b>	1,32	1,12	0,97	<b>1,60</b>	1,09	0,89	0,74
<b>1,92</b>	1,31	1,11	0,96	<b>1,59</b>	1,08	0,88	0,73
<b>1,91</b>	1,31	1,11	0,96	<b>1,58</b>	1,08	0,88	0,73
<b>1,90</b>	1,30	1,10	0,95	<b>1,57</b>	1,07	0,87	0,72
<b>1,89</b>	1,29	1,09	0,94	<b>1,56</b>	1,06	0,86	0,71
<b>1,88</b>	1,28	1,08	0,93	<b>1,55</b>	1,06	0,86	0,71
<b>1,87</b>	1,28	1,08	0,93	<b>1,54</b>	1,05	0,85	0,70
<b>1,86</b>	1,27	1,07	0,92	<b>1,53</b>	1,04	0,84	0,69
<b>1,85</b>	1,26	1,06	0,91	<b>1,52</b>	1,04	0,84	0,69
<b>1,84</b>	1,26	1,06	0,91	<b>1,51</b>	1,03	0,83	0,68
<b>1,83</b>	1,25	1,05	0,90	<b>1,50</b>	1,02	0,82	0,67
<b>1,82</b>	1,24	1,04	0,89	<b>1,49</b>	1,02	0,82	0,67
<b>1,81</b>	1,24	1,04	0,89	<b>1,48</b>	1,01	0,81	0,66
<b>1,80</b>	1,23	1,03	0,88	<b>1,47</b>	1,00	0,80	0,65
<b>1,79</b>	1,22	1,02	0,87	<b>1,46</b>	0,99	0,79	0,64
<b>1,78</b>	1,22	1,02	0,87	<b>1,45</b>	0,99	0,79	0,64

# 4 RICHTIG SITZEN

## 4.1 TISCH- UND STUHLHÖHE BEI SITZARBEITSPLÄTZEN

Grundsätzlich werden die Stellgrößen zur Einstellung von Sitzarbeitsplätzen einheitlich beschrieben. Abhängig davon, ob sich auch der Tisch oder nur der Stuhl in seiner Höhe anpassen lässt, muss jedoch eine andere Reihenfolge berücksichtigt werden.

### 4.1.1 Sitzarbeitsplatz, an dem sich die Stuhl- und Tischhöhe anpassen lassen

#### 1. Stuhlhöhe auf Höhe des Kniegelenks einstellen

Zur Sitzhöhe wird in der Literatur einheitlich empfohlen, dass der Winkel im Kniegelenk  $\geq 90^\circ$  sein sollte. Somit lässt sich die Stuhlhöhe an der Höhe des Kniegelenkspaltes ableiten. Im Stand kann das eingestellt werden, wenn die Höhe des Sitzpolsters auf Höhe der Kniescheibe eingestellt ist (Abbildung 11).

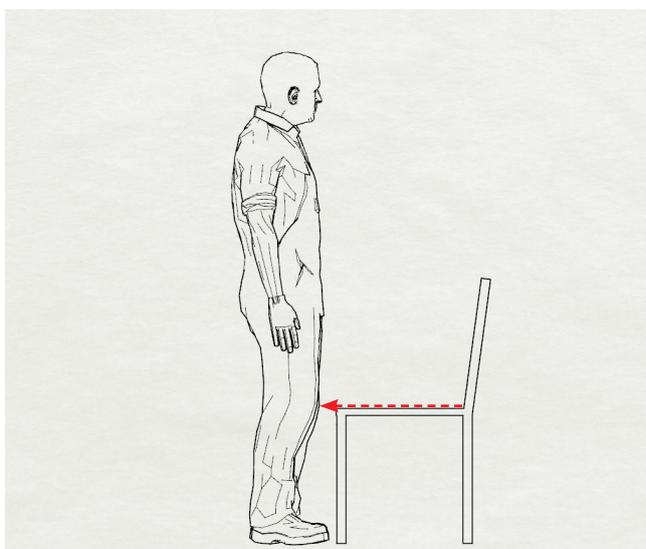


Abbildung 11 Einstellung der Stuhlhöhe. Das Sitzpolster sollte auf die Höhe der Kniescheibe im Stehen eingestellt werden.

#### 2. Tischhöhe auf Höhe des Ellenbogens

Generell wird auch im Sitzen die „Ellenbogenregel“ empfohlen, d.h.: Oberarme locker hängen lassen und die Unterarme zu  $90^\circ$  anwinkeln. Die untere Ellenbogenkante und der Tisch sollten nun auf denselben Level gebracht werden.

### 4.1.2 Sitzarbeitsplatz, an dem sich nur der Stuhl, der Tisch jedoch nicht anpassen lässt

#### 1. Stuhlhöhe einstellen, dass die Ellenbogen denselben Level haben wie die Tischplatte

Die Höhe der Ellenbogen ist das empfohlene Maß für die Tischhöhe. Ist der Tisch nicht höhenverstellbar sollte der Stuhl entsprechend hoch eingestellt werden.

#### 2. Winkel der Beine und Bodenkontakt der Füße überprüfen

Sollten die Füße keinen ausreichenden Kontakt mehr zum Boden haben, wird eine Fußstütze empfohlen [44, 51].

## 4.2 SITZHALTUNG

### 4.2.1 Widersprüche bei der Empfehlung EINER optimalen Sitzhaltung

Für die Einstellung des Rückens sind die Empfehlungen nicht eindeutig. Das aufrechte Sitzen wird in den meisten Ratgebern und Normen als Muster des richtigen Sitzens angegeben und zur Einstellung der Arbeitsmöbel empfohlen. Davon abgesehen, dass diese Muster-Sitzhaltung nicht über die gesamte Arbeitszeit hinweg beibehalten werden kann, wird in Fachkreisen weiter diskutiert, was unter einer „optimalen“ Sitzhaltung zu verstehen ist [52, 53, 54].

Eine stark eingesunkene Haltung wird häufig als Ursache für Rückenschmerzen beschrieben [55]. Gleichmaßen gibt es Evidenz, dass eine besonders aufrechte Haltung mit Vorneigung des Rumpfes die Belastung auf die Bandscheiben erhöht [49, 56, 57] was ebenfalls die Entstehung von Rückenschmerzen begünstigen kann [54].

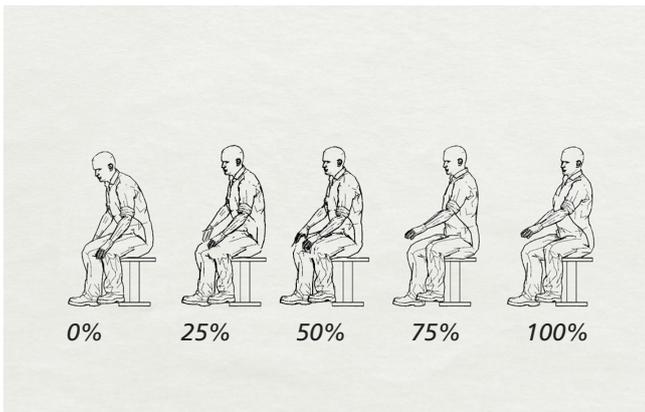


Abbildung 12 Die Wirbelsäulenaufrichtung von stark eingesenken bis maximal aufgerichtet. Eine Aufrichtung von ca. 75% wird empfohlen [61].

Zunehmend setzt sich die Erkenntnis durch, dass neben der richtigen Einstellung der Sitzhöhe das gesunde Sitzverhalten entscheidend ist [52].

Insbesondere längeres Sitzen wird als Risikofaktor von Rückenschmerzen angesehen. Der Bewegungsmangel hat auf Dauer für das Gewebe ungünstige Folgen [14, 22, 58, 59, 60]:

- Eine Unterversorgung von Nährstoffen für Knorpel und Bänder, was zu einer Verminderung der Belastbarkeit führt
- Degeneration der Bandscheiben
- Eine zunehmende 'Versteifung' der Gelenke

#### 4.2.2 Ableitung der Sitzhaltung nach Haltungseigenschaften

In einer Befragungen von Physiotherapeuten wurde es insgesamt für vorteilhaft empfunden, wenn die Sitzposition [54, 61]:

- 70 bis 75 Prozent der maximalen Wirbelsäulenaufrichtung entspricht
- einer natürlichen Wirbelsäulenhaltung entspricht
- sie komfortabel und entspannt ist und
- keine hohe Anspannung der Muskulatur beansprucht.

## 4.3 SITZVERHALTEN

Ganz abgesehen davon, welche Haltung als optimal angesehen wird, ist es nicht ratsam, diese über längere Zeit hinweg bewegungslos beizubehalten [58]. Bewegung wird benötigt, um die Zellen fit und belastbar zu erhalten. Das gilt für den Rücken genau wie für die Beine. Häufig ist vom „aufrecht-dynamischen Sitzen“ die Rede, welches in der betrieblichen Rückschule angeleitet wird [49]. Die Haltung der Wirbelsäule lässt sich maßgeblich über die Stellung des Beckens beeinflussen.

Generell lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

- Eine grundsätzlich positive Haltung, entspricht ca. 70-75% der maximalen Aufrichtung.
- Dennoch wenig in einer bestimmten Position verharren – also auch nicht in der „Optimal-Haltung“.
- Möglichst zwischen Sitzen und Stehen am Arbeitsplatz abwechseln.

# 5 GREIFRÄUME UND EINTEILUNG DER ARBEITSMITTEL

Greifräume sind definierte Bereiche um den Menschen, in dem Objekte ohne wesentliche Haltungsänderung mit der Hand berührt, ergriffen oder in der Lage verändert werden können [62]. Für die Einrichtung und Anordnung von Arbeitsplätzen können die definierten Greifräume hilfreich sein. So sollten beispielsweise manuelle Tätigkeiten mit hoher visueller Kontrolle möglichst körpernah stattfinden, da die Genauigkeit der Bewegungen mit zunehmender Entfernung vom Körper erschwert ist. Außerdem ist es naheliegend, dass aufgrund des Hebels hohe Lasten nicht körperfern hantiert werden sollten.

In der Literatur werden für die Greifräume drei (z.B. [10]) oder vier Zonen (z.B. [34]) angegeben. Die Differenz ergibt sich aus der ersten Zone, welche teilweise nicht einzeln aufgeführt ist [29]:

Zone 1: Arbeitszentrum/ Montageort

Beide Hände arbeiten nahe beieinander und befinden sich im Zentrum des Blickfeldes

Zone 2: Erweitertes Arbeitszentrum

Beide Hände erreichen alle Punkte dieser Zone

Zone 3: Einhandzone

Zone zum Ablegen von Gegenstände, die einhändig gegriffen/ bedient werden

Zone 4: Erweiterte Einhandzone

Äußerste noch nutzbare Zone, z.B. für die Bereitstellung von Kleinteilen in Greifbehältern. Bei großer Wiederholungszahl oder hoher Last wirkt sich die Belastung nach kurzer Zeit ungünstig auf das muskulo-skelettale System aus.

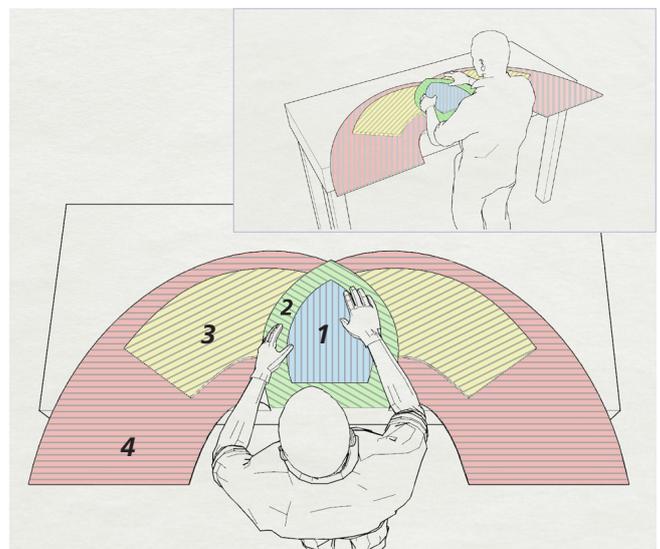


Abbildung 13 Darstellung der Greifräume am Arbeitsplatz

- Manuelle Tätigkeiten in den äußeren Bereichen sollten vermieden werden, da sie eine statische Haltearbeit der Rücken- und Armmuskulatur erfordern und die Hebelverhältnisse ungünstig sind. Diese Bereiche eignen sich für die Bereitstellung leichter Materialien.
- Wenn der Arbeitsplatz von mehreren Mitarbeitern verwendet wird, sollte er nach der kleinsten Person ausgelegt werden, da der Greifraum einer größeren Person den kleineren Greifraum überlagert.
- Der kann beispielsweise durch Bewegungseinschränkungen verkleinert sein und muss somit individuell überprüft werden.

Weiterführende Empfehlungen zur Gestaltung des Arbeitsplatzes gibt die **DIN 33402-2 Beiblatt 1: 2006-08**. Einen Leitfaden für die Anwendung anthropometrischer Daten gibt die Norm **DIN SPEC 33402-6**.

# 6 KÜNSTLICHE BELEUCHTUNG

Neben der erforderlichen Helligkeit, die für die Arbeit benötigt wird, spielt Licht auch eine Rolle für das Wohlempfinden, denn Licht steuert unsere „innere Uhr“. Im Laufe der Evolution hat sich ein Tag-Nacht-Rhythmus entwickelt. Das wahrgenommene Licht und somit auch die Beleuchtung am Arbeitsplatz, können für verschiedene physiologische Abläufe einen Einfluss haben. Neben dem Herzfrequenz und der Thermoregulation lassen sich auch Veränderungen der Hirnströme messen, die mit Konzentration und Wachheit einhergehen [63, 64]. Verantwortlich dafür ist der blaue Anteil des Lichts, der im Nervensystem anders als andere Wellenlängen verarbeitet wird [65].

Einflussgrößen des Lichts sind [66,67]:

- Beleuchtungsstärke, -höhe und -farbe
- Lichtstrom, Lichtstärke, Leuchtdichte, Reflexionsgrad, Kontrast, Lichtausbeute Blendung/ Reflexion, Flimmern/ Pulsation der Lichtquelle, Schatten

In den Normen werden Mindestwerte zur Beleuchtungsstärke angegeben, die nicht unterschritten werden dürfen, aber nach oben hin an die jeweilige Situation angepasst werden können.

Art des Raumes bzw. der Tätigkeit (Beispiele)	Mindestbeleuchtungsstärke in Lux (lx)	
	DIN EN 12464-1:2003-03	ASR A3.4
Nach Angaben von:		
Verkehrsflächen und Flure	100	50-150
Pausenräume		200
Lagerräume		50-300 k.A.
Mittelfeine Montagearbeiten	300	300
Grobe/ Mittlere Maschinenarbeiten (Toleranz > 0,1 mm)		
Produktionsanlagen mit ständigen manuellen Eingriffen		
Werkzeug-, Lehren- und Vorrichtungsbau	1000	500 – 1500 (z.B. Uhrenmacher)
Präzisions- und Mikromechanik		
Büros und büroähnliche Arbeitsbereiche	500	500
Schreiben, Lesen, Datenverarbeitung		
Technisches Zeichnen (Handzeichnen)	750	750

Tabelle 2 Erforderliche Beleuchtungsstärken (Nach DIN EN 12464-1:2003-03; Abschnitt 5.3 und Arbeitsschutzrichtlinie ASR A3.4 Anhang 1)

Im Alter muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass sich die allgemeine Sehleistung reduziert und die Blendempfindlichkeit steigt [66].

- Licht hat einen unterbewussten biologischen Einfluss auf den Menschen, was sich auf Konzentrationsfähigkeit und Wohlbefinden auswirken kann. Mögliche negative Auswirkungen durch ungünstige Beleuchtung sollten bei der Arbeitsplatzanalyse nicht außer Acht gelassen werden.
- Bei der Auswahl und Einstellung des Lichts spielt neben der Art der Tätigkeit auch das Alter eine wichtige Rolle.
- Für besondere Sehaufgaben oder abhängig vom Sehvermögen des Beschäftigten empfiehlt sich eine zusätzliche teilflächenbezogene Beleuchtung [67].
- Wichtig ist, dass die Arbeitsfläche gleichmäßig ausgeleuchtet wird und keine Blendungen durch punktuell hohe Helligkeit erzeugt werden. Das kann vermieden werden, indem z.B. Leuchten hoch genug über dem Arbeitsplatz angebracht werden [66].
- Sind mehrere Personen an einem Arbeitsplatz, muss sich die Beleuchtungsstärke nach der Person mit der geringsten Lichtsensitivität der Augen richten - also der Person, die die stärkste Beleuchtung benötigt, um die Tätigkeit gut durchführen zu können [10].

**DIN SPEC 67600, Ausgabe 2013-04**

„Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen“

**DIN SPEC 5031-100, Ausgabe 2009-1**

„Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren“

**DIN 5035-8, Ausgabe 2007-07**

„Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 8: Arbeitsplatzleuchten – Anforderungen, Empfehlungen und Prüfung“

**DIN EN 12464-1, Ausgabe 2001-08**

„Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche Fassung EN 12464-1:2011“

**ASR A3.4 (nicht gültig für die Schweiz), Ausgabe 2011-04**

„Beleuchtung“

**DIN EN 12665, Ausgabe 2001-09**

„Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung“

# 7 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Strom, A. (Hrsg.). (2017). Anteile der zehn wichtigsten Krankheitsarten an den Arbeitsunfähigkeitstagen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2015: Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. [p. 19].
- [2] European Agency for Safety and Health at Work. (2017). Estimating the cost of work-related accidents and ill-health: An analysis of European data sources. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [p. 12].
- [3] Bundesamt für Statistik BFS. (2013). Schweizerische Gesundheitsbefragung 2012: Übersicht. Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. [p. 14].
- [4] Liebers, F. & Caffier, G. (2009). Berufsspezifische Arbeitsunfähigkeit durch Muskel-Skelett-Erkrankungen in Deutschland: Forschung Projekt F 1996. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. [p. 108, 110].
- [5] Petrini, L. & Camenzind, P. (2015). Gesundheit im Kanton Graubünden: Ergebnisse aus der Schweizerischen Gesundheitsbefragung 2012 und weiterer Datenbanken (Obsan Bericht 64). Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. [p. 99].
- [6] European Commission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion (2011). Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health. Luxembourg.
- [7] European Agency for Safety and Health at Work. (2010). OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [p. 3].
- [8] Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2014). Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme: Ergebnisse einer Zusatzerhebung im Rahmen des Mikrozensus 2013. Auszug aus Wirtschaft und Statistik September 2014, 561–574. [p. 562].
- [9] European Agency for Safety and Health at Work. (2012). Förderung des aktiven Alterns am Arbeitsplatz. [p. 1].
- [10] Merkel, T. & Schmauder, M. (2012). Ergonomisch und normgerecht konstruieren. Berlin, Wien, Zürich: Beuth. [p. 44, 84, 142-143].
- [11] Lehmann, G. (1953). Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart: Thieme.
- [12] Prohl, R. & Röthig, P. (2003). Sportwissenschaftliches Lexikon (7. Aufl.). Schorndorf: Hofmann. [p. 72].
- [13] Olivier, N., Büsch, D. & Marschall, F. (2008). Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre. Schorndorf: Hofmann. [p. 24].
- [14] Weineck, J. (2004). Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings (15. Aufl.). Balingen: Spitta. [p. 51, 962, 1041].
- [15] van den Berg, F. & Arendt-Nielsen, L. (2010). Angewandte Physiologie (3. Aufl.). Stuttgart: Thieme. [p. 151].
- [16] Güllich, A. & Krüger, M. (Hrsg.) (2013). Sport: Das Lehrbuch für das Sportstudium. Berlin, Heidelberg: Springer. [p. 446, 193].
- [17] Dölken, M. & Hüter-Becker, A. (2015). Physiotherapie in der Orthopädie (3. Aufl.). Stuttgart, New

- York: Thieme. [p. 64, 464].
- [18] Hüter-Becker, A. & Betz, U. (2006). *Das neue Denkmodell in der Physiotherapie – Band 1: Bewegungssystem* (3. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme. [p. 421].
- [19] Sakakibara, H., Miyao, M., Kondo, T. & Yamada, S. (1995). Overhead work and shoulder-neck pain in orchard farmers harvesting pears and apples. *Ergonomics*, 38(4), 700–706.
- [20] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). (2016). DGUV Information 208-033, 1–44. [p. 14-17, 24, 25].
- [21] Sood, D., Nussbaum, M. A., Hager, K. & Nogueira, H. C. (2017). Predicted endurance times during overhead work: Influences of duty cycle and tool mass estimated using perceived discomfort. *Ergonomics*, 60(10), 1–10.
- [22] van den Berg, F. (1999). *Angewandte Physiologie*. Stuttgart: Thieme. [p. 283, 126].
- [23] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA). Merkblatt 021 Ergonomie. Wien. [p. 2].
- [24] Daub, U. (2016). *Der assistierte Mensch in der Produktion: Von der Orthese zum Exoskelett*. Vortrag auf 5. Fachkonferenz: Ergonomie in der Produktion Mainz. München: Süddeutscher Verlag Veranstaltungen GmbH.
- [25] Walker-Bone, K., Palmer, K. T., Reading, I. C., Coggon, D. & Cooper, C. (2012). Occupation and epicondylitis: A population-based study. *Rheumatology*, 51(2), 305–310. [p. 4].
- [26] Kaufmännische Krankenkasse (Hrsg.). (2008). *Beweglich?: Muskel-Skelett-Erkrankungen-Ursachen, Risikofaktoren und präventive Ansätze*. Berlin, Heidelberg: Springer. [p. 126 f.].
- [27] Barmer Gmünder Ersatzkasse (GEK). (2012). *Heil- und Hilfsmittelreport 2012*. Siegburg: Asgard Verlagsservice GmbH.
- [28] Hennies, G. (1998). *Basiswissen medizinische Begutachtung: Rechtliche und inhaltliche Grundlagen des ärztlichen Fachgutachtens*. Stuttgart: Thieme. [p. 36].
- [29] Becker, M., Hettinger, T. & Wobbe, G. (1993). *Kompodium der Arbeitswissenschaft: Optimierungsmöglichkeiten zur Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation*. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl. [p. 111, 161].
- [30] Reneman, R. S., Slaaf, D. W., Lindbom, L., Tangelder, G. J. & Arfors, K.-E. (1980). Muscle blood flow disturbances produced by simultaneously elevated venous and total muscle tissue pressure. *Microvascular Research*, 20(3), 307–318. [p. 315].
- [31] Hagberg, M. (1984). Occupational musculoskeletal stress and disorders of the neck and shoulder: A review of possible pathophysiology. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 53(3), 269–278. [p. 271].
- [32] Visser, B. & van Dieën, J. H. (2006). Pathophysiology of upper extremity muscle disorders. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(1), 1–16.
- [33] Schwegler, J. S. & Lucius, R. (2016). *Der Mensch: Anatomie und Physiologie* (6. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme. [p. 310].
- [34] Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM). (2013). BGHM-Information 101: Mensch und Arbeitsplatz in der Holz- und Metallindustrie. [p. 23 f.].
- [35] Rohmert, W. (1960). Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. *Inter-*

- ationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie, 18(2), 123–164. [p. 131].
- [36] Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA). (2010). Präzisionsarbeit in der Uhrenindustrie. [p. 7].
- [37] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2010). Grundausswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2005/2006. [p. 25].
- [38] Jankolew, N. (1976). Erweiterung der Regulationsbereiche des Stoffwechsels bei Anpassung an verstärkte Muskeltätigkeit. *Medizin und Sport*, 16, 66–70.
- [39] Klein-Vogelbach, S. (2000). Funktionelle Bewegungslehre: Bewegung lehren und lernen (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- [40] Bertmaring, I., Babski-Reeves, K., & Nussbaum, M. A. (2008). Infrared imaging of the anterior deltoid during overhead static exertions. *Ergonomics*, 51(10), 1606–1619. [p. 1607].
- [41] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). (2000). ISO 11226 - Ergonomics - Evaluation of static work postures. [p. 4, 7].
- [42] McKenzie, R., Rose-Zeuner, J. & Höpner, I. (2006). *Behandle deinen Rücken selbst*. Raumatı Beach New Zealand: Spinal Publications.
- [43] Farmer, J. C. & Wisneski, R. J. (1994). Cervical spine nerve root compression. An analysis of neuroforaminal pressures with varying head and arm positions. *Spine*, 19(16), 1850–1855.
- [44] Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA). (2017). Bildschirmarbeit. [p. 12 f., 15].
- [45] Nagasawa, A., Sakakibara, T. & Takahashi, A. (1993). Roentgenographic findings of the cervical spine in tension-type headache. *Headache*, 33(2), 90–95.
- [46] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2007). Merkblatt zur BK Nr. 2101. [p. 1].
- [47] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (ed.). (1997). *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors*. [4-1].
- [48] Institut für Arbeitswissenschaft TU Darmstadt (IAD) (Hrsg.). (2012). *Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3*.
- [49] Landau, K. (2009). *Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen: Definitionen, Vorkommen, Arbeitsschutz* (2. Aufl.) Stuttgart: Gentner. [p. 861, 947, 949].
- [50] Greil, H. (2001). Körpermaße 2000: aktuelle Perzentilwerte der deutschen Bevölkerung im jungen Erwachsenenalter. *Brandenburgische Umweltberichte*, 10, 23–53. [p. 37].
- [51] Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM). (2013). *Arbeiten an Bildschirmgeräten: BGI 742. BG-Information*. [p. 25].
- [52] Pynt, J., Higgs, J. & Mackey, M. (2009). Seeking the optimal posture of the seated lumbar spine. *Physiotherapy Theory and Practice*, 17(1), 5–21. [p. 6].
- [53] Claus, A. P., Hides, J. A., Moseley, G. L. & Hodges, P. W. (2009). Is ‚ideal‘ sitting posture real? Measurement of spinal curves in four sitting postures. *Manual therapy*, 14(4) 404–408. [p. 404].
- [54] O’Sullivan, K. & Dankaerts, W. (2012). What do physiotherapists consider to be the best sitting spinal posture? *Manual therapy*, 17(5), 432–437. [p. 432, 435].

- [55] Womersley, L. & May, S. (2006). Sitting posture of subjects with postural backache. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 29(3), 213–218.
- [56] Kapandji, I. A. (2009). *Funktionelle Anatomie der Gelenke: Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik ; einbändige Ausgabe - obere Extremität, untere Extremität, Rumpf und Wirbelsäule* (5. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme. [p. 98].
- [57] Wilke, H.-J., Neef, P., Caimi, M., Hoogland, T. & Claes, L. E. (1999). New In Vivo Measurements of Pressures in the Intervertebral Disc in Daily Life. *Spine*, 24(8), 755–762. [p. 758].
- [58] Fischer, P. (2004). Zusammengesunken oder aufrecht sitzen?: - Was ist gesünder und wie lässt sich eine gesündere Haltung trainieren? *Manuelle Therapie*, 8(4), 147–152. [p. 147, 149].
- [59] Twomey, L. T. & Taylor, J. R. (2000). *Physical therapy of the low back* (3. Aufl.). New York: Churchill Livingstone.
- [60] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.). (2006). Merkblatt zu der Berufskrankheit Nr. 2018 der Anlage der Berufskrankheiten-Verordnung (BKV). [p. 3].
- [61] Fischer, P. (2012). *Tests und Übungen für die Wirbelsäule*. Stuttgart: Thieme. [p. 47].
- [62] Schmidtke, J.-F. (2013). *Ergonomie: Daten zur Systemgestaltung und Begriffsbestimmungen*. München: Hanser. [p. 697].
- [63] Pross, A., Stefani, O., Bossenmaier, S. & Bues, M. (2015) LightWork: Benutzerakzeptanz und Energieeffizienz von LED-Beleuchtung am Wissensarbeitsplatz. [p. 6].
- [64] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). (2015). DIN SPEC 5031-100: 2015-08 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren. [p. 13 f.].
- [65] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). (2013). DIN SPEC 67600:2013-04: Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen. [p. 11].
- [66] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). (2016). DGUV Information 215-210, 14-17 & 27. [p. 10 ff., 19 f.].
- [67] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2011). Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4. [p. 7, 83].

# IMPRESSUM

## **Kontaktadresse:**

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA  
Abt. Biomechatronische Systeme  
Nobelstr. 12  
70569 Stuttgart  
[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

Urban Daub  
Telefon: +49 711 970 – 3645  
[urban.daub@ipa.fraunhofer.de](mailto:urban.daub@ipa.fraunhofer.de)

Autoren: Urban Daub, Sarah Gawlick, Florian Blab

Februar 2018  
DOI: 10.24406/IPA-N-481686

Lizenziert unter CC-BY-NC 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.de>

Darstellungen: Michael Brück, Jérémy Lefint; © Fraunhofer IPA  
Studie erstellt im Auftrag von Ergoswiss AG



