

Numerische und physikalischen Prüfmethode zum Nachweis der belastungsmindernden Eigenschaften eines Fußbodens beim Sturz

Numerical and Physical Test Method to Prove the Load-reducing Properties of a Floor in the Event of a Fall

Projektleiter
Project Leader:
Stefan Schmidt

Projektbearbeiter
In-charge:
Stefan Schmidt,
Jean-Pierre Mouton,
Andreas Gelhard

Fördermittelgeber
Funding organisation:
BMW i (INNO-KOM-Ost)

Projektpartner
Project Partner:
MHH – Medizinische
Hochschule Hannover,
Labor für Biomechanik
und Biomaterialien (L3)

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Stürze im Alter können zu einer langwierigen Behandlung mit zum Teil irreparablen Folgeerscheinungen wie Gang- und Tritt-Unsicherheit mit dem erhöhten Risiko eines erneuten Sturzes, aber auch direkt oder indirekt zur Mortalität führen. Bisherige Ansätze lagen einerseits in der Verminderung bzw. Beseitigung der Sturzursachen u. a. durch bauliche oder gestalterische Maßnahmen sowie in der Schulung von Bewegungskompetenzen. Andererseits wurden Produkte entwickelt, die die Folgen von Stürzen minimieren sollten und mittels Protektoren die Verteilung bzw. Absorption der Sturzenergie ermöglichen. Da diese beiden Ansätze auf Grund baulicher Gegebenheiten bzw. einer unzureichenden Akzeptanz nur bedingt Erfolge verbuchen können, verfolgte das IHD einen neuen Ansatz. Ziel war, die kinetische Energie eines Sturzes effektiv in den Fußboden abzuleiten, so dass diese in einem für den Stürzenden günstigen zeitlichen Verlauf dissipieren kann. Dieser Zielstellung sind folgende Schwerpunkte zugeordnet:

- Entwicklung eines Fallprüfers zur zeitlich aufgelösten Messung von Beschleunigungen beim Sturz,
- Entwicklung von Simulationsmethoden für die Charakterisierung des Aufpralls,
- Nachweis des Einflusses von Aufbau und verwendeten Fußbodenmaterialien auf den Beschleunigungs-Zeit-Verlauf bei einem Aufprall und
- Ableitung eines Verletzungskriteriums

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

Falls in advanced age may result in protracted treatment and, in some cases, irreparable consequential indications, such as insecurities in walking and stepping, with an increased risk of another fall, but – directly or indirectly – in mortality. On the one hand, previous approaches focused on the reduction or removal of causes to fall, e.g., by structural or design measures and by training competency in movement. On the other, products have been developed intended to minimise the consequences of falls and to allow to distribute or absorb the energy in falls by way of protectors. As these two approaches yielded only conditional success due to the prevailing structural environment or to insufficient acceptance, the IHD pursued a new approach. It was the objective to effectively divert the kinetic energy of a fall to the floor so that it can dissipate in a reasonable course of time for a person falling.

The following main items were allocated to this objective:

- development of a fall tester for the time-spaced measurement of accelerations during a fall,
- development of simulation methods to characterise the impact,
- proof of the influence of the floor structure and flooring materials used on the acceleration course of time in the event of an impact, and
- derivation of an injury criterion

ERGEBNISSE

Die Konstruktion sowie technische Umsetzung des Fallprüfers erfolgte durch einen externen Auftragnehmer nach Vorgaben des IHD.

Zentrale Forderungen waren u. a.:

- Variationsmöglichkeiten für Fallgewicht sowie Federungs- und Dämpfungseigenschaften des Fallprüfers,
- Installation von Beschleunigungssensoren sowohl im starren Teil des Fallprüfers mit Aufschlagkalotte als auch im beweglichen Teil, der einer Dämpfung und einer Federung unterliegt und
- Gesamtgewicht < 15 kg für den mobilen Einsatz

Zur Simulation des labortechnischen Fallversuches wurden FEM-Modelle entwickelt, die das Fallen des Fallkörpers mit Beschleunigungssensor auf jeweils verschiedene Materialien simulieren können. Die Simulation des Fallkörpers dient der Berechnung und der Analyse der Beschleunigungs-Zeit-Verläufe bei unterschiedlichen Fallgewichten, Fallhöhen, unterschiedlicher Elastizität und Dicke der Fußbodenmaterialien sowie dem Vergleich mit den gemessenen Verläufen. Dabei konnten die in einem Prüfkörper (Fallkörper oder Stahlkugel) auftretenden Beschleunigungen im zeitlichen Verlauf hochaufgelöst (0,01 ms) und oszillationsfrei berechnet werden. Zur Verifizierung des Modells wurden die Material-Elastizitätswerte bestimmt und im Materialmodell abgebildet. Die Simulationen des Beschleunigungs-Zeit-Verlaufs von einem 5 kg-Fallkörper aus 100 mm Höhe wurde durch Anpassungen im Materialmodell mit dem gemessenen Verlauf abgeglichen. Im Simula-

RESULTS

The design and technical implementation of the fall tester was assigned to an external subcontractor in accordance with requirements defined by the IHD.

Principal requirements were, for example:

- possibilities of varying the falling weight as well as the spring and damper properties of the fall tester,
- installation of acceleration sensors in both the rigid part of the fall tester with the impact calotte and in the moving part which is subject to springing and damping, and
- total weight < 15 kg for mobile use

FEM models were developed for simulating the fall test in a laboratory, which were able to simulate the fall of the dummy with an acceleration sensor onto various materials. The simulation of the dummy serves to calculate and analyse the courses of acceleration time with varying falling weights, heights, various elasticities and thicknesses of the flooring materials and the comparison with courses measured. Thereby, the accelerations that occurred in a dummy (falling object or steel ball) could be highly resolved in their temporal course (0.01 ms) and calculated free from oscillations. The values of material elasticity were determined to verify the model and they were reflected in the material model. The simulations of the course of time of acceleration of a 5-kg falling sample from a height of 100 mm were compared to the course measured by adjustments in the material model. Subsequently, the falling weights and falling heights were

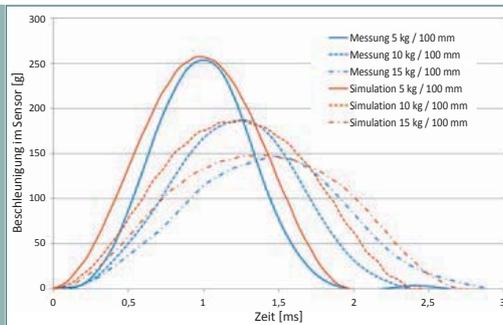


Abb. 1: Ergebnisse von Simulationen und Messungen des Beschleunigungs-Zeit-Verlaufs beim Sturz - Beispiel eines Korkfußbodens

Fig. 1: Results from simulations and measurements of the course of time of accelerations during a fall – by example of cork flooring

tionsmodell wurden anschließend Fallgewicht sowie Fallhöhe gemäß den durchgeführten Versuchen variiert (Abb. 1).

Bei Untersuchungen zum Einfluss der Lage einer bestimmten Schicht innerhalb des Lageraufbaus des Fußbodens auf den Beschleunigungs-Zeit-Verlauf zeigte sich, dass nicht nur die Steifigkeit, sondern auch die durch die Querkontraktionszahl charakterisierte Kompressibilität eines Materials einen Einfluss auf den Beschleunigungs-Zeit-Verlauf haben. So muss ein stark kompressibles Material wie Kork, das im Gegensatz zum inkompressiblen Material Gummi bei Kompression keine Querdehnung aufweist, beim Aufprallvorgang nicht seitlich ausweichen. Daraus resultieren für kompressible Materialien geringere Werte der Maximalbeschleunigungen beim Auftreffen des Fallprüfkörpers.

Als weiterer bedeutender Parameter der FEM-Modelle wurde die Dämpfung des eingesetzten Materials herausgearbeitet. Hierzu wurden Untersuchungen des Zusammenhangs der Rayleigh-Dämpfung, dem Fallgewicht und der Rücksprunghöhe des Fallkörpers und der Stahlkugel durchgeführt. Eine starke Materialdämpfung äußerte sich dabei in einer geringen Rücksprunghöhe, führt jedoch zu deutlich höheren maximalen Beschleunigungswerten und einer steileren Anstiegsflanke im Zeitverlauf der Bremsbeschleunigungen.

Das Wesen eines Verletzungskriteriums be-

varied in accordance with the tests performed (Fig. 1).

Investigations regarding the influence of the position of a certain layer within the layered structure of the flooring onto the course of time of acceleration showed that not only the rigidity, but also the compressibility of a material characterised by its Poisson ratio have an influence on the course of time of acceleration. According to that, a heavily compressible material, such as cork, which, contrary to the incompressible material rubber, shows no transverse strain during compression, does not have to evade the impact laterally. From that derive lower values of maximum acceleration for compressible materials when hit by the falling sample.

Attenuation of the applied material was worked out as another important parameter for the FEM models. In that respect, investigations on the interrelation of the Rayleigh attenuation, the falling weight and the height of rebound of the falling object with the steel ball were carried out. Thereby, high material attenuation expressed itself in a low rebound height, but resulted in clearly higher maximum acceleration values and a steeper rise time in the course of braking accelerations.

The nature of the injury criterion consists in formulating a limit value, in excess of which a certain injury may be anticipated (e.g., a fracture). For this purpose, the geometry of a SAWBONES® femur model was used, as this

steht in der Formulierung eines Grenzwertes, ab dem mit einer bestimmten Verletzung (z. B. Fraktur) gerechnet werden kann. Hierzu wurde die Geometrie eines SAWBONES®-Femurmodells genutzt, da dieses Modell die relevante Körperregion für eine möglichst realistische Risikoeinschätzung gut approximiert. Die äußeren, mechanischen Einflussgrößen (Maximalspannung, Kontaktzeit) wurden mit einem Verletzungsrisiko verknüpft. Zur Beurteilung des Verletzungszustandes des Knochens lagen maximale Vergleichsspannungswerte vor. Um das Vorliegen einer Fraktur zu erkennen, konnten die berechneten Vergleichsspannungen mit der Druckfestigkeit verglichen werden. Auf der Grundlage des Factor of Risk (Gleichung 1) nach Hayes wurde diese Bewertungsform weiterentwickelt.

$$\phi = \frac{\text{vorherrschende Last}}{\text{max. zulässige Last}} \quad (1)$$

Der Factor of Risk ließ sich für alle berechneten Vergleichsspannungen in Abhängigkeit von der Sturzcharakteristik (Gauß-Verteilung, Dreieck- bzw. Plateau-Charakter des Beschleunigungs-Zeit-Verlaufes) und der Systemdämpfung (Beta) bestimmen (Tabelle 1). Die Simulationen der Stürze auf Böden mit verschiedenen Dämpfungswerten ergab in allen Fällen Belastungen, die ein hohes Risiko ($\phi > 0,5$) einer Fraktur darstellten.

model well approximates the relevant body region for a most realistic risk assessment. The external mechanical influential parameters (maximum tension, contact time) were linked to a risk of injury. Maximum comparable tension values were available to assess the state of injury of the bone. In order to recognise whether there was a fracture, the calculated comparable tensions could be compared with the compression strength. On the basis of the Factor of Risk (Equation 1) acc. to Hayes, this evaluation formula has been developed:

$$\phi = \frac{\text{prevailing load}}{\text{max. admissible load}} \quad (1)$$

The Factor of Risk could be determined for all comparable tensions depending on the fall characteristics (Gauß distribution, Triangle or Plateau character of the course of time of acceleration) and on the system attenuation (Beta) (Tab. 1). The simulations of the falls onto floors of different attenuation values resulted in loads in all cases, which represented a high risk ($\phi > 0.5$) of suffering from a fracture.

Tab. 1: Factor of Risk in Abhängigkeit von Beschleunigungs-Charakteristik und Dämpfung

Tab. 1: Factor of Risk depending on the acceleration characteristics and attenuation

	Beschleunigungs-Zeit-Verläufe / Course of time of acceleration							
	Gauß Gauß t = 3 ms	Gauß Gauß t = 6 ms	Dreieck Triangle t = 3 ms	Dreieck Triangle t = 6 ms	Plateau Plateau t = 6 ms	Beta Beta 0	Beta Beta 0,0003	Beta Beta 0,003
Max. Beschleunigung in g Max. acceleration in g	100	100	100	100	100	190	155	240
Factor of Risk Φ	0,59	0,66	0,58	0,61	0,71	1,00	0,92	1,09
Factor of Risk Φ	0.59	0.66	0.58	0.61	0.71	1.00	0.92	1.09