

Tabelle 2: Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse belastbarer Studien mit Relevanz für Belastungsprofile in den Gewerbebezügen der BGN:

Studie	Branche	Tätigkeit	n _{subj}	EMG	Kin	Dyn	Mod	pub _d	pub _i	Lev.	Aussage	Schlussfolgerungen
Brüggemann et al (1995)	Alle	Heben von Lasten	1	x	x	x	x	x		5	Modellgestützte Berechnung der Druckkraft L5/S1 für verschiedene Hebevorgänge	<ul style="list-style-type: none"> • Primär Arbeitshöhe anpassen • Hubweg zwischen Boden und Knie vermeiden • Lastgewicht reduzieren
Brüggemann et al (1996)	Backgewerbe	Verschiedene	12	x	x	x	x	x		6	<ul style="list-style-type: none"> • Tätigkeitsanalyse im normalen Arbeitsalltag • Prädiktoren für Rückenbeschwerden 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderate Arbeitsbelastung korrespondiert mit Beschwerdefreiheit • Keine Diskrimination zwischen Betriebsgrößen möglich
Brüggemann (1996)	Milchverarbeitung	Pasteurisieren	2	x	x	x	x	x		5	<ul style="list-style-type: none"> • Insgesamt hohe Belastung • Besonders belastend Anschieben der Körbe, Verschieben der Körbe in den Ofen, Verschließen des Ofens 	<ul style="list-style-type: none"> • Verschiebung der Griffe nach oben führt zu Belastungsminde- rung • Risiko für Bandscheibenschäden besonders beim Verschieben der Körbe in den Ofen hoch
Brüggemann (1997)	Getränkeindustrie	Kommissionieren Ausliefern	24	x	x	x	x	x		6	<ul style="list-style-type: none"> • Körperliche Gesamtbeanspruchung • Kompressions- und Scherkräfte am lumbosakralen Übergang 	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmung von Belastungsschwerpunkten (siehe Text) • Durchführung von Kompensationstraining • Periodisierung der Arbeitsbelastung • Periodisierung und Planung der Regeneration
Schumann et al (1998) Kleine et al (1999) Schumann et al (1999)	Alle	Büroarbeit	9	x	x			x	x	4	Ermüdung der Schulter-Nacken-Muskulatur bei langanhaltender Schreibarbeit	<ul style="list-style-type: none"> • Haltungsverfall führt zu Anheben der Schultern und damit zu muskulärer Beanspruchung • Psychische Belastung führt zu erhöhter Muskelanspannung

Studie	Branche	Tätigkeit	n _{subj}	EMG	Kin	Dyn	Mod	pub _d	pub _i	Lev.	Aussage	Schlussfolgerungen
Bradl (2000)	Getränkeindustrie	Versandfahrer	14	x	x					3	Differenzierte Aussagen zur individuellen Belastung in verschiedenen Situationen beim Ausliefern von Getränken	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation von Belastungsschwerpunkten • Einfluss der Arbeitstechnik • Korrelation zu Beschwerden
Bradl et al (2007) Mörl et al (2007)	Dauerbackwarenherstellung	Verpackung	5	x	x			x	x	4	<ul style="list-style-type: none"> • Differenzierte Entlastungseffekte von Armschlaufen für verschiedene untersuchte Muskelgruppen • Abhängigkeit von Greifdistanz 	Entlastung der Schulter- und Rückenmuskulatur durch Armschlaufen nachweisbar
Bradl et al (2008)	Hotel- und Gastgewerbe	Verschiedene (Rezeption & Kellner)	4	x	x			x		3	Belastungsschwerpunkte sind an der Rezeption langanhaltendes Stehen, bei den Kellnern das Eindecken und Bedienen am Tisch	<ul style="list-style-type: none"> • Entlastungsmöglichkeiten während der Arbeit schaffen (Ausgleichsübungen) • Alternatives Bewegungsangebot außerhalb der Arbeitszeit • Ergonomische Unterweisung • Fußstütze unter Rezeption
Mörl et al (2008) Hartmann et al (2009)	Primär Baugewerke	Bodennahe Arbeiten	3	x	x					2	Messtechnische Prüfung ergonomischer Hilfen für bodennahe Arbeiten (Fliesenlegen)	<ul style="list-style-type: none"> • Effekte individuell verschieden • Am Körper getragene Hilfen müssen gut passen
Bradl (2009)	Gewürzmühle	Abfüllung	1	x	x					2	Haltungs- und Beanspruchungsanalyse im Arbeitsprozess	Individuelle Empfehlungen zur Beanspruchungsminderung
Bradl et al (2010)	Backgewerbe	Maschinelle Herstellung von Teiglingen	5	x	x			x		3	Ranganalyse der Belastungsfaktoren muskuläre Beanspruchung und Haltung der Wirbelsäule	Belastungsschwerpunkte: <ul style="list-style-type: none"> • Teig schneiden • Teig einlegen • Kübel schieben • Bleche abnehmen
Mörl (2011)	Hotel- und Gastgewerbe	Schneiden von Lebensmitteln	1		x					1	Flexion der Wirbelsäule beim Schneiden ohne und mit Schneidbretterhöhung	Das Benutzen einer Schneidbretterhöhung verbessert die Haltung deutlich. Es treten keine Zwangshaltungen mehr auf.

Studie	Branche	Tätigkeit	n _{subj}	EMG	Kin	Dyn	Mod	pub _d	pub _i	Lev.	Aussage	Schlussfolgerungen
Bradl (2015)	Fleischereigewerbe	Auslösen, Zerlegen	7	x	x	x		x		4	Messung von Greifkraft, Handgelenkwinkeln und Aktivität der Unterarmmuskulatur bei verschiedenen typischen Arbeiten mit dem Messer	<ul style="list-style-type: none"> • Als Belastungsschwerpunkte werden das Entfetten von Schwarte und das Auslösen identifiziert. • Als Belastungsschwerpunkt wird das Zerlegen von Schweinebauch und Schweinerücken identifiziert. • Als Belastungsschwerpunkt bei der Zerlegung von Schweinekeulen wird das Abdecken identifiziert. • Belastungsschwerpunkt ist die Zerlegung von Rückenstücken (Handgelenkwinkel) und die Zerlegung von Rinderbrust (Greifkraft)
Bradl (2017)												
Bradl (2017b)												
Bradl (2018)												
Mörl et al (2007b) Mörl (2013)	Alle	Schieben und Ziehen	20	x	x	x	x			5	Berechnung der Belastung beim Schieben und Ziehen	Griffposition hat ausschlaggebende Bedeutung für die resultierende Belastung
Mörl and Bradl (2013)	Alle	Tätigkeiten im Sitzen	13	x	x			x	x	5	Messung der Aktivität der Rückenmuskulatur bei Tätigkeiten im Sitzen	Im Sitzen wird die Aktivierung der Rückenmuskulatur äußerst gering.
Rupp et al (2015)	Alle	Rumpfbeugung					x	x	x	3	Berechnung einer Beugebewegung mit dem Stuttgarter Wirbelsäulenmodell	Abschätzung der Belastung in allen simulierten Bestandteilen möglich.

Studie	Branche	Tätigkeit	n _{subj}	EMG	Kin	Dyn	Mod	pub _d	pub _i	Lev.	Aussage	Schlussfolgerungen
Schumann et al (2017)	Nahrungsmittelin- dustrie	Palettieren	8	x	x			x		3	Bei Palettieren auf Bodenniveau Erhöhung der Beanspruchung um <ul style="list-style-type: none"> • 23-50 % beim Palettieren • 55-200 % bei der Rückbew. gegenüber Palettieren auf Tischniveau Kniestütz trägt zur Beanspruchungssenkung im Rücken bei	<ul style="list-style-type: none"> • Beim Palettieren kommt einer Anpassung der Arbeitshöhe primäre Bedeutung zu. • Belastungsschwerpunkt ist gerade bei kleinen Lasten die Höhendifferenz zwischen Start und Ziel.
Mörl et al (2020)	Alle	Alle	19	x	x	x	x	x	x	7	Funktion passiver Strukturen im Rückenbereich	Mit zunehmender Krümmung der LWS erhöhte Kraft, erzeugt durch passive Strukturen, und damit erhöhter Bandscheibeninnendruck
Mörl and Bradl (2020 a, b)	Alle	Palettieren	22	x	x	x				4	Häufiges Beugen erhöht die Steifheit passiver Gewebe im Rückenbereich	Eventuell Hinweis auf Ermüdungserscheinungen
Mörl and Bradl (2020c)	Alle	Belastung bei Unfall	9		x	x	x			3	Einfaches Schultermodell	Abschätzung der Belastung innerer Strukturen bei Unfällen

Darstellung der Studien im Einzelnen:

Brüggemann et al (1995): Quantifizierung der Wirbelsäulenbelastung bei unterschiedlichen Formen der Lastenmanipulation

Hubweg	Körpernah			Körperfern		
	0 kg	10 kg	25 kg	0 kg	10 kg	25 kg
Boden – Hüfte	2250	2793 (124%)	3655 (162%)	1820	2840 (156%)	4380 (241%)
Boden – Kopf	1694	2635 (155%)	3895 (230%)			
Knie - Kopf	1385	2145 (155%)	2705 (195%)			
Hüfte - Boden	2080	2465 (118%)	3620 (174%)			
Kopf - Boden	1460	2710 (186%)	4160 (285%)			
Kopf - Knie	1190	2190 (184%)	2765 (232%)			

Aussagen: Der Unterschied zwischen dem Anheben und dem Absenken ist überall nur gering. Die Bewegung Boden-Hüfte liefert ohne Zusatzlast die höchsten Kraftwerte. Die Bewegung Knie-Kopf liefert durchgängig die niedrigsten Werte. Bei einer Reduktion des Hubwegs um die Strecke Boden-Knie reduziert sich die Belastung um 23 ... 38 %. Der Belastungsschwerpunkt in der Bewegung liegt zwischen Boden und Kniehöhe. Bei der Manipulation auf Kopfhöhe spielt sich der Hauptteil der Belastung bereits im Bereich geringerer Gewichte ab.

Schlussfolgerungen: Der Anpassung der Arbeitshöhe kommt auch bei der Lastenhandhabung mit geringen Gewichten bereits eine hohe Bedeutung zu. Hebevorgänge zwischen Bodenhöhe und Kniehöhe sollten vermieden werden. Bei der Lastenhandhabung über Schulterhöhe ist einer Reduktion des Lastgewichtes Priorität einzuräumen.

Brüggemann et al (1996): Rückenbeschwerden und Wirbelsäulenbelastungen bei Mitarbeitern im Bäckereigewerbe

Umfangreiche anamnestische und Befunddaten werden gemeinsam mit arbeitsbezogenen Belastungsdaten einer statistischen Analyse unterzogen. In den Vergleich fließen Daten aus Klein-, Mittel und Großbetrieben ein.

Chronische Rückenschmerzen	50 %				
Positiver MRI-Befund	50%				
Funktionszustand der WS	Mobilität unter Norm	Kraft: Flexion/Extension unter Norm, Rotation/Seitneige über Norm (linksbetont)			
Tätigkeitsverteilung:	Stehen 55 %	Gehen 16 %	Heben/Tragen 16 %	Bücken 5 %	Schieben 4 %
	Ziehen 4 %	Pause 1 %			
Lastenmanipulation:	≤ 5kg 10 %	5 ... 25 kg 10 %	≥ 30 kg 10 %		
Arbeitsposition:	Hüfthöhe 34 %	Kopfhöhe 4 %	Kniehöhe 2 %	über Kopfhöhe 1 %	Boden < 1 %
Tätigkeiten:	Drehen 23 %	Zugeben 12 %	Kneten 4 %		
Kompressionskraft L5/S1:	Teig ablegen ≈ 70 %	Teig lösen ≈ 60 %	Kübel schieben ≈ 60 %		
Scherkraft vorn/hinten:	Teig lösen ≈ 110 %	Teig ablegen ≈ 30 %	Kübel schieben ≈ <10 %		
Scherkraft seitlich: (100 % = Heben 25kg)	Teig ablegen ≈ 150 %	Kübel schieben ≈ 130 %	Teig lösen ≈ 60 %		
Verteilung Rumpfflexion	>30° - 15%	30°-10° - 42%	10° - -10° - 30%	< -10° - 13%	
Verteilung Seitneige (Gemessen in den ersten 2 h des Arbeitstages)	-20° - 7%	-10° - 40%	0° - 47%	+10° - 5%	

Aussagen: Aus der Tätigkeitsverteilung lässt sich eine typischerweise hohe Arbeitsintensität ableiten. Der Hauptteil der Arbeit erfolgt stehend. Der Anteil der Lastenmanipulationen ist vergleichsweise hoch und verteilt sich etwa gleich auf die Lastkategorien. Beim Heben betragen die Lasten zwischen 5 kg und 35 kg, beim Ziehen und Schieben 50 kg bis 130 kg. Der Hauptteil der Arbeit erfolgt auf Hüfthöhe (Tischhöhe). Bei berufstypischen Tätigkeiten wie Drehbewegungen, Hinzugeben und Kneten sind am häufigsten die Rumpftorsionen zu beobachten.

Positive MRI-Befunde gehen nicht notwendig mit chronischen Rückenschmerzen einher. In der Beschwerdegruppe finden sich nur 67 % der positiven MRI-Befunde.

Kompressionsbelastungen am lumbosakralen Übergang sind bei bäckertypischen Tätigkeiten eher geringer als beim Heben von 25kg. Scherkräfte sind zum Teil deutlich höher.

Es wird überwiegend in einer leichten Vorneige und Seitneige (nach links) gearbeitet.

Im Funktionsprofil der Wirbelsäule werden beschwerdefreie Probanden von Probanden mit Schmerzen durch eine höhere Mobilität in der Flexion/Extension, eine höhere Kraft der Bauchmuskulatur und durch eine höhere Leistungsfähigkeit der Rückenmuskulatur signifikant unterschieden.

Anhand der Tätigkeits- und Belastungsparameter kann nicht zwischen Probanden mit und ohne Beschwerden unterschieden werden. Ausnahme: Beschwerdefreie Probanden zeichnen sich durch eine längere Dauer der Manipulation mittlerer Lasten aus.

Zwischen den Betriebsgrößen kann anhand der analysierten Daten nicht unterschieden werden. Lediglich die Manipulation schwerer Lasten trat im Großbetrieb deutlich häufiger auf.

Schlussfolgerungen:

Die Funktionsfähigkeit der Wirbelsäule und der wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur haben dominanten Einfluss auf die Beschwerdelage.

Es scheinen keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Betriebsgrößen zu bestehen.

Der Vor- und Seitneige sind bei der Arbeitsplatzgestaltung besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Mittelhohe Belastungen mit relativ großem zeitlichen Umfang scheinen sich positiv auf den muskulären Funktionszustand und damit auf das Beschwerdebild auszuwirken.

Brüggemann (1996): Biomechanische Studie der Belastungen an Arbeitsplätzen in der Milchverarbeitung unter besonderer Berücksichtigung der Tätigkeit an Sterilisationsrotomaten

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse über 4h, N=2 (Videoanalyse, OEMG, Modell-Berechnungen, Kraftmessung)

Aussagen:

Tätigkeitsverteilung beim Pasteurisieren von Kondensmilch (25 Körbe á 312kg pro Stunde):

Wagen beladen 7% Ofen beschicken 10% Ofen schließen 2% Ofen entleeren 7% = 25% der Gesamtarbeitszeit

Kraft beim Anschieben des Wagens: Nach vorn $\leq 600\text{N}$ Seitlich $< 100\text{N}$ Vertikal $< 100\text{N}$

Abschätzung der Kräfte an L5/S1:

Schieben des Wagens: Kompressionskraft 1700N Scherkraft 700N

Heben von 15kg: Kompressionskraft 2800N Scherkraft 300N

Körperposition und Scherkräfte lassen Bandscheibenschädigung durch das Schieben der Wagen nicht ausschließen

Änderung der Griffhöhen um 10cm nach oben (Simulation):

Kompressionskraft -30%

Scherkraft -15%

Muskelkraft M. erector spinae -30%

Muskelkraft M. latissimus dorsi -30%

Korbmanipulation vom Wagen in den Ofen (seitlich verschieben)

Kompressionskraft n. a.

Scherkraft 1400N

Torsionsmoment 100Nm

Muskelkraft M. erector spinae $> 70\%$ (Max.)

Muskelkraft M. latissimus dorsi $> 50\%$ (Max)

Asymmetrische Krafteinleitung birgt hohes Schädigungsrisiko der lumbalen Bandscheiben

Beim Öffnen und Schließen der Öfen zeigen beide Muskelgruppen (M. latissimus dorsi, M. erector spinae) über 300% der Aktivierung beim Schieben.

Brüggemann (1997): Ganzkörperbelastungen bei Versandfahrern in der Getränkeindustrie

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse beim Kommissionieren und Ausliefern über jeweils 1h, N=24 (Videoanalyse, OEMG, Modell-Berechnungen, Kraftmessung; kardiovaskuläre und respiratorische Messung)

Kardiovaskuläre [bpm], respiratorische [l/min] und Laktatmessung [mmol/l]:

	HF Ruhe (vor Arbeit)	HF Mittel (bei Arbeit)	HF Max (bei Arbeit)	Sauerstoff (vor Arbeit)	Sauerstoff (bei Arbeit)	Laktat (vor Arbeit)	Laktat (nach Arbeit)
Kommissionieren	91	120	143	0,66	0,90	1,32	1,06
Ausliefern	99	156	181	0,82	2,28	5,40	7,62

Zeitanteile [%], mittlere Kräfte an L5/S1 [bezogen auf Stehen, Gehen, jeweils MW und Max] und Gesamtbelastung [Rang] bei verschiedenen Tätigkeiten:

	Zeitanteil	Kompressionskraft	Scherkraft seitlich	Scherkraft vorn-hinten	Rang ges.
Kommissionieren					
Stehen, Gehen	18	1,0	1,0	1,0	13
Gehen mit Elektroameise	62	1,9	3,8	6,5	10
Rücken von großen Getränkekästen	10	2,2	4,0	10,0	7
Manipulieren von Kästen und Fässern	8	4,8	6,0	5,0	5
Manipulieren von Einweggebinden	2	3,6	4,5	3,3	12
Ausliefern					
Stehen, Gehen	29	1,0	1,0	1,0	13
Stapeln von Gebinden auf Hebebühne	9	4,9	6,5	5,0	9
Gehen mit beladener Transportkarre	23	2,1	4,3	6,7	7
Beladene Transportkarre Rampe hochziehen	4	2,5	5,0	8,0	2
Beladene Transportkarre Rampe herunterlassen	3	2,1	5,1	7,0	5
Beladene Transportkarre Treppe hochziehen	13	2,5	5,2	6,0	3
Beladene Transportkarre Treppe herunterlassen	8	2,2	5,2	7,8	1
Transportkarre entladen, Stapel schieben	1	2,4	3,1	11,7	4
Gehen mit unbeladener Transportkarre	9	2,2	3,6	5,0	10

Aussagen:

Aus der Messung von Herzfrequenz, Laktat und Sauerstoffaufnahme geht hervor, dass das Kommissionieren eher einer moderaten Belastung, das Ausliefern der Belastung bei einem sportlichen Training gleichkommt.

In 20% (Kommissionieren) bzw. 60% (Ausliefern) der Gesamtarbeitszeit wird Lastenmanipulation unter hoher Belastung von Wirbelsäule und Muskulatur durchgeführt.

Aus der Bewertung der Kompressions- und Scherkräfte am Bewegungssegment L5/S1 ergeben sich Belastungsschwerpunkte besonders beim Ausliefern. Dabei werden die vorderen Ränge durch das Manipulieren der beladenen Transportkarre belegt (Treppe, Rampe) sowie durch das Bewegen von vollen Gebinden (hier auch beim Kommissionieren).

Die gleiche Belastung ergibt bei unterschiedlichen körperlich-konditionellen Voraussetzungen extrem unterschiedliche Beanspruchungen. Daher erscheint ein berufsvorbereitendes Training der belasteten Systeme und Strukturen sinnvoll und präventiv wirksam.

Schlussfolgerungen:

Die Arbeitsbelastung lässt einen direkten Vergleich mit sportlichem Leistungstraining zu. Daher sollten entsprechend dem dortigen Verfahren folgende Strategien angewendet werden:

- Durchführung von Kompensationstraining
- Periodisierung der Arbeitsbelastung
- Periodisierung und Planung der Regeneration

Schumann et al (1998): Oberflächen-EMG-Muster der Schulter-, Hals- und Rückenmuskulatur von Schreibkräften während mehrstündiger Arbeit am Bildschirmarbeitsplatz

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse beim Schreiben am Bildschirmarbeitsplatz über jeweils 3x1h, N=9 (OEMG, Haltungsanalyse)

Anstieg der muskulären Beanspruchung [normalisierte RMS, %] über die 3 Stunden Arbeit: Daten wie Kleine et al (1999)

Aussagen:

Aussagen analog zu Kleine et al (1999)

Kleine et al (1999): Surface EMG of shoulder and back muscles and posture analysis in secretaries typing at visual display units

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse beim Schreiben am Bildschirmarbeitsplatz über jeweils 3x1h, N=9 (OEMG, Haltungsanalyse)

Anstieg der muskulären Beanspruchung [normalisierte RMS, %] über die 3 Stunden Arbeit:

	Linke Körperseite			Rechte Körperseite		
	1. Stunde	2. Stunde	3. Stunde	1. Stunde	2. Stunde	3. Stunde
Rückenstrecker						
HWS	12	3	6	-3	5	7
Obere BWS	3	-6	3	2	-3	-3
Untere BWS	-1	-5	-8	0	2	-5
LWS	-2	-13	-17	1	-12	-4
Schulterheber	22	17	18	20	22	11
haltungskorrigiert	13	7	10	14	12	11
Halsmuskulatur	19	3	-3	15	14	-6
Schultermuskulatur vorn	-7	-4	0	-8	-1	6
Schultermuskulatur hinten	-21	-8	19	-16	-3	-3

Im Mittel verringerte sich die Höhe des untersten Halswirbels um 5,5 mm/h. Gleichzeitig verminderte sich die Höhe der Schultern nur um 1,7 mm/h auf der linken und 3,3 mm/h auf der rechten Körperseite. Diese Haltungsveränderung erklärt einen großen Teil der muskulären Beanspruchung der Schulterheber.

Aussagen:

Während einer 3x1-stündigen Arbeit am Computer führt ein Haltungsverfall zu einem relativen Anheben der Schultern, bezogen auf den untersten Halswirbel. Dieses Anheben verursacht eine erhöhte muskuläre Beanspruchung in der schulterhebenden Muskulatur.

Schumann et al (1999): Sitzhaltung, muskuläre Ermüdung und mentale Belastung bei Bildschirmarbeit als Ursachen für die Zunahme der EMG-Aktivität des m. trapezius

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse beim Schreiben am Bildschirmarbeitsplatz über jeweils 3x1h, N=9 (OEMG, Haltungsanalyse)

Anstieg der muskulären Beanspruchung [normalisierte RMS, %] über die 3 Stunden Arbeit: Daten wie Kleine et al (1999)

Aussagen:

Die gemessene Aktivitätserhöhung im m. trapezius kann teilweise auf die nachgewiesene Haltungsänderung zurückgeführt werden. Der verbleibende Teil kann auf Muskelermüdung und / oder psychische Belastung zurückzuführen sein. Es ist aus früheren Studien bekannt, dass psychische Belastung zu erhöhtem Muskeltonus führt, der vorrangig auch den m. trapezius betrifft.

Schlussfolgerungen:

Arbeiten, die hohe Konzentration erfordern oder unter zeitlichem Druck zu erledigen sind, können zu Muskelverspannungen führen.

Bradl (2000): Belastung und Beanspruchung des Stütz- und Bewegungsapparates bei Versandfahrern

Komplexe Belastungs-Beanspruchungs-Analyse bei verschiedenen im Labor simulierten Situationen in der Getränkeauslieferung (OEMG, Kinematik, muskulärer Status, Anamnese), Versandfahrer und Kontrollgruppe

Mittlere muskuläre Gesamtbeanspruchung beim Überwinden von Hindernissen, bezogen auf die Beanspruchung bei Muskelfunktionstests

		Rampe hinauf			Rampe herunter			Treppe hinauf			Treppe herunter		
		Bier	Wasser	Fässer	Bier	Wasser	Fässer	Bier	Wasser	Fässer	Bier	Wasser	Fässer
Fahrer	Vollgut	2,77	1,88	1,93	1,61	1,30	1,09	2,63	2,18	2,21	2,09	1,68	1,61
Fahrer	Leergut	1,80	1,56	1,45	1,09	1,01	0,88	1,73	1,77	1,58	1,43	1,32	1,23
Kontrollen	Vollgut	3,27	2,35	2,14	2,26	1,71	1,45	3,43	3,10	2,85	2,63	2,48	2,51
Kontrollen	Leergut	1,96	1,65	1,48	1,37	1,16	1,01	2,48	2,11	1,88	1,86	1,57	1,52

Aussagen:

Beanspruchungsschwerpunkte sind das Überwinden von Rampen und Treppen. Unabhängig vom Hindernis liegt das Verhältnis der Beanspruchung in einem relativ engen Rahmen um 1,36 (Fahrer, Min 1,21, Max 1,54) bzw. 1,51 (Kontrollen, Min 1,38, Max 1,67). Die Beanspruchung ist in der Kontrollgruppe höher als bei den Fahrern (1,32 für Vollgut, Min 1,11, Max 1,56 sowie 1,19 für Leergut, Min 1,02, Max 1,43).

Im dispositionellen Status gaben die Fahrer eine höhere Beschwerdeintensität an und zeigten auch mehr physiotherapeutische Auffälligkeiten im Rumpfbereich. Isometrische Maximalkrafttests zeigten keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

Hinsichtlich der Gebinde folgt die muskuläre Gesamtbeanspruchung im Wesentlichen dem Lastgewicht. Weitere Einflussfaktoren sind Geometrie und Schwerpunktslage der Last sowie die Körperhaltung. Die höchste Beanspruchung wurde im Rücken- und Schulterbereich gemessen, gefolgt von den Beinen und der Bauchmuskulatur.

Schlussfolgerungen:

Gleiche Belastungen resultieren in unterschiedlichen Bewältigungsstrategien (Arbeitstechnik).

Die Höhe der Beanspruchung wird in erster Linie durch die Last, in zweiter Linie durch die Körperhaltung bestimmt.

Arbeitstechniken der Versandfahrer sind konsistenter und effektiver als die der Kontrollen.

Mörl et al (2007): Bewertung arbeitsbedingter Beanspruchungen an einem Bandarbeitsplatz in der Dauerbackwarenherstellung

Bradl et al (2007): Beanspruchungsanalyse an ausgewählten Bandarbeitsplätzen in der Dauerbackwarenherstellung

Feldstudie (OEMG, 3-D-Bewegungsanalyse der Wirbelsäule bei N=5)

Untersucht wurde der Effekt von über dem Fließband angebrachten Armschlaufen beim Verpacken von Dauerbackwaren (Gewicht pro Arbeitsgang ca. 100 g).

Relative Muskelaktivität bei Benutzung der Armschlaufen, bezogen auf die Arbeit ohne Armschlaufen:

	Linker Arm aktiv						Rechter Arm aktiv					
	P1	P2	P3	P4	P5	Median	P1	P2	P3	P4	P5	Median
Delta li	-5,6%	-1,6%	-0,4%	-5,8%	-1,4%	-1,6%	-20,7%	-29,0%	-14,4%	-67,0%	-32,1%	-29,0%
Delta re	-14,8%	-9,0%	4,9%	-30,5%	-71,8%	-14,8%	6,2%	1,4%	0,0%	4,2%	-4,7%	1,4%
Trapez li	-31,4%	-10,1%	-12,5%	-16,7%	3,6%	-12,5%	-30,3%	-15,4%	-1,4%	-19,4%	0,0%	-15,4%
Trapez re	-33,3%	-9,1%	13,5%	-21,1%	9,2%	-9,1%	-25,6%	1,1%	15,7%	-4,8%	-5,8%	-4,8%
ErTh8 li	-40,4%	11,1%	-32,6%	-22,7%	-23,3%	-23,3%	-13,3%	12,0%	-10,0%	-10,0%	4,0%	-10,0%
ErTh8 re	-40,9%	2,9%	-26,3%	10,5%	-9,5%	-9,5%	-40,0%	23,2%	-29,4%	-5,9%	-31,3%	-29,4%
Erl3 li	-37,1%	-31,5%	-9,1%	-25,0%	5,7%	-25,0%	-10,5%	-0,7%	-13,2%	-16,7%	-13,6%	-13,2%
Erl3 re	-8,6%	16,4%	-2,7%	-7,7%	0,0%	-2,7%	-3,0%	21,2%	-5,9%	-26,1%	0,0%	-3,0%
Delta re	Vordere Schultermuskulatur rechte Körperseite		Trapez li	Schulterheber linke Körperseite		ErTh8	Rückenstrecker BWS Mitte		Erl3	Rückenstrecker LWS unten		

Aussagen:

Die Wirkung der über dem Fließband zur Entlastung der Arme angebrachten Schlaufen ist für verschiedene untersuchte Muskeln unterschiedlich: Während bei der vorderen Schultermuskulatur mehr die nicht aktive Seite entlastet wird trifft dies bei den Rückenstreckern in der mittleren BWS auf die aktive Seite zu. Bei den Schulterhebern und den Rückenstreckern in der LWS ist unabhängig vom aktiven Arm die linke Seite stärker entlastet.

Der Effekt lässt sich umso stärker nachweisen, je größer die Greifdistanz ist.

Schlussfolgerungen:

Eine Entlastung der Schulter- und Rückenmuskulatur durch über dem Fließband zur Entlastung der Arme während der Arbeit angebrachte Schlaufen hat nachweisbar eine Senkung der muskulären Beanspruchung zur Folge.

Bradl et al (2008): Beurteilung der muskulären Beanspruchung an ausgewählten Arbeitsplätzen im Servicebereich im Radisson-SAS-Hotel Berlin

Vierstündige messtechnisch gestützte Belastungsanalyse im Arbeitsalltag bei Rezeptionisten und Kellnern.

Tätigkeitsverteilung:

Rezeption	Stehen 59%	Gehen 32%	Schieben 5%	Heben/Tragen 4%
Kellner	Stehen 19%	Gehen 23%	Schieben 8%	Servieren 49%

Muskelaktivität:

Rezeption	Stehen	TDes 88%	TAsc 81%	ErL1 77%	MuL4 77%
	Schieben	TDes 139%	TAsc 207%	ErL1 96%	MuL4 134%
	Heben/Tragen	TDes 173%	TAsc 329%	ErL1 184%	MuL4 201%
Kellner	Stehen	TDes 88%	TAsc 72%	ErL1 80%	MuL4 85%
	Schieben	TDes 94%	TAsc 102%	ErL1 120%	MuL4 102%
	Servieren	TDes 141%	TAsc 148%	ErL1 119%	MuL4 127%

(100 % = Gehen, TDes = Schulterheber, TAsc = Schulterstabilisator, ErL1 = Rückenstrecker LWS oben, MuL4 = Rückenstrecker LWS unten)

Haltung der Lendenwirbelsäule:

Rezeption	Stehen	Flexion -2,9	Lateralflexion -0,83	Torsion -0,10
	Schieben	Flexion +2,83	Lateralflexion +1,50	Torsion -0,08
	Heben/Tragen	Flexion +3,01	Lateralflexion +1,25	Torsion +1,36
Kellner	Stehen	Flexion -0,86	Lateralflexion -0,03	Torsion +0,02
	Schieben	Flexion +2,10	Lateralflexion +0,75	Torsion +0,10
	Servieren	Flexion +3,41	Lateralflexion +2,73	Torsion -1,01

(Angaben in Grad, 0 = Gehen, negative Werte = Abweichung nach hinten/links, positive Werte = Abweichung nach vorn/rechts)

Aussagen:

Die zeitliche Tätigkeitsverteilung wird erwartungsgemäß an der Rezeption durch Stehen dominiert. Die muskuläre Aktivierung liegt leicht unter dem Niveau beim normalen Gehen ohne Last. Auffällig ist, dass eine überwiegende leichte Hyperlordose in der Lendenwirbelsäule gemessen wurde. Die Manipulation von Lasten ist mit hoher muskulärer Beanspruchung verbunden, nimmt aber nur 4% der beobachteten Zeit ein. Hier treten gleichzeitig eine leichte Flexion und rechtsbetonte Seitneige und Verdrehung in der Lendenwirbelsäule auf. Die höchste Beanspruchung wurde in den Schulterstabilisatoren gemessen.

Bei den Kellnern nimmt das Servieren (Eindecken, Einsetzen, Ausheben) den größten Zeitanteil ein und liefert gleichzeitig die höchsten Werte in der Aktivierung aller Muskeln. Zudem ist in der Lendenwirbelsäule eine vorherrschende Neigung nach vorn und zur rechten Seite hin zu verzeichnen. Die muskuläre Beanspruchung ist insgesamt geringer als bei den Angestellten an der Rezeption und verteilt sich auch gleichmäßiger auf die untersuchte Muskulatur. Die Haltung der Lendenwirbelsäule ist im Wesentlichen gerader.

Schlussfolgerungen:

Für an der Rezeption Beschäftigte empfiehlt sich eine Unterweisung zu ergonomischen Grundsätzen beim Heben und Tragen sowie bei langanhaltendem Stehen. Für schwere Lasten sollte die Verfügbarkeit technischer Hilfsmittel geprüft werden. Unter dem Tresen sollte eine Fußstütze o. ä. bereitgestellt werden, um den sogenannten Tresenstand zu ermöglichen. Ausgleichsübungen sollten vermittelt werden.

Die beim Servierpersonal ermittelte Beanspruchung kann summarisch noch als moderat eingestuft werden. Dennoch sollten Entspannungsübungen (1-Minute-Übungen) vermittelt und Möglichkeiten für einen körperlichen Ausgleich (z. B. geeigneter Sport) angeboten werden.

Mörl et al (2008): Technische Hilfsmittel beim Verlegen von Bodenfliesen

Hartmann et al (2009): Beanspruchungsmessung zur Wirksamkeit von Rückenstützen bei der Prävention von Rückenschmerzen durch langzeitige Arbeiten am Boden in Vorbeugehaltung

Untersuchung der Haltung und der Aktivierung der Rückenmuskulatur bei der Arbeit ohne und mit zwei durch Fliesenleger selbst konstruierte Hilfsmittel (Kolmeder und Kniwi)

Differenz der Flexion der Wirbelsäule bei der Arbeit mit Hilfsmittel bezogen auf die Arbeit ohne Hilfsmittel [°]

	P1	P2	P3	P1	P2	P3
	Kniwi		Kniwi	Kolmeder	Kolmeder	Kolmeder
LWS						
Auftragen Kleber	-6,4	-2,4	-32,0	-31,8	-39,2	-24,2
Verlegen Bodenfliesen	-3,6	-27,4	-11,9	-27,0	-27,8	-27,8
Entfernen Kleber	-10,4	-32,5	-10,2	-22,5	-14,4	-36,7
BWS						
Auftragen Kleber	-12,0	3,0	11,0	1,0	6,0	-6,0
Verlegen Bodenfliesen	-0,9	29,0	12,2	4,7	-8,4	-8,4
Entfernen Kleber	18,1	-11,6	-1,8	-9,2	2,9	-6,9
HWS						
Auftragen Kleber	28,4	-2,1	2,9	-2,3	0,4	-0,4
Verlegen Bodenfliesen	14,8	4,2	4,6	-3,6	-5,0	-5,0
Entfernen Kleber	-26,2	2,6	4,6	15,7	0,5	-1,5

Verhältnis der muskulären Beanspruchung bei der Arbeit mit Hilfsmittel normiert auf die Arbeit ohne Hilfsmittel. Werte kleiner 1 bedeuten eine Verminderung der Beanspruchung durch das Hilfsmittel, Werte größer 1 bedeuten eine erhöhte Beanspruchung mit Hilfsmittel.

	P1	P2	P3	P1	P2	P3
	Kniwi	Kniwi	Kniwi	Kolmeder	Kolmeder	Kolmeder
MuL4 li						
Kleber auftragen	0,10	0,73	0,41	0,31	0,92	0,35
Fliesen verlegen	0,08	0,81	0,36	0,36	0,35	0,34
Kleber entfernen	0,09	0,43	0,28		0,64	0,36
MuL4 re						
Kleber auftragen	0,31	1,36	0,33	2,25	0,59	0,18
Fliesen verlegen	0,24	1,29	0,29	2,33	0,64	0,15
Kleber entfernen	0,21	0,56	0,51		0,85	0,14

	P1	P2	P3	P1	P2	P3
ErL1 li	Kniwi	Kniwi	Kniwi	Kolmeder	Kolmeder	Kolmeder
Kleber auftragen	0,55	0,89	0,29	2,51	0,91	0,37
Fliesen verlegen	0,59	0,76	0,24	2,46	0,54	0,26
Kleber entfernen	0,32	0,50	0,19		0,78	0,34
ErL1 re						
Kleber auftragen	0,76	1,12	0,49	1,76	0,29	0,31
Fliesen verlegen	0,67	0,83	0,37	2,09	0,30	0,27
Kleber entfernen	0,59	0,76	0,62		0,34	0,20

Aussagen:

Beide Hilfsmittel führen im Bereich der LWS zu einer Aufrichtung, also verminderten Flexion der Wirbelsäule. Für BWS und HWS sind die Effekte deutlich kleiner und sowohl hinsichtlich der Probanden als auch der Richtung uneinheitlich.

Die muskuläre Beanspruchung wird mit dem Hilfsmittel Kniwi mehrheitlich vermindert. Das Hilfsmittel Kolmeder, das am Körper getragen wird, führt bei P1 zu einer deutlichen Steigerung der muskulären Beanspruchung, bei P2 und besonders bei P3 zu einer Verminderung derselben. Hier ist im Kontext zu beachten, dass die körperliche Passgenauigkeit des Hilfsmittels von P3 über P2 zu P1 hin deutlich abnahm.

Schlussfolgerungen:

Beide Hilfsmittel sind für die Erleichterung bodennaher Arbeiten geeignet. In den Gewerbebezügen der BGN bietet sich besonders Kniwi für beispielsweise bodennahe Arbeiten in der Wartung und Instandsetzung an.

Körpergetragene ergonomische Hilfen bedürfen einer guten Passgenauigkeit. Andernfalls kann ein gegenteiliger Effekt auftreten.

Bradl (2009): Bewertung arbeitsbedingter Beanspruchungen an Bandarbeitsplätzen in der Gewürzverpackung

Belastungs-Beanspruchungs-Analyse während des Abfüllens von Kümmel in Tüten (OEMG, Haltungsanalyse)

Median	ErL3 li	ErL3 re	TAsc li	TAsc re	TDes li	TDes re	Delt li	Delt re
Tüte füllen	0,5	1,0	1,7	0,6	2,8	1,8	4,8	4,7
Tüte abnehmen	0,7	0,8	0,8	0,7	2,2	1,7	2,0	4,9
Tüte aufklappen	1,1	0,8	1,1	0,9	2,5	1,9	3,2	1,9

Relative OEMG-Aktivität ausgewählter Muskeln, bezogen auf die Aktivität bei Stehen, Gehen

Median	Flexion			Lateralflexion			Torsion		
	LWS	BWS	HWS	LWS	BWS	HWS	LWS	BWS	HWS
Tüte füllen	14,2	-8,1	3,7	5,4	1,0	14,6	-3,3	-1,7	-1,6
Tüte abnehmen	14,2	-8,5	1,8	5,5	0,3	16,2	-2,7	-2,7	-2,3
Tüte aufklappen	-7,6	-0,1	1,8	2,5	3,6	14,6	1,7	0,0	0,8

Mittlere Haltung der Wirbelsäule, bezogen auf die Haltung bei Stehen, Gehen

Aussagen:

Aus der Analyse der Zeitverteilung aller Teiltätigkeiten geht hervor, dass die 3 oben betrachteten Teiltätigkeiten mit jeweils ca. 25% den Hauptteil der Arbeitszeit füllen.

Der Beanspruchungsschwerpunkt liegt im Schultergürtel, wobei besonders das Aufklappen und das Füllen/Abnehmen der Tüten im Vordergrund stehen. Die Beanspruchung der Rückenmuskulatur ist eher unauffällig.

Aus der Haltungsanalyse geht hervor, dass die LWS beim Füllen und Abnehmen der Tüten in einer verstärkten Flexion verweilt. Bei allen drei Teiltätigkeiten ist eine Seitneige der HWS zur rechten Seite hin zu verzeichnen.

Schlussfolgerungen:

Aufgrund der Datenanalyse wurden individuelle Empfehlungen zur Anpassung der Arbeitstechnik und für Ausgleichsübungen gegeben. Weiterhin wurde eine Anpassung der Arbeitshöhe empfohlen.

Bradl et al (2010): Vermeidung von Rückenbeschwerden bei der maschinellen Produktion von Brötchen – praktischer Nutzen einer Belastungs-Beanspruchungs-Analyse

Großbäckerei, Anlage zur Herstellung von Brötchen-Teiglingen, Messtechnische Arbeitsplatzanalyse (Medianwerte, N=5)

Werte der muskulären Beanspruchung, normiert auf die Beanspruchung bei normalem Gehen (Beanspruchung = 1)

	ErL3	TAsc	TDes	Delt		ErL3	TAsc	TDes	Delt
Teig zufügen					Bleche manipulieren				
Teig schneiden	4,27	4,36	4,51	7,38	Blech einlegen	2,63	2,57	2,93	4,05
Teig tragen	4,26	5,64	5,16	5,04	Blech abnehmen	3,48	3,15	3,64	5,86
Teig einlegen	4,01	5,29	9,54	9,58	Kübel schieben	3,52	3,38	3,14	5,79
Kneten Stopfen	2,59	3,01	6,66	6,99	Wagen leer schieben	2,17	2,35	2,56	2,23
Brötchen sortieren	2,10	2,39	2,28	3,17	Wagen voll schieben	2,56	2,98	2,87	4,76
					Brötchen sortieren	3,56	3,08	2,34	3,31
ErL3	Rückenstrecker LWS			TAsc	Schräge Rückenmuskulatur				
TDes	Schulterheber			Delt	Schultermuskulatur				

Haltungswerte, normiert auf die Haltung bei normalem Gehen (Winkel = 0, angegeben ist die Abweichung in °)

	Flexion			Lateralflexion			Torsion		
	HWS	BWS	LWS	HWS	BWS	LWS	HWS	BWS	LWS
Teig zufügen									
Teig schneiden	-5,50	-2,10	6,50	4,20	2,60	0,00	-1,73	0,00	-1,40
Teig aufnehmen tragen	-1,40	0,00	3,70	-5,15	-0,45	0,00	-0,10	0,10	0,00
Teig einlegen	-0,80	-1,90	0,00	-1,90	-0,40	-0,40	0,75	0,00	0,00
Kneten Stopfen	-2,60	-3,00	0,00	0,00	0,00	0,20	-0,11	0,00	-0,10
Brötchen sortieren	-2,50	-1,60	6,40	-4,50	-1,00	-0,30	-0,16	0,00	-1,69
Bleche manipulieren									
Blech einlegen	-1,20	-0,05	0,90	0,10	-0,50	-0,10	-0,40	0,30	-0,10
Blech abnehmen	-1,70	-0,20	2,70	-0,40	-0,60	0,00	-0,45	0,30	-0,70
Kübel schieben	-0,62	-1,45	2,88	-2,88	0,26	-1,05	-1,78	0,60	0,80
Wagen leer schieben	-1,00	-1,70	-1,80	0,10	-0,10	-0,20	-0,23	-0,30	-0,80
Wagen voll schieben	-3,90	-3,45	-0,50	1,20	-0,60	0,40	-0,58	0,50	-0,30
Brötchen sortieren	-1,70	0,90	3,90	-0,60	0,10	-0,50	-1,80	-0,10	-0,50

Aussagen:

Eine Ranganalyse ergab für die Teiltätigkeiten folgende Rangfolge der muskulären Beanspruchung (von links nach rechts absteigende Beanspruchung, Rangsumme in Klammern, Min=8, Max=40 bzw. 48):

Teig zufügen	Teig einlegen (12)	Teig tragen (20)	Teig schneiden (23)	Kneten Stopfen (25)	Brötchen sort. (40)	
Bleche manipulieren	Blech abnehmen (13)	Kübel schieben (20)	Wagen voll (27)	Brötchen sort. (31)	Blech einlegen (32)	Wagen leer (44)

Eine Ranganalyse ergab für die Teiltätigkeiten folgende Rangfolge für die Haltung der Wirbelsäule (Abweichung von der Normalposition) (von links nach rechts absteigende Beanspruchung, Rangsumme in Klammern, Min=9, Max=45 bzw. 54):

Teig zufügen	Teig schneiden (17)	Brötchen sort. (21)	Teig einlegen (29)	Kneten Stopfen (29)	Teig tragen (30)	
Bleche manipulieren	Kübel schieben (21)	Wagen voll (24)	Brötchen sort. (28)	Blech abnehmen (32)	Wagen leer (36)	Blech einlegen (42)

Die Kombination beider Analysen ergibt eine zusammenfassende Belastungsbewertung (von links nach rechts absteigende Beanspruchung, Rangsumme in Klammern, Min=17, Max=85 bzw. 104):

Teig zufügen	Teig schneiden (40)	Teig einlegen (41)	Teig tragen (50)	Kneten Stopfen (54)	Brötchen sort. (61)	
Bleche manipulieren	Kübel schieben (41)	Blech abnehmen (45)	Wagen voll (51)	Brötchen sort. (59)	Blech einlegen (74)	Wagen leer (80)

Schlussfolgerungen:

Beim Zuführen von Teig in die Anlage ergeben sich Belastungsschwerpunkte beim Teig schneiden und Teig einlegen. Dabei spielen beim Teig einlegen die muskuläre Beanspruchung und beim Teig schneiden die haltungsbedingte Belastung die ausschlaggebende Rolle.

Bei der Manipulation der Bleche nehmen das Schieben der Kübel und das Abnehmen der Bleche aus der Anlage die oberen Ränge ein. Während beim Abnehmen der Bleche die haltungsbedingte Belastung eine eher untergeordnete Rolle spielt (Dominanz der muskulären Beanspruchung), sind beim Schieben der Kübel beide Faktoren in den oberen Rängen zu finden.

Mörl (2011): Ergebnisse der Haltungsanalyse beim Schneiden ohne und mit erhöhtem Schneide-Brett

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse (Haltungsanalyse, N=1) bei Schneide-Arbeiten in einer Großküche

	Brustwirbelsäule		Lendenwirbelsäule	
	ohne Schneidbretterhöhung	mit Schneidbretterhöhung	ohne Schneidbretterhöhung	mit Schneidbretterhöhung
Starke Extension	17%	<1%	<1%	<1%
Leichte Extension	8%	5%	<1%	<1%
Normalhaltung	66%	82%	33%	92%
Leichte Flexion	8%	12%	46%	8%
Starke Flexion	<1%	<1%	20%	<1%

Aussagen:

Die Anpassung der Arbeitshöhe beim Schneiden von Lebensmitteln mit Hilfe einer Schneidbretterhöhung beugt einer Vorneigung in der Lendenwirbelsäule und einer damit verbundenen Rückneigung in der Brustwirbelsäule wirksam vor.

Der Anteil von Zwangshaltungen wird deutlich reduziert.

Schlussfolgerungen:

Die Schneidbretterhöhung ist beim Schneiden von Lebensmitteln eine wirksame Hilfe zur Vermeidung bzw. Reduktion von Zwangshaltungen.

Bradl (2015): Zwischenbericht zur CTS-Messung am 12. 05. 2015 in Reinhardtsbrunn

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse (Greifkraft, Muskelaktivität, Handgelenkwinkel, N=1) bei verschiedenen typischen Arbeiten mit einem Messer

	Auslösen	Entschwarten	Zerlegen	Schneiden	Auslösen (gestellt)	Kamm schneiden	Schwarte entfetten
Greifkraft [%]	29	16	21	32	15	59	41
Winkel palmar-dorsal [°]	8	11	6	6	18	0	33
Winkel radial-ulnar [°]	4	2	2	8	19	9	8
Torsion [°]	18	11	21	44	17	8	36
Handbeuger [%]	19	19	9	17	35	25	32
Handstrecker [%]	14	17	12	27	21	31	25

Die Angaben für Greifkraft sowie Aktivierung der Handbeuger und Handstrecker stellen den Schwerpunkt der Verteilung in Prozent des gesamten Messintervalls dar. Die Angaben zu den Handgelenkwinkeln geben den Verteilungsschwerpunkt in Grad an (Auslenkung aus der Neutralstellung).

Aussagen:

Eine summarische Bewertung der Gesamtbelastung nach dem Grad der Kraft bzw. Muskelaktivität und nach der Größe der Auslenkung des Gelenks aus der Neutralposition ergibt folgende Rangliste der untersuchten Tätigkeiten:

1. Schwarte entfetten
2. Auslösen (nach Anleitung)
3. Schneiden
4. Kamm schneiden
5. Auslösen (nach eigener Gewohnheit)
6. Entschwarten
7. Zerlegen

Schlussfolgerungen:

Die Belastungsschwerpunkte stellen das Entfetten der Schwarte und das Auslösen dar. Letzteres wurde nach Anleitung, nicht mit eigener Arbeitstechnik durchgeführt, was das Ergebnis mit Sicherheit beeinflusst hat.

Bradl (2017): Zwischenbericht zur CTS-Messung am 2. 11. 2015 in der Fleischerei Sutter in Wörrstadt

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse (Greifkraft, Muskelaktivität, Handgelenkwinkel, N=2) bei verschiedenen typischen Arbeiten mit einem Messer, Zerlegung von Schweinehälften

Messdaten	Proband 1					Proband 2				
	Bauch	Schulter abtrennen	Schulter zerlegen	Rücken	Keule	Bauch	Schulter abtrennen	Schulter zerlegen	Rücken	Keule
Kraft [%]	0,28	0,35	0,28	0,26	0,25	0,15	0,21	0,22	0,28	0,27
Winkel palmar-dorsal [°]	12,36	16,39	23,27	10,41	0,08	8,97	18,90	9,94	9,06	9,40
Winkel radial-ulnar [°]	23,57	9,44	2,61			12,23	0,15	4,24	4,64	4,94
Torsion [°]	35,00	14,67	7,04	19,67	12,13	34,74	29,50	31,39	31,72	20,83
Beuger [%]	0,56	0,37	0,29	0,29	0,29	0,60	0,39	0,41	0,43	0,38
Strecker [%]	0,74	0,51	0,33	0,72	0,87	0,64	0,59	0,60	0,56	0,59

Ränge	Proband 1					Proband 2				
	Bauch	Schulter abtrennen	Schulter zerlegen	Rücken	Keule	Bauch	Schulter abtrennen	Schulter zerlegen	Rücken	Keule
Kraft	3	1	2	4	5	5	4	3	1	2
Palm-Dors	3	2	1	4	5	5	1	2	4	3
Rad-Uln	1	2	3	-	-	1	5	4	3	2
Pro-Sup	1	3	5	2	4	1	4	3	2	5
Beuger	1	2	5	4	3	1	4	3	2	5
Strecker	2	5	4	3	1	1	3	2	5	4
Rang gesamt	1	2	5	3	4	1	4	2	2	4

Aussagen:

Die Greifkraft beträgt beim Arbeiten mit dem Messer durchschnittlich bis 40% der subjektiv maximalen Greifkraft. Nur 7% der Messdaten liegen oberhalb von 50% der subjektiv maximalen Greifkraft. Unter Beachtung der Dauerleistungsgrenze von 15% der subjektiven Maximalkraft ergibt sich eine erhöhte Belastung der messerführenden Hand.

Insgesamt ergibt sich ein von individuell angeeigneten Arbeitstechniken dominiertes Bild der Arbeitsabläufe. Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass die durchweg gleichförmigeren Verteilungen der Messdaten des älteren Arbeitnehmers eine Folge hoher Berufsroutine sind.

Eine summarische Bewertung der Gesamtbelastung nach dem Grad der Kraft bzw. Muskelaktivität und nach der Größe der Auslenkung des Gelenks aus der Neutralposition liefert als Belastungsschwerpunkt die Zerlegung der Bauchpartie der Schweine. An zweiter Stelle folgt in der Gesamtbetrachtung die Zerlegung des Rückens.

Schlussfolgerungen:

Die Zerlegung der Bauchpartie und des Rückens der Schweinehälften stellt einen Belastungsschwerpunkt dar. Hinsichtlich der Belastung bei der Zerlegung von Schulter und Keule können keine einheitlichen Aussagen getroffen werden.

Bradl (2017b): Zwischenbericht zur CTS-Messung am 21. 06. 2016 in der Fleischerei Wolf GmbH, Standort Schmölln

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse (Greifkraft, Muskelaktivität, Handgelenkwinkel, N=2) bei verschiedenen typischen Arbeiten mit einem Messer, Zerlegung von Schweinekeulen

Messdaten	Proband 1					Proband 2				
	Abdecken	Schloss-knochen	Röhren-knochen	Nuss-schinken	Wade	Abdecken	Schloss-knochen	Röhren-knochen	Nuss schinken	Wade
Kraft [%]	0,56	0,58	0,70	0,54	0,39	0,55	0,53	0,50	0,47	0,47
Winkel palmar-dorsal [°]	6,32	16,86	27,30	3,94	3,11	10,15	1,70	1,73	6,02	11,44
Winkel radial-ulnar [°]	1,86	1,74	1,76	3,09	1,93	6,76	2,82	4,46	1,65	1,94
Torsion [°]	9,43	0,24	4,58	8,36	9,27	4,94	5,66	2,35	4,63	1,42
Beuger [%]	0,31	0,29	0,30	0,31	0,30	0,37	0,37	0,38	0,36	0,33
Strecker [%]	0,40	0,37	0,37	0,41	0,37	0,38	0,34	0,35	0,32	0,26

Ränge	Proband 1					Proband 2				
	Abdecken	Schloss-knochen	Röhren-knochen	Nuss-schinken	Wade	Abdecken	Schloss-knochen	Röhren-knochen	Nuss schinken	Wade
Kraft	3	2	1	4	5	1	2	3	5	4
Palm-Dors	3	2	1	4	5	2	5	4	3	1
Rad-Uln	3	5	4	1	2	1	3	2	5	4
Pro-Sup	1	5	4	3	2	2	1	4	3	5
Beuger	2	5	4	1	3	3	2	1	4	5
Strecker	2	5	3	1	4	1	3	2	4	5
Rang gesamt	1	5	3	1	4	1	2	2	4	4

Aussagen:

Der Anteil von Messwerten der Greifkraft oberhalb 30% der subjektiven Maximalkraft liegt bei 39% bis 67% der Daten (P1) bzw. bei 44% bis 78% der Daten (P2). Damit wurde die Dauerleistungsgrenze für dynamische Arbeiten (15% der subjektiven Maximalkraft) bei bis zu 78% der aufgenommenen Daten (das entspricht bis zu 56,2% der Messzeit) deutlich überschritten. Von einer erhöhten Belastung ist auszugehen.

Die Steifigkeit der Messerklinge scheint keinen Einfluss auf die Höhe der Beanspruchung zu haben.

Eine summarische Bewertung der Gesamtbelastung nach dem Grad der Kraft bzw. Muskelaktivität und nach der Größe der Auslenkung des Gelenks aus der Neutralposition liefert als Belastungsschwerpunkt das Abdecken der Schweinekeule.

Schlussfolgerungen:

Das Abdecken der Schweinekeule stellt einen Belastungsschwerpunkt dar. Hinsichtlich der Belastung bei der weiteren Zerlegung bis zum Feinzuschnitt können keine einheitlichen Aussagen getroffen werden.

Bradl (2018): Zwischenbericht zur CTS-Messung am 27. & 28. 09. 2017 in der Willms Weißwasser GmbH, Weißwasser

Messtechnische Arbeitsplatzanalyse (Greifkraft, Muskelaktivität, Handgelenkwinkel, N=2) bei verschiedenen typischen Arbeiten mit einem Messer, Zerlegung von Schweinhälften und Rindervierteln

Messdaten	Proband 1 (nur Rinderviertel)					
	Rücken	Schulter	Zungenstück	Lappen mit Knochen	Keule	Brust
Kraft [%]	0,53	0,41	0,34	0,38	-	-
Winkel palmar-dorsal [°]	14,21	26,33	26,66	21,65	28,09	37,53
Winkel radial-ulnar [°]	5,94	8,01	7,01	12,22	2,37	9,08
Torsion [°]	19,50	16,49	19,67	-	13,58	18,74
Beuger [%]	0,34	0,27	0,33	0,28	0,34	0,30
Strecker [%]	0,20	0,22	0,23	0,17	0,30	0,22

Messdaten	Proband 2		
	Schweinerücken	Schweinekeule	Rinderrücken
Kraft [%]	-	-	-
Winkel palmar-dorsal [°]	29,25	14,72	12,61
Winkel radial-ulnar [°]	13,07	1,78	12,228
Torsion [°]	48,10	12,37	19,24
Beuger [%]	0,32	0,30	0,32
Strecker [%]	0,28	0,34	0,40

Ränge	Proband 1					
	Rücken	Schulter	Zungenstück	Lappen mit Knochen	Keule	Brust
Kraft	1	2	4	3	-	-
Palm-Dors	6	4	3	5	2	1
Rad-Uln	5	3	4	1	6	2
Pro-Sup	2	4	1	-	5	3
Beuger	2	6	3	5	1	4
Strecker	5	4	2	6	1	3
Rang gesamt	4	5	2	5	3	1

Ränge	Proband 2		
	Schweinerücken	Schweinekeule	Rinderrücken
Kraft	-	-	-
Palm-Dors	1	2	3
Rad-Uln	1	3	2
Pro-Sup	1	3	2
Beuger	2	3	1
Strecker	3	2	1
Rang gesamt	1	3	2

Aussagen:

Für die Greifkraft wurden die höchsten Werte bei der Zerlegung von Rinderrücken und Rinderschulter erhalten. Jedoch liegt hinsichtlich der Gesamtbelastung der Schwerpunkt bei Rinderbrust und Zungenstück, was auf den Einfluss der Auslenkung des Handgelenks und die Beanspruchung der Unterarmmuskulatur zurückzuführen ist (alles Proband 1).

Bei Proband 2 liegen in der Rangfolge der Beanspruchungswerte die beiden Rückenstücke vorn. Dies ist im Wesentlichen auf den Einfluss der Handgelenkwinkel zurückzuführen.

Schlussfolgerungen:

Einen Belastungsschwerpunkt hinsichtlich der Greifkraft stellt die Zerlegung von Rinderrücken und Rinderschulter dar. Bei Betrachtung der Handgelenkwinkel treten besonders Rückenstücke (Rind und Schwein) hervor.

Mörl et al (2007b): Biomechanische Modellierung des Schulter-Arm-Komplexes beim Schieben

Mörl (2013): Untersuchungen zur Belastung und Beanspruchung des Nacken-Schulter-Arm-Komplexes beim Schieben und Ziehen von Lasten

Aussagen:

Belastungen, welche beim Schieben oder Ziehen auch von geringen Wagen-Gewichten auftreten (z. B. Körpergewicht) können nicht von den Kräften des Schulter-Arm-Komplexes allein aufgebaut werden. Es ist eine Ganzkörperbewegung. Ist der Handgriff zu niedrig oder zu hoch, werden unnötig große Belastungen im Schultergelenk erzeugt, da der wirkende Hebelarm zu groß ist.

Schlussfolgerungen:

Ein ungünstig positionierter Griff an einem Wagen erhöht die Belastung im Schultergelenk. Zu tiefe oder zu hohe Einstellung erzeugen aufgrund langer, externer Hebel (gestreckter Arm) sehr große Momente im Schultergelenk.

Mörl and Bradl (2013): Lumbar posture and muscular activity while sitting during office work

Aussagen:

Ohne externe Zusatzbelastung ist die Haltung der Haupt-Einflussfaktor auf die aktive Nutzung der Rückenmuskeln. Andere Studien zeigten, dass auch unterschiedliche Sitzmöbel oder gar Sportgeräte diesen Zusammenhang nicht beeinflussen (Ellegast et al, 2012; Nüesch et al, 2018). Sitzend ist die Belastung im Rücken (Bandscheibendruck) jedoch recht groß (Nachemson, 1966; Wilke et al, 2001, 1999). Die Last wird daher größtenteils von passiven Strukturen getragen. Haltungsänderung ist die einzige Möglichkeit einerseits die Rückenmuskeln mehr zu aktivieren und andererseits passive Strukturen zu entlasten. Dies geschieht auf Kosten des Komforts, da Sitzen generell angenehmer empfunden wird (Weston et al, 2017).

Einfluss der Arbeitsdistanz

Körperferne Arbeit	ErL4	ErT12	ErT8	ErT3	TrDe	DeAc	DeCl
Tischhöhe 2,5 kg	112,3%	119,0%	118,5%	106,9%	145,4%	217,5%	284,5%
Tischhöhe 5 kg	118,3%	117,2%	123,1%	115,4%	130,3%	219,9%	209,3%
Bodenhöhe 2,5 kg	119,7%	133,3%	141,4%	141,5%	314,4%	294,2%	243,4%
Bodenhöhe 5 kg	122,8%	122,1%	142,0%	135,3%	323,6%	447,7%	265,0%

Werte der muskulären Beanspruchung, normiert auf die Beanspruchung beim körpernahen Umsetzen (100 %)

Für beide Tabellen:

ErL4	Rückenstrecker LWS unten	ErT12	Rückenstrecker BWS unten	ErT8	Rückenstrecker BWS Mitte	ErT3	Rückenstrecker BWS oben
TrDe	Schulterheber	DeAc	Seitliche Schultermuskulatur	DeCl	Vordere Schultermuskulatur		

Aussagen:

Die insgesamt hohe muskuläre Beanspruchung spiegelt sich sowohl im subjektiven Belastungsempfinden als auch in Messdaten der Muskelaktivität beim aufrechten Stand wider. Durch Absenken der Zielpalette von Tisch- auf Bodenhöhe steigt die Beanspruchung der Rückenmuskulatur beim Ablegen der Last um 23-50%. Bei der Rückbewegung (Aufrichten ohne Last) steigt die Beanspruchung der Rückenmuskulatur um 55-200%. Eine Vergrößerung der Greifdistanz beim Ablegen um ca. 60 cm erhöht die Beanspruchung der Rückenmuskulatur um im Mittel 24%, die der Schultermuskulatur um im Mittel 101% (Tischhöhe) bzw. 215% (Bodenhöhe). Eine Ausgleichsübung für die Rückenmuskulatur (Kniestütz) trägt messbar zur Beanspruchungsminderung im Rücken bei.

Schlussfolgerungen:

Der Anpassung der Arbeitshöhe kommt beim Palettieren primäre Bedeutung zu. Sekundär ist die Greifdistanz zu minimieren. Das gilt insbesondere für geringe Lasten bis 5 kg. Es ist ratsam, kurze Ausgleichsübungen anzubieten und deren regelmäßige Durchführung umzusetzen.

Mörl et al (2020): Loads distributed in vivo among vertebrae, muscles, spinal ligaments, and intervertebral discs in a passively flexed lumbar spine

Aussagen:

Mit zunehmender Krümmung der Lendenwirbelsäule entsteht eine ansteigende passive Kraft, welche dem Krümmen widerstrebt. Der Hauptteil der Kräfte wird von Bändern erzeugt, aber auch Muskeln tragen passiv bei. Diese Zugkräfte auf der Rückseite führen dazu, dass die Druckbelastung auf die Bandscheibe zunimmt. Das geschieht unausweichlich bei jeder Beugung der Lendenwirbelsäule. Dies erklärt, warum in Sitzhaltung die Belastung der Bandscheibe größer ist, als im Stehen.

Externe Belastung und aktive Muskelkräfte erhöhen die Druckkraft auf die Bandscheiben zusätzlich. Langandauerndes (z.B. Sitzen) oder wiederholtes (Lastmanipulation) Beugen der Lendenwirbelsäule kann als Risikofaktor eingeschätzt werden.

Schlussfolgerungen:

Gekrümmte Körperhaltungen wie z. B. beim Sitzen oder Vorneigen des Rumpfes wurden bereits in der Vergangenheit als hoch belastend klassifiziert. Nun ist der Mechanismus bekannt, welcher zu größerer Belastung passiver Strukturen durch Krümmung der LWS führt.

Mörl and Bradl (2020a): About the impact of repetitive spine flexions due to labour on passive mechanics of the lumbar spine

Mörl and Bradl (2020b): Abschlussbericht Projekt 1.1.76: Einfluss zyklischer manueller Arbeit sowie einer Ausgleichübung auf die passive Viskosität (Nachgiebigkeit) des Rückens

Aussagen:

Palettieren von leichten Gebinden mit starker Vorneige des Rumpfes verändert die passiv mechanischen Eigenschaften des unteren Rückens. Die Lendenwirbelsäule wird passiv bis zu 50% steifer, was wohl ein Anzeichen passiver Gewebsermüdung ist. Stehen oder Palettieren mit Unterbrechung durch eine Entlastungsübung durchbricht diesen Prozess. Auch ohne große externe Belastung ist häufiges Beugen des Rückens ein Risikofaktor.

Schlussfolgerungen:

Häufiges Vorneigen des Rumpfes ohne große Zusatzlast ändert die passive Mechanik des Rückens durch Materialermüdung.

Mörl and Bradl (2020c): A simple model to predict loads within muscle-tendon complexes of the shoulder during fast motions

Aussagen:

Im Vergleich zu experimentellen Daten sagt das einfache Schultermodell Schulterwinkel und Kontaktkräfte bei schnellen Bewegungen sehr gut voraus. Große Muskeln wie der m. deltoideus haben das Potential, kleinere Strukturen zu schützen.

Schlussfolgerungen:

Das einfache Schultermodell kann bei Unfällen Belastungen innerhalb des Schultergelenkes (Zugkraft/Spannung in Sehnen) abschätzen. Weiterhin kann die Belastung innerer Strukturen der Schulter beim einseitigen Heben und Tragen abgeschätzt werden.