



Technische Universität München
Lehrstuhl für Ergonomie | Boltzmannstr. 15 | 85747 Garching

Gummiwerk Kraiburg
Austria Ges. m.b.H. & Co.
Herrn Bernhard Mayr
Webersdorf 11
A-5132 Geretsberg

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Heinzpeter Rühmann
Fachgebiet Arbeitswissen-
schaft

Boltzmannstraße 15
85747 Garching
Germany
phone:
+49-89 289-15390
telefax:
+49-89 289-15389
ruehmann@lfe.mw.tum.de
www.ergonomie.tum.de

Ihr Zeichen
Your ref.

Ihre Nachricht vom
Your letter from

Unser Zeichen
Our ref.

Datum
Date

LfE/rue

Garching, 25.09.07

Vergleichende Untersuchung über die elastisch dämpfenden Eigenschaften von Arbeitsplatzmatten

1	Aufgabenstellung	1
2	Versuchsdesign	3
	2.1 Versuchsmaterialien	3
	2.2 Versuchsmethodik	4
	2.3 Versuchsaufbau.....	6
	2.4 Probandenkollektiv	9
	2.5 Versuchsdurchführung.....	10
3	Ergebnisse	12
	3.1 Vertikalkraftverlauf beim Gehen	12
	3.2 Simulierter Fersenaufprall	21
	3.3 Subjektive Bewertung.....	23
4	Zusammenfassung	25

Garching, den 25. September 2007

(Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Rühmann)

1 Aufgabenstellung

Elastisch dämpfende Arbeitsplatzmatten als Geh- und Standflächen an Arbeitsplätzen und für Verkehrswege sind eine ergonomisch sinnvolle Alternative zum Gehen und Stehen auf hartem Untergrund, wie z. B. auf Stahlgitterrosten oder auf Holzplattenrosten. Über eine Verbesserung des Komfortempfindens der Mitarbeiter hinaus, leisten Arbeitsplatzmatten einen Beitrag zum Arbeitsschutz und zur Gesundheitsprävention. Sie bieten durch ihre profilierten Standflächen, z. B. in Form von Noppen, eine gute Standsicherheit und Rutschfestigkeit, da Späne und Flüssigkeiten in die Vertiefungen zwischen den Fuß-Aufstandsflächen oder in Aussparungen abgeführt werden. An Kältearbeitsplätzen werden Arbeitsplatzmatten häufig zur Vermeidung niedriger Kontakttemperaturen als Wärme isolierende Standflächen eingesetzt.

Beim Gehen wirken Arbeitsplatzmatten Stoß dämpfend und schützen somit hauptsächlich die Gelenke der unteren Extremitäten vor Überlastungen. Die Elastizität der Matten und ihre Oberflächenstrukturierung führen im Vergleich zum Stehen auf einer ebenen harten Fläche zu einem erhöhten Bewegungsaufwand der Beinmuskulatur, um das Körpergleichgewicht zu halten. Die erhöhte Muskelaktivität ist an eine Intensivierung der Durchblutung gebunden und führt zu einer Verbesserung des venösen Blutrückflusses („Muskelpumpe“). Diese Effekte können als biologische Ursache für das weniger ermüdende Stehen auf Arbeitsplatzmatten gegenüber dem eher statischen Stehen auf hartem Untergrund angesehen werden.

Im Auftrag des Gummiwerks Kraiburg (Austria Ges. m.b.H. & Co.) waren für zwei Arbeitsplatzmatten aus eigener Produktion (ein Serienprodukt und ein Prototyp) sowie für drei Matten von Mitbewerbern (*werden nicht genauer genannt*) zur Beurteilung der belastungsmindernden Wirkung beim Gehen gegenüber hartem Untergrund vergleichende Messungen durchzuführen. Für das Gehen auf hartem Untergrund wurden folgende Bodenproben untersucht:

- Riffelblech (= Deckplatte der Kraftmessplattform),
- Stahlgitterrost (30 mm hoch),
- Holzboden (Tischlerplatte, 30 mm dick),
- Granitplatte als Alternative zu Betonboden (30 mm dick).

Die Arbeitsplatzmatten und Bodenproben wurden von 10 Probanden (5 männliche und 5 weibliche) mit normaler Schrittgeschwindigkeit (simuliertes Gehen auf einem Verkehrsweg) und langsam begangen (simulierter Standortwechsel am Arbeitsplatz), wobei der Kraft-Zeitverlauf des Fußabrollvorgangs zur Beurteilung der elastisch-dämpfenden Wirkung des Bodenmaterials herangezogen wird.

Langsames Gehen mit geringen Schrittweiten ist immer dann erforderlich, wenn die Standposition am Arbeitsplatz (z.B. an einer Werkbank oder einem Montageband), häufig verbunden mit einem Wechsel des Arbeitsortes und/oder der Tätigkeit, verändert werden muss. Langsames Gehen ist für die Bewegung des Mitarbeiters am Arbeitsplatz in den meisten Fällen typischer als das Gehen mit normaler Schrittweite und –geschwindigkeit. Für diese Arbeitssituation gibt Abb. 1-1 ein Beispiel.

Das „normale“ Gehen ist für räumlich weit ausgedehnte Arbeitsbereiche relevant, in denen der Mitarbeiter, z.B. bei Montagearbeiten, Einzelteile aus weiter entfernten Regalen oder Containern an den Arbeitsplatz zu bringen und dort zu verbauen hat. Ein Beispiel für einen derartigen Arbeitsplatz zeigt Abb. 1-2. Für das langsame Gehen war insbesondere von Interesse, ob ein belastungsreduzierender Effekt durch weiches Schuhwerk oder durch elastisch dämpfende Arbeitsplatzmatten *messtechnisch* auflösbar ist.



Abb. 1-1: Montagearbeitsplatz mit vorwiegend ortsgebundenem Stehen und langsamem Gehen



Abb. 1-2: Räumlich weit ausgedehnter Arbeitsbereich mit häufigem Ortswechsel und Gehen mit normaler Schrittgeschwindigkeit

Zusätzlich war die Beeinträchtigung bei Drehbewegungen des Fußes (zum Positionswechsel am Arbeitsplatz), die durch die Oberflächenbeschaffenheit der Matte (z.B. in Form von Noppen) verursacht werden kann, von den Probanden subjektiv zu beurteilen.

2 Versuchsdesign

2.1 Versuchsmaterialien

a) Arbeitsplatzmatten

Für die Versuchsreihe stehen insgesamt 5 unterschiedliche Arbeitsplatzmatten zur Verfügung:

▽ **Kurzbezeichnung GWO:**

- § Material: Nitrilkautschuk (NBR),
- § Dicke: 19,5 mm,
- § Oberfläche: pyramidenförmige Noppen,
- § Sonderheiten: ölbeständig,

▽ **Kurzbezeichnung GWP:**

- § Material: Nitrilkautschuk (NBR),
- § Dicke: 19,5 mm,
- § Oberfläche: knochenförmige Aussparungen, linienförmige Erhebungen,
- § Sonderheiten: ölbeständig,

▽ **Kurzbezeichnung PLA:**

- § Material: Nitrilkautschuk (NBR),
- § Dicke: 11,5 mm,
- § Oberfläche: abgeflachte, kreisförmige Noppen,

▽ **Kurzbezeichnung CES:**

- § Material: „Gummimischung für den allgemeinen Gebrauch“,
- § Dicke: 19 mm,
- § Oberfläche: geschlossene „Orangenhaut“,

▽ **Kurzbezeichnung ECO:**

- § Material: Polyurethan (PUR),
- § Dicke: 15 mm,
- § Oberfläche: Halbkugel förmige Noppen,

b) Arbeitsschuhe

Die Probanden wurden mit einheitlichem Schuhwerk ausgestattet, wobei die Arbeitsplatzmatten ausschließlich mit hartem Schuhwerk begangen und subjektiv beurteilt wurden, während die Bodenproben für harten Untergrund (Riffelblech, Gitterrost usw.) mit hartem und weichem Schuhwerk zu untersuchen waren. Bei der Auswahl der Arbeitsschuhe musste auch berücksichtigt werden, dass die Profilierung der Sohlen für beide Schuhtypen etwa vergleichbar ist.

Es war zunächst geplant, für die Matten-Versuche einen eher minderwertigen Arbeitsschuh mit harter, angespritzter PU-Sohle zu beschaffen („Baumarktqualität“), um die elastisch dämpfende Wirkung der Matte, möglichst ohne zusätzlich dämpfende Wirkung der Sohle zu erfassen. Baumärkte führen jedoch ausschließlich höherwertige Arbeitsschuhe mit relativ weicher Sohle, die mit den Arbeitsschuhen in Fachgeschäften für Arbeitsbekleidung preislich und qualitativ vergleichbar sind. Für das „harte“ Schuhwerk wurde daher eine sog. Arbeitsgalosche mit vergleichsweise harter angespritzter Sohle aus Polyurethan ausgewählt, die in den für die Probanden passenden Größen bei der BayWa AG (Bau- und Gartenmarkt) erhältlich waren (Abb. 2-1). Als hochwertiger Arbeitsschuh wurde der „Vesuv S 2“ von der Fa. Baltes gewählt, der im Absatz mit einem sog. „SOFT STEP-Tunnel“ ausgestattet ist. Dieser Dämpfungstunnel nimmt dynamische Bewegungsenergie auf und entlastet die Gelenke beim Gehen auf hartem Untergrund (Abb. 2-1).



Abb. 2-1: Arbeitsschuhe für die Gehversuche
links: Arbeitsgalosche, rechts: Venus S 2 (Fa. Baltes)

2.2 Versuchsmethodik

a) Vertikalkraftverlauf für den Fuß-Abrollvorgang

Zur Beurteilung der elastisch dämpfenden Eigenschaften von Arbeitsplatzmatten hat sich die Messung der Vertikalkraft beim Überschreiten der auf eine Kraftmessplattform aufgelegten Mattenproben bewährt. Wie Abb. 2-2 veranschaulicht, kann der Abrollvorgang des Fußes dabei in drei Phasen unterteilt werden.

In Phase I wirken Massenkräfte auf den Untergrund beim Abrollen der Ferse, wobei nach etwa 20% der Bodenkontaktzeit ein Maximalwert für die Vertikalkraft erreicht wird. In der 2. Phase hat der gesamte Fuß Kontakt mit der Bodenprobe, wobei die Bodenreaktionskräfte typischerweise geringer sind als die Gewichtskraft der Versuchsperson mit einem Minimalwert des Kraftverlaufs bei ca. 50% der Bodenkontaktzeit. In Phase III erfolgt das Abrollen über den Vorfuß zur Beschleunigung der Gehbewegung mit einem Kraftmaximalwert bei etwa 80% der Bodenkontaktzeit. Die Gesamtzeit für den Fuß-Abrollvorgang beträgt ca. 0,7 bis 0,8 s.

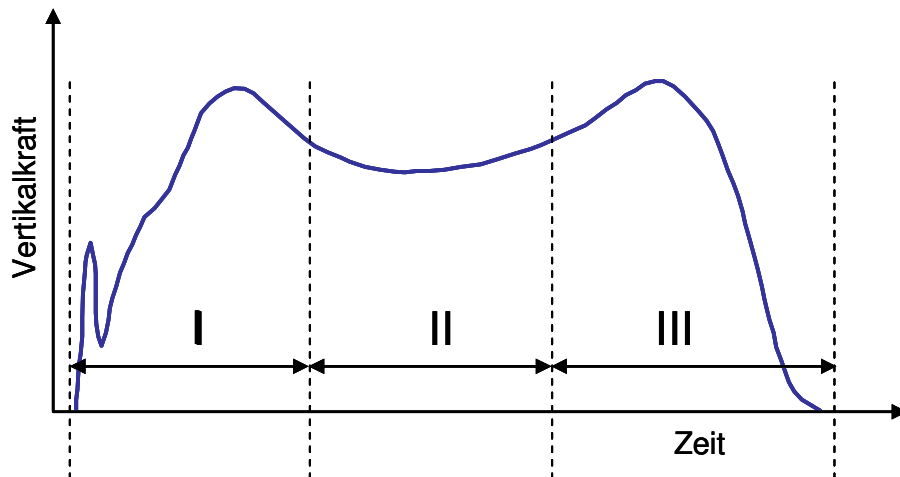


Abb. 2-2: Kraft-Zeitverlauf für den Fuß-Abrollvorgang

Für die Gelenkbelastung von entscheidender Bedeutung ist der anfängliche Vertikalkraft-Peak, der im Moment des Auftreffens der Ferse auf den Boden, bei durchgestrecktem Kniegelenk abgebaut werden muss. Dieser Kraft-Spitzenwert, der ca. 15 bis 25 ms nach dem Auftreffen der Ferse auf den Untergrund auftritt, wirkt passiv auf die Gelenke, d.h. ohne eine die Gelenkkette versteifende Muskelkontraktion. Die belastungsmindernde Wirkung einer Arbeitsplatzmatte kann daher in erster Linie danach beurteilt werden, inwieweit der initiale Kraft-Peak („passive Kraftspitze“) im Kraft-Zeitverlauf gedämpft wird. Die zeitlich nachfolgenden „aktiven Kraftspitzen“ in den Phasen I und III sind weitgehend unabhängig vom Untergrund, da hier das Muskelsystem aktiv dämpfend wirkt.

b) Simulierter Fersenaufprall („Kugelfall-Versuch“)

Eine Standardisierung der Gehversuche ist nur eingeschränkt realisierbar. Das Gangverhalten ist bezüglich einer Vielzahl von Merkmalen interindividuell sehr unterschiedlich, z. B. hinsichtlich der Gehgeschwindigkeit, Schrittweite und der Kniegelenkstellung (durchgestreckt bzw. noch leicht gebeugt). In Ergänzung zum Angebot vom 4.5.2007 wurde daher eine zusätzliche physikalische Messung durchgeführt, die den Fersenaufprall auf die Bodenproben reproduzierbar simuliert. Bei dieser Messung fällt eine Metallkugel mit einer Masse von 4 kg aus einer Höhe von 40 mm auf definierte Aufprallpunkte auf der Matte (z. B. auf den Mittelpunkt einer Noppe). Zur Messung des Kraft-Zeitverlaufs bei dieser Impulsbelastung kommt die gleiche Messplattform zum Einsatz, die für die Gehversuche verwendet wird. Je niedriger der gemessene Kraftspitzenwert und je flacher der Kraftanstieg ist, desto günstiger ist die belastungsreduzierende Wirkung des Testmaterials.

c) Subjektive Bewertung

Zusätzlich zu den physikalischen Messungen wurden die Arbeitsplatzmatten subjektiv bewertet. Dabei sollten zwei Merkmale der Matten bewertet werden, die empfundene „Weichheit“ beim Gehen auf den Mattenproben und die Behinderung bei Drehbewegungen des Fußes, die häufig bei Positionswechseln am Arbeitsplatz erforderlich sind. Durch die Oberflächenbeschaffenheit der Arbeitsplatzmatten z. B. in Form von Noppen und durch die Profilierung der Schuhsohle kommt es zu mehr oder weniger ausgeprägten Einhakeffekten, welche Drehbewegungen des Fußes behindern.

2.3 Versuchsaufbau

a) Kraftmessplattform

Für die Messung der Vertikalkraft beim Begehen der Bodenproben und zur Messung des simulierten Fersenaufpralls dient eine Messplattform in der Größe 400 x 400 mm, in die vier elektrische Scherkraft-Aufnehmer eingebaut sind. Der Messbereich der Plattform beträgt ± 4 kN. Da die Bodenproben unterschiedliche Materialstärken aufweisen (s. Abschnitt 2.1 a)), wurde die Plattform auf einem Stahlträger befestigt, der mit zwei Spindeltrieben verschraubt ist. Diese Vorrichtung wurde mittig in eine Gehbahn mit einer Gesamtlänge von ca. 6 m eingebaut (Abb. 2-3).

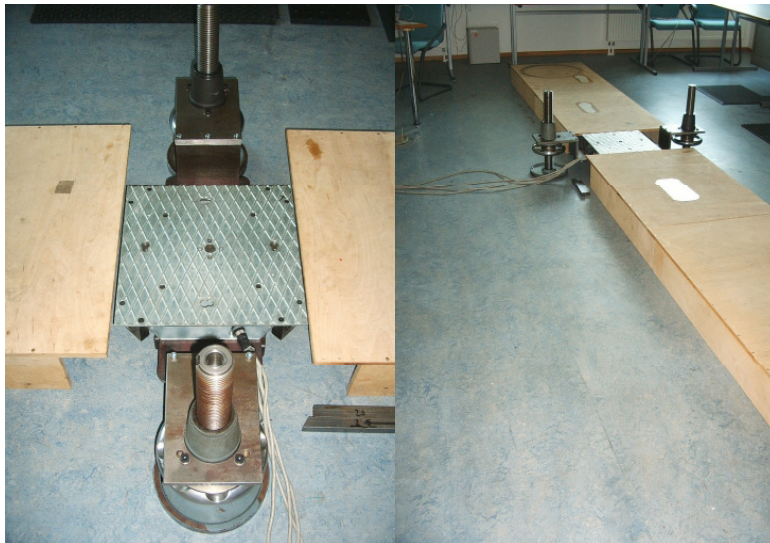


Abb. 2-3: Versuchsaufbau für die Gehversuche

links: Messplattform mit Spindeltrieben

rechts: Einbau der Plattform in die Gehbahn

Mit Hilfe der Spindeltriebe konnte die Messplattform so in der Höhe verstellt werden, dass die auf die Plattform aufgelegten Mattenproben bzw. mit der Plattform verschraubten harten Bodenproben jeweils bündig mit der Gehbahn waren. Nach erfolgter Höhenanpassung wurde die Plattform mittels maßlich abgestimmter Stahlunterlagen auf dem Boden abgestützt, um Schwingungen des Messaufbaus weitgehend zu eliminieren.

Die zusätzliche Vorrichtung für den simulierten Fersenaufprall zeigt Abb. 2-4. Für diesen Versuch bleibt die Messplattform auf konstanter Höhe. Die Stahlkugel hängt an einem dünnen Faden, der über eine Umlenkrolle geführt ist und mittels einer Schlaufe von einem Stahl-

stift gehalten wird. Diese Haltevorrichtung ist an einem hydraulischen Hubwagen befestigt, der zur Einstellung der Fallhöhe benutzt wird. Dazu wird auf die Mattenproben jeweils über dem vorgesehen Aufprallpunkt ein 40 x 40 mm Vierkantrohr gelegt, auf das die Stahlkugel mit dem Hubwagen soweit abgesenkt wird, dass das Vierkantrohr gerade noch unter der Kugel heraus gezogen werden kann. Das Ziehen des Stahlstiftes löst die Impulsbelastung aus.



Abb. 2-4: Vorrichtung für den simulierten Fersenaufprall

b) Datenerfassung

Im Messverstärker der Kraftmessplattform werden die Ausgangssignale der 4 Scherkraftaufnehmer parallel summiert und anschließend einer im PC installierten Messkarte zur A/D-Wandlung zugeführt. Mit der Software LabVIEW¹ wird der Ablauf der Datenerfassung gesteuert (Abb. 2-5).

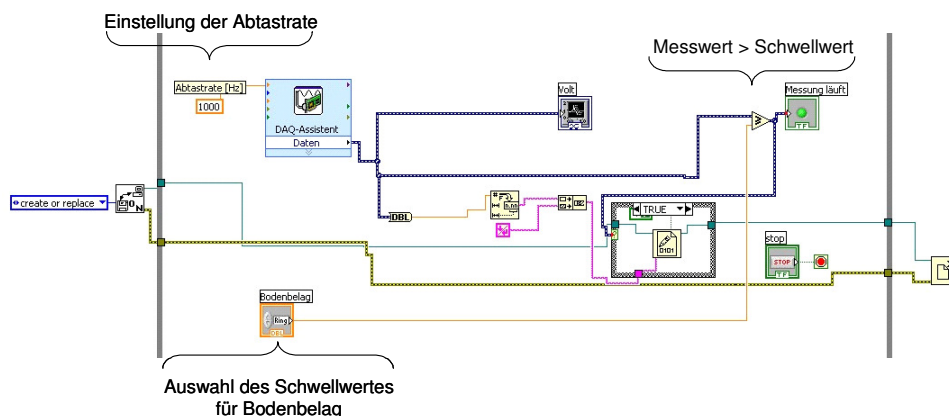


Abb. 2-5: Datenerfassungsprogramm für die Gehversuche mit LabVIEW

¹ LabVIEW ist eine grafische Programmiersprache für Mess-, Steuerungs- und Regelaufgaben.

Da jede auf die Messplattform aufgelegte Materialprobe eine Vorlast darstellt und vor jedem Versuch ein Nullpunktgleich vermieden werden sollte, wurde für eine teilautomatisierte Datenerfassung wie folgt vorgegangen: Zunächst wurde für alle Bodenproben eine Offset-Messung durchgeführt (z.B. für GWO: 34 mV). Das Überschreiten eines Schwellwertes, der geringfügig oberhalb des Offsets angesetzt wurde (z.B. für GWO: 34 mV + 5 mV = 39 mV), stellt den Trigger für den Start der Datenerfassung dar, d.h. bei dem ersten Kontakt des Absatzes mit der Bodenprobe beginnt die Speicherung der vom Messverstärker gelieferten elektrischen Signale. Für die Gehversuche wurde eine Abtastrate von 1 kHz, für den simulierten Fersenaufprall eine Samplefrequenz von 2 kHz gewählt. Nach dem Überschreiten der Plattform wird der Kraft-Zeitverlauf grafisch dargestellt und die Messung durch Mausklick gestoppt (Abb. 2-6). Die Daten werden für jeden Probanden und für jeden einzelnen Gehversuch in einer Text-Datei gespeichert, die später in Excel weiter verarbeitet wird.

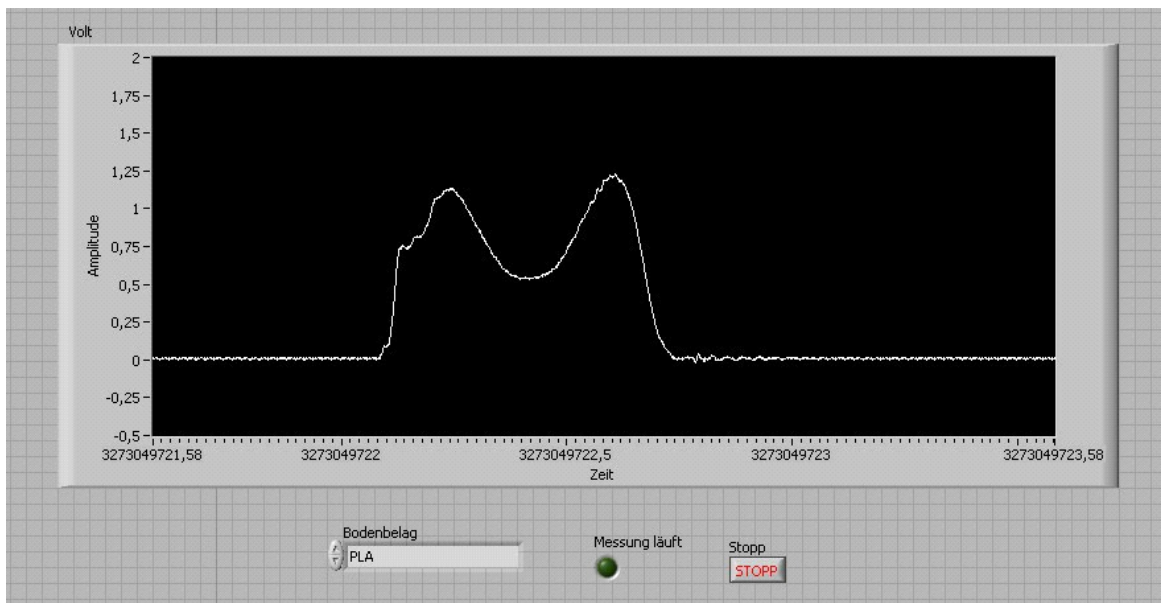


Abb. 2-6: LabView-Fenster mit dargestelltem Verlauf der Vertikalkraft

c) Subjektive Bewertung



Abb. 2-7: Versuchsanordnung für die subjektive Bewertung der Arbeitsplatzmatten

Für die subjektive Bewertung der Arbeitsplatzmatten trugen die Probanden ausschließlich das Schuhwerk mit harter Sohle (Arbeitsgalosche). Die Arbeitsplatzmatten waren vor einer Tischreihe ausgelegt, auf der vorbereitete Fragebogen von den Probanden auszufüllen bzw. vorgegebene Antworten anzukreuzen waren (Abb. 2-7). Um eine „Tendenz zur Mitte“ zu vermeiden, wurde eine vierstufige Antwortskala vorgegeben. Abb. 2-8 zeigt exemplarisch einen der verwendeten Fragebögen.

Tab. 2-1: Daten der Probanden

VP	Sex (w/m)	Alter (J)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Privat getragenes Schuhwerk
RP	m	36	172	81	Motorradstiefel
PR	m	65	172	74	Slipper mit sehr hartem Lederabsatz
MA	m	37	176	85	Trachtenschuhe mit Stahlplatte im Absatz
HH	m	48	175	95	Motorradstiefel
AF	w	26	170	60	Flache Schuhe mit hartem Gummiabsatz
DP	w	24	167	56	Flache Schuhe mit hartem Absatz
SA	w	22	170	60	Sportschuhe
MP	w	25	173	60	Modische, spitze Schuhe mit hartem Absatz
WR	m	38	176	86	Schnür-Halbschuhe mit hartem Absatz
IF	w	57	162	65	Halbschuhe mit Gummisohle

2.5 Versuchsdurchführung

a) Gehversuche

Die Probanden wurden über den Zweck der Messung und die Art der Messdurchführung unterrichtet. Die Gehversuche waren sowohl mit normaler Schrittgeschwindigkeit (z.B. Gehen auf einem Verkehrsweg) als auch für langsamens Gehen durchzuführen. Die Versuchspersonen wurden gebeten, zunächst mit ihren Privatschuhen auf der Gehbahn „ganz normal“ zu gehen und ihren Blick möglichst nicht auf die Kraftmessplattform zu richten, sondern aus dem in Gehrichtung liegenden Fenster zu blicken. Durch mehrere derartige Versuche wurde der optimale Startpunkt auf der Gehbahn so festgelegt und markiert, dass beim normalen Gehen ohne Blickkontakt zur Messplattform der linke oder rechte Fuß auf der aufgelegten Bodenprobe mittig abrollt.

Für das langsame Gehen war der Proband vor der Messplattform so positioniert, dass er mit einem kleinen Schritt die Bodenprobe langsam überschreiten konnte.

Um Höhenverstellungen der Kraftmeseinrichtung und Schuhwechsel (hartes vs. weiches Schuhwerk) auf ein Minimum zu reduzieren, wurde die in Abb. 2-9 wiedergegebene Versuchsreihenfolge gewählt. Da für jede Kombination Bodenbelag/Schuhwerk Messungen für normalen und langsamen Gang durchzuführen waren, absolvierte jede Versuchsperson 26 Messungen.

b) Simulierter Fersenaufprall

Das Messverfahren und die Versuchsdurchführung für den simulierten Fersenaufprall („Kugelfallversuch“) wurde in Abschnitt 2.3 a) bereits erläutert. Da bei Arbeitsplatzmatten mit

strukturiertes der Oberfläche der Absatz an unterschiedlicher Stelle auftreten kann, wurden jeweils zwei unterschiedliche, in Abb. 2-10 angegebene Auftreffpunkte definiert, die vor dem Fallversuch mit einem über die Umlenkrolle geführten Lot durch Positionierung des Hubwagens und/oder der Matte auf der Kraftmessplattform anvisiert wurden.

Bei der Messposition „Z“ ist die Falllinie zentriert auf eine Noppe, bzw. für die Matte „QWP“ auf das Zentrum der sternförmigen Erhebung. Für die Messposition „M“ liegt der Aufprallpunkt der Kugel zentrisch zwischen 4 Noppen, bzw. für „GWP“ in der Mitte der knochenförmigen Aussparung.

Für die CES-Matte mit geschlossener Oberfläche („Orangenhaut“) wurden die in Abb. 2-10 dargestellten Positionen der Strukturelemente auf der Unterseite gemessen und auf die Oberseite übertragen, um auch mit dieser Matte zwei Messungen durchführen zu können.

Um die elastisch dämpfende Wirkung der Matten gegenüber hartem Untergrund darzustellen, wurde ein simulierter Fersenaufprall mit dem Holzboden durchgeführt.

c) Subjektive Bewertung

Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, sich ihre Empfindungen beim wiederholten Gehen auf den Matten und bei mehreren Drehbewegungen des gesamten Körpers einzuprägen. Für die Bodenbeläge war dann bezüglich der Merkmale „Weichheit“ und „Behinderung bei Drehbewegungen“ ein vergleichendes Urteil abzugeben. Um eine „Tendenz zur Mitte“ zu vermeiden, wurde eine vierstufige Antwortskala vorgegeben (s. Abschnitt 2.3 c)).

3 Ergebnisse

3.1 Vertikalkraft beim Gehen

a) Harter Untergrund

Abb. 3-1 zeigt für eine ausgewählte männliche Versuchsperson den Vertikalkraftverlauf bei normalem Gang über die Riffelblechplatte (entspricht der Deckplatte der Messplattform, vgl. Abb. 2-3) mit privatem (RIF_P), hartem (RIF_H) und weichem Schuhwerk (RIF_W).

Die passive Kraftspitze beim Aufprall des Absatzes auf den Untergrund ist für diesen Probanden am stärksten für das private Schuhwerk ausgeprägt (Slipper mit sehr hartem Lederabsatz), für das harte Schuhwerk (Arbeitsgalosche) liegt dieser Spitzenwert ca. 10% niedriger, mit dem weichen Schuhwerk (hochwertiger Arbeitsschuh mit Absatzdämpfung) wird eine Belastungsreduktion von ca. 30% gegenüber der Arbeitsgalosche erreicht. Die nachfolgenden aktiven Kraftspitzen für das Abrollen von Rück- und Vorfuß sind weitgehend unabhängig von dem getragenen Schuhwerk.

VP: PR, harter Untergrund, normaler Gang

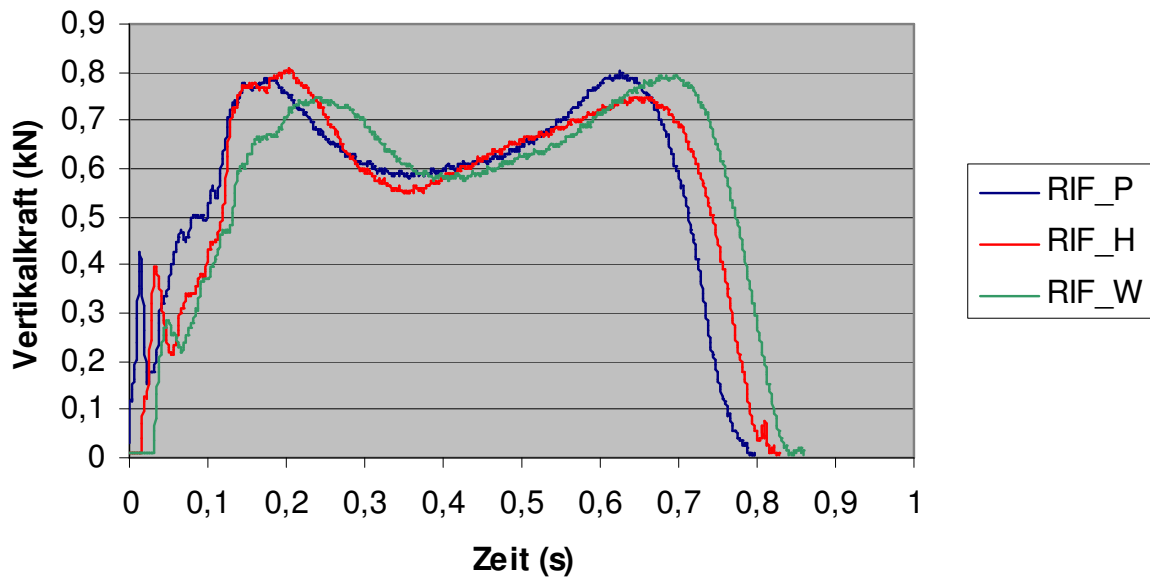


Abb. 3-1: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf der Riffelblechplatte

Abb. 3-2 zeigt die Vertikalkraftverläufe für die übrigen harten Bodenproben (Granitplatte: BET, Gitterrost: GIT und Holzboden: HOL), die vom gleichen Probanden mit hartem und weichem Schuhwerk begangen wurden.

VP: PR, harter Untergrund, normaler Gang

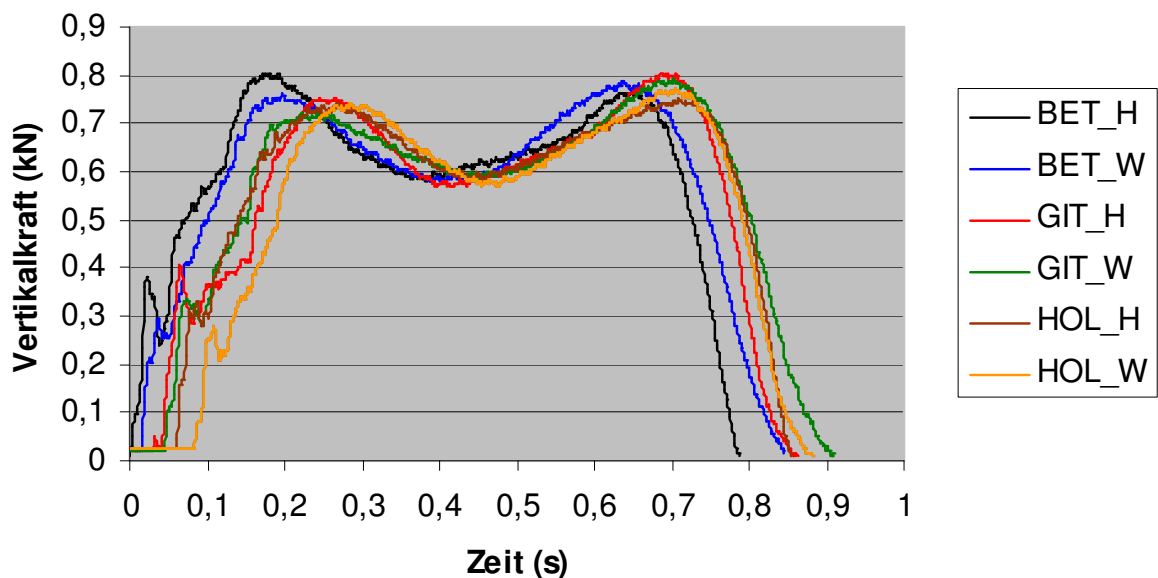


Abb. 3-2: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf verschiedenem hartem Untergrund mit hartem und weichem Schuhwerk

Die Maximalwerte der passiven Kraftspitzen für das Begehen von Steinboden und dem Gitterrost mit hartem Schuhwerk (BET_H und GIT_H) liegen in der gleichen Größenordnung von ca. 0,4 kN wie für das Begehen der Riffelblechplatte (RIF_H in Abb. 3-1). Der niedrigste Kraft-Peak ergibt sich für den Holzboden (HOL_H, ca. 0,33 kN), da Holz im Vergleich zu Stein und Metall eine höhere Materialdämpfung aufweist. Für den hochwertigen Arbeitsschuh mit Absatzdämpfung wird eine Reduktion der passiven Kraftspitzen von etwa 15 bis 25% erzielt.

Für das langsame Gehen über die Kraftmessplattform - wie in Abschnitt 2.5 beschrieben - verändert sich deutlich die Charakteristik des Vertikalkraftverlaufs. In Abb. 3-3 sind die Vertikalkraftverläufe für eine männliche Versuchsperson dargestellt, die mit hartem Schuhwerk (Arbeitsgalosche) die Riffelblechplatte normal (RIF_H_N) bzw. langsam überschreitet (RIF_H_L). Zunächst fällt auf, dass der initiale Kraft-Peak beim Aufsetzen des Absatzes nicht mehr auftritt, wenn die Bodenprobe mit einem „kleinen Schritt“ begangen wird. Vielmehr führt dabei das Abrollen des Rückfußes zu einem kontinuierlichen Kraftanstieg.

VP: WR, harter Untergrund, normaler vs. langsamer Gang

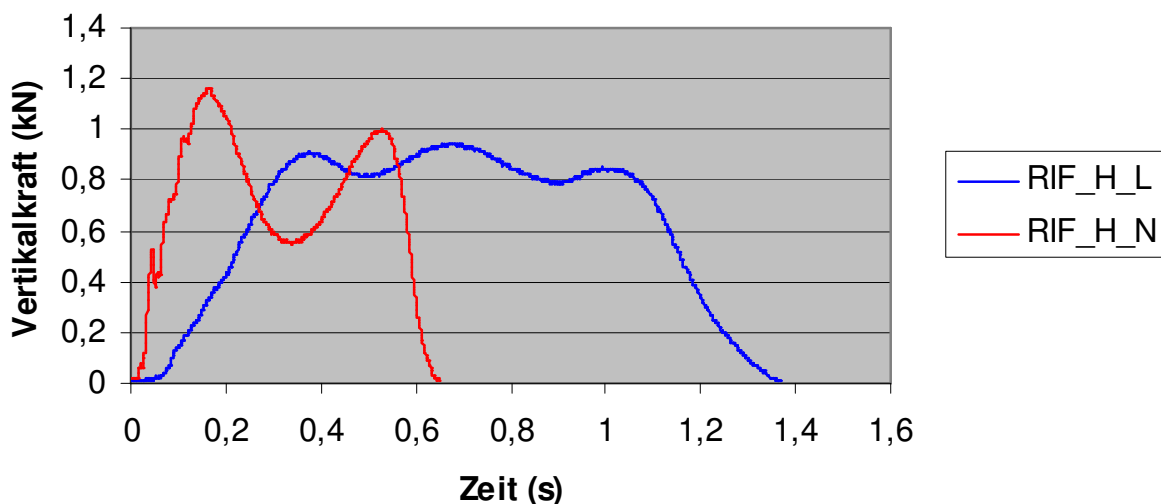


Abb. 3-3: Vertikalkraftverläufe für normalen und langsamen Gang auf der Riffelblechplatte mit hartem Schuhwerk

Die Bodenkontaktzeiten sind bei langsamem Gang deutlich länger als beim normalen Gehen und weisen eine höhere interindividuelle Streubreite auf (1,1 bis 1,4 s gegenüber 0,7 bis 0,8 s bei normaler Schrittgeschwindigkeit). Für den langsamen Gang liegen die Bodenreaktionskräfte insgesamt niedriger als beim normalen Gehen, wobei für den langsamen Schritt über die Plattform ein dreigipfliger Kraftverlauf registriert wird. Beim normalen Gehen zeigt sich ein kontinuierlicher Übergang zwischen den Verzögerungskräften beim Abrollen des Rückfußes und den Beschleunigungskräften beim Abrollen über den Vorfuß, während bei langsamem Gang der gesamte Fuß zwischen den Abrollvorgängen Bodenkontakt über eine Zeitspanne von etwa 200 bis 300 ms hat. Für den langsamen Gang liegen die Bodenreaktionskräfte in der Größenordnung der Gewichtskraft des Probanden, die Versuchsperson WR hat ein Körpergewicht von 86 kg, vgl. Tab. 2-1).

Die unterschiedlichen Ergebnisse in Abhängigkeit von der Gehgeschwindigkeit und insbesondere die nicht mehr auftretende passive Kraftspitze bei langsamem Gang legen bereits

nahe, dass für das langsame Gehen am Arbeitsplatz eine belastungsreduzierende Wirkung weder für hochwertige Arbeitsschuhe noch für Arbeitsplatzmatten *messtechnisch* nachweisbar sein wird, was allerdings nicht ausschließt, dass auch das langsame Gehen mit harten Schuhen auf elastisch-dämpfendem Untergrund subjektiv angenehmer empfunden wird als das Gehen auf hartem Boden.

Diese messtechnische Einschränkung ist auch aus Abb. 3-4 ersichtlich, in der die Vertikalkraftverläufe für das langsame Gehen auf Steinboden (BET) und auf dem Gitterrost (GIT) dargestellt sind. Für diese Versuche, bei denen hartes und weiches Schuhwerk getragen wurde (Arbeitsgalosche bzw. Baltes-Arbeitsschuh), zeigen sich praktisch identische Verläufe für die Bodenreaktionskräfte ohne passive Kraftspitzen beim Aufsetzen des Absatzes auf den Bodenbelag.

VP: PR, harter Untergrund, langsamer Gang

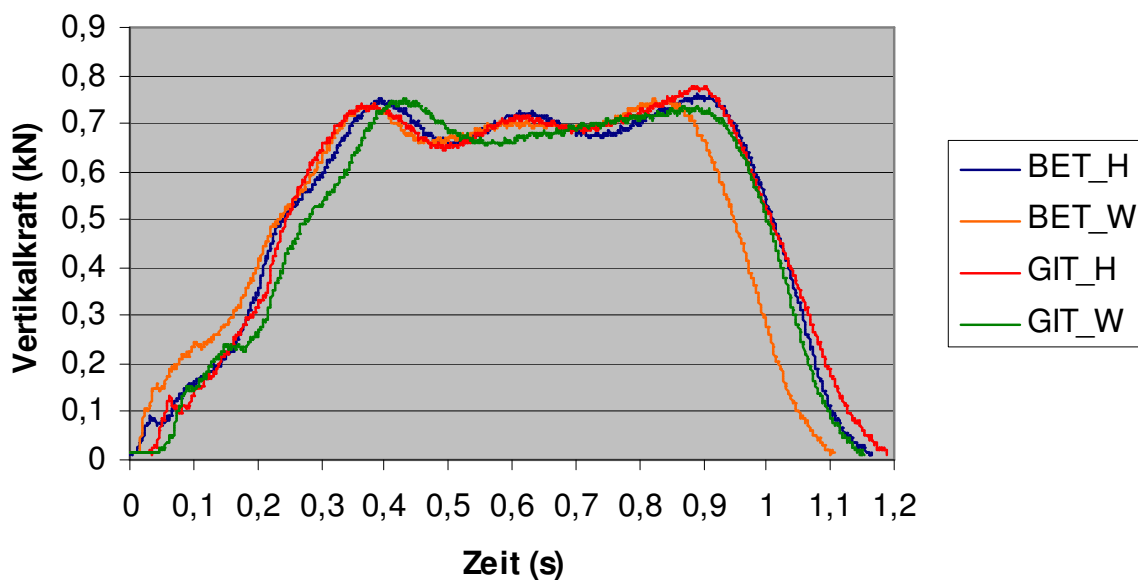


Abb. 3-4: Vertikalkraftverläufe für langsamen Gang auf hartem Untergrund mit hartem und weichem Schuhwerk

b) Arbeitsplatzmatten

Abb. 3-5 zeigt den Verlauf der Vertikalkraft für die Arbeitsplatzmatten (GWO) und (GWP) im Vergleich zu hartem Untergrund (Riffelblech). Alle Bodenproben wurden mit identischem und vergleichsweise hartem Schuhwerk begangen (Arbeitsgalosche). Der belastungsmindernde Effekt der Matten ist deutlich zu erkennen: Ein passiver Kraft-Peak, wie er beim Auftreffen des Absatzes auf den Riffelblechboden auftritt, ist beim Begehen der Matten nicht mehr zu erkennen. Für die beiden Matten ist der initiale Kraftimpuls als Stufe zu erkennen, die in einen kontinuierlichen Kraftanstieg übergeht und deren Niveau um ca. 25% niedriger liegt im Vergleich zu der passiven Kraftspitze auf hartem Untergrund. Dieser belastungsreduzierende Effekt der Matten zeigt sich für fast alle Probanden in gleicher Weise, allerdings mit unterschiedlicher Ausprägung. Für Versuchspersonen, die weniger „hart“ auftreten, verbunden mit einer niedrigen passiven Kraftspitze auf hartem Untergrund, ist die elastisch dämpfende Wirkung der Matten ebenfalls erkennbar, jedoch auf anderem Niveau (Abb. 3-6 und Abb. 3-7).

VP: PR, Arbeitsplatzmatten, normaler Gang

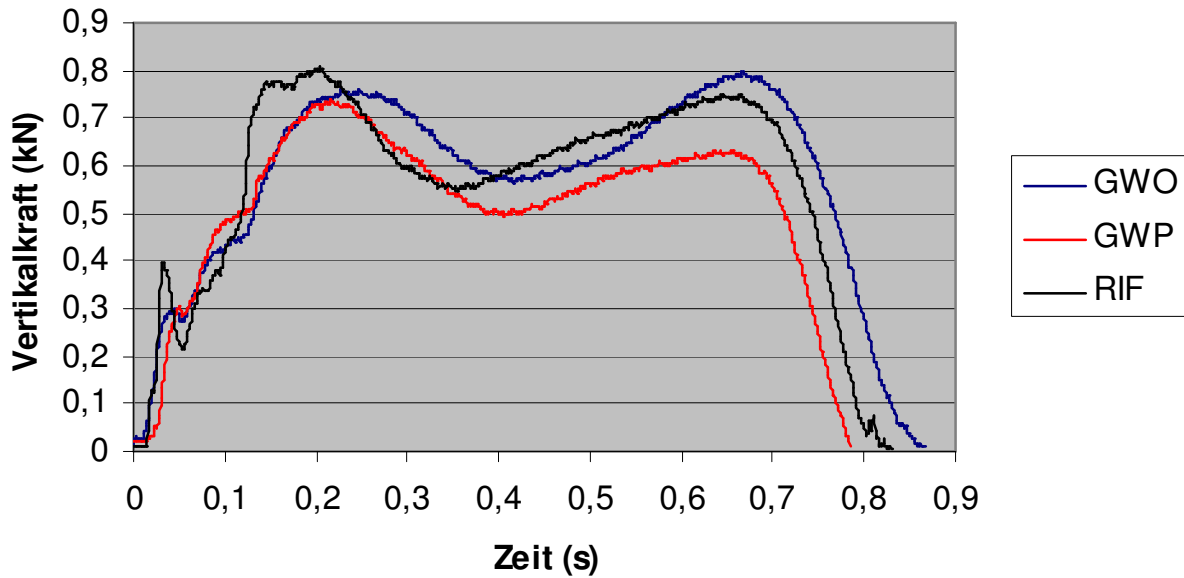


Abb. 3-5: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf hartem Untergrund (RIF) und auf den (GWO) und (GWP)

VP: WR, Arbeitsplatzmatten, normaler Gang

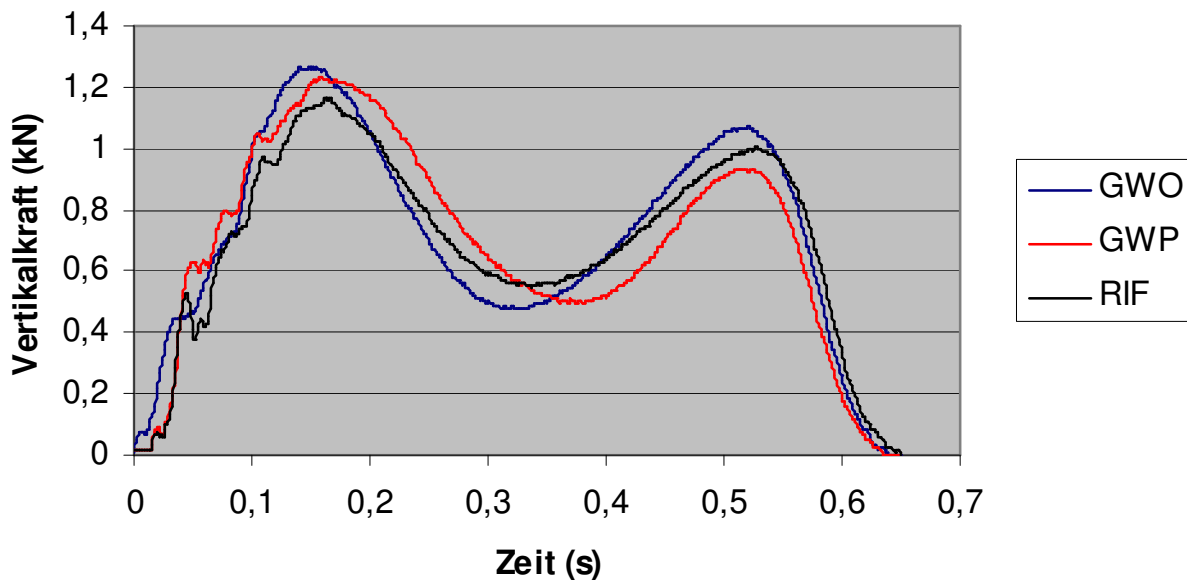


Abb. 3-6: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf hartem Untergrund (RIF) und auf den (GWO) und (GWP)

VP: MA, Arbeitsplatzmatten, normaler Gang

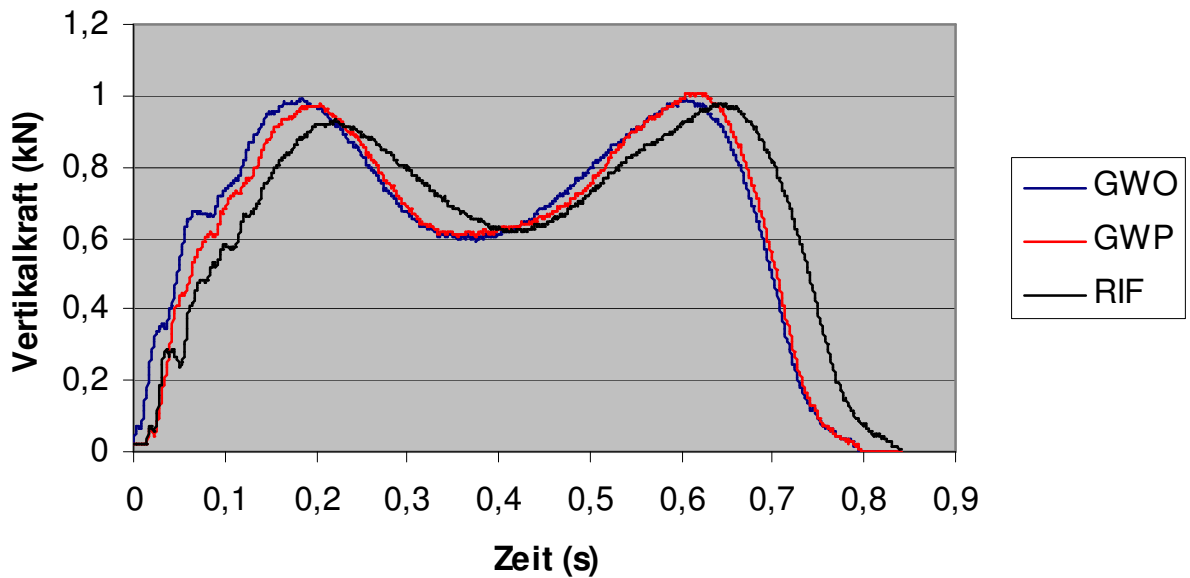


Abb. 3-7: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf hartem Untergrund (RIF) und auf den (GWO) und (GWP)

Für die Matten der Mitbewerber zeigt sich ein ähnliches Dämpfungsverhalten. Beim Absatz-aufprall treten bei der Matte (PLA) und bei der (CES) schwache Kraft-Peaks auf, die bei der (ECO) grundsätzlich nicht zu sehen sind (Abb. 3-8 bis Abb. 3-10).

VP: PR, Arbeitsplatzmatten, normaler Gang

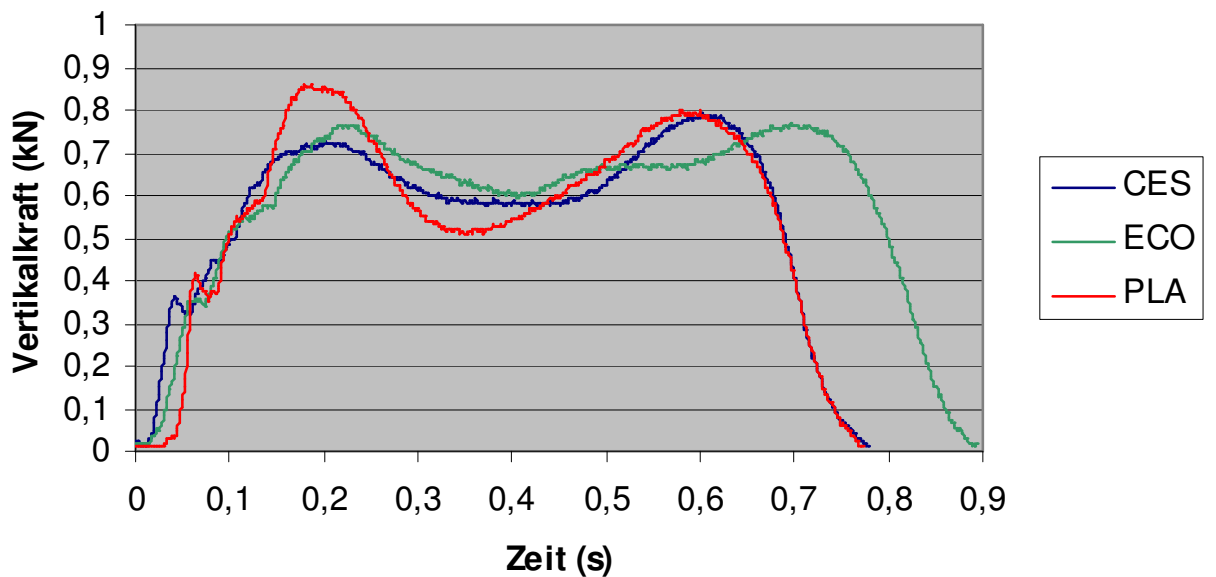


Abb. 3-8: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf den Arbeitsplatzmatten (CES), (ECO) und (PLA)

VP: WR, Arbeitsplatzmatten, normaler Gang

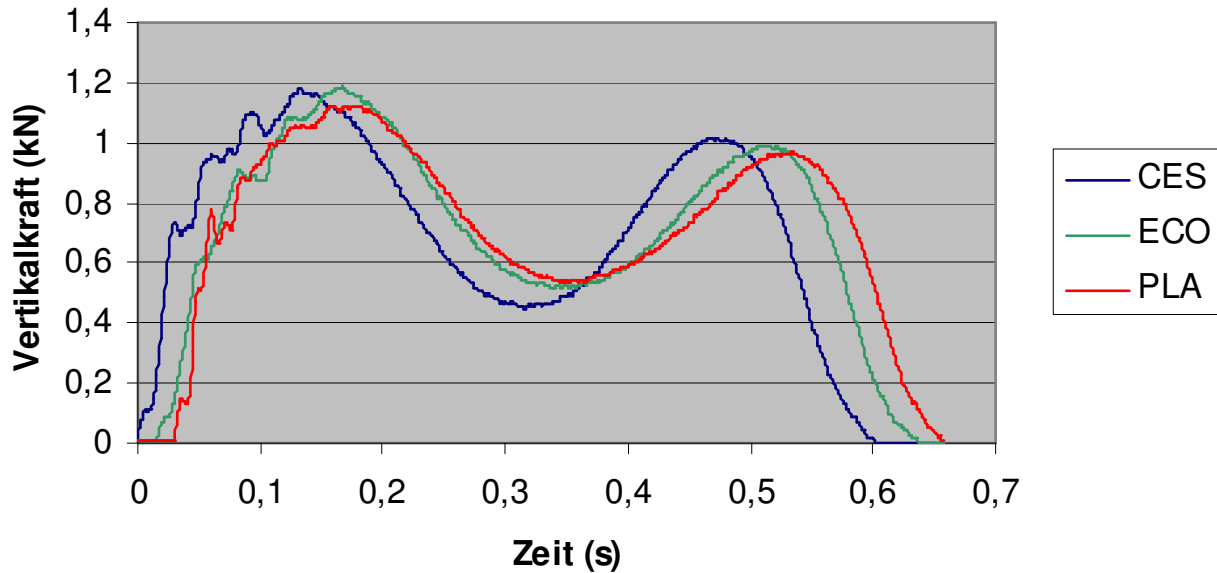


Abb. 3-9: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf den Arbeitsplatzmatten (CES), (ECO) und (PLA)

VP: MA, Arbeitsplatzmatten, normaler Gang

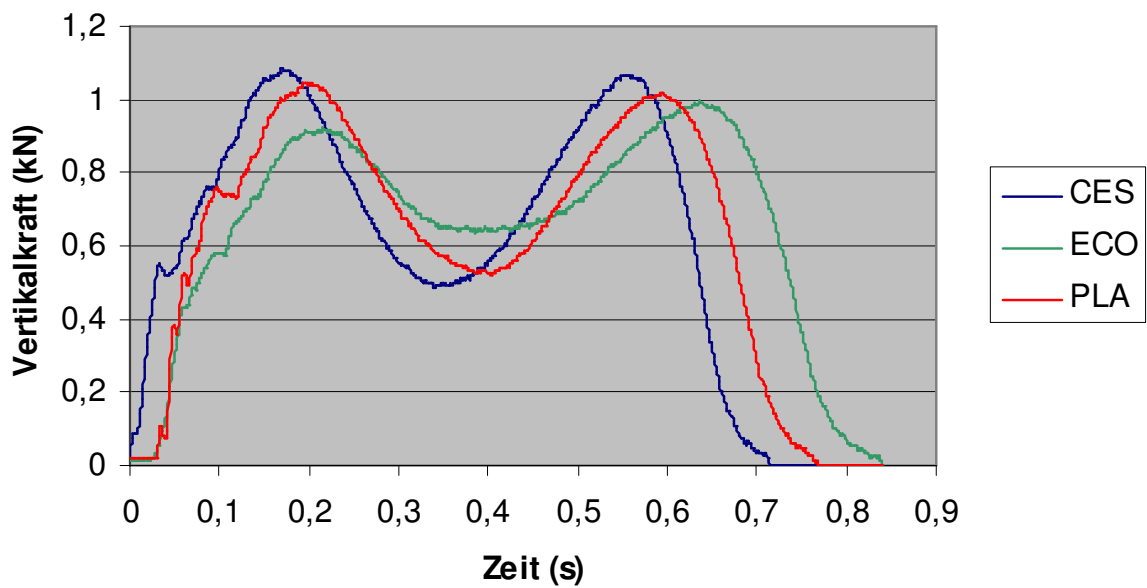


Abb. 3-10: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf den Arbeitsplatzmatten (CES), (ECO) und (PLA)

Die PU-Matte zeichnet sich zusätzlich durch einen flacheren Kraftgradienten beim Abrollen des Rückfußes aus (vgl. Abb. 3-10).

Die passive Kraftspitze bei der Wettbewerber-Matte (PLA), die nur eine Dicke von 11,5 mm aufweist, ist wahrscheinlich auf die geringe Materialstärke und ein „Durchtreten“ des Absatzes zurückzuführen.

Für die weiblichen Versuchspersonen wurden tendenziell vergleichbare Ergebnisse wie für die männlichen Probanden gefunden, allerdings mit einigen Abweichungen. Wie die Vertikalkraftverläufe für harten Untergrund zeigen (Abb. 3-11), ist die passive Kraftspitze infolge des Absatzaufpralls deutlich niedriger, die Maximalwerte liegen um ca. 30 bis 50% unter den Werten von Männern. Aufgrund der geringeren Körpermasse sind auch die maximalen Bodenreaktionskräfte in Phase I (Abrollen des Rückfußes) und Phase III (Abrollen des Vorfußes) geringer. Ein dämpfender Effekt des weichen Arbeitsschuhs ist nicht erkennbar.

VP: DP, harter Untergrund, normaler Gang

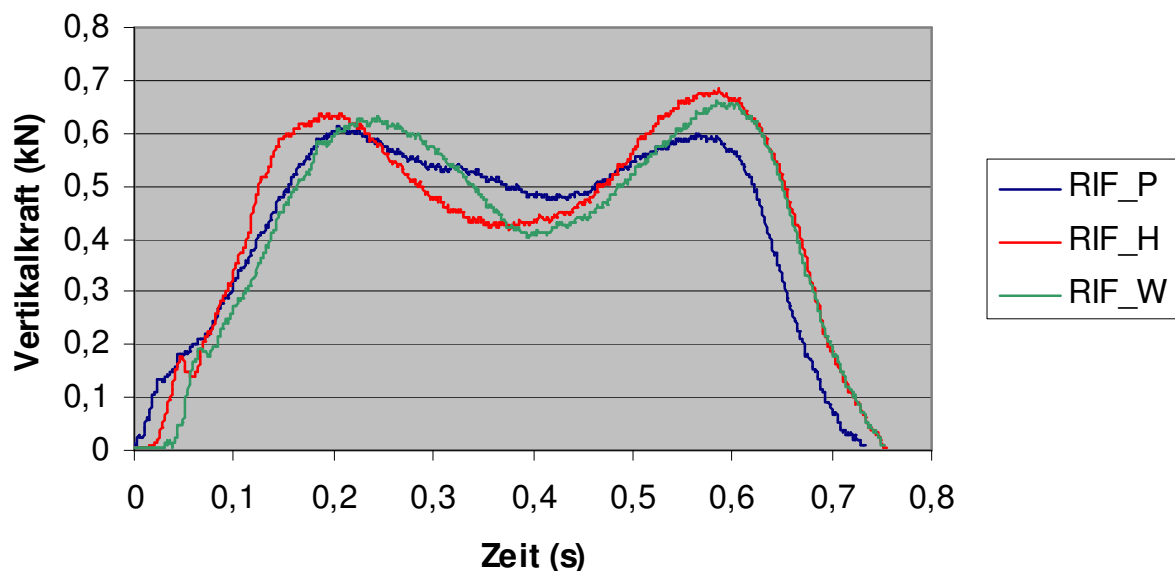


Abb. 3-11: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang einer weiblichen Versuchsperson auf der Riffelblechplatte mit privatem (_P), hartem (_H) und weichem Schuhwerk (_W)

Für die Gehversuche auf den Arbeitsplatzmatten zeigen sich für die weiblichen Probanden praktisch keine Unterschiede zwischen den 5 untersuchten Mattentypen. Bei keiner Matte tritt eine passive Kraftspitze auf, wie beispielsweise Abb. 3-12 im Vergleich zu hartem Untergrund (Riffelblechplatte) zeigt. Auch für die Matten der Mitbewerber zeigen sich verglichen mit den Matten von Kraiburg absolut deckungsgleiche Vertikalkraftverläufe mit identischem Kraftgradienten in Phase I (Abb. 3-13).

VP: DP; Arbeitsplatzmatten, normaler Gang

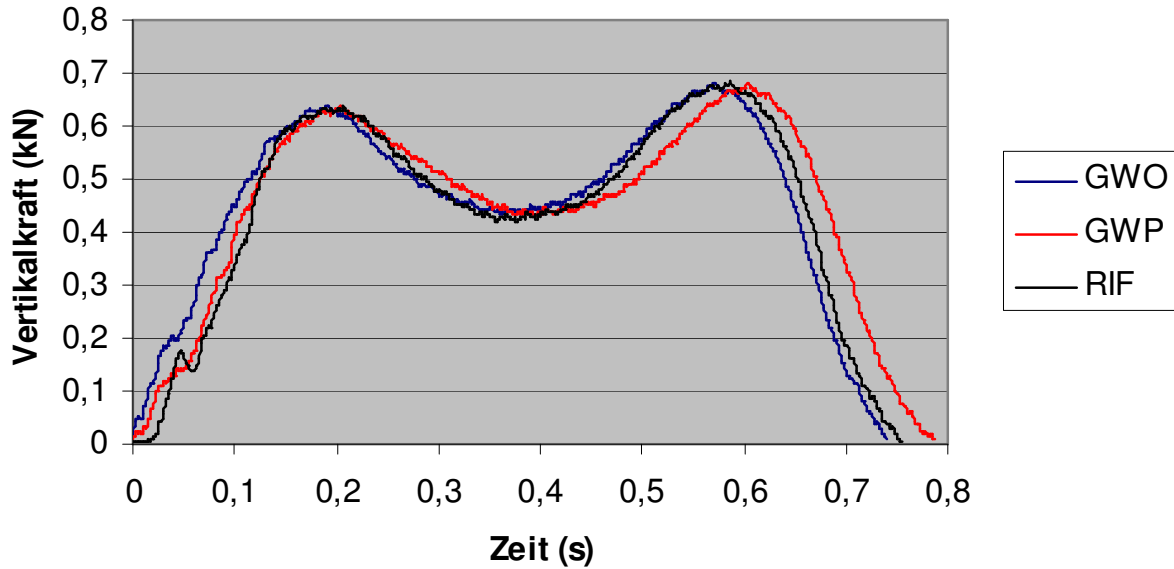


Abb. 3-12: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf hartem Untergrund (RIF) und auf den Arbeitsplatzmatten (GWO) und (GWP)

VP: DP, Arbeitsplatzmatten, normaler Gang

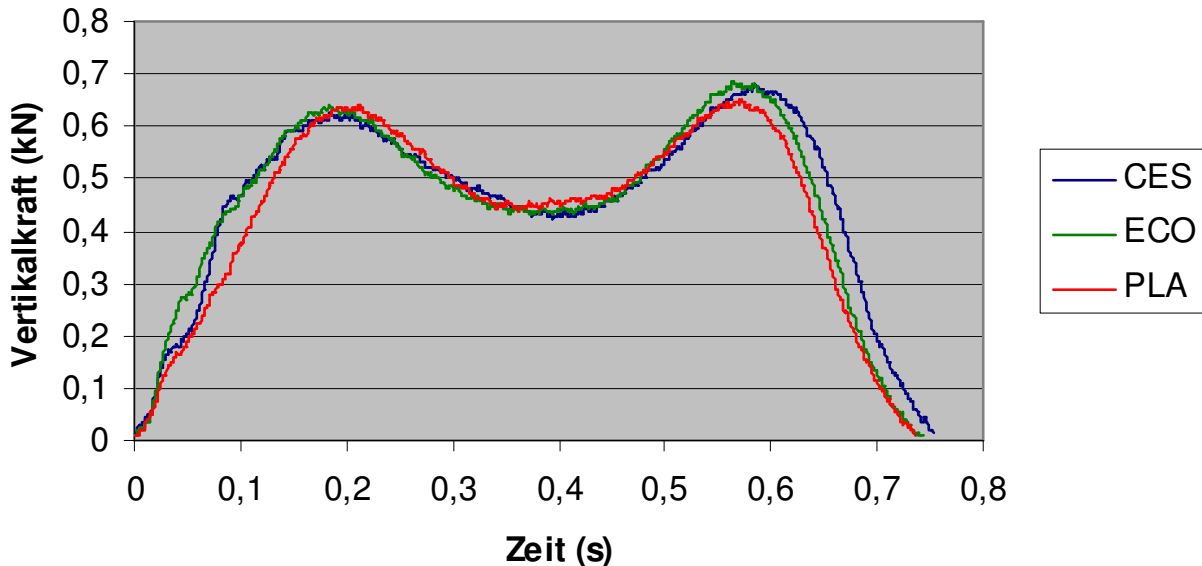


Abb. 3-13: Vertikalkraftverläufe für normalen Gang auf den Arbeitsplatzmatten (CES), (ECO) und (PLA)

3.2 Simulierter Fersenaufprall

Bei diesem Versuch („Kugelfall-Versuch“) wird lediglich der erste Kraftimpuls nach dem Auftreffen der Metallkugel auf den Bodenbelag ausgewertet, die nachfolgenden Impulse infolge des „Springens“ der Kugel werden nicht betrachtet. Abb. 3-14 veranschaulicht die dämpfende Wirkung der GWO für die Messposition „Z“ (GWP_Z, vgl. Abb. 2-10) gegenüber dem Holzboden. Durch die Matte wird der Kraftspitzenwert um ca. 65% reduziert.

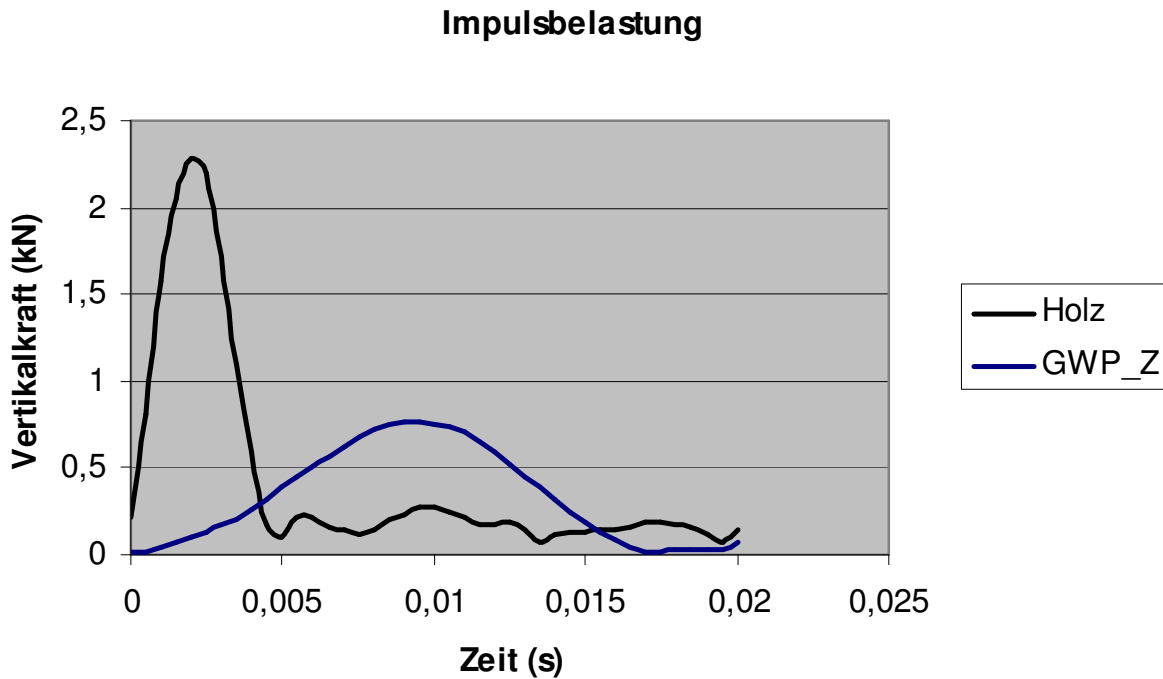


Abb. 3-14: Vertikalkraftverlauf bei Impulsbelastung mit Metallkugel für den Holzboden und die Arbeitsplatzmatte GWO

In Abb. 3-15 sind die Vertikalkraftverläufe für die Kraiburg-Matten und die beiden Messpositionen dargestellt. Grundsätzlich zeigen sich für die Messpositionen „Z“ (Falllinie zentriert auf pyramidenförmige Noppe der GWO, GWO_Z bzw. auf die sternförmige Erhebung der GWO, GWP_Z) geringere Kraftspitzenwerte im Vergleich zu den Messpositionen „M“. Dieses Ergebnis ist darauf zurückzuführen, dass an den Messpositionen „Z“ jeweils eine größere Materialdicke für den Kraftabbau vorhanden ist.

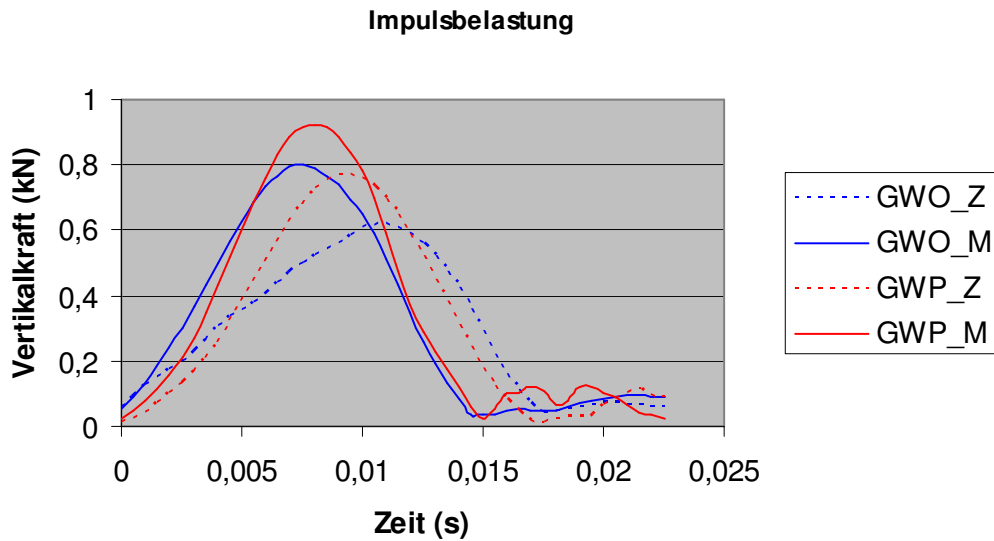


Abb. 3-15: Vertikalkraftverlauf bei Impulsbelastung mit Metallkugel für die Arbeitsplatzmatten (GWO) und (GWP) und für jeweils zwei Messpositionen

Für die Wettbewerber-Matte mit den abgeflachten kreisförmigen Noppen (PLA_Z bzw. PLA_M) sowie für die Wettbewerber-Matte mit der geschlossenen Oberfläche (CES_Z bzw. CES_M) ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede für die beiden Messpositionen (Abb. 3-16). Gänzlich anders sehen dagegen die Kraftverläufe für die ECO-Matte aus: Der Kraftgradient ist für beide Messpositionen deutlich flacher als bei den übrigen Matten, was bei einer Mattendicke von nur 15 mm auf die Werkstoffeigenschaften des verwendeten PU-Materials zurückzuführen sein dürfte, wobei sich der deutlichste Kraftabbau für die Messposition „M“ ergibt. Da die halbkugelförmigen Noppen dieser Matte sehr eng zusammen liegen, fällt die Kugel bei dieser Messposition auf vier Noppen und nicht – wie z.B. bei der GWO zwischen vier Noppen.

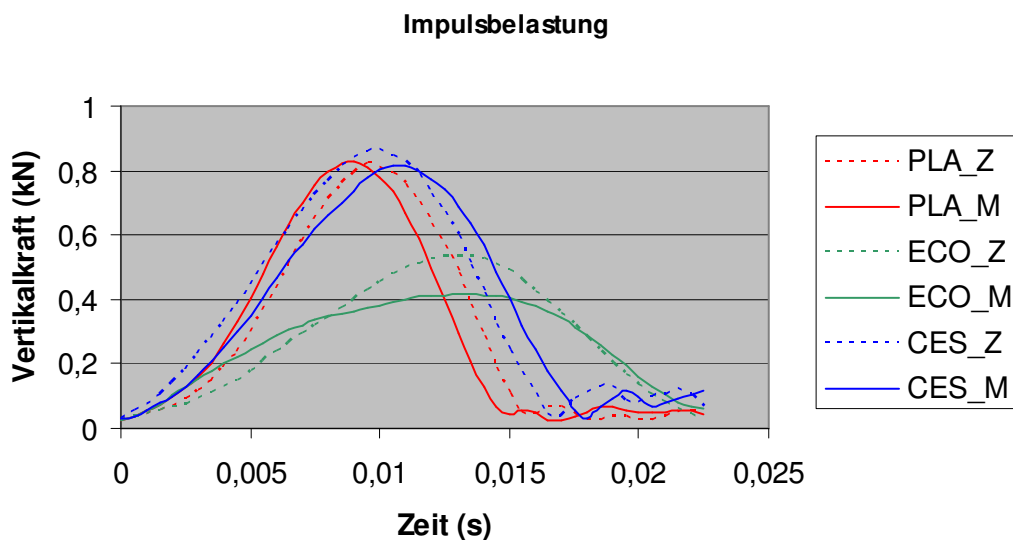


Abb. 3-16: Vertikalkraftverlauf bei Impulsbelastung mit Metallkugel für die Arbeitsplatzmatten (PLA), (ECO) sowie (CES) und für jeweils zwei Messpositionen

3.3 Subjektive Bewertung

Die Arbeitsplatzmatten waren hinsichtlich der empfundenen „Härte“ bzw. „Weichheit“ beim langsamen Gehen sowie hinsichtlich der Beeinträchtigung bei Drehbewegungen des Fußes zu bewerten. Abb. 3-17 zeigt das Ergebnis für die subjektive Bewertung beim Gehen.

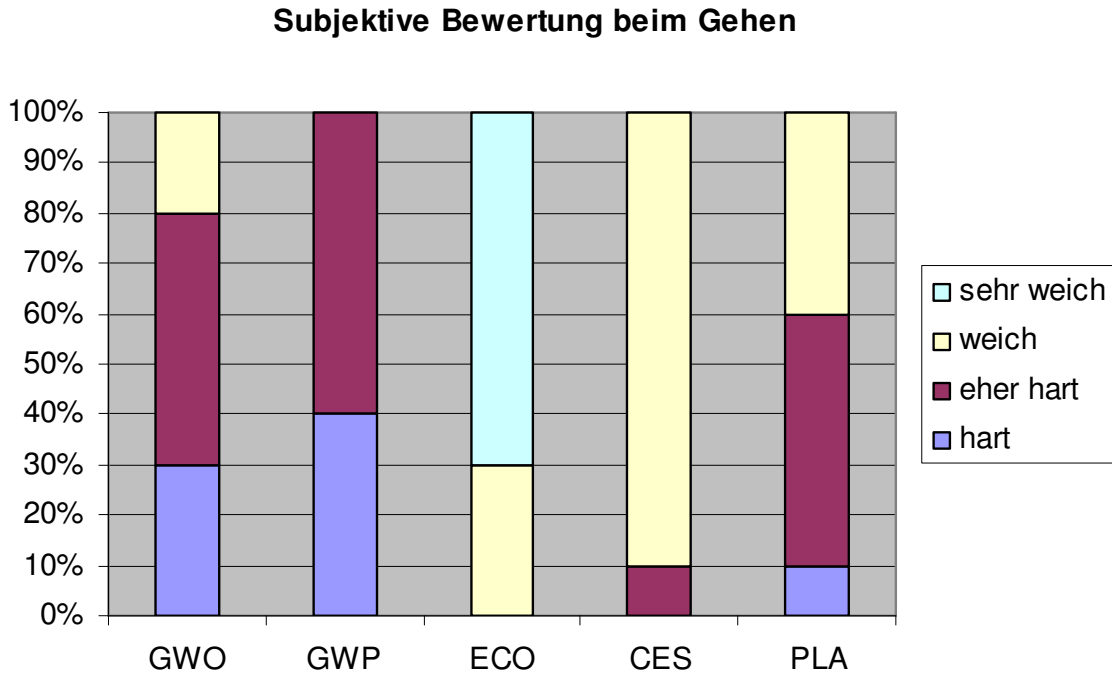


Abb. 3-17: Bewertung der „Weichheit“ der Arbeitsplatzmatten beim Gehen

In Übereinstimmung mit den physikalischen Messergebnissen für den simulierten Fersenaufprall wird die Wettbewerber-Matte (ECO) auch subjektiv am weichsten empfunden. 30% bzw. 70% der Probanden empfinden die Matte als „weich“ bzw. „sehr weich“. Für diese Arbeitsplatzmatte wurde bei den physikalischen Messungen der niedrigste Maximalwert beim Kugelaufprall und der flachste Kraftgradient gefunden, was z.T. auch bei den Gehversuchen ermittelt werden konnte (vgl. Abb. 3-16 und Abb. 3-10).

Die Wettbewerber-Matte (CES) wird von 10% der Versuchspersonen als „eher hart“, von 90% als „weich“ beurteilt. 60% der Probanden beurteilen die vergleichsweise dünne PLA-Matte als „eher hart“ bis „hart“ und nur 40% empfinden diese Matte als „weich“.

Am härtesten werden die beiden Matten (GWO + GWP) empfunden; nur 20% der Probanden beurteilen die GWO-Matte als „weich“, 50% bzw. 30% empfinden die Matte als „eher hart“ bis „hart“, während sich 60% bzw. 40% bei der GWP-Matte für „eher hart“ bis „hart“ aussprechen. Auch dieses Ergebnis steht nicht im Widerspruch zu den Ergebnissen der physikalischen Messungen. Beim simulierten Fersenaufprall zeigt sich für die Kraiburg-Matten ein steilerer Kraftanstieg im Vergleich zu den Produkten der Mitbewerber (CES und PLA). Für GWO und GWP beträgt die Vertikalkraft 5 ms nach dem Kugelaufprall ca. 0,6 kN, für CES und PLA dagegen nur etwa 0,4 kN.

Abb. 3-18 gibt die subjektiven Bewertungen hinsichtlich der empfundenen Beeinträchtigung bei Drehbewegungen des Fußes wieder.

Behinderung bei Drehbewegungen

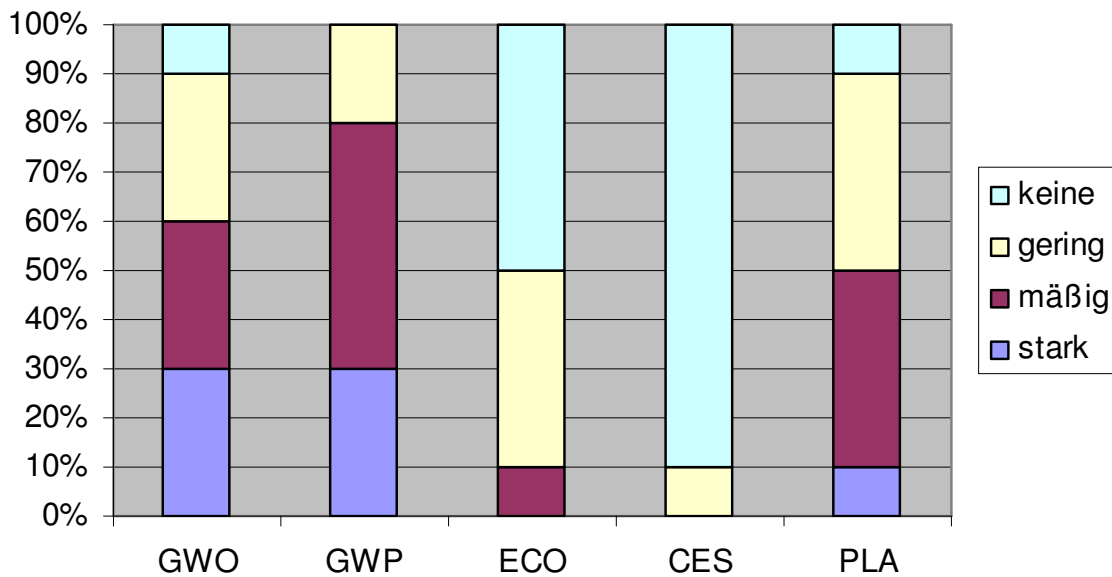


Abb. 3-18: Bewertung der Behinderung bei Drehbewegungen des Fußes

Erwartungsgemäß wird auf der mit der geschlossenen „Orangenhaut“-Oberfläche (CES) „keine“ (90%) bzw. nur eine „geringe“ Behinderung bei Drehbewegungen des Fußes empfunden (10%). Als günstig erweist sich auch das halbkugelförmige Noppenprofil der ECO-Matte, für das 50% der Probanden „keine“ und 40% eine „geringe“ Beeinträchtigung für Drehbewegungen auf der Matte nennen; nur eine Versuchsperson gibt eine „mäßige“ Behinderung an. Bei der Arbeitsplatzmatte PLA empfindet eine Hälfte des Versuchspersonenkollektivs eine mäßige bis starke, die andere Hälfte eine geringe bis keine Behinderung.

Die stärksten Behinderungen bei Drehbewegungen des Fußes werden für die Matten von Kraiburg genannt. 60% bzw. 80% der Probanden geben eine starke bis mäßige Beeinträchtigung für die GWO- bzw. für die GWP-Matte an. Dieses Ergebnis ist für die GWO-Matte auf die scharfkantigen, pyramidenförmigen Noppen, für die GWP-Matte auf die linienförmige Oberflächenstrukturierung zurückzuführen, die offensichtlich zu den stärksten Einhakeffekten zwischen der profilierten Schuhsohle und der Mattenoberfläche führt.

Nach dem Ausfüllen des Fragebogens wurden die Probanden gefragt, für welche Arbeitsplatzmatte sie sich „für ihren Arbeitsplatz“ entscheiden würden. Dabei war für 90% der Versuchspersonen die (ECO) die Matte der 1. Wahl, nur eine Person entschied sich für die PLA-Matte. Für die ECO-Matte ist offensichtlich durch die Materialwahl und Oberflächenstrukturierung der bestmögliche Kompromiss zwischen der empfundenen Weichheit beim Gehen und der Beeinträchtigung bei Drehbewegungen am Arbeitsplatz gelungen.

4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Beim normalen Gehen auf hartem Untergrund (z.B. Steinboden, Metall-Gitterrost) führen die sog. „passiven Kraftspitzen“ beim Auftreffen des Schuhabsatzes auf den Untergrund zu einer erhöhten Belastung der Gelenke. Diese passiven Kraft-Peaks treten beim langsamen Gehen, wie es für Standortwechsel am Arbeitsplatz in den Versuchen simuliert wurde, nicht auf.
- Die Vertikalkraftverläufe für das normale Gehen über die auf die Messplattform aufgelegten Mattenproben sind interindividuell sehr unterschiedlich, wie auch der Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Versuchspersonen zeigt.
- Durch Schuhwerk mit weicher Sohle werden die passiven Kraftspitzen bei normalem Gang um ca. 15 bis 25% reduziert.
- Die elastisch dämpfende Wirkung von Arbeitsplatzmatten ist deutlich stärker ausgeprägt gegenüber dem belastungsmindernden Effekt von Arbeitsschuhen mit weicher Sohle, da eine passive Kraftspitze in den meisten Fällen nicht mehr auftritt. Für den „kleinen Schritt“ über die Messplattform, mit dem das langsame Gehen am Arbeitsplatz simuliert wurde, ist eine belastungsreduzierende Wirkung der Matten messtechnisch nicht auflösbar. Die Ergebnisse der subjektiven Bewertung zeigen jedoch, dass die Probanden beim langsamen Begehen der Arbeitsplatzmatten in der Lage sind, Unterschiede zwischen den Matten festzustellen.
- Beim simulierten Fersenaufprall („Kugelfallversuch“), der versuchstechnisch wesentlich besser reproduzierbar ist als ein Gehversuch, zeigen sich deutlichere Unterschiede zwischen den Matten als beim Gang über die Messplattform. Die hierbei gewonnenen Kraftverläufe, insbesondere die gemessenen Kraftgradienten beim ersten Kraftimpuls, korrespondieren auch besser mit den Ergebnissen der subjektiven Bewertung als die Vertikalkraftverläufe beim Gehen.
- Die beiden Arbeitsplatzmatten von Kraiburg (GWO + GWP), die bei Impulsbelastung einen steileren Kraftanstieg zeigen als die Matten der Mitbewerber, werden subjektiv auch als härter empfunden.
- Hinsichtlich der empfundenen Beeinträchtigung bei Drehbewegungen des Fußes schneiden die Kraiburg-Matten schlechter ab als die Matten der Mitbewerber. Dieses Ergebnis wird auf die „scharfkantige“ Oberflächenprofilierung der Matten und das damit verbundene Einhaken von Sohlen- und Mattenprofil zurückgeführt. Durch eine veränderte Oberflächengestaltung, z.B. bei der GWO in Form eines flachen Pyramidenstumpfes mit allseitig abgerundeten Kanten und ggf. durch ein engeres Rastermaß könnte dieser Effekt deutlich gemildert werden.
- Von nahezu allen Probanden wurde die ECO-Matte favorisiert. Sowohl bei den Gehversuchen, als auch beim simulierten Fersenaufprall zeichnet sich diese Matte durch ihre elastisch dämpfende Wirkung aus. Für die Bevorzugung der ECO-Matte seitens der Probanden ist in erster Linie die empfundene „Weichheit“ beim Gehen und nachrangig die Beeinträchtigung bei Drehbewegungen des Fußes maßgebend.