Vermeiden von Unfällen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten

H. Fischer, B. Görner, M. Karl, Th. Mössner, H.Reyhl,
M. Schatte, E. Tschöcke, B. Weißgerber

Forschung
Projekt F 1641

baua:
Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und Arbeitsmedizin

Forschung
Projekt F 1641

H. Fischer
B. Görner
M. Karl
Th. Mössner
H. Reyhl
M. Schatte
E. Tschöcke
B. Weißgerber

Vermeiden von Unfällen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten

Dortmund/Berlin/Dresden 2008

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt „Ermittlung von Einflussfaktoren auf das Stolpern und Umknicken“ - Projekt F 1641 - der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Autoren: Dr.-Ing. Hugo Fischer (Projektleitung)
Dipl.-Chem. Bettina Görner
Dipl.-Ing. Matthias Karl
Dipl.-Ing. Thomas Mössner
Holger Reyhl
Dr.-Ing. Martin Schatte
Dipl.-Ing. Evelyn Tschöcke
Dipl.-Psych. Barbara Weißgerber

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund
Telefon: 0231 9071-0
Telefax: 0231 9071-2454
E-Mail: poststelle@baua.bund.de
Internet: www.baua.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40-42, 10317 Berlin
Telefon: 030 51548-0
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:
Proschhübelstr. 8, 01099 Dresden
Telefon: 0351 5639-50
Telefax: 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.
Aus Gründen des Umweltschutzes wurde diese Schrift auf Recyclingpapier gedruckt.

ISBN 978-3-88261-071-0

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Kurzreferat		5
Abstract		6
1	Einleitung	7
2	Unfallgeschehen	8
3	Entstehungsmechanismus von Unfällen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten	9
3.1	Der menschliche Gang	9
3.2	Das Stolpern	12
3.3	Das Umknicken	14
3.4	Das Fehltreten	14
4	Einfluss der Ebenheit bzw. maßlichen Gestaltung von Tritt- und Standflächen auf das Stolpern, Umknicken und Fehltreten	15
4.1	Richtwerte aus dem nationalen Vorschriften- und Regelwerk, Normen sowie der Fachliteratur	15
4.2	Richtwerte aus dem internationalen Vorschriften- und Regelwerk	20
5	Ansätze aus biomechanischen Bewegungsanalysen zur Ableitung von unzulässigen Unebenheiten	22
6	Bewegungsregulation beim Gehen im Zusammenhang mit Stolpern, Umknicken und Fehltreten (psychologische Aspekte)	26
7	Wahrnehmung von Gefahrstellen	33
7.1	Einfluss der Beleuchtung auf die Wahrnehmbarkeit von Gefahrstellen - Richtwerte aus dem Vorschriften- und Regelwerk	33
7.2	Sicherheits- und Gefahrenkennzeichnung zur Unterstützung der Wahrnehmung von Gefahrstellen	36
8	Einfluss der Schuhgestaltung auf das Stolpern und Umknicken	39
8.1	Einfluss der Schuhgestaltung auf das Umknicken	39
8.2	Einfluss der Schuhgestaltung auf das Stolpern	42
9	Verallgemeinerung und Schlussfolgerungen - Vorschlag von Richtwerten für gefährliche Unebenheiten	44
10	Beispiele für praktische Gestaltungslösungen	46
11	Gestaltungsgrundsätze zur Vermeidung von Unfallgefährdungen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten	48
12	Ausblick und Vorschlag von Folgeuntersuchungen	50
13	Literaturverzeichnis	51
14	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	54
15	Anhang	55
15.1	Vorschriften und Regeln	55
15.2	Tabellen zur Recherche des internationalen Vorschriften- und Regelwerks	59
15.3	Ganganalysen - Untersuchungsergebnisse	64

Vermeiden von Unfällen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten

Kurzreferat

Unfälle durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten sind neben den Ausrutschunfällen ein Schwerpunkt. Die bisherige Präventionsarbeit war vor allem auf das Vermeiden des Ausrutschens gerichtet. Im vorliegenden Bericht wurden aus nationalen und internationalen Vorschriften und Regeln sowie der Fachliteratur Einflussfaktoren auf das Stolpern, Umknicken und Fehltreten erfasst, systematisiert und verallgemeinert, z. B. zu gefährlichen Erhöhungen/Vertiefungen, deren Wahrnehmbarkeit durch Beleuchtung, Sicherheitskennzeichnung, zur Schuhgestaltung bzw. -auswahl u. a. Daraus abgeleitete Richtwerte werden für die Berücksichtigung in Gestaltungsregeln sowie für praktische Gestaltungslösungen von Tritt- und Standflächen vorgeschlagen. Abschließend werden Untersuchungsdefizite aufgezeigt und Vorschläge für Folgearbeiten unterbreitet.

Schlagwörter:

Sturzunfälle, Stolpern, Umknicken, Fehltreten, Fußböden, Unebenheit

Avoiding accidents caused by stumbling, twisting and misstepping

Abstract

This report focuses on the prevention of accidents caused, stumbling, twisting and misstepping. In the past, prevention work focused mainly on slipping accidents. It was the goal of this report to provide an overview over factors which might cause stumbling, twisting and misstepping. National and international regulations and guidelines as well as technical literature was reviewed. Factors were collected, systematised and generalised. The factors included dangerous raisings and hollows, their recognisability, lighting, safety-marking, footwear-design and footwear-selection. Based on those factors, guiding figures are proposed for the development of design-regulations as well as for the practical design of walkways and platforms. The report closes with existing research deficits and suggestions for subsequent research activities.

Key words:

Falling-accidents, stumbling, twisting, misstepping, flooring, unevenness

1 Einleitung

Bisherige Untersuchungen zur Vermeidung von Sturzunfällen konzentrierten sich vor allem auf die Vermeidung von Stürzen durch Ausrutschen. Inzwischen gibt es verschiedene Prüfverfahren und Grenzwerte zur Bestimmung der erforderlichen Rutschhemmung von Trittflächen [1]. Gesicherte Gestaltungsparameter für Trittflächen und Umfeld zur Vermeidung von Unfällen durch Stolpern, Umknicken oder Fehltreten sind kaum bekannt (Abschn. 4 und 7). Präventionsmaßnahmen sind in erster Linie auf das Verhalten, d. h. Aufmerksamkeit der Personen, Einhaltung von Sauberkeit und Ordnung u. a. gerichtet (Abschn. 6).
Zu wenig Beachtung findet eine ganzheitliche Betrachtungsweise aller Faktoren, wie Gestaltung von Trittflächen und Umfeld im Zusammenhang mit den menschbezogenen Faktoren aus physischen und psychischen Tätigkeitsanforderungen, einschließlich Anwendung persönlicher Schutzmaßnahmen.

In der vorliegenden Arbeit soll der gegenwärtige Stand auf diesem Gebiet analysiert werden. Insbesondere sollen aus nationalen und internationalen Vorschriften und Regeln sowie der Fachliteratur Einflussfaktoren auf das Stolpern, Umknicken und Fehltreten erfasst, systematisiert und verallgemeinert werden, z. B. zu gefährlichen Erhöhungen/Vertiefungen, deren Wahrnehmbarkeit durch Beleuchtung, Sicherheitskennzeichnung, zur Schuhgestaltung bzw. -auswahl u. a. Daraus abgeleitete Richtwerte und Lösungen sollen in Gestaltungsregeln für Tritt- und Standflächen vorgeschlagen werden. Gegebenenfalls sollen Untersuchungsdefizite aufgezeigt und Vorschläge für Folgearbeiten auf diesem Gebiet unterbreitet werden.

2 Unfallgeschehen

Unfälle durch Ausrutschen, Stolpern, Umknicken und Fehltreten sind sowohl im beruflichen als auch im Heim- und Freizeitbereich der wichtigste Unfallschwerpunkt. Im Heim- und Freizeitbereich ergab eine Analyse für das Jahr 2000 eine Gesamtzahl von 5,36 Millionen Unfällen mit ärztlicher Versorgung. Davon entfielen 23,8 %, in der Hochrechnung absolut 1,28 Millionen Unfälle, auf die Unfallursache „Sturz in der Ebene“ [2]. Vergleichbare Anteile finden sich im beruflichen Bereich.
Ausrutschen, Stolpern, Umknicken oder Fehltreten waren schon seit Jahren bei 20...25 % aller Arbeits- und Wegeunfälle wichtigste Unfallursache. An den Arbeitsplätzen der gewerblichen Wirtschaft ereigneten sich im Jahr 2002 fast 191 000 SRS-Unfälle (sog. Stolper-, Rutsch- und Sturz-Unfälle) [3]. Dazu kommen 20 000 Wegeunfälle, die 2002 als SRS-Unfälle registriert wurden. Bei einem Vergleich der Unfallstatistiken mehrerer Jahre (1997...2002) [3, 4, 5] wird deutlich, dass die Sturzunfälle weniger stark zurückgegangen sind als in anderen Bereichen der gewerblichen Wirtschaft. Allerdings im Ergebnis des Aktionsprogramms „Sicherer Auftritt“ in den Jahren 2003 bis 2005 war ein deutlicher Rückgang der SRS-Unfälle zu verzeichnen (www.sicherer-auftritt.de). In der Präventionsarbeit der Betriebe und Einrichtungen gilt es nunmehr die Nachhaltigkeit dieser Unfallsenkung weiter zu unterstützen.

Die Statistik des HVBG erlaubt nicht aus der Gesamtheit der SRS-Unfälle die Unfälle hinsichtlich ihrer Hergänge Stolpern, Umknicken, Fehltreten eindeutig zu trennen und auszuwerten. Zum Teil über die Verletzungsart lassen sich Rückschlüsse über die einzelnen Anteile in ihrer Größenordnung ziehen. Nach [7] kann daher angenommen werden, dass etwa die Hälfte aller Sturzunfälle Unfälle durch Ausrutschen sind. Die andere Hälfte sind also Unfälle durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten. Die häufigsten Verletzungen, die durch SRS-Unfälle entstehen, sind Knöchel- und Fußverletzungen, die im Jahre 2001 fast 40 % ausmachten. Danach folgen Kniegelenk- und Unterschenkelverletzungen mit etwa 17 %. Bei den Verletzungen an den unteren Extremitäten kommt es überwiegend zu Verdrehungen, Verrenkungen, Verstauchungen sowie zu Oberflächenprellungen [8]. Erstaunlich hoch ist der Anteil an Umknickunfälle nach [9]. Auf der Grundlage von erfassten Fußverletzungen für 1999 wird ein Anteil von 23 %, der bis 2003 auf 16,8 % absank, angenommen.
In der „Arbeitsunfallstatistik im öffentlichen Dienst 2002“, die vom Bundesverband der Unfallkassen zusammengestellt wurde (www.unfallkassen.de), wird mit einem Anteil von 59 % das Stolpern und Umknicken als die häufigste Unfallursache angegeben.

Statistische Angaben zu Unfällen durch Fehltreten sind nicht bekannt. Sie dürften aber zu einem großen Teil in die Statistik zu den Sturzunfällen auf Treppen und Podesten eingehen.
Stolpern, Umknicken und Fehltreten können auch primäre Ursache für nachfolgende, schwerwiegende Unfälle sein, wie Hineingeraden in bewegte Maschinen- und Anlagenteile oder anschließendes Abstürzen aus der Höhe. Diese Unfallverkettungen sollen nicht Gegenstand dieser Arbeit sein.

3 Entstehungsmechanismus von Unfällen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten

Im Nachfolgenden soll auf den Entstehungsmechanismus der Unfälle durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten näher eingegangen werden, um die Ursachen und Einflussfaktoren besser beurteilen zu können. In Abgrenzung zu den Absturzunfällen soll es sich hier um Unfälle handeln, die beim Begehen von Fußböden, Treppen, Podesten geringer Höhe u. ä. entstehen. An der in der Unfallerfassung gebräuchlichen Unterteilung der Unfälle in „Stolpern“, „Rutschen“, „Stürzen“ soll nicht festgehalten werden, da sie die Vielfalt der Unfallhergänge nicht widerspiegelt. Einerseits fehlen die Hergänge „Umknicken“ und „Fehltreten“, andererseits muss nicht jeder Hergang zum Sturz führen (z. B. das Umknicken). Es fehlt eine zweckmäßige Systematisierung der Gefährdungen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten. Es sollten daher typische Gefahrstellen systematisiert und definiert werden.

Zum Verständnis des Unfall-Entstehungsmechanismus empfiehlt es sich, auf den Vorgang des menschlichen Ganges näher einzugehen.

3.1 Der menschliche Gang

Der menschliche Gang ist einer der unsichersten Fortbewegungsvorgänge, die es unter Lebewesen in der Natur gibt. Eine Schrittbewegung ist das Resultat einer koordinierten Bewegung der einzelnen Teile des Bewegungsapparates, d. h. der unteren Gliedmaßen im Kontakt mit der Bewegungsfläche um drei Drehpunkte: Sprunggelenk, Kniegelenk und Hüftgelenk sowie der stabilisierenden Bewegung von Rumpf und Oberkörper (vor allem durch Ausgleichbewegungen der Arme).

In einem Beispiel nach [10] befindet sich der Mensch bei einer Schrittgeschwindigkeit von 4,2 km/h während eines Doppelschrittes (Gangzykluslänge 1,5 m) etwa 84 % der Zeit immer auf einem Bein. Ein Gangzyklus erstreckt sich von einem Aufsetzen der Ferse bis zum nächsten Aufsetzen desselben Fußes. Unter Schrittzyklus soll ein halber Gangzyklus verstanden werden, d. h. der Bewegungsablauf von einem Fersenaufsetzen bis zum nächsten des anderen Fußes. Die Schrittbewegung kann in einzelne Phasen aufgeteilt werden (Abb. 3.1). Sie wird aus der Stützphase heraus durch eine Pendelbewegung des einen Beines nach vorn eingeleitet. In der Abrollbewegung des Stützfußes nach vorn wird eine Rückstoßkraft nach hinten ausgeübt. Diese schwebende Pendelbewegung dauert im dargelegten Beispiel etwa 0,55 s (bei einer Gesamtschrittdauer von 0,65 s). Der Pendelfuß setzt in einem bestimmten Winkel und mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf der Ferse auf. Die Abrollbewegung des Stützfußes wird beendet. Der Pendelfuß wird zum Stützfuß und dessen Abrollbewegung beginnt. In dieser Übergangsphase befinden sich beide Füße für etwa 0,1 s in einer Stützphase. Die Dauer dieser gemeinsamen Stützphase kann unterschiedlich sein. Je schneller die Schrittgeschwindigkeit ist, desto kürzer wird diese Stützphase.
Beim schnellen Lauf oder Springen gibt es keine gemeinsame Stützphasen mehr, sondern nur noch einfache Stützphasen und Schwebphasen.

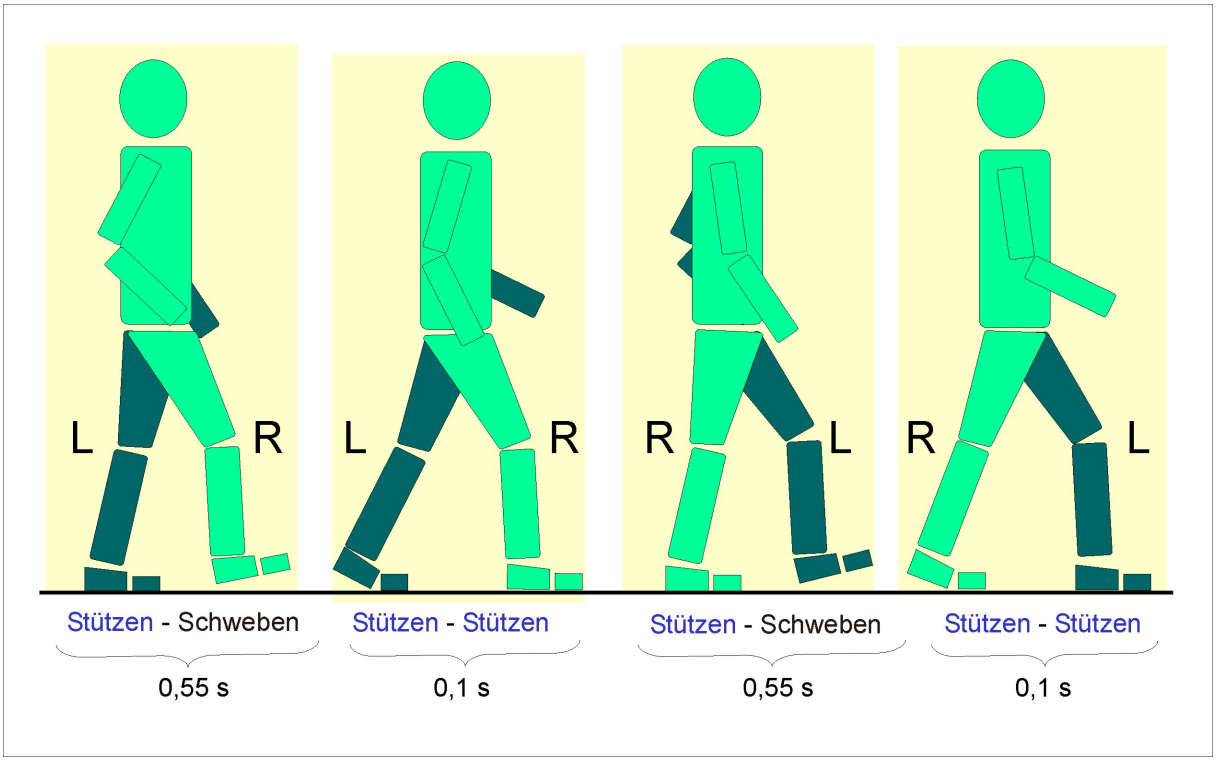


Abb. 3.1 Stütz- und Schwebphasen im Schrittrhythmus (nach [10])

Die im Schwerpunkt angreifenden Beschleunigungs- und Bremskräfte werden über das jeweilige Stützbein in einer Abrollbewegung des Fußes auf den Boden übertragen.
Die **Lage des Schwerpunktes** verändert sich ständig sowohl im Körper als auch im Bewegungsraum. Zur Erhaltung des Gleichgewichtes werden mit den Gliedmaßen (z. B. Armen) und anderen Körperteilen Ausgleichsbewegungen durchgeführt. Diese Ausgleichsbewegungen ergeben zusammen mit der Schrittbewegung einen komplizierten Bewegungsvorgang.
Der Körperschwerpunkt liegt in symmetrischer Ruhestellung etwa an der Innenfläche des 2. Wirbels der Wirbelsäule. Beim Gehen wandert der Schwerpunkt für das linke und rechte Bein entsprechen den einzelnen Gangphasen in einer geschlossen Bahn um den Ruheschwerpunkt (siehe Abb. 3.2 - dicke Linie für gemeinsame Stützphasen). Für die weitere Betrachtung ist vor allem die Schwerpunktbewegung in der Horizontalebene (Ansicht von oben) von Interesse.
Nach der gemeinsamen Stützphase verlagert sich der Schwerpunkt auf die Seite des Stützbeines nach vorn, z. B. auf das linke Bein (im Bild obere Schleife). Mit der Vorwärtsbewegung des Schwebbeines (rechtes Bein) bewegt sich der Schwerpunkt nach hinten. Wenn Stütz- und Schwebbein sich in der y-Achse auf gleicher Höhe befinden (siehe Abb. 5.1 Mitte) befindet sich der Körperschwerpunkt auf der x-Achse nahe dem Punkt S. Kurz vor dem Aufsetzen des rechten Fußes kommt es auch hier zur Umkehrung der Schwerpunktbewegung, allerdings nach vorn. Nach Durchlaufen der gemeinsamen Stützphase wiederholt sich der gleiche Bewegungsablauf des Schwerpunktes auf der rechten Seite (im Bild untere Schleife).

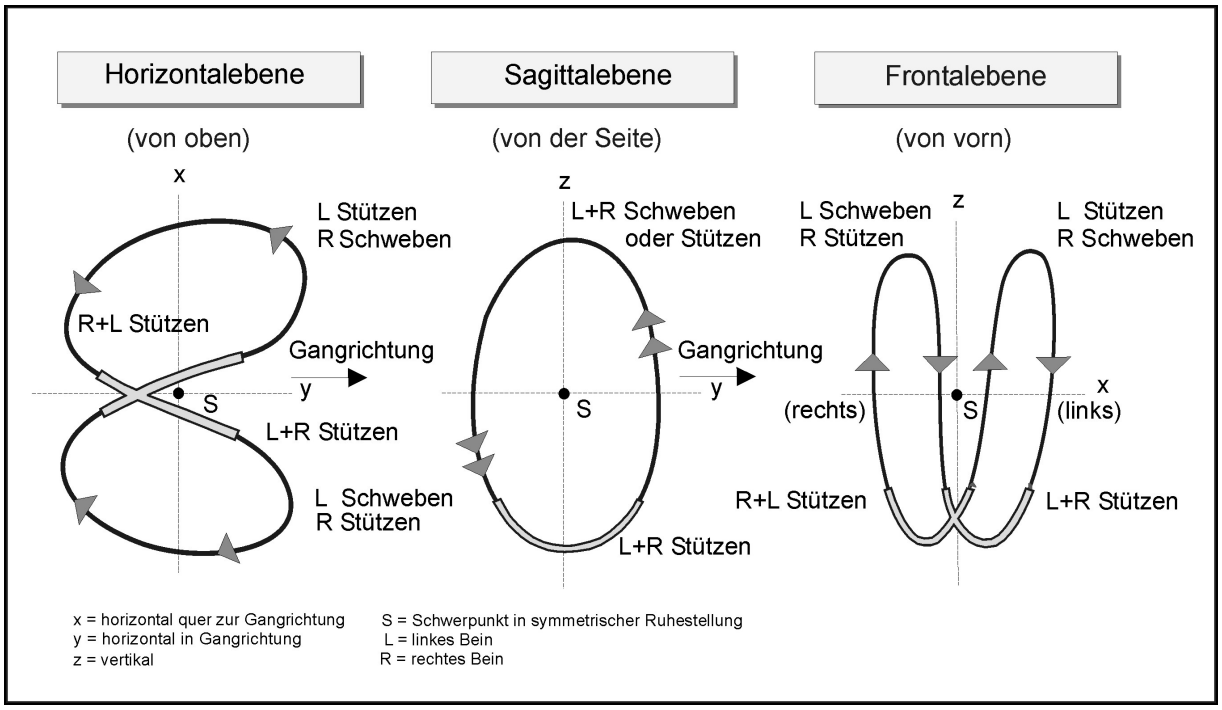


Abb. 3.2 Schwerpunktverlagerung beim Schrittzyklus - horizontaler Geradeausgang ohne Belastung (nach [11] aus [12])

Kritische Phasen, die zum Stolpern führen können liegen vor, wenn nach der Abrollbewegung zu Beginn der Schwebphase oder während des Durchschwingens des hinteren Fußes (Abb. 5.1) die Fußspitze oder in manchen Fällen auch der Absatz durch ein Hindernis blockiert wird. Eine weitere Möglichkeit der Bewegungsblockierung kann durch Hängenbleiben der Fußspitze an einer Fußangel (z. B. Spanndraht, Versorgungsleitung) oder des Schuhabsatzes fersenseitig z. B. an einer Treppenstufen-Unterschneidung geschehen.

Können die Kräfte, die durch die Bewegungsblockierung hervorgerufen werden, nicht durch den Stützfuß abgefangen werden, kann es zur Störung des Gleichgewichtes kommen. Wird z. B. der Schwebfuß in der Anfangsphase blockiert, kann dieser nicht rechtzeitig nach vorn gebracht werden; der Schwerpunkt wandert dann so weit über den vorderen Stützfuß, sodass dessen Belastung zu groß wird. Durch einen Ausgleichsschritt oder durch Ausgleichsbewegung anderer Körperteile (z. B. Rumpf, Hände) kann in manchen Fällen das Ungleichgewicht ausbalanciert und damit ein Sturz verhindert werden. Die Gleichgewichtslage ist also umso ungünstiger, je weiter sich der Schwerpunkt vor dem Blockierungspunkt befindet. Beim Gehen liegen vergleichbar stabile Verhältnisse immer dann vor, wenn sich der Körperschwerpunkt möglichst nahe über dem Aufsetzpunkt des Fußes befindet. Das erklärt auch, wenn bei Gangunsicherheiten infolge wahrgenommener Unebenheiten oder auch Glätte auf der Trittfläche, sich die Person in möglichst kleinen Schritten („Trippelschritten“) vorwärts bewegt.

Diesen komplizierten Bewegungsvorgang beim Gehen erlernt der Mensch im Kindesalter (oder auch erneut nach einem Schlaganfall in der Rehabilitationsphase). Er ist dann ein **automatisierter, routinemäßiger Vorgang,** der im Unterbewusstsein abläuft, d. h. der unter Normalbedingungen nicht vom Bewusstsein her gesteuert wird. Beim Gehen stellt sich die „psychische Automatik“ auf die zu Beginn wahrge-

nommenen Bodenverhältnisse ein, d. h. auf Art des Fußbodens, mögliche Unebenheiten, Stufenmaß von Treppen, Glätte u. a. Verändern sich im Verlauf des Gehbereiches die Bodenverhältnisse, z. B. Bodenbelag mit anderer Profilgebung, so ändert der Mensch auf Grund eigener Erfahrungen sein Bewegungsprogramm und passt sich in seinem Gehverhalten den veränderten Bedingungen an. Werden diese Veränderungen nicht wahrgenommen (z. B. unerwartete Fußangeln auf dem Boden) bzw. stimmen die aufgenommen Informationen nicht mit seinen Erfahrungen überein (z. B. falsche Einschätzung der Höhendifferenz von Erhebungen/Vertiefungen), kann ein Stolperrisiko entstehen.

Bei der Planung und Gestaltung von Fußböden in Arbeitsbereichen und Arbeitsräumen kommt es darauf an, solche möglichen **Störungen der Bewegungsregulation** (siehe Abschn. 6) oder „Programmstörungen“ zu erkennen und zu berücksichtigen, z. B. durch Überdeckung der Unebenheiten, Verbesserung deren Wahrnehmbarkeit durch richtige Beleuchtung oder Sicherheitskennzeichnung. Vorrausetzung jedoch ist, die Gefährdungsrelevanz solcher Stellen richtig zu erkennen und zu beurteilen.

Nachfolgend sollen die unterschiedlichen Unfallhergänge erläutert sowie typischen geometrischen Merkmale für Unebenheiten bzw. unzureichende Beschaffenheit der Tritt- und Standflächen – soweit gestalterisch bedingt – definiert werden.

3.2 Das Stolpern

Stolpern erfolgt durch plötzliche Blockierung der Fußbewegung in Gangrichtung. Nach dem Hergang kann das Stolpern in drei Gruppen unterteilt werden: das Hängenbleiben mit der Schuhspitze an

- **Erhöhungen,** wie Stufungen, Schrägen, Rundungen u. ä., die über dem normalen Oberflächenniveau der Trittfläche ausgebildet sind; in seltenen Fällen auch durch Hängenbleiben mit dem Absatz (Abb. 3.3),

- **Vertiefungen,** wie Rinnen, Spalten, Öffnungen u. ä. unterhalb des Oberflächenniveaus der Trittfläche, worin die Schuhspitze meist in Schrägstellung Platz findet (Abb. 3.4),

- **Fußangeln,** wie Versorgungsleitungen, gelöste Belagsränder, Treppen-Unterschneidungen u. ä., die vom Fuß unterfahren werden können (Anstiegswinkel $\alpha < 90°$), wobei mehr oder weniger die gesamte Fußspitze bzw. der gesamte Fuß umfasst und damit die Vorwärtsbewegung blockiert werden kann (Abb. 3.5).

Die Mehrzahl der gestaltungsbedingten Unebenheiten lässt sich im Wesentlichen nach den geometrischen Merkmalen in den Abbildungen 3.3 bis 3.5 beschreiben.

Nicht betrachtet werden soll das Stolpern infolge zu hoher Rutschhemmung von Trittflächen. Als Stolpergefährdung werden im Allgemeinen Reibwerte $\mu > 0{,}8...1{,}0$ angesehen – in Abhängigkeit von der Rutschhemmung des Reibpartners Schuhsohle [1].

Ebenso soll ein mögliches Hängenbleiben an stark ausgeprägtem Sohlenprofil nicht untersucht werden (z. B. beim Begehen von Gitterrosten).

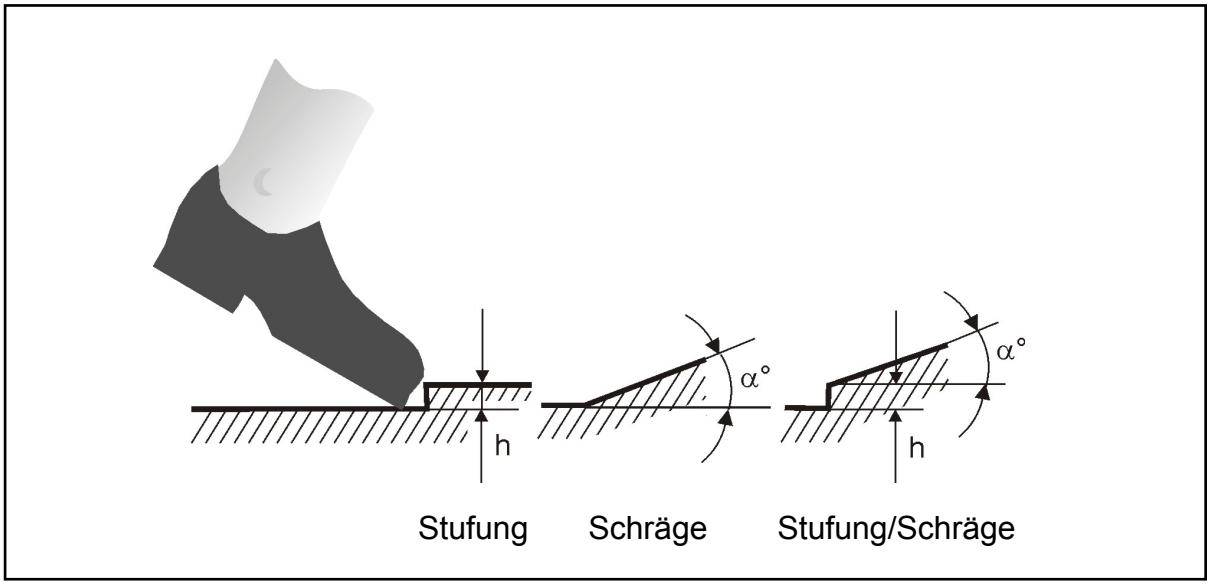


Abb. 3.3 Erhöhungen (Beispiele)

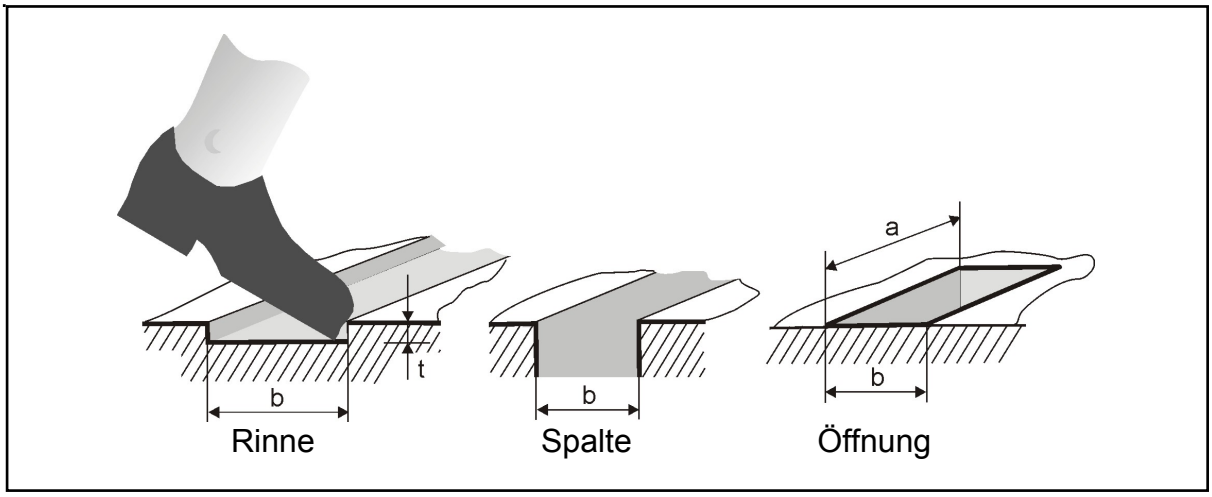


Abb. 3.4 Vertiefungen (Beispiele)

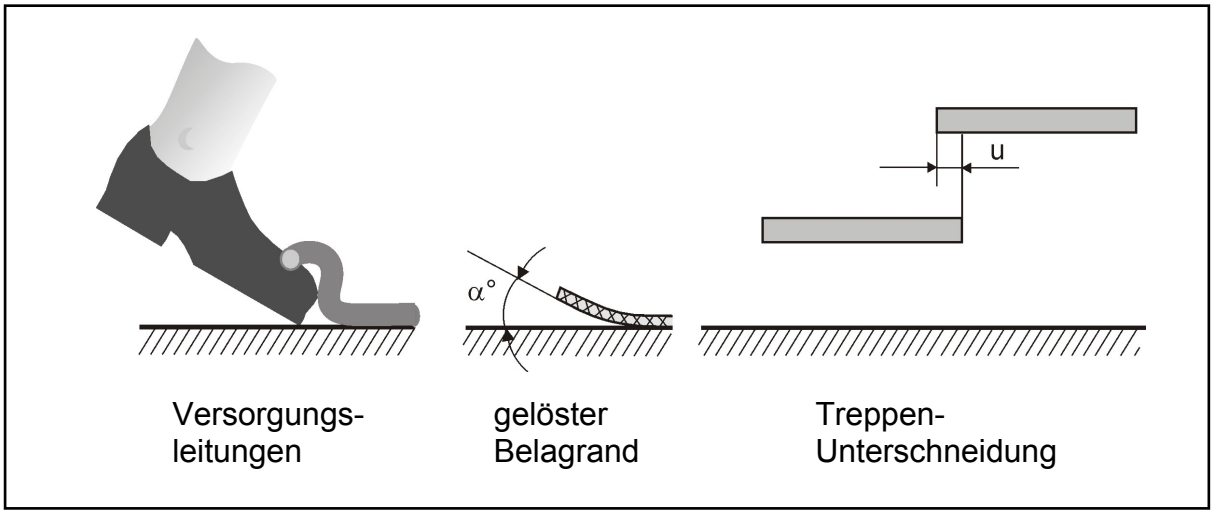


Abb. 3.5 Fußangeln (Beispiele)

3.3 Das Umknicken

Das Umknicken erfolgt in der Regel durch seitliches Kippen (rechtwinklig zur Bewegungsrichtung) des belasteten Fußes über das Sprunggelenk und/oder Mittelfuß bei nichtmittigem Auftreten des Fußes auf Unebenheiten, wie Stufungen, Absätzen, Kanten, u. ä., aber auch auf festen, losen Gegenständen, wie Steine u. ä.
Unebenheiten, die ein Umknicken verursachen können, haben meist einen größeren Höhenunterschied, als solche, die zum Stolpern führen. Da solche Unebenheiten in jedem Fall stolperrelevant sind, erübrigt sich eine gesonderte Erfassung als potenzielle Umknickstellen.

Nicht betrachtet werden soll das seitliche Umknicken über die Sohlenaußenkante auf ebenen Flächen.

Unfälle durch Umknicken können beim Abspringen aus dem Fahrerhaus o. ä. geschehen. Schon bei einer Absprunghöhe von einem Meter ist beim Auftreffen auf dem Boden mit einer Bodenreaktionskraft des 7-fachen des eigenen Körpergewichts zu rechnen (BGI 717). Das erklärt auch die in der Regel schweren Verletzungen in Folge unkontrollierten Abspringens.
Unfallverletzungen durch Umknicken sind meist Außenbandverletzungen (Überdehnungen oder Zerreißungen) im oberen Sprunggelenk.

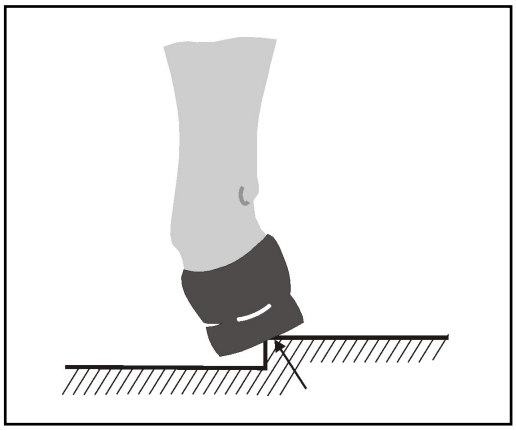


Abb. 3.6 Beispiel für seitliches Umknicken

3.4 Das Fehltreten

Unter Fehltreten soll das Verfehlen („ins Leere treten“) oder Abrutschen über seitliche Begrenzungen von Tritt- und Standflächen geringer Höhe, wie Podeste, Treppenstufen oder Ausgleichsstufen, verstanden werden. Ursachen können sein:

- unzureichende Flächengröße von Podesten
- Nichtwahrnehmung von seitlichen Begrenzungen von Podesten
- unzureichende Tiefe von Treppenstufen
- unzureichende Wahrnehmung von Treppen-Stufenkanten oder Ausgleichsstufen
- gestörter Gangrhythmus beim Treppensteigen (Abschn. 6).

Das Fehltreten kann wiederum in der Folge zum Umknicken, Stolpern, Abstürzen u. a. führen.

4 Einfluss der Ebenheit bzw. maßlichen Gestaltung von Tritt- und Standflächen auf das Stolpern, Umknicken und Fehltreten

4.1 Richtwerte aus dem nationalen Vorschriften- und Regelwerk, Normen sowie der Fachliteratur

Angaben fanden sich in erster Linie im Berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerk (Stand Januar 2007) unter den Abschnitten Fußböden, Verkehrswege, Arbeitsplätze u. ä.

Unebenheiten gelten als gefährdungsrelevant, wenn die in nachfolgenden Tabellen angegebenen Maße nicht eingehalten werden:

Tab. 4.1 Gefährdungsrelevante Gestaltungsmerkmale aus BGV/BGR/BGI

Gestaltungsmerkmal	Maßangaben	Vorschrift/Regel	Bemerkungen
Stufungen	4 mm	BGR 110, BGR 111, BGR 112, BGR 181, BGR 202, BGI 588, BGI 650, BGI 652, BGI 717, BGI 742, BGI 860-1, BGI 869, BGI 889, BGI 5001, BGI 5016, ZH 1/535	ohne Angabe der Fußbodenart; Allgemeine Formulierung: „Als Stolperstellen gelten im Allgemeinen Höhenunterschiede von mehr als 4 mm“
Stufungen	3 mm	BGI 717	bei Metallrosten
Stufung infolge Durchbiegung	4 mm	BGI 588, BGI 860-1	bei Metallrosten an Stoßstellen zum benachbarten Belag
Ebenheitsabweichung von Bodenbelägen nach DIN 18202	2 mm auf 10cm (vom Nennmaß)	BGR 142, BGR 157	identisch mit DIN 18318, DIN 18333, DIN 18352, DIN 18353, DIN 18367
Spalten	Breite 20 mm	BGI 810, BGI 810-1	ohne Angabe der Fußbodenart
Spalten	Breite 10 mm	BGI 588	bei Metallrosten
Tiefe von Ablaufrinnen	20 mm	BGI 717, BGI 889	mit abgerundeten Rändern
bodengleiche Abdeckung von Ablaufrinnen und -öffnungen		BGR 111, BGR 112, BGI 717	

Öffnungen/lichte Maschenweite von Metallrosten	- Breite 50,8 mm x Länge 34,3 mm - Breite 60 mm x Länge 60 mm oder Breite 120 mm x Länge 40 mm	BGI 588	- auf Arbeitsbühnen (ständige Arbeitsplätze und deren Zugänge) - für Schüttgut (begehbar)
- Spalten	- 10 mm Breite bzw. Maschen-Länge		- im öffentlichen Verkehrsbereich
Fußleisten	h = 30 mm (mit 30°-Schräge)	BGI 532, BGI 561	als Wegrollsicherung für Arbeitsstühle u. ä.
Ausgleichsstufe/ Podest	bei > 30 cm Höhenunterschied zweier Nutzungsebenen	BGV C5, BGI 770, BGI 835	alternativ: Rampe < 7° oder Treppe mehrstufig
Stufen-Mindesttiefe	26 cm	BGI 561	bei Treppen mittlerer Neigung
Stufen-Mindesttiefe	16 cm (einschl. 2 cm Unterschneidung)	BGR 157	bei Steiltreppen/ Notausstiegen
Überstehen von Stufenkantenprofilen u. ä.	höhengleich mit Stufenoberfläche	BGI 561	
Mindestfläche von Arbeitspodesten	1,5 m^2 bei Mindesttiefe 1,0 m	BGR 110, BGR 111, BGR 202, BGR 229	
Fläche von Auftritten	- 0,5 m x 0,5 m - 0,5 m x 0,4 m	- BGI 229 - BGV C10	

Tab. 4.2 Gefährdungsrelevante Gestaltungsmerkmale aus Normen

Gestaltungsmerkmal	**Maßangaben**	**Norm**	**Bemerkungen**
Stufungen	4 mm	DIN EN ISO 14122-2, DIN 24537-1 DIN 24537-3	zwischen benachbarten Stoßstellen
Stufungen	2 mm	DIN 24531-1	Profilerhebungen
Ebenheitsabweichung neuverlegter Bodenbeläge	Höhenabweich. auf 10 cm: 2 mm (vom Nennmaß)	DIN 18202, DIN 18318, DIN 18333, DIN 18352, DIN 18353, DIN 18367	
Öffnungen/lichte Maschenweite von Metallgitterrosten	Breite 50,8 mm x Länge 34,3 mm	DIN 24531-1, DIN 24537-1	auf Arbeitsbühnen (ständige Arbeitsplätze und deren Zugänge)
Öffnungen/lichte Maschenweite von Kunststoffgitterrosten	Breite 50 mm x Länge 38 mm	DIN 24531-3	
Öffnungen/Durchbrüche von Bodenbelägen	Durchmesser 35 mm	DIN EN ISO 14122-2	primär zum Schutz vor herabfallenden Teilen (∅ 20 mm bei ständigen Arbeitsplätzen)
Stufen-Mindesttiefe	26 cm (24 cm bei Steiltreppen)	DIN 18065	bei Treppen mittlerer Neigung (einschl. Unterschneidung, an geschlossenen Stufen)
Unterschneidung an offenen Stufen	3 cm	DIN 18065	
Rampe	< 10°	DIN EN ISO 14122-1	allgemein bei Höhenunterschieden zweier Nutzungsebenen für Personenverkehr
Ebenheit von Trittflächen - Stufungen - Schrägen - Vertiefungen - Spaltenbreite	 8 mm 25 % Breite 60 mm x Länge 20 mm x Tiefe 8 mm 20 mm	DDR-Standard TGL 30 033/01	

Tab. 4.3 Gefährdungsrelevante Gestaltungsmerkmale aus der Fachliteratur

Gestaltungsmerkmal	Maßangaben	Literatur-Quelle	Bemerkungen
Ebenheit von Trittflächen - Stufungen - Schrägen - Vertiefungen - Spaltenbreite	 6 mm 25 % ≈ 15° Breite 60 mm x Länge 20 mm x Tiefe 6 mm 20 mm	[13]	gemäß Normentwurf zu TGL 30033/01
Überstehen von Stufenkantenprofilen u.ä.	- höhengleich mit Stufenfläche - 2 mm	[14]	- bei hartem Material (Metall u. ä.) - bei weichem Material (Gummi u. ä.)

Die bei der Recherche am häufigsten vorgefundene zulässige Unebenheit sind **Stufungen** („Stolperstellen“) ≤ 4 mm. Dieser Wert wurde erstmalig vor 31 Jahren in der damaligen ZH 1/535 für Büroarbeitsplätze eingeführt und in der Folgezeit in zahlreichen BG-Vorschriften und -regeln übernommen. Der Wert wurde im Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen über viele Jahre beobachtet und hat sich offensichtlich im Allgemeinen bestätigt. Auch der aus einem Entwurf zur DDR-Fachbereichsnorm TGL 30 033/01 hergeleitete Grenzwert von ≤ 6 mm [13] liegt in dieser Größenordnung.
Stolperstellen als **Stufungen** entstehen auch **durch Durchbiegen** von Belagrändern infolge von Belastungen durch Personen und/oder Gegenstände, z. B. beträgt an eingelegten Metallrosten nach BGI 588 (Metallroste) oder BGI 860-1 (Papiermaschinen) die zulässige Durchbiegung ≤ 4 mm (für Papiermaschinen bei normaler Nutzung nach DIN EN 1034-5 bei max. Flächenbelastung 3 000 N/m^2; nach DIN EN 1034-1 bei zusätzlichen Lasten - z. B. durch abgelegte Maschinenteile max. 5 000 N/m^2).

Unebenheitswerte ≤ 2 mm auf 0,1 m Länge nach DIN 18202 und anderen zugeordneten Normen für bautypische Fußböden hingegen, wie sie in BGR 142 (Luftfahrzeug-Instandhaltung) und BGR 157 (Fahrzeug-Instandhaltung) verlangt werden, sind eher als bautechnische Qualitätsforderung, weniger als untere Grenze für unzulässige Stolperkanten anzusehen.

Die Empfehlung in BGI 561 (Treppen) für die generelle höhengleiche Ausführung von Stufenkanten-Zusatzsystemen (eingelassene Profile, Streifen u. a.) an Stufenkanten kann nicht immer realisiert werden. Nach [14] empfiehlt sich eine höhengleiche Ausführung für Profile aus hartem Material, hingegen bei elastischem Material (z. B. eingelassene Gummischnüre an Steinstufenkanten) dürfte ein Überstehen von ≤ 2 mm zu keiner Stolpergefährdung führen.

Erklärung: Mögliche Stolperstellen sind auf Treppen strenger zu bewerten als auf ebenen Fußböden. Schon ein geringes Hängenbleiben, z. B. an gelösten Profilleisten, kann zur Störung des Bewegrhythmus und im nächsten Schritt zum Fehltreten bzw. Sturz führen.

Zu **Schrägen** als stolper- oder umknickrelevante Erhöhungen waren im bundesdeutschen Vorschriften- und Regelwerk keine Angaben zu finden. Die im Sinne § 12 BGV C22 (Baustellen) genannten gefährlichen Schrägen vom > 20° sind als Absturzgefährdung durch Abrutschen von hochgelegenen Standorten zu verstehen.
Hinweise zu stolperrelevanten Schrägen finden sich lediglich in der Fachliteratur [13].

Zu erwähnen sind noch zulässige **Spaltenbreiten** von ≤ 20 mm im Bereich der Veranstaltungstechnik (BGI 510) und von ≤ 10 mm für Metallroste (BGI 588), die häufig auch im öffentlichen Verkehrsbereich eingesetzt werden. Eine Spaltenbreite von höchstens 20 mm deckt sich auch mit der Forderung in TGL 30 033/01 für Trittflächen in Arbeitsstätten.

Hinsichtlich der größtmöglichen **Weite von Öffnungen** in Trittflächen wird nach BGI 588 für Metallroste, die für ständige Arbeitsplätze sowie deren Zugänge eingesetzt werden, eine Maschenweite von 50,8 mm x 34,5 mm vorgegeben. Diese entspricht ebenfalls der Vorgabe in TGL 30 033/01 für die Begrenzung von Öffnungsbreiten von höchstens 60 mm (bei Öffnungsweite > 60 mm in einer Richtung ist die Öffnung in anderer Richtung als Spalte anzusehen und auf 20 mm zu begrenzen).

Stufenabmessungen, wie Stufentiefe und Unterschneidungen, lassen sich hier nicht verallgemeinern, da sie im Zusammenhang mit anderen Treppenparametern, wie Treppenneigungswinkel und Steigung/Stufenhöhe, zu sehen sind.

Bei einem Höhenunterschied zwischen zwei Nutzungsebenen größer als 0,3 m sollte dieser durch eine **Ausgleichsstufe,** Treppe (mehrstufig) oder Rampe (< 7°) ausgeglichen werden (BGV C5, BGI 770, BGI 835, ASR 17/1,2). Als noch bequem erreichbare Höhen werden im Allgemeinen 0,3 m angesehen, was z. B. auch dem maximalen Sprossenabstand von 30 cm bei Steigleitern (DIN 18799) entspricht. Diese 30 cm können daher auch als maximale **Höhe für Podeste** empfohlen werden.

Die ursprüngliche **Mindestfläche von Arbeitspodesten** u. ä. von 1,5 m^2 bei Mindesttiefe 1,0 m wurde in der neuen Fassung der Arbeitsstättenverordnung (2004) nicht wieder übernommen, obwohl sie noch in einer Reihe von BGR geführt wird (z. B. BGR 110, BGR 111, BGR 202, BGR 229). Nach BGR 229 kann die Tiefe bis 0,6 m verringert werden, wenn ein Rückengeländer o. ä. als Stützhilfe bei der Arbeitsausführung dient.
Im Allgemeinen sollte eine erhöhte Arbeitsfläche so groß sein, dass die Ausübung aller mit der Tätigkeit verbundenen Bewegungen sowie ein entspanntes Stehen möglich ist (gleich minimaler Podestlänge, d. h. mind. Schrittmaß plus Schuhlänge - >90 cm).

Im Gehbereich **umherliegende Versorgungsleitungen**, die eine Stolpergefahr darstellen, sollten in einer Höhe ≥ 2,0 m verlegt oder mit sicheren Kabelbrücken (Abb. 10.1) überdeckt werden.

4.2 Richtwerte aus dem internationalen Vorschriften- und Regelwerk

Die Richtwerte zu Stolper- und Umknickquellen wurden mittels einer Recherche aus dem internationalen Vorschriften und Regelwerk auf den Gebieten Arbeitsschutz, Arbeitsstätten, Bau sowie barrierefreies Bauen (Zugang für Personen mit eingeschränkter Mobilität) ermittelt. Die Recherche erfolgte mittels Internet sowie über Befragung bekannter Fachexperten sowie Institutionen der jeweiligen Länder. Werte aus internationalen Normen konnten aus Kostengründen für die Beschaffung der Normen nicht ermittelt werden.

Die ermittelten Werte für Erhöhungen wurden unterteilt in Stufungen und Schrägen auf Belägen, Schwellen an Türen und Eingängen sowie taktile Elemente. Die Werte für Vertiefungen sind in Spalten (z. B. Fugen) sowie Öffnungen (z. B. Gitterroste) in Belägen unterteilt. Die aufgeführten Unterschneidungen an Treppenstufen können den Fußangeln zugeordnet werden. Die Werte sind den Tabellen 2 bis 9 des Anhangs 15.2 zu entnehmen. Es konnten Werte in 8 Ländern ermittelt werden, die für das Stolpern relevant sind. Tabelle 1 des Anhangs zeigt diese Länder und deren Kurzbezeichnungen. Für die Tabellen des Anhangs 15.2 wurden die Landeskurzbezeichnungen in Zweibuchstabencodierung nach ISO 3166-1 verwendet.

Für die **Stufungen** in Belägen sind Höhenunterschiede von 0,8 mm (Fliesen) bis 11 mm (Straßensteinbelag) bekannt. Diese oberen und unteren Werte sind jedoch den Fertigungstoleranzen zuzurechnen. Werte, die sich auf das Stolpern beziehen lassen, liegen zwischen 2 mm (Italien) und 6 mm (Spanien, USA).

Bei **Schrägen** konnten 2 Werte ermittelt werden. Diese liegen bei 25 bzw. 50 % Schräge mit einer Maximalhöhe von 50 bzw. 13 mm.

Türschwellen liegen in ihrer Höhe zwischen 10 mm (Innenschwellen) und 20 mm. Hier sind insbesondere auch Anforderungen des barrierefreien Bauens sowie Anforderungen an den Wetterschutz maßgebend. Zumindest letztere können national auf Grund der Klimabedingungen stark abweichen.

Die **taktilen Elemente** wiesen Erhöhungen zwischen 5 und 6 mm auf. Diese Werte sind in etwa mit den Stufungen in Belägen vergleichbar.

Für **Spalten** in Belägen liegen Werte zur Fugenbreite zwischen 5 und 10 mm vor.

Die **Öffnungen** in Belägen werden durch einen Maximaldurchmesser bzw. maximale Öffnungsweiten quer zur Bewegungsrichtung gekennzeichnet. Diese liegen zwischen 13 und 20 mm. Sie dürften jedoch primär zum Schutz vor herabfallenden Teilen vorgesehen sein.

Für die **Unterschneidungen von Treppenstufen** konnten Maximalwerte von 25 bis 50 mm gefunden werden, wobei letzterer ein aus Steigung und Unterschneidungswinkel berechneter Wert ist. Die Unterschneidungswinkel liegen zwischen 60° und 80° gegenüber der Horizontalen.

Abbildung 4.1 zeigt die Verteilung der ermittelten Werte auf die Sachgebiete sowie auf die Regelungsebenen. Die Mehrzahl der Werte sind dem Sachgebiet Bau zuzuordnen, gefolgt von Regelungen für das barrierefreie Bauen. Keiner der Werte konnte einer Regelung zu Arbeitsstätten entnommen werden.

Die meisten Länder, aus denen Werte ermittelt werden konnten, schreiben diese in Leitlinien (zur Erfüllung der staatlichen Anforderungen) fest. Lediglich Italien hat Werte in einer Verordnung selbst festgelegt. Ein Viertel der Werte entstammt Normen. Abgesehen von aus Normen zitierten Werten (Norwegen) konnte keine Zuordnung zu Empfehlungen gefunden werden.

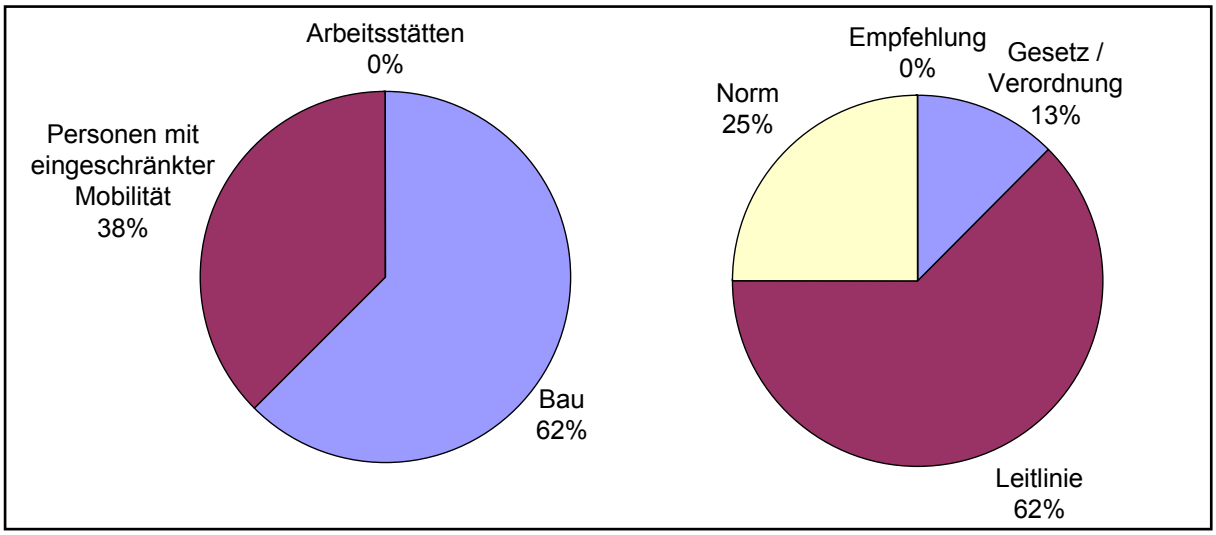


Abb. 4.1 Zuordnung der recherchierten Werte zum Anwendungsbereich sowie zur Regelungsebene im nationalen Vorschriften- und Regelwerk

5 Ansätze aus biomechanischen Bewegungsanalysen zur Ableitung von unzulässigen Unebenheiten

Die Auswertung anthropometrischer Datenbanken (z. B. [15, 16, 17]) zu Maßen der unteren Gliedmaße erbrachte keine Hinweise zur Bewegungskinematik, da die Überlagerung der einzelnen Drehbewegungen um Sprung-, Knie- und Hüftgelenk in der resultierenden Bewegungsbahn der beim Stolpervorgang beteiligten Punkte am Fuß/Schuh (Spitze, Absatz, Sohle) sehr vielfältig sein kann. Die Bewegungsbahnen hängen neben dem individuellen Gangstil von mehreren Faktoren ab, wie Schrittlänge, Schrittgeschwindigkeit, Schuhwerk, wahrgenommener Ebenheit der Trittfläche u. a.

In der Literatur und im Internet gibt es zahlreiche Hinweise auf Einrichtungen, die sich u. a. mit **Bewegungsanalysen der unteren Gliedmaße** befassen. Dies sind vor allem sportwissenschaftliche und sportmedizinische Einrichtungen an Universitäten und Hochschulen, wie z. B. Deutsche Sporthochschule Köln, TU Chemnitz, Uni Hamburg, Humboldt-Uni Berlin, Uni Tübingen u.a.

An die Bewegungsanalysen werden dabei folgende Anforderungen bzw. Ziele gestellt:

- Unterstützung in der Diagnose von Erkrankungen (z. B. Fehlstellungen des Fußes), Verletzungen oder Bewegungsstörungen (z. B. nach Schlaganfällen),
- Bestimmung des Schweregrades einer Erkrankung,
- Fehlbelastungen des Bewegungsapparates,
- Auswahl geeigneter physiotherapeutischer Reha-Maßnahmen

oder speziell im Leistungssportbereich:

- Simulation von Bewegungsabläufen bestimmter Sportarten,
- Bewegungsanalysen (Bewegungskinematik) und Messung von Bewegungsgrößen (Geschwindigkeiten, Beschleunigungen ...), Kräften, Momenten, Leistungen,
- Möglichkeiten der Leistungssteigerung,
- Feststellung von Verletzungsrisiken u. a.

Die Bewegungsanalysen des menschlichen Ganges (z. B. in [18]) stehen ausschließlich im Zusammenhang mit orthopädischen bzw. therapeutischen Zielstellungen und bieten keine Hinweise oder Anhaltspunkte für Bewegungsabläufe einzelner Fußteile (Ferse, Spitze ...), die in Verbindung mit Stolpern oder Umknicken gebracht werden können. Dabei geht es in erster Linie um Gelenkbelastungen von Ferse, Sprunggelenk, Kniegelenk, Hüftgelenk oder entspr. Muskelbelastungen.

In [19] werden Ganganalysen zur bewegungstherapeutischen Beurteilung im Rahmen der Physiotherapie unter Nutzung der Masai Barfuß Technologie durchgeführt (MBT: Konzept beinhaltet permanente Anpassung des Fußes an die Unebenheiten des natürlichen Bodens, mit Hilfe spezieller Schuhsohlenform, die die Abrollbewegung des Fußes vollzieht und eine gesundheitsfördernde Ganzkörperreaktion bewirkt).

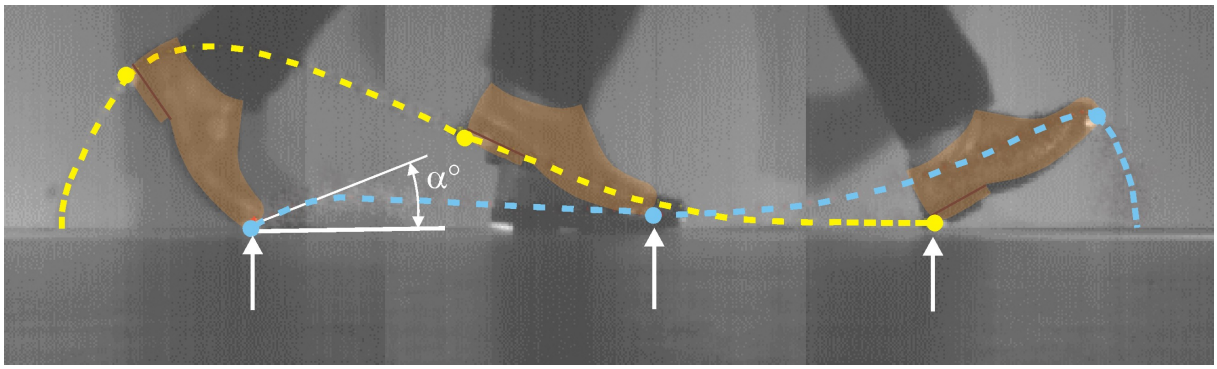
Als einziger Beitrag befasst sich [20] mit Ganganalysen zur Beschreibung und Einstufung des Bewegungs- und Reaktionsverhaltens eines simulierten Sturzvorgangs nach eingeleiteter Bewegungsblockierung, d. h. inwieweit Personen, die ins „Straucheln“ geraten sind, in der Lage sind, sich durch Ausgleichsbewegung abzufangen, um dadurch einen Sturz verhindern zu können.
Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Beschäftigte im Arbeitsbereich mit schlechteren sportlich-physischen Vorrausetzungen ist nur begrenzt möglich. Die Strategien sind mehr auf die physischen Vorraussetzungen der betroffenen Personen (z. B. altersbedingte Minderung der mechanischen Leistungsfähigkeit durch physische Inaktivität und daraus resultierendes erhöhtes Verletzungsrisiko) als auf die sicherheitstechnische Gestaltung der Tritt- und Standflächen gerichtet. Sie geben allenfalls Hinweise auf sekundäre Maßnahmen, die von einem möglichen Sturz ausgehen und der Verminderung der Folgen dienen sollen.

Die bei den genannten Einrichtungen verwendete Mess- und Aufnahmetechnik für die Bewegungsanalysen ist in ihrer Art weitgehend vergleichbar. Verwendet werden technische Einrichtungen zur mehrdimensionalen Kräftemessung (z. B. Kistler-Messplattform), Druckverteilungsmessung, Aufnahmetechnik für Bewegungsabläufe (z. B. photo-optische oder Video-Technik sowie zugehörige Bildpunkt-Verfolgungs-Software). Die Mess- und Aufnahmetechnik entspricht im Wesentlichen der an der BAuA verwendeten Versuchseinrichtung, mit der bereits Bewegungsanalysen zum Ausrutschen durchgeführt wurden [1]. Mit derselben Aufnahmetechnik sollten im Rahmen dieser Arbeit die kritischen Fußstellungen, d. h. die tiefsten Punkte des Schuhs im Bewegungsablauf, gefunden werden, dessen Blockierung durch Fußbodenunebenheiten den Stolpervorgang einleiten können.

Versuchseinrichtung

Mittels Hochgeschwindigkeitskamera wurde bei 6 Personen (3 Frauen, 3 Männer im Durchschnittsalter von 48,6 Jahren) die tiefsten Punkte eines Schrittzyklus des rechten Beines aufgezeichnet. Die Personen bewegten sich frei und nicht kabelbehaftet auf üblichem Fußboden (elastischer Bodenbelag) in normaler Schrittgeschwindigkeit (≈ 5 km/h). Die Bilder wurden digitalisiert und die Koordinaten ausgewählter Bildpunkte über eine Bildpunkt-Verfolgungs-Software (WIN-Analyse) ausgewertet. Hierfür wurden an allen Schuhsohlen Kontrastmarken befestigt.
Um bei allen Versuchspersonen einen einheitlichen Bezugspunkt für den Absatz zu haben, wurde nicht die Vorderkante des Absatzes, an dem meist ein Hängenbleiben stattfindet, sondern die hinterste Kante des Absatzes gewählt.
Der gesamte Schrittzyklus mit den 3 tiefsten Punkten ist in Abbildung 5.1 dargestellt:

- **Anstiegswinkel der Schuhspitze in der Anfangsphase**
- **tiefster Punkt der Schuhspitze beim Durchschwingen**
- **tiefster Punkt des Schuhabsatzes kurz vor dem Aufsetzen**



Anstiegswinkel der Schuhspitze in der Anfangsphase

tiefster Punkt der Schuhspitze

tiefster Punkt des Schuhabsatzes

Abb. 5.1 Beispiel für Bewegungssequenzen des rechten Fußes für einen Schrittzyklus mit kritischen Phasen der Schuhspitze und des Absatzes

Das Hängenbleiben mit der Schuhspitze bei entsprechender Höhe und Form des Hindernisses in der Anfangsphase ist ein häufiger Fall. Neben der Höhe ist vor allem die Form der Unebenheit von entscheidender Bedeutung. Eine Schräge mit nicht zu großem Winkel zur Fußbodenebene führt zwangsläufig zum Abgleiten der Schuhspitze über die Schräge.

Eine weitere kritische Phase ist der tiefste Punkt der Schuhspitze beim Durchschwingen des rechten Fußes mit großem Bewegungsradius über einen längeren Weg, fast parallel zum Fußboden (in Bildmitte).

Ebenso fast parallel verläuft der tiefste Punkt der Hinterkante des Absatzes in Schrägstellung kurz vor dem Aufsetzen auf dem Fußboden (im Bild rechts). Dieser Punkt ist jedoch nicht als kritisch anzusehen. Die kritische Phase ist vorher, wenn sich die Absatzfläche nahezu parallel zum Fußboden bewegt; dann ist eine Blockierung möglich. Bei einer bestimmten Schrägstellung des Absatzes in der Endphase kommt es zum Abgleiten über die Bodenunebenheit.
Im Bewegungsverlauf der hinteren Absatzkante kurz vor dem Aufsetzen kann es individuelle Unterschiede geben, die schon in früheren Ganguntersuchungen an der BAuA festgestellt wurden [1]. In den Untersuchungen wurde grundsätzlich zwischen zwei Gangtypen unterschieden:

- Aufsetzen mit dem Schuhabsatz im flachen Winkel mit höherer Geschwindigkeit,
- Aufsetzen im steileren Winkel mit geringerer Geschwindigkeit.

In Abbildung 5.1 handelt es sich um eine Person des Gangtyps mit flachem Aufsetzwinkel, d. h. die hintere Kante des Schuhabsatzes senkt sich in Schrägstellung kontinuierlich im flachen Winkel bis zum Aufsetzen auf dem Fußboden. Bei Personen mit steilem Aufsetzwinkel kommt es nach Erreichen des tiefsten Punktes rechts im Bild mehr oder weniger zu einem kurzeitigen Anstieg des Absatzes, bevor dieser im steileren Winkel auf dem Fußboden aufsetzt.

Die Untersuchungsergebnisse für die 6 Versuchspersonen sind in den Tabellen 10 bis 12 sowie Abbildung 1 des Anhangs 15.3 dargestellt. Der Anstiegswinkel der Schuhspitze in der Anfangsphase beträgt zwischen 9°...30° (im Durchschnitt um ~ 16°), der tiefste Punkt der Schuhspitze in der mittleren Phase zwischen 7...28 mm (im Durchschnitt um ~17 mm), der tiefste Punkt des Absatzes in der Endphase zwischen 3...21 mm (im Durchschnitt um ~ 12 mm).
Die Ergebnisse zeigen schon bei der geringen Anzahl von Versuchspersonen eine relativ große Streubreite, die sich in der Versuchsdurchführung sicher noch einengen lässt. Es ist hier - ähnlich wie bei den Untersuchungen in [1] - zu vermuten, dass individuelle Gangmuster zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Um dies auch nur annäherungsweise festzustellen, waren der Umfang der Versuche und die Anzahl der Versuchspersonen zu gering. Bei der Auswertung zu berücksichtigen wäre noch die Lage der bei jeder Versuchsperson an der Vordersohle/Spitze des Schuhs mehr oder weniger vorhandenen Krümmung bzw. Sprengung (Abschn. 8.1) sowie die Lage der Vorderkanten (insbes. Höhen) typischer Absatzformen.
Des Weiteren wäre zu prüfen, ob sich die Untersuchungen auf den Bewegungsverlauf der Schuhspitze beschränken ließen, wenn die Absatzbewegung weniger kritisch ist.

6 Bewegungsregulation beim Gehen im Zusammenhang mit Stolpern, Umknicken und Fehltreten (psychologische Aspekte)

Das Gehen ist für den Menschen ein seit Kindesbeinen hochgeübter Vorgang. Der Bewegungsablauf ist psychisch automatisiert, d. h. unter Standardbedingungen bedürfen die einzelnen Bewegungskomponenten in ihrem Zusammenspiel nicht mehr der bewussten Steuerung.

Psychische Automatisierung erzeugt eine weitgehende Invarianz der motorischen Vollzüge. Eingeübte individuelle Eigenheiten der Schrittführung, wie Schritthöhe, Aufsetzwinkel des Fußes, Schwingweite der Hüfte, werden konstant beibehalten, sodass wir eine Person an ihrem charakteristischen Gang leicht erkennen können.
Andererseits setzt psychische Automatisierung eine gewisse Invarianz der Anforderungen an den Organismus (nämlich den in Abschnitt 3.1 detailliert ausgewiesenen Bewegungsablauf zu realisieren) und der Ausführungsbedingungen (insbesondere der Bodenverhältnisse) voraus.
Sind die Normalbedingungen nicht gewährleistet, muss der Organismus den automatisierten Ablauf aufgeben und - nun unter Bewusstseinsbeteiligung - abweichende, nun bedingungsangepasste Bewegungen ausführen. (Das erleben wir z. B. beim Gehen im tiefen Sand oder im Unterholz eines Waldes.)
Wenn die Abweichungen von den Normalbedingungen **plötzlich und unerwartet** eintreten, dann ist die Bewegungsregulation nicht den tatsächlichen Voraussetzungen angepasst - die klassische Konstellation für das Stolpern, Umknicken, Fehltreten. „Die Verfestigung in einer routinemäßig gleichbleibenden Ausführungsweise wird nachteilig, wenn die Umstände einen Wechsel erfordern“ [21].

Regulationsstörung beim Stolpern und Umknicken

Das prinzipielle Störungsmuster beim Stolpern und Umknicken besteht darin, dass auf der objektiven Seite eine Störgröße in der Bodenbeschaffenheit vorliegt und auf der subjektiven Seite die Einstellung auf diese Störgröße ausbleibt. Beim Stolpern bremst ein Hindernis abrupt die Vorwärtsbewegung des Fußes, während der Körper, gemäß der eingeübten Bewegungsweise, seinen Schwerpunkt weiter nach vorn verlagert. Beim Umknicken bringt eine Unebenheit den Fuß in seitliche Auslenkung, wobei die Körperlast auf ihn gelegt wird, sodass der Halteapparat des Sprunggelenks sehr stark (im Schadensfalle über das kompensierbare Maß hinaus) belastet wird.

Warum reagiert der Mensch nicht auf eine vorhandene Unebenheit, die den sicheren Gang gefährden kann?

- Er geht von der - unrichtigen - Annahme „problemloser Weg“ aus und erwartet kein Hindernis. Dadurch unterbleibt die Gefahrenkognition, also die selektive Wahrnehmungsausrichtung, um Gefahrenstellen zu erkennen.

- Er ist zwar darauf vorbereitet, Gefahrenstellen wahrzunehmen. Die Wahrnehmung wird jedoch behindert durch objektive Mängel, z. B. schlechte Beleuchtung, oder durch subjektive Beeinträchtigungen, z. B. Fehlsichtigkeit, Ermüdung.

– Wahrnehmungen, die Stolper- oder Umknickgefahren signalisieren, sind im Bewusstsein aktuell nicht präsent, weil andere Bewusstseinsinhalte im Moment im Vordergrund stehen (z. B. Ablenkung durch ein Handytelefonat, durch Dekorationselemente, durch die Konzentration auf eine drängende Aufgabe).

Ist der Mensch „aus dem Tritt“ geraten, kann eine körperliche Abfangreaktion die Balance wiederherstellen, ohne dass es zum Unfall kommt. Ob diese Reaktion gelingt, hängt neben objektiven Bedingungen (den Kräften, die bei der Kollision mit der Störstelle wirken) auch von persönlichen Voraussetzungen ab, insbesondere von der Reaktionsschnelligkeit und der körperlichen Trainiertheit des Einzelnen. Beim Umknicken ist die individuelle Belastbarkeit des Fußgelenks ein mitentscheidender Faktor dafür, ob eine Verletzung zustande kommt oder nicht.

Regulationsstörung beim Fehltreten

Fehltreten kommt zustande infolge einer unrichtig gezielten Bewegung. Der Fuß trifft nicht (oder nur so teilweise, dass er abrutscht) die vorgesehene Auftrittfläche. Da die Schwerpunktverlagerung des Körpers aber die Stabilisierung auf der Auftrittfläche voraussetzte, gerät der Mensch aus der Balance. Ursachen dafür sind entweder eine unrichtige Erwartung (aufgrund vorangegangener, im konkreten Fall aber nicht zutreffender Erfahrungen) oder eine fehlende bzw. unrichtige Wahrnehmung über die Lage der Auftrittfläche. Auch hier sind objektive und subjektive Wahrnehmungserschwernisse sowie momentane Ablenkung in Rechnung zu stellen, ebenso wie Irreführungen der Wahrnehmung, etwa wenn Farbe oder Belagart der Trittfläche eine (weitere) Stufe erwarten lassen. Für die Auffangreaktionen beim Fehltreten gelten die gleichen Einflussfaktoren wie beim Stolpern und Umknicken.

Personenbezogene Unfallfaktoren

a) Unzureichende Gefahrenkognition

Die Gefahrenkognition, also die kognitive Repräsentanz aller aktuellen Informationen und Gedächtnisinhalte über Gefahren, bildet die Grundlage der Verhaltenssteuerung beim Umgang des Menschen mit Gefahren [22]. Das von uns jeweils für erforderlich gehaltene Vorsorgeverhalten wird von der subjektiven Gefährlichkeit bestimmt, die wir einer Tätigkeit oder Situation zumessen [23].
Im Falle des Gehens auf der Ebene stößt man auf eine weitgehende Gefahren**unter**schätzung, sowohl was die Unfallhäufigkeit als auch was die Schwere der Unfallfolgen anbetrifft. So ließ z. B. BURKARDT Beschäftigte in der konkreten Betriebssituation beurteilen, wo sie welche Gefahren, auch für Stürze auf der Ebene, sahen. „Es gab erstaunliche Unterschiede zwischen Meinung und tatsächlicher Unfallverteilung“ [24].
Ebenso fand MUSAHL [25], dass bei Fahrungstätigkeiten im Bergwerk das Übersteigen von Wegehindernissen hinsichtlich der Gefährlichkeit überschätzt, das Gehen auf unbehinderten Wegen hingegen deutlich unterschätzt wurde (auf diesen Tätigkeitsbereich entfielen 2/3 aller Unfälle!) Wo aber Gefahren nicht erwartet werden, bleibt ein entsprechendes Vorsorgeverhalten, insbes. die zugrundeliegende körperliche Aktivierung, die aktive Informationssuche und eine erhöhte Bewusstseinsbeteiligung bei der Bewegungsteuerung, aus.
Der Mensch wird dann von plötzlichen Störeinflüssen „kalt getroffen“.

„Eine erniedrigte Gefahrenkognition entsteht typischerweise bei Tätigkeiten, die im Arbeitsprozess statistisch häufig sind, zur beruflichen Routine gehören, auch im Freizeitbereich üblich sind und anschaulich oder konnotativ für ungefährlich, ‚kinderleicht' gehalten werden" [25]. Diese Bedingungen treffen für das Gehen auf ebenen Wegen in exemplarischer Weise zu.
Bei dieser Sachlage sind als die möglichen Ansätze der Unfallprävention evident:

- **Unerwartete Stolperstellen und Hindernisse im Bewegungsbereich ausmerzen**
  Wo die allgemeine Verkehrssituation zur Grundannahme „Hindernisfreier Weg" führt - und das gilt für die meisten betrieblichen Verkehrswege -, muss man ein verringertes Vorsorgeverhalten der Nutzer einkalkulieren. Das ist keine Frage mangelnder individueller Aufmerksamkeit, sondern ergibt sich folgerichtig aus den oben dargestellten Merkmalen der Gefahrenkognition.
  Unfälle werden am besten vermieden, indem man der Erwartungshaltung des Nutzers entspricht und für ungehinderte Bewegungsmöglichkeiten sorgt. Damit sind einerseits die Ordnung und Sauberkeit und die Instandhaltung von Trittflächen angesprochen. Darüber hinaus müssen auch Einrichtungsgegenstände oder Bauteile, die als Stolperfallen im Bewegungsbereich wirksam werden können, vermieden werden. So wurden in Untersuchungen des Einzelhandels festgestellt, dass an über 40 % der Stürze von Kunden in Geschäften Einrichtungsgegenstände, Werbemittel, Warenträger u. ä. beteiligt waren [26]. Kritisch waren z. B. solche Sockel und Podeste der Einrichtungsteile, die eine ungewöhnliche Form und Ausdehnung aufwiesen und damit wiederum die Erwartungshaltungen der Nutzer irreführten.
  Irreführungen der Erwartung müssen unbedingt vermieden werden. So sind „vorgetäuschte Stufen", nämlich bodenbündige Treppenanfänge, die zu ebener Erde bereits Farbe bzw. Material des Stufenbelags haben, häufig der Auslöser von Fehltreten.

- **Vor (unvermeidbaren) Stolperstellen und Hindernissen, die nicht erwartet werden, warnen**
  Durch die Kennzeichnung von Gefahrenstellen erhält der Nutzer die Information, dass er hier nicht von Normalbedingungen ausgehen kann, sondern sein Vorsorgeverhalten verstärken muss.
  Die Bewegungsteuerung wird wieder in den Bereich der Bewusstheit gehoben, etwa indem man das Tempo verringert, die Schwebephase verkürzt oder, um einer Gefahrenstelle auszuweichen, die Laufrichtung ändert.
  Damit eine Gefahrenkennzeichnung (Sicherheitszeichen, Farbmarkierung) wirksam ist, muss sie nach Möglichkeit situationsbezogen und nachvollziehbar sein. Wenn Kennzeichnungen inflationär, „auf Vorrat", ohne ersichtlichen Bezug zu den Gegebenheiten des Weges eingesetzt werden, dann wird der Nutzer sie sehr bald nicht mehr als Informationsträger ernst nehmen - oder er hat die Information schon wieder vergessen, ehe er an der eigentlichen Gefahrenstelle ankommt.
  Beispielsweise ist ein pauschales Warnzeichen „Vorsicht, Gehwegschäden" wenig geeignet, den Nutzer für vereinzelte Schadensstellen in einem ansonsten glatten Wegeverlauf zu aktivieren.

- **Realistische Gefahreneinschätzung fördern**
  Aufklärung über die Häufigkeit und Schwere der Unfälle durch Stolpern, Umknicken, Fehltreten ist vonnöten, um die verbreiteten Fehlurteile zu korrigieren. Damit wird sicherheitsgerechtes Verhalten, auch im Hinblick auf den eigenen Beitrag zu Ordnung und Sauberkeit der Trittflächen oder auf die Auswahl sicheren Schuhwerks, unterstützt.
  Dennoch müssen wir uns im Klaren sein, dass Gehen als psychisch automatisierter Vorgang im Normalfall unterhalb der Bewusstseinsebene reguliert wird. Der verhaltensseitigen Beeinflussung sind damit enge Grenzen gesteckt.

b) Wahrnehmungsbehinderungen

Wahrnehmungsbehinderungen bewirken, dass der Mensch störende Gegebenheiten der Trittfläche nicht bemerkt und sich somit in seiner Bewegungsführung nicht darauf einstellen kann.
Solche Behinderungen können durch **objektive Bedingungen** ausgelöst werden:

- **Unzureichende Beleuchtungsstärke**
  Die Beleuchtung durch künstliches oder natürliches Licht muss ausreichend stark sein, um die Beschaffenheit des Fußbodens, etwaige Unebenheiten, Hindernisse oder - im Falle des Fehltretens - die Begrenztheit der Trittfläche zu erkennen (s. Abschn. 7.1).
  Zu beachten ist, dass die angegebenen Beleuchtungsstärken immer Mindestwerte sind. Höhere Beleuchtungsstärken können die Wahrnehmung und auch das Erleben der Räumlichkeiten günstig beeinflussen.

- **Große Beleuchtungsunterschiede**
  Neben unzureichender Beleuchtungsstärke können folgende beleuchtungsbezogene Störeinflüsse die Wahrnehmung behindern:
  Ungleichmäßige Ausleuchtung und **Schattenbildung** (etwa, indem man sich selbst „im Lichte steht“) können zu Ausfällen und Irrtümern in der Wahrnehmung führen.
  Blendung durch eine Lichtquelle oder durch stark reflektierende Flächen kann ebenfalls Wahrnehmungsverluste bewirken. Beim Übergang zwischen Bereichen von stark unterschiedlicher Helligkeit, z. B. in Hallenein- und -ausfahrten, braucht das menschliche Auge eine gewisse Zeit für die Adaptation an die veränderte Helligkeit; während dieser Adaptationsphase ist der Mensch objektiv noch nicht in der Lage, spezielle Gegebenheiten der Trittfläche zu erkennen.

- **Unübersichtlichkeit des Bewegungsbereiches**
  Übersichtlichkeit ist die Grundbedingung für eine vorauseilende Orientierung: Der Mensch kann die Gegebenheiten des Bewegungsraumes erfassen und hat noch einen Zeitpuffer, um darauf zu reagieren. Finden sich dagegen Hindernisse, Unebenheiten o. ä. in unübersichtlichen Bewegungsräumen, wächst die Gefahr, dass der Mensch sie zu spät bemerkt, als dass er seine Bewegungsführung noch umstellen könnte.
  Deshalb müssen Bewegungsräume und insbesondere Wege die Sichtfreiheit gewährleisten. Wege müssen als solche klar erkennbar sein. Als Orientierungshilfen lassen sich z. B. Farbmarkierungen, Bodennägel oder Leitplanken einsetzen. Auch mit Bodenbelägen, die sich in ihrer Farbe oder Struktur abheben, lassen sich Wege übersichtlich darstellen.

Daneben sind **subjektive Wahrnehmungsbedingungen** des individuellen Fußgängers von Belang:

- **Fehlsichtigkeit**
  Nicht oder nicht ausreichend korrigierte Fehlsichtigkeit (Kurz- oder Weitsichtigkeit, Astigmatismus) führt zu unscharfer Sicht und kann das Erkennen von Hindernissen, Unebenheiten oder Begrenzungen der Trittfläche behindern. Ebenso sind **Gesichtsfeldeinschränkungen** oder **Farbuntüchtigkeit** Faktoren, die die Orientierung im Bewegungsbereich erschweren können. Gesichtsfeldeinschränkungen können als bleibende Gegebenheit des Wahrnehmungsapparates vorliegen; sie können aber auch aktuell als Auswirkung von Stress oder von Drogen, z. B. Alkohol entstehen.

- **Störeinflüsse der Wahrnehmung bei Brillenträgern**
  Brillen sind zwar Hilfsmittel für die adäquate Wahrnehmung, können unter Umständen aber auch Probleme mit sich bringen. So wurden in empirischen Untersuchungen auch Sichtstörungen durch **Bifokal- oder abdunkelnde Brillengläser** als auslösende Faktoren für fehlerhafte Bewegungen erkannt [27]. Des Weiteren erleben Brillenträger Sichtbehinderungen, wenn die Gläser - besonders im Winter und beim Eintritt in Bereiche mit hoher Luftfeuchtigkeit - **beschlagen** oder wenn sie durch andere Einflüsse (z. B. Regen, Sprühwasser) **getrübt** werden. Bewegungsunsicherheit ist die Folge.

c) Momentane Unaufmerksamkeit

Das Stichwort „Unaufmerksamkeit“ findet sich in praktisch allen Unfalluntersuchungen zum Stolpern, Umknicken und Fehltreten. Aber auch hier ist eine Differenzierung notwendig, um zu handhabbaren Präventionsansätzen zu kommen.

- **Abgelenktsein**
  Ablenkung verhindert die rechtzeitige und richtige Reaktion auf Gefahren.
  Sie erwächst aus aktuell höherwertigen Impulsen:
  - aus Umfeldbedingungen, die das Interesse des Fußgängers auf sich ziehen, wie Dekorationen, Werbemittel, Spiegel und andere „Blickfänger“;
  - aus anderen Tätigkeiten, die der Gehende gleichzeitig betreibt, z. B. Telefonieren, Lesen, Plaudern;
  - aus dem Fixiertsein auf persönliche Angelegenheiten, z. B. auf eine private Problemsituation, auf eine bevorstehende wichtige Unterredung;
  - aus der Konzentration auf andere Tätigkeitsbestandteile, z. B. beim Tragen eines Gegenstandes, der sehr empfindlich oder schlecht zu fassen ist, bei dem die Gefahr des Verschüttens besteht o. ä.

- **Stress, Zeitdruck**
  Stress und Zeitdruck bewirken eine **eingeengte Orientierungsleistung** und können somit dazu führen, dass die Bedingungen im Bewegungsbereich nicht ausreichend erfasst werden. Darüber hinaus kommt es in solchen Situationen auch zu **überhasteten Bewegungsabläufen,** in denen die instabilen Phasen zunehmen. Eine „den Wegeverhältnissen unangepasste Geschwindigkeit“ [28] spielt also nicht nur für Fahrzeuge, sondern auch für den gehenden Menschen eine unfallbegünstigende Rolle.

- **Einfluss von Alkohol, zentralnervös wirksamen Medikamenten, Drogen**
  Unter dem Einfluss dieser Substanzen sind verminderte Vigilanz, eingeschränkter Beachtensumfang und eine veränderte Einschätzung von Risiken einzukalkulieren, sodass Gefahren nicht erkannt und nicht vermieden werden. Das Reaktionsvermögen verschlechtert sich; ein Stolpern, Umknicken oder Fehltreten führt dadurch mit größerer Wahrscheinlichkeit zum Unfall.

- **Ermüdung**
  Ebenso geht der Zustand der Ermüdung mit verschlechterter Orientierungsleistung und verlängerten Reaktionszeiten einher, wodurch Trittunsicherheiten in ihrem Zustandekommen begünstigt und in ihrer Kompensation gehemmt werden.

Betriebliche Einflussmöglichkeiten auf das Ursachenfeld „Momentane Unaufmerksamkeit“ liegen in der Eliminierung vermeidbarer Ablenkungsfaktoren im Umfeld, des Weiteren in der Stressbekämpfung und in der Einforderung sicherheitsgerechten Verhaltens, verbunden mit der Verdeutlichung, wie schwerwiegend Unfälle durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten zu Buche schlagen.

d) Altersspezifische Einflüsse auf die Bewegungsregulation

Mit zunehmendem Alter verschlechtert sich eine ganze Reihe von Voraussetzungen, die für die Bewegungsregulation und für den Ausgleich eventuell eintretender Destabilisierungen der Bewegung eine Rolle spielen.

- Wahrnehmungsleistungen gehen zurück. Insbesondere nimmt die Adaptationsfähigkeit des Auges ab, vor allem die Adaptation von Hell zu Dunkel dauert länger [29], was zu vorübergehendem Informationsausfall führt. Auch gegenüber blendendem Licht wird das alternde Auge empfindlicher.

- Gleichzeitig wird das optische System, gegenüber den Informationen aus dem propriozeptiven System und dem Gleichgewichtsorgan, bedeutsamer für die Bewegungsregulation [30].

- Die Reaktion auf eingetretene Bewegungsunsicherheiten verlangsamt sich [23].

- Die Funktionsfähigkeit des Stütz- und Bewegungsapparates sowie seine Belastbarkeit nehmen ab (Muskelatrophie, Kalkeinlagerungen in Sehnen und Bändern, Verringerung der Knochendichte). Haltungsveränderungen bewirken eine Schwerpunktverschiebung des Körpers; die Körperbeherrschung, um Instabilitäten auszugleichen, lässt nach.

Gerade im Hinblick auf die demographische Entwicklung, die auch die arbeitende Bevölkerung betrifft, müssen bei der Gestaltung von Bewegungsräumen (Beleuchtung, Kennzeichnung, Beschaffenheit der Trittflächen) altersbedingte Veränderungen in Rechnung gestellt werden. Den im Alter zunehmenden physischen Defiziten stehen allerdings gewachsene Erfahrung und erhöhtes Risikobewusstsein gegenüber.

e) Tragen von Lasten

Das Tragen von Lasten ist als modifizierende Bedingung für die Bewegungssteuerung beim Gehen zu betrachten, da es zum ersten den Schwerpunkt des Körpers verlagert, zum zweiten Ausgleichsbewegungen zur Erhaltung der Balance erschweren kann und zum dritten - bei voluminösen und sperrigen Lasten - Sichtbehinderungen mit sich bringen kann. Die Ablenkung vom eigentlichen Bewegungsprozess, die aus problematischen Eigenschaften des zu transportierenden Gutes resultiert, war bereits unter c) erwähnt worden.

7 Wahrnehmung von Gefahrstellen

7.1 Einfluss der Beleuchtung auf die Wahrnehmbarkeit von Gefahrstellen - Richtwerte aus dem Vorschriften- und Regelwerk

Eine geeignete und angemessene Beleuchtung trägt dazu bei, die Arbeitsaufgabe effektiv und effizient zu bewältigen. So soll die Beleuchtung den Sehvorgang verbessern sowie Unfälle und zu starke Beanspruchungen der Augen vermeiden. Eine gute Beleuchtung trägt auch dazu bei Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden der Beschäftigten zu fördern.

Unfallgeschehen

Eine unzureichende Beleuchtung kann zu erhöhter Unfallgefährdung sowie zu steigender Beanspruchung und vorzeitiger Ermüdung gekoppelt mit einer höheren Fehlerquote führen.

Zu berücksichtigen ist auch, dass bei älteren Beschäftigten eine höhere Unfallgefährdung gegeben sein kann, da mit zunehmendem Alter die Fähigkeiten des Sehapparates reduziert werden. Es steigt der Lichtbedarf und die Empfindlichkeit gegenüber Blendung nimmt zu (Abschn. 6).

Fehlende oder unzureichende Beleuchtung wird im Zusammenhang mit der Erhebung von SRS-Unfällen als eine wichtige Unfallursache genannt, statistisch aber nicht extra erfasst und ausgewiesen [31].

Gesetzliche Regelungen, Richtlinien, Normen

Zur Vorbeugung bzw. Vermeidung dieser Unfallgefahren werden an die Beleuchtung Mindestanforderungen gestellt, die in der Arbeitsstättenverordnung (Anhang 3.4 ArbStättV) verankert sind. Danach müssen Arbeitsstätten möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein. Die Beleuchtungsanlagen sind so auszuwählen und anzuordnen, dass sich dadurch keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren ergeben können. Des Weiteren müssen Arbeitsstätten, in denen die Beschäftigten bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung Unfallgefahren ausgesetzt sind, eine ausreichende Sicherheitsbeleuchtung haben, wobei sich die Notwendigkeit einer Sicherheitsbeleuchtung aus der Gefährdungsbeurteilung ergibt.

Diese grundlegenden Anforderungen konkretisieren Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR) zur Beleuchtung, z. B. ASR 7.3 „Künstliche Beleuchtung“, ASR 7/4 „Sicherheitsbeleuchtung“, ASR 41/3 „Künstliche Beleuchtung für Arbeitsplätze und Verkehrswege im Freien“, die gegenwärtig überarbeitet werden. Ebenso auch Regelungen der Unfallversicherungsträger, z. B. BGR 131 „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten“ (Teil 1 und 2), BGR 216 „Sicherheitsleitsysteme (einschließlich Sicherheitsbeleuchtung)“, DIN Normen, z. B. DIN EN 12665 und DIN EN 12464 (Teil 1 und 2), DIN EN 1838, DIN 5034, DIN 5035 und die Handlungshilfe des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik LV 41 [32].

Gütemerkmale der Beleuchtung

Die Qualität der Beleuchtungsanlage wird durch viele Faktoren, sog. Gütemerkmale, gekennzeichnet, die Ursache für das Unfallgeschehen sein können. Die wichtigsten **Gütemerkmale** sind

- Beleuchtungsstärke,
- Leuchtdichteverteilung,
- Begrenzung der Blendung,
- Lichtrichtung und Schattigkeit,
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe sowie
- Flimmerfreiheit.

Es kommt darauf an, dass alle Merkmale einer Beleuchtung in ihrer Gesamtheit und ihrem Zusammenspiel betrachtet werden sollten. Schon das Außerachtlassen bzw. die ungenügende Berücksichtigung eines Gütemerkmals kann zu einer Unfallgefahr führen.

Hinweise zur Gestaltung der Beleuchtung

In den vorgenannten gesetzlichen Regelungen werden **Mindestbeleuchtungsstärken** vorgeschrieben, die einerseits für die Erfüllung der mit der Tätigkeit verbundenen Sehaufgabe erforderlich sind, z. B. 300 bis 500 lx für einen Büroarbeitsplatz, aber andererseits auch für andere Bereiche, die keine direkten Arbeitsplätze sind, um Gefahren rechtzeitig erkennen und abwenden zu können, z. B.

- in Gebäuden: 100 lx für Verkehrswege, 100 lx für Flure, 150 lx für Gebäudetreppen und Rolltreppen, 100 lx für Lagerbereiche und
- im Freien: 5 lx für Gehwege (ausschließlich für Fußgänger), 10 - 20 lx für Verkehrsflächen, 50 lx für Fußgänger-Durchgangsbereiche.

Prinzipiell richtet sich aber die Auswahl der Beleuchtung nach der Art der Sehaufgabe, d. h. die **Beleuchtungsstärke** ist um so größer auszulegen, je höher der Anteil der visuellen Anforderungen und je schwieriger die Sehaufgabe ist. Danach ist das Anheben der Beleuchtungsstärke eine Möglichkeit Gefahrenbereiche hervorzuheben und damit die Beschäftigten rechtzeitig zu warnen. Die im konkreten Fall erforderliche Beleuchtungsstärke muss der Arbeitgeber im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes festlegen.

Für die **Sicherheitsbeleuchtung** gilt als Minimum der Beleuchtungsstärke 1 lx, um die Arbeitsstätte bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung schnell und sicher verlassen oder gefährliche Arbeitsabläufe sicher beenden zu können. Detaillierte Anforderungen für die Sicherheitsbeleuchtung für Fluchtwege sowie Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung, Antipanikbeleuchtung und Sicherheitsleitsysteme sind in der BGR 216, der DIN EN 1838 und der LV 41 [32] enthalten. Zu berücksichtigen ist, dass die Lichtfarbe der Sicherheitsbeleuchtung so zu wählen ist, dass die Sicherheitsfarben erkennbar bleiben.

Die Beleuchtung sollte eine harmonische **Leuchtdichteverteilung** besitzen, d. h. die Helligkeit sollte in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke und des Reflexionsgrades keine zu großen Unterschiede aufweisen. Es sind hohe Leuchtdichteunterschiede zwischen benachbarten Bereichen zu vermeiden, denn sie erfordern eine ständige Adaptation des Auges und führen zur Ermüdung und somit zur Unfallgefährdung. Das gilt sowohl für Innenraumbeleuchtung als auch im Außenbereich. Gute Sehbedingungen für die Beschäftigten erfordern eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung, z. B. in Gebäuden von 10:3:1 zwischen Arbeitsfeld, näherem Umfeld und der Arbeitsumgebung.

Um SRS-Unfallgefahren zu vermeiden sollte die Beleuchtung weder **Direkt-** noch **Reflexblendung** verursachen. Dabei sind Blendquellen in der Hauptblickrichtung zu vermeiden, eine Beleuchtung von unten blendet z. B. den auf einer Treppe Herabsteigenden. Als Maßnahmen zur Begrenzung der Direktblendung nutzt man z. B. die Abschirmung oder richtige Anbringung der Leuchten. Die Reflexblendung lässt sich z. B. durch Leuchtdichtebegrenzung der Leuchten, helle Decken und Wände, matte oder entspiegelte Gestaltung von Oberflächen, verhindern bzw. reduzieren.

Die Beleuchtung sollte eine **Lichtrichtung** aufweisen und angenehme **Schattigkeit** erzeugen. Damit wird eine räumliche Erkennung von Gegenständen erleichtert. Gefahrenquellen durch Schlagschatten sind zu vermeiden. Bei einer schattenlosen Beleuchtung sind z. B. die Stufen einer Treppe nicht zu erkennen und lange Schlagschatten lassen die räumliche Streckung der Stufe nicht erkennen.

Die Beleuchtung soll eine die Sehaufgabe unterstützende **Lichtfarbe** und **Farbwiedergabe** gewährleisten. So wirken Lampen mit neutralweißer und tageslichtweißer Lichtfarbe positiv auf die Vigilanz (Bewusstseinswachheit) und die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten. Bei der Farbwiedergabe ist darauf zu achten, dass durch die Beleuchtung keine Farbverfälschung entsteht. Beispielsweise müssen Sicherheitsfarben erkennbar sein.

Nicht nur die eigentliche Beleuchtung, sondern auch die zweckmäßige Gestaltung der Räume, Flure, Treppenbereiche u. a. trägt zur Unfallvermeidung bei. So wirkt ein Raum bei gleichem Lichteinfall bzw. gleicher Beleuchtung umso heller, je höher die **Reflexionsgrade** z. B. der Decken, Wände, Böden, Arbeitsflächen und des Mobiliars sind. Für die Hauptflächen eines Raumes werden z. B. Reflexionsgrade für Fußböden von 0,1 bis 0,5 für Wände von 0,3 bis 0,8 und Decken von 0,6 bis 0,9 empfohlen.

Praxisnahe **Beleuchtungskonzepte** enthält die BGR 131, z. B. für raumbezogene, arbeitsbereichsbezogene, teilflächenbezogene Beleuchtung. Sie stellt Beleuchtungserfordernisse hinsichtlich der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes, die zur Planung und zum Betrieb von Beleuchtungsanlagen zur Sicherstellung eines ausreichenden Beleuchtungsniveaus erforderlich sind, dar.

Beispielhafte Lösungen für die Gestaltung einer sicheren Beleuchtung von Treppen und Fluren werden von der Fördergemeinschaft „Gutes Licht“ der Praxis zur Verfügung gestellt [33].

7.2 Sicherheits- und Gefahrenkennzeichnung zur Unterstützung der Wahrnehmung von Gefahrstellen

Gefahrstellen können durch eine geeignete Sicherheits-/Gefahrenkennzeichnung besser wahrgenommen werden und Stolper-, Sturz- und Rutschunfälle vermieden bzw. verringert werden. Der Einsatz und die Gestaltung der Sicherheits-/Gefahrenkennzeichnung ist dabei in europäischen Richtlinien, nationalen Normen und technischen Regeln beschrieben.

So sind in der **Richtlinie 92/58/EWG** des Rates vom 24. Juni 1992 „Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz“ festgelegt.

Im Anhang I dieser Richtlinie sind **Allgemeine Mindestvorschriften** beschrieben. Dabei darf die Wirksamkeit eines Sicherheitszeichens nicht beeinträchtigt werden durch eine schlechte Gestaltung, eine ungenügende Anzahl, einen schlechten Standort, einen schlechten Zustand oder eine mangelhafte Funktionsweise der Mittel und Vorrichtungen zur Sicherheitskennzeichnung. Die Anzahl und die Anordnung der zu verwendenden Mittel oder Vorrichtungen zur Sicherheitskennzeichnung richten sich nach dem Ausmaß der Risiken oder Gefahren sowie nach dem zu erfassenden Bereich.

Im Anhang II sind **Mindestvorschriften für Sicherheitszeichen** beschrieben. Danach sind Zeichen grundsätzlich in einer angemessenen Höhe und in einer in Bezug auf den Blickwinkel angemessenen Stellung - gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Hindernissen - an einem ausreichend beleuchteten und leicht zugänglichen und erkennbaren Standort anzubringen.

Im Anhang V der Richtlinie sind **Mindestvorschriften für die Kennzeichnung** von Hindernissen und Gefahrenstellen sowie zur Markierung von Fahrspuren beschrieben. Das Risiko, z. B. zu stürzen, ist innerhalb bebauter Bereiche eines Unternehmens durch abwechselnd schwarze und gelbe oder durch abwechselnd rote und weiße Streifen zu kennzeichnen. Die Abmessungen dieser Kennzeichnung richten sich nach den Abmessungen des Hindernisses oder der Gefahrenstelle. Die Streifen sind in einem Winkel von 45° anzuordnen und müssen in etwa gleiche Abmessungen aufweisen.

Mit Inkrafttreten der Arbeitsstättenverordnung wird die Richtlinie 92/58/EWG über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz über einen gleitenden Verweis für den Geltungsbereich der Arbeitsstättenverordnung in nationales Recht umgesetzt. Die Anforderungen für die Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung in Arbeitsstätten werden in einer Technischen Regel für Arbeitsstätten **ASR A1.3 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“** konkretisiert. Die Anwendung dieser ASR erfüllt die Mindestanforderungen der Richtlinie 92/58/EWG. Diese Arbeitsstättenregel wurde in Anwendung des Kooperationsmodells (BArbBl. 6/2003 S. 48) erarbeitet und übernimmt die grundlegenden Inhalte der BGV A8 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz“ des Fachausschusses „Sicherheitskennzeichnung“ des Hauptverbands der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

Sicherheitszeichen sind deutlich erkennbar und dauerhaft anzubringen. Deutlich erkennbar bedeutet unter anderem, dass Sicherheitszeichen in geeigneter Höhe - fest oder beweglich - anzubringen sind und die Beleuchtung (natürlich oder künstlich) am Anbringungsort ausreichend ist.
Sicherheitszeichen müssen festgelegten Gestaltungsgrundsätzen entsprechen. Diese sind z. B. in der DIN 4844 „Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 1: Gestaltungsgrundlagen für Sicherheitszeichen zur Anwendung in Arbeitsstätten und in öffentlichen Bereichen“ beschrieben.
Bei der Auswahl der Sicherheitszeichen ist der Zusammenhang zwischen Erkennungsweiten und Größe der Sicherheitszeichen bzw. Schriftzeichen zu berücksichtigen.

Zur Warnung vor speziellen Gefahren wie Stolpern, Abstürzen und Rutschen bzw. allgemein vor Gefahrstellen existieren folgende Warnzeichen:

W014 Warnung vor Stolpergefahr

W028 Warnung vor Absturzgefahr

W015 Warnung vor Rutschgefahr

W000 Warnung vor einer Gefahrstelle

Abb. 7.1 Warnzeichen nach BGV A8

Bei der Kennzeichnung von Hindernissen und Gefahrenstellen sind gelb-schwarze Streifen vorzugsweise für ständige Hindernisse und Gefahrenstellen zu verwenden (z. B. Stellen, an denen besondere Gefahr des Stürzens besteht. Bei lang nachleuchtender Ausführung wird die Erkennbarkeit von Hindernissen bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung erhöht).
Rot-weiße Streifen sind vorzugsweise für zeitlich begrenzte Hindernisse und Gefahrenstellen zu verwenden (z. B. Baugruben). Die Ausführung der Streifen hat den Forderungen der Richtlinie 92/58/EWG zu entsprechen.

Die vorzugsweise Verwendung der Gelb-Schwarz-Kennzeichnung für dauerhafte Hindernisse und Gefahrstellen ist national geregelt (z. B. in der ASR A1.3), in anderen Ländern kann davon abgewichen werden.

Gelb-Schwarz-Kennzeichnung

Rot-Weiß-Kennzeichnung

Abb. 7.2 Sicherheitskennzeichnung nach DIN 4844

In der Arbeitsstättenrichtlinie **ASR 8/1 „Fußböden“** (Mai 1977) wird gefordert, dass Fußbodenstellen, an denen sich **Stolper- und Sturzgefahren** durch bauliche oder technische Maßnahmen nicht vermeiden lassen, **durch Gelb-Schwarz-Kennzeichnung gemäß DIN 4844 hervorzuheben** oder durch andere Schutzmaßnahmen, ggf. auch durch Geländer, zu sichern sind.

In der Arbeitsstättenrichtlinie **ASR 17/1,2 „Verkehrswege“** (Januar 1988) wird gefordert, dass **Gefahrstellen auf Verkehrswegen mit Sicherheitskennzeichnung nach DIN 4844 zu kennzeichnen** sind, wenn diese nicht durch technische Maßnahmen beseitigt oder verhindert werden können. **Jede Ausgleichsstufe in Verkehrswegen ist durch eine gelb-schwarz-gestreifte Markierung auf der Trittfläche gemäß DIN 4844 oder durch Trittleuchten in der Stufe deutlich zu kennzeichnen**.

8 Einfluss der Schuhgestaltung auf das Stolpern und Umknicken

Im Folgenden soll darauf eingegangen werden, ob und wenn ja, welchen Einfluss die Gestaltung des Schuhwerks auf das Stolpern und Umknicken hat. Zu diesem Zweck wurden die z. Z. gültigen Normen auf dem Gebiet des Fußschutzes ausgewertet sowie der gegenwärtige Erkenntnisstand ermittelt. Im Ergebnis wurden ausschließlich Hinweise hinsichtlich des Umknickens gefunden.

8.1 Einfluss der Schuhgestaltung auf das Umknicken

In den harmonisierten Normen sind keine Anforderungen an einen Umknickschutz enthalten. Lediglich die Einteilung des Fußschutzes in unterschiedliche Schuhformen entsprechend der Schafthöhe bietet einen Hinweis. Der als Form A bezeichnete Halbschuh kann jedoch keinen Schutz vor Umknicken bieten, da der Schaft unterhalb des Köchels endet und somit die Außenbänder bzw. die Gelenkkapsel nicht geschützt werden. Die in den ISO-Normen DIN EN ISO 20344 bis 20347 hinzugekommenen Anforderungen an den Knöchelschutz beziehen sich auf eine Überprüfung der stoßdämpfenden Wirkung.

Knöchelschutz/Schaftgestaltung

Um dem Unfallgeschehen durch Umknicken und den daraus resultierenden Verletzungen des Fußes, vor allem des oberen Sprunggelenks, entgegenzuwirken, wurde erkannt, dass eine Möglichkeit in der Stabilisierung des Fußes im Knöchelbereich besteht. Diese Maßnahme hat in verschiedenen Bereichen Eingang gefunden, z. B.:

- auf Baustellen; geeignete Sicherheitsschuhe sind hier niedrige oder halbhohe Stiefel mit Knöchelschutz oder hohe Gummistiefel;
- für Arbeiten unter Tage in Schachtanlagen; hier wurden Trageversuche mit Sicherheitsschuhen mit hohem Schaft (5 cm höher als bei einem normalen Sicherheitsschuh) durchgeführt, die zu einem Rückgang der Fußgelenkverletzungen führten;
- bei der Feuerwehr; der Trend geht weg von Schaftstiefeln und hin zu Schnürstiefeln, da diese den Fuß besser formen bzw. ihm mehr Stabilität und besseren Halt geben;
- im Eisenbahnbetrieb bei Rangierpersonal;
- sowohl im Sport als auch in der Bundeswehr für Personen, bei denen über das normale Maß hinaus die Gefahr des Umknickens besteht; Schuhe mit höheren Schäften werden z. B. von Ringern, Boxern, Fallschirmspringern und im Skisport getragen.

In der Literatur wird vielfach erwähnt, dass bei der Konstruktion des Schuhwerks die natürliche Bewegungsachse der Sprunggelenke und des Unterschenkels Berücksichtigung finden sollte [34, 35]. Bei Schuhen mit höherem Schaft, die in der Regel symmetrisch aufgebaut sind, bilden sich typischerweise nach dem „Einlaufen“ Falten am Ansatz des Schuhschafts und die Schuhzunge verdreht sich. Dies bedeutet einen

entsprechenden Stabilitätsverlust des Schuhschafts durch Materialermüdung. Hinzu kommt in der Praxis die oftmals nicht richtige Schnürung der niedrigen, halbhohen oder hohen Stiefel.
Bezüglich der Schaftgestaltung für Fußschutz gegen Umknicken werden von verschiedenen Herstellern unterschiedliche Konzepte angeboten, z. B.:

- auf der Basis der asymmetrischen Achse der Schaftmanschette und damit einer Anpassung der Schuhschaftachse an die funktionelle Bewegungsachse des Unterschenkels. Hierbei wird der Schaft von einer flexiblen Kunststoffmanschette umgeben, deren Achse schräg versetzt ist. Durch ihre biomechanische Konstruktion folgt sie dem natürlichen Abrollverhalten des Fußes [34, 35, 36, 37];
- symmetrisch aufgebauter Schuh mit Umknickschutz aus zweiteiliger, flexibler Kunststoffmanschette zur seitlichen Stabilisierung des Sprunggelenks und Unterstützung der natürlichen Fußbewegung [35];
- symmetrische aufgebauter Schuh mit speziellem Schaftschnitt zur Vermeidung von Umknickunfällen. Der Schaft wurde aufgerichtet und die Schnürung mit 6 statt bisher 5 Triangelösen versehen [35].

Eine kritische Sichtweise zu einer externen Stabilisierung des Sprunggelenks zur Prophylaxe von Verletzungen durch Umknicken wird in [38] dargestellt. Es wird darauf verwiesen, dass sich die Vorstellung, durch Führung und Stabilisierung des Fußes und des Sprunggelenks eine grundlegende Reduktion von Verletzungen erreichen zu können, in dieser Form nicht bestätigt hätte. Als Beispiel wird fehlende Effektivität knöchelhoher Basketballstiefel angeführt. Die notwendige Unterstützung der Stabilisierungsmechanismen des Menschen sollte durch eine optimale Gestaltung der Passform, Dämpfung und Flexibilität des Schuhs erreicht werden.

Optimale Passform

Eine wesentliche Voraussetzung, um wirkungsvoll Stolper- und Umknickunfälle zu vermeiden, ist eine optimale Passform des Schuhs, d. h. Schuhe, die in Länge und Breite der Fußform angepasst sind [35, 39]. Ein zu lang gewählter Schuh begünstigt das Stolpern, denn mit jeder Bewegung muss der Schuh übermäßig weit nach vorn gleiten, um an der schuhtechnisch vorgegebenen Stelle abrollen zu können. Der schlecht sitzende Schuh bietet insgesamt weniger Halt.
Hier wird in der Literatur auf das Mondopoint-Mehrweitensystem verwiesen, bei dem einer Schuhlänge mehrere Schuhweiten zugewiesen werden und damit eine optimale Passform erreicht wird.

Vertikale Fersenführung

Als weiterer Ansatzpunkt für einen wirkungsvollen Schutz vor dem Umknicken wird auf die Notwendigkeit einer gleichförmigen Druckverteilung im Fersenbereich (vertikale Fersenführung) verwiesen [39, 40]. Die Fersenführung sollte einen optimalen biomechanischen Bewegungsablauf ermöglichen, damit den Gang stabilisieren und so die Sprunggelenke entlasten, um ein Umknicken zu vermeiden.
Ein Schuhhersteller bietet z. B. dazu ein System an, das mit Hilfe einer speziellen anatomisch vorgeformten, aber flexiblen Fußbetteinlage eine gleichförmige Druckverteilung im Fersenbereich ermöglicht [39].

Drehsteifigkeit

Um einen möglichst großen Bodenkontakt und eine Anpassung an Unebenheiten zu erzielen, ist eine angemessene Drehsteifigkeit (Torsionsfähigkeit) der Sohle erforderlich. Diese wird oftmals durch starre Stahlzwischensohlen gemindert. Wird an Stelle der Stahlzwischensohle eine durchtrittssichere Zwischensohle aus Kunststoff- oder Keramikfasern [41, 42] verwendet, kann die Drehsteifigkeit des Schuhs verbessert werden. Die Laufsohle kann Bodenunebenheiten besser ausgleichen und mehr Bodenkontakt herstellen. Damit soll die Gefahr von Umknickunfällen auf unebenen Untergründen gesenkt werden.

Fersenschluss

An Schuhwerk im Küchenbereich werden besondere Anforderungen gestellt. Um ausreichende Sicherheit gegen Umknicken und evtl. Verlieren des Schuhs zu erreichen, wird ein Fersenschluss bzw. Fersenhalt gefordert (BGR 111).

Absatzhöhe

Abgesehen von den gesundheitlichen Nachteilen (z. B. Hohlkreuz, Beschwerden in Hüft- und Kniegelenken) besteht durch das Tragen von Schuhen mit hohen schmalen Absätzen eine erhöhte Gefahr des Umknickens. In einer Studie wurde festgestellt, dass sich durch das Tragen von Schuhen mit Absätzen von ca. 6 cm der Druck auf das Kniegelenk um ca. 23 % erhöht. Da sich das Körpergewicht nach vorn verlagere und nicht mehr mittig aufs Knie treffe, könne der Knöchel nicht mehr die notwendige Stabilität beim Gehen geben [43].
Neben zu großer Schuhlänge können zu hohe und kantige Absätze auch das Stolpern begünstigen (Abschn. 8.2).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine entsprechende Schuhgestaltung wesentlichen Einfluss auf das Umknicken haben kann:

z. B. durch

- eine Stabilisierung des Fußes im Knöchelbereich mit einer entsprechenden Schaftgestaltung,
- eine auf den Fuß abgestimmte optimale Passform des Schuhs (Mehrweitensystem),
- eine vertikale Fersenführung,
- eine angemessene Drehsteifigkeit der Sohle,
- einen Fersenschluss bzw. -halt,
- eine möglichst geringe Höhe des Absatzes.

8.2 Einfluss der Schuhgestaltung auf das Stolpern

Hinsichtlich möglicher Stolpergefährdungen hat insbesondere die Schuhspitzengestaltung Einfluss. Die Mehrzahl der Schutz- und Sicherheitsschuhe ist mit einer gewissen Krümmung der Schuhspitze, sog. **Spitzensprengung** versehen; aber auch Schuhwerk für den privaten Gebrauch im Heim- und Freizeitbereich (Abb. 8.1), insbesondere Laufschuhe für sportliche Betätigung, z. B. Nordic-Walking-Schuhe.

Spitzensprengung ist die Höhe, um die sich die Sohlenspitze im unbelasteten Zustand vom Boden abhebt. Die Spitzensprengung erleichtert das Abrollen des Schuhs (www.fusshilfe.de/schuhe). Aber auch ein Hängenbleiben an Fußbodenunebenheiten wird dadurch vermindert. Ein Schuh mit Spitzensprengung zeigt beim Auftreffen der Schuhspitze auf ein Hindernis ähnliche Wirkung wie umgekehrt eine schräge Erhöhung auf dem Fußboden beim Auftreffen einer beliebigen Schuhspitze, d. h. in beiden Fällen erfolgt ein Abgleiten der Schuhspitze über das Hindernis.

Auch eine Abschrägung oder Abrundung der hinteren Absatzkante ist günstiger für die Abrollbewegung des Schuhs als eine harte und hohe Kante des Absatzes.

Abb. 8.1 Spitzensprengung einer Schuhspitze

Ein Hängenbleiben kann auch mit dem Schuhabsatz erfolgen (Abschn. 5), wobei Absatzform und Absatzhöhe Einfluss haben.

Das sich Einstellen auf das jeweilige Schuhwerk gehört ebenso zur **Bewegungsregulation** (Abschn. 6) wie das sich Einstellen auf andere äußere Bedingungen. Das individuelle Bewegungsmuster wird im gewissen Maße auch durch das Schuhwerk geprägt. Ein Schuhwerk kann den Gangstil fördern bzw. auch störend oder ermüdend wirken. Oftmals nach längerer Zeit des Einlaufens, also wenn es an die persönlichen Gegebenheiten und Bewegungsabläufe angepasst wurde, wird es als bequem akzeptiert.

Im Ergebnis der Bewegungsregulation bewegen sich Schuhspitze und Schuhabsatz auf Bahnen, auf denen es in der Regel bei den wahrgenommenen Bodenverhältnissen kaum zum Stolpern kommt. Erst bei Störung der Informationen, wie Übersehen oder falsche Einschätzung von Unebenheiten, kann es zum Hängenbleiben kommen. Störungen können weiterhin bei einem Bedingungswechsel in Form von Wechsel auf ein anderes Schuhwerk eintreten. Zumindest in der Anfangsphase kann es zu Anpassungsschwierigkeiten kommen - der Art, dass die Schuhspitze bzw. der Schuhabsatz öfter hängen bleiben.

Neben der Spitzensprengung bei manchen Schuhen gibt es bei vielen anderen Schuhen nach längerem Tragen auch eine gewisse **Krümmung der Vordersohle** insgesamt. Möglicherweise kann sich dies begünstigend auf das Vermeiden des Stolperns auswirken. Unfallbegünstigend sind starre, wenig elastische Sohlen. Etwa ein Drittel der Sohlenlänge von der Schuhspitze aus, sollte biegsam sein.
In zukünftigen Ganguntersuchungen zum Stolpern sollte daher neben der Spitzensprengung auch die Sohlenkrümmung Beachtung finden (Abschn. 5).

Im Gegensatz zu vielen Tätigkeiten im gewerblichen Bereich, für die der Arbeitgeber entsprechend den vorhandenen Gefährdungen geeigneten Fußschutz (z. B. Sicherheits- oder Schutzschuhe) bereitstellen muss, wird oftmals im Dienstleistungsbereich (z. B. Handel, Versorgung, Gaststätten) sowie im medizinischen und pflegerischen Bereich dem Arbeitnehmer die Auswahl geeigneten Schuhwerks überlassen. In solchen Fällen sollte seitens des Arbeitgebers auf die Auswahl und das Tragen sicheren Schuhwerks Einfluss genommen werden; gegebenenfalls sollten Trageeigenschaften, Abnutzung und Verschleiß ebenfalls überprüft und auf rechtzeitigen Ersatz eingewirkt werden.

9 Verallgemeinerung und Schlussfolgerungen - Vorschlag von Richtwerten für gefährliche Unebenheiten

Eine Verallgemeinerung unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Eine Verallgemeinerung kann nicht alle Einsatzbedingungen berücksichtigen, sodass im Einzelfall die konkreten Bedingungen zu prüfen und danach die Gestaltungsparameter festzulegen sind.
Eine Verallgemeinerung ist nur begrenzt für einzelne Einflussfaktoren auf der Grundlage der durchgeführten Recherche des nationalen und internationalen Vorschriften- und Regelwerks sowie der Fachliteratur möglich. In die Auswertung nicht eingegangen sind Angaben zum barrierefreien Bauen für Behinderte.

Im Ergebnis der Recherche werden hinsichtlich der Ebenheit bzw. Beschaffenheit von Tritt- und Standflächen für die einzelnen geometrischen Merkmale folgende Wertebereiche vorgeschlagen:

- **Stufungen:** ≤ 4 mm...6 mm

  (Stufenkantenprofile: 0...≤ 2 mm - in Abhängigkeit von der Materialhärte))

- **Schrägen:** ≤ 25 % (1 : 4 ≈ 15°)

- **Vertiefungen/lichte Maschenweite:**
  - ≤ 6 mm x 20 mm...60 mm (z. B. 50 mm x 35 mm oder 60 mm x 60 mm)
  - > 60 mm x ≤ 20 mm (z. B. als Spalten)

- **Spalten:** < 10 mm...20 mm

Als grundsätzliche Formen für gefährliche Erhöhungen und Vertiefungen können demzufolge - wie in Abbildungen 9.1 und 9.2 dargestellt - angesehen werden:

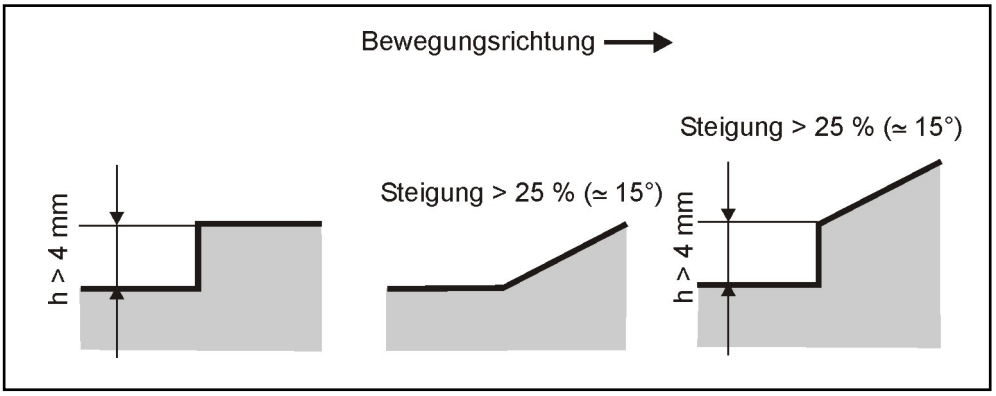


Abb. 9.1 Richtwerte für gefährliche Erhöhungen

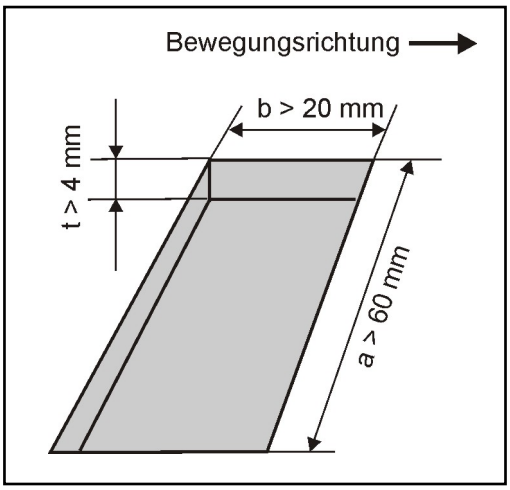


Abb. 9.2 Richtwerte für gefährliche Vertiefungen

Die Mehrzahl und Vielfalt von Erhöhungen und Vertiefungen kann mehr oder weniger mit den grundsätzlichen Formen nach Abbildungen 9.1 und 9.2 beschrieben werden.

- Nach Abbildung 9.1 gelten im Allgemeinen Erhöhungen, in Form von Stufungen > 4 mm und/oder Schrägen > 25 % (Steigung 1 : 4 ≈ 15°) als Stolperstellen.

- In Abbildung 9.2 sind die Maße t, a und b und im Zusammenhang zu betrachten:

  – Vertiefungen, die tiefer als 4 mm sind, müssen dann als Stolperstellen angesehen werden, wenn sie dem Fuß Platz bieten, hineinzugeraten.

  – Als Schuhbreite für Schuhe im Arbeitsbereich wurde a > 60 mm angenommen. Wenn die Tiefe t > 4 mm und Breite a > 60 mm, darf das Maß b, gemessen längs der Bewegungsrichtung, grundsätzlich nicht mehr als 20 mm betragen.

  – Bei einer Länge b ≤ 20 mm und beliebiger Spaltlänge a (> 60 mm) führt der flache Aufsetzwinkel in die Vertiefung noch nicht zum Hängenbleiben.

  – Wenn b > 20 mm sollte die Breite a ≤ 60 mm sein (begrenzte Breite wird vom Schuh noch überdeckt).

Unebenheiten für Stolpergefährdungen sind erfahrungsgemäß im Durchschnitt geringer als für Umknickgefährdungen. Wenn im Gehbereich Maßnahmen auf die Vermeidung von Stolpergefährdungen gerichtet sind, erübrigt sich die Orientierung auf Unebenheiten für Umknickgefährdungen.

Die vorgeschlagenen Richtwerte sind empirische Werte, deren Anwendung sich über längere Zeit bewährt hat. Auch wenn im Einzelfall bei Vorliegen dieser Werte es zu Unfällen durch Stolpern oder Umknicken kommt, kann man davon ausgehen, dass bei einer großen Anzahl von Personen mit großer Wahrscheinlichkeit kein Unfall eintritt. In manchen Fällen kommt es zu keiner völligen Blockierung der Fußbewegung, sondern nur zu einem teilweisen Hängenbleiben und damit zum „Straucheln“ oder zur Störung des Bewegungsrhythmus, wo es in der Folge oftmals gelingt, durch Ausgleichbewegungen des Oberkörpers oder der Arme das Gleichgewicht wieder zu erlangen oder sich abzufangen und damit einen Sturzunfall zu verhindern.

10 Beispiele für praktische Gestaltungslösungen

Auf der Grundlage der in Abschnitt 9 vorgeschlagenen Richtwerte lassen sich Gestaltungslösungen für die praktische Anwendung ableiten.

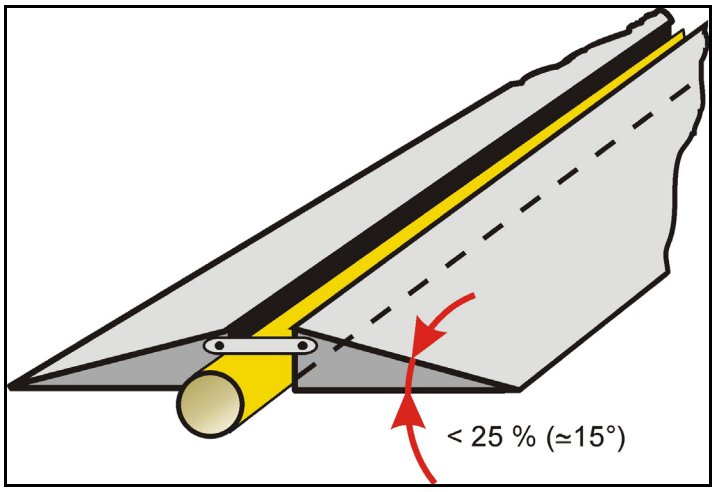


Abb. 10.1 Beispiel für Überdeckung von Versorgungsleitungen

Zu achten ist darauf, dass an der Spitze der Überdeckung keine zu breite und tiefe Spalte entsteht und die Auflaufschrägen gegen Verschieben gegenseitig und auf dem Untergrund gesichert sind.

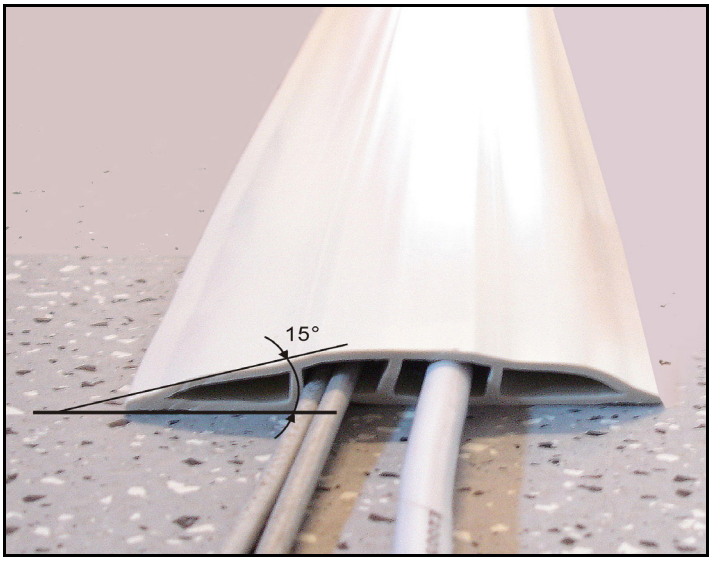


Abb. 10.2 Kabelbrücke für Überdeckung von IT-Kabeln

Die Kabelbrücken sind an der Unterseite mit selbstklebendem Band versehen. Dadurch wird beim seitlichen Auftreten ein Verschieben der auf dem Fußboden aufgeklebten Brücke verhindert.

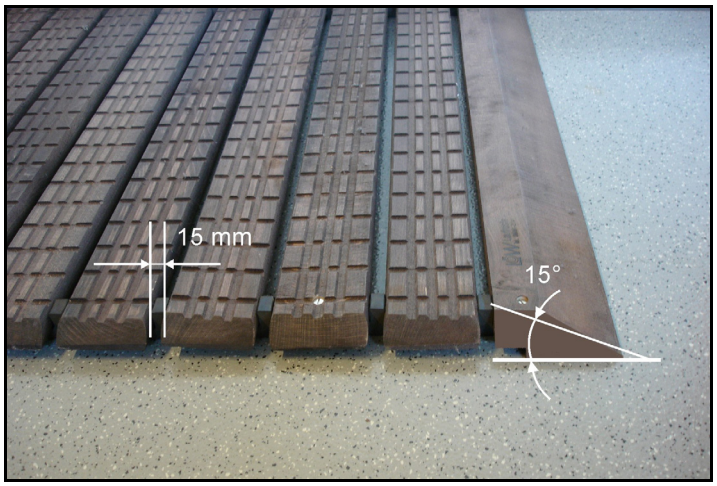


Abb. 10.3 Lattenroste mit angeschrägter Randgestaltung und mit Spalten

Die Leisten des Lattenrostes sind auf Gummipuffern gelagert, was unter ergonomischen Gesichtspunkten der Entlastung des Bewegungs- und Stützapparates sowie der Sicherung gegen Verschieben des Lattenrostes dient.

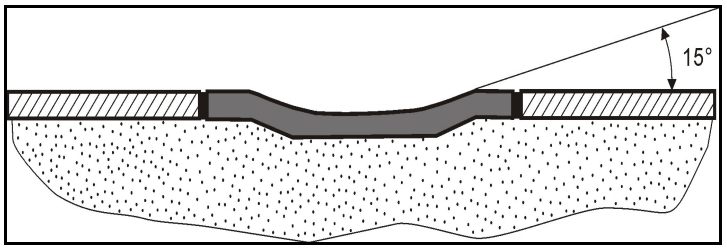


Abb. 10.4 Rinnenfliese mit angeschrägten Rändern

Bei Verlegearbeiten sollten generell Schrägen zum Ausgleich von Höhenunterschieden wie vorgeschlagen (≤ 15° = Steigung ≤ 1 : 4) ausgeführt werden.

11 Gestaltungsgrundsätze zur Vermeidung von Unfallgefährdungen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten

Schutzmaßnahmen können entsprechend dem Entstehungsmechanismus von Unfallgefährdungen (siehe „Gefährdungsgrundmodell“ in [44]) unterschieden werden in

1. Maßnahmen zur **Vermeidung der Entstehung von Gefahrstellen/gefährlichen Höhenunterschieden** (primäre Schutzmaßnahmen).

2. Maßnahmen zur **Vermeidung der Wirkung von vorhandenen Gefahrstellen/gefährlichen Höhenunterschieden (**sekundäre Schutzmaßnahmen).

3. Maßnahmen zur **Vermeidung/Verminderung der Unfallfolgen.**

Die Reihenfolge der Maßnahmen kann grundsätzlich als Rangfolge angesehen werden. Im Einzelfall sind jedoch solche Aspekte, wie Wirksamkeit, Durchführbarkeit und Aufwand sowie mögliche Unfallfolgen in ihrer Gesamtheit zu prüfen und danach die zweckmäßigste Maßnahme zu entscheiden. Auch wenn die Erfüllung der Forderung nach Ebenheit der Tritt- und Standflächen grundsätzlich von vornherein angestrebt werden soll, ist dies aus konstruktiven und gestalterischen Gründen nicht immer möglich. Die Tritt- und Standflächen sind daher unter oben genannten Gesichtspunkten nicht selten ein Kompromiss; sie sollten aber dennoch tritt- und standsicher sein.

Gestaltungsgrundsätze

1. **Bei der Gestaltung von Tritt- und Standflächen sollten gefährliche Höhenunterschiede grundsätzlich vermieden werden.**
   Funktionelle Elemente (z. B. Türpuffer, Türfeststeller, Versorgungsleitungen, Führungsschienen u. a.) sowie gestalterische Elemente (z. B. Absätze, Schrägen, Rundungen, Öffnungen u. a.), die eine gefährliche Bodenbeschaffenheit darstellen können, sollten sich nicht im Gehbereich befinden (z. B. Anbringen von Türpuffern oder Türfeststellern im Verkehrsweg-Randbereich oder an der Seitenwand; Hochhängen von Versorgungsleitungen > 2 m usw.).

2. Sind gefährliche Höhenunterschiede aus funktionellen oder gestalterischen Gründen unvermeidbar, sind **zusätzliche Maßnahmen** erforderlich, die die Wirkung als Gefahrstelle vermeiden, z. B.

   technische Maßnahmen:
   - Abdecken, Ausfüllen o. ä. von Vertiefungen,
   - Anschrägen (< 15°), Überbrücken, Abgleichen o. ä. von Erhöhungen;

   organisatorische Maßnahmen:
   - Verhinderung des örtlich-zeitlichen Zugangs des Gefahrenbereichs (Absperrungen),
   - Umgehungen/Umleitungen zur Vermeidung des Zugangs;

personenbezogene Maßnahmen:

- Verbesserung der Wahrnehmbarkeit der Gefahrstelle durch
  - Beleuchtung, Blendungsbegrenzung, Kontrast, Farbgebung, (Abschn. 7.1),
  - Gefahrenkennzeichnung (Abschn. 7.2),
  - Hinweisschilder (Abschn. 6);
- taktile Elemente (z. B. genoppte Randstreifen) auf erhöhten Arbeitsflächen/Podesten zur Vorwarnung, um das Überschreiten des Randbereiches über das Schuhwerk wahrzunehmen;
- Haltemöglichkeiten bei Gangunsicherheiten (z. B. Haltegriffe, Handläufe ...).

3. Kann nach Durchführung der Maßnahmen gem. Pkt. 1. und 2. in Folge unzureichender Wirksamkeit dennoch mit einem folgenschweren Sturz gerechnet werden, sind **Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung der Unfallfolgen** durchzuführen, z. B.

   - Vermeidung von möglichen gefährlichen Aufprallflächen bei Sturz,
   - Abpolstern von gefährlichen Aufprallflächen im möglichen Sturzbereich,
   - Abdecken von gefährlichen Oberflächen im möglichen Sturzbereich (z. B. gepolsterte Schutzüberzüge über herausragenden Beton-Bewehrungsstählen),
   - Sicherheitsabstände, Abweiser, Absperrungen u. ä. zu Gefahrstellen im möglichen Sturzbereich (z. B. Sicherheitsabstand ≥ 2m zur Absturzkante nach BGV C22).

12 Ausblick und Vorschlag von Folgeuntersuchungen

Ziel der Untersuchungen war, den gegenwärtigen Stand auf dem Gebiet Unfallgefährdungen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten zu analysieren. Dafür wurden Recherchen im nationalen und internationalen Vorschriften- und Regelwerk sowie in der Fachliteratur durchgeführt. In die Auswertung gingen darüber hinaus Hinweise von Arbeitsschutzexperten aus jahrelangen Erfahrungen in der Unfallauswertung und betrieblichen Praxis auf diesem Gebiet ein.

Im Ergebnis der Recherchen wurden Einflussfaktoren und deren Merkmale auf die Unfallgefährdungen, insbesondere zu gefährdungsrelevanten Unebenheiten von Trittflächen analysiert und systematisiert und Vorschläge für Richtwerte unterbreitet. In der zukünftigen Arbeit sollten die vorgeschlagene Systematisierung der Merkmale sowie die Richtwerte Berücksichtigung finden, um in der Unfallauswertung und Gefährdungsbeurteilung aussagefähigere Verallgemeinerungen und gezieltere Ursachen finden zu können.

Die vorgeschlagenen Richtwerte dürften des Weiteren bei der Erarbeitung der Arbeitsstättenregeln ASR A1.5/1,2 „Fußböden“ und ASR A1.8 „Verkehrswege“ durch die Arbeitsgruppen des Arbeitsstättenausschusses (ASTA) und gegebenenfalls nachfolgender Handlungshilfen (z. B. BGI) durch zuständige Fachausschüsse von Interesse sein.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden biomechanische Untersuchungen im beschränkten Umfang durchgeführt. Ziel war es, ein geeignetes Verfahren für die Abbildung des Bewegungsablaufs und deren kritischen Phasen zu finden.

Als Defizite für zukünftige Folgeuntersuchungen können angesehen werden:

- Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Einflussfaktoren, insbesondere Wahrnehmungsfaktoren (Beleuchtung, Farbe u. a.) im Zusammenhang mit Fußbodengestaltung bzw. -beschaffenheit,
- Ganganalysen im größeren Umfang zur Bestimmung sturzrelevanter, kritischer Phasen und gegebenenfalls individueller Gangmuster.

13 Literaturverzeichnis

[1] **Fischer, H.:** Beurteilung der Rutschsicherheit von Fußböden. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 2005 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Sonderschrift, S 84)

[2] **Lüther, S.:** Gesundheitsschutz in Zahlen 2004. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2006

[3] **Hoffmann, B.; Rostek, R.:** Arbeitsunfallstatistik 2002, Sankt Augustin: HVBG (2004)

[4] **Hoffmann, B.; Rostek, R.:** BGZ-Report Arbeitsunfallstatistik 1997, Sankt Augustin: HVBG (1999)

[5] **Hoffmann, B.; Rostek, R.:** BGZ-Report Arbeitsunfallstatistik 2001, Sankt Augustin: HVBG (2003)

[6] **Paridon, H.:** BGAG-Report 1/05 Entstehung von Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle, Sankt Augustin: HVBG (2005)

[7] **Jühlig, J.; Lux, R.:** Unfallschwerpunkt: Stolpern, Rutschen, Stürzen. In: Brücke 1/04

[8] **Kohstall, T.; Bogs, C.:** Aktion: Sicherer Auftritt - Unfallzahlen und Unfallkosten. Die BG. September 2004, S.476-480

[9] **Ahlbäumer, G.; Opara, D.:** Umknickunfälle. Die BG. Oktober 2005, S. 616-621

[10] **Skiba, R.; Bonefeld, X.; Mellwig, D.:** Voraussetzung zur Bestimmung der Gleitsicherheit beim menschlichen Gang. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Nr. 37, 4/1983

[11] **Carlsöö, S.; Mayr, J.:** Die Bestimmung des Gleitens und des Gleitrisikos beim normalen Gang. Bericht der Fliesen-Beratungsstelle e.V., Großburgwedel, 1968

[12] **Skiba, R.; Kuschefski, A.; Cziuk, N.:** Entwicklung eines normgerechten Prüfverfahrens zur Ermittlung der Gleitsicherheit von Schuhsohlen, Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 1987 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz: Forschung, Fb 526)

[13] **Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb.** Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 2001 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Sonderschrift, S 42)

[14] **Fischer, H.; Weißgerber, B.:** Treppen - funktionell, nutzerfreundlich, sicher. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2006 (Quartbroschüre)

[15] **Flügel, B.; Greil, H.; Sommer, K.:** Anthropologischer Atlas. Verlag Minerva-Edition Wissen, 1986

[16] **Jürgens, H.W.; Aune, I.A.; Pieper, U.:** Internationaler anthropometrischer Datenatlas. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, 1989

[17] **Pauwels, F.:** Gesammelte Abhandlungen zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates. Springer-Verlag, Berlin, 1965

[18] **Mittlmeier, T.; Morlock, M.:** Statische und dynamische Belastungsmessungen am posttraumatischen Fuß. Orthopäde (1991) 20: S. 22-32

[19] **Bär, J.:** Ganganalyse zur bewegungstherapeutischen Beurteilung des Konzeptes der Masai Barfuß Technologie (MBT). Diplomarbeit. Medizinisch-technische Akademie für den physiotherapeutischen Dienst. Innsbruck, 2001

[20] **Karamanidis, K.; Arampatzis, A.; Brüggemann, G.-P.:** Strategie zur Vermeidung von Stürzen im Falle des Stolperns. Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Biomechanik und Orthopädie, Abschlussbericht. Köln, 2004 (Auftraggeber: Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten)

[21] **HACKER, W.:** Allgemeine Arbeitspsychologie, Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber, 1998

[22] **MUSAHL, H.-P.:** Gefahrenkognition. Heidelberg: Asanger 1997

[23] **FISCHER, H. & WEIßGERBER, B.:** Sicheres Begehen von Treppen - ergonomische, psychologische und technische Aspekte. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 2001 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschung, Fb 927)

[24] **BURKARDT, F.:** Gehen von A nach B. In: BURKARDT, F. & WINKLMEIER, C. (Hrsg.): Psychologie der Arbeitssicherheit, 7. Workshop. Heidelberg: Asanger 1994

[25] **MUSAHL, H.-P.:** Gehwege: Wenn gut - dann gefährlich? Zur Gefahrenkognition bei Fahrungsunfällen im Bergbau. In: Der Mensch und seine Risiken in Gesellschaft, Technik und Umwelt - psychologisch, pädagogisch, soziologisch. Hrsg.: P. Compes. XIII. Internationales Sommer-Symposium der Gesellschaft für Sicherheitswissenschaft. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, 1992

[26] **Falls on Floors.** Data-Sheet I-495-Reaf. 86, National Safety Council. Safety & Health, 4/1987, 51-55

[27] **Nagata, H.:** Occupational accidents while walking on stairways. Safety Science, 14 (1991), 199-211

[28] **Stolper- und Rutschgefahren. Schwerpunkt der Unfallverhütung.** In: sicher arbeiten 3/1993, S. 67-74

[29] **TIDEIKSAAR, R.:** Stürze und Sturzprävention. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber, 2000

[30] **LECLERCQ, S.:** Prevention of Same Level Falls. In: Journal of Safety Research, Vol. 30, No. 2, 103-112, 1999

[31] **Dörr, R.; Kahl-Mentschel, A.; Lehder, G.; Lins, S.; Wienhold, L.:** Umsetzung des Arbeitsstättenrechts in Klein- und Mittelbetrieben. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Gründruck (Abschlussbericht des Projektes F 1891), 2004

[32] **Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (Hrsg.):** Handlungsanleitung zur Beleuchtung von Arbeitsstätten: Gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für Tageslicht in Gebäuden, künstliches Licht in Gebäuden, künstliches Licht im Freien, Sicherheitsbeleuchtung. LASI LV 41. Mai 2005

[33] **Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hrsg.):** Licht für Treppen und Flure. Lichtforum 44, 2007

[34] **Ahlbäumer, G.; Unger, A.:** Biomechanische Überlegungen beim Aufbau von Sicherheitsschuhen zur Vermeidung von Sprunggelenksverletzungen. Sicher ist sicher - Arbeitsschutz aktuell. Band 55 (2004), Nr. 2, S. 60-62

[35] **Ahlbäumer, G.; Opara, D.:** Umknickunfälle. Die BG. Oktober 2005, S. 616-621

[36] **Bremers, M.; Franken, C.:** Unfallvermeidung durch gutes Schuhwerk. Arbeitsschutz aktuell. Band 14 /2003), Nr. 8, S. 301-303

[37] **Informationen der Fa. Elten GmbH.** Ostwall 7-9, 47589 Uedem

[38] **Walther, M.:** Schuhkomfort und Verletzungsprophylaxe. Sicherheitsingenieur. Dezember 2005, S. 44-45

[39] **Matheis, K.; Haage, T.:** Aktuelle Anforderungen an einen Sicherheitsschuh aus medizinisch-technischer Sicht. ASU protect. 2004 Nr. 1, S. 11-13

[40] **Rentrop, M.:** Schicker als ein Gipsbein. Schuhe für einen sicheren Auftritt. Arbeit und Gesundheit. 2003, Nr. 6, S. 6-9

[41] **Durchtrittsicher ohne Stahlzwischensohle.** In: Sicherheitsingenieur 5/2006, S. 27

[42] **Berger, J.:** Auch beim Sicherheitsschuh: Auf die inneren Werte kommt es an. Die BG 10/05, S. 626-629

[43] **Stöckelschuhe: Schön, aber ungesund.** Schuh-Technik, Oktober 1998, S. 35

[44] **Hauptmanns, U.; Knetsch, T.; Marx, M.:** Gefährdungsbäume zur Analyse von Unfällen und Gefährdungen. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 2004 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschung, Fb 1028)

14 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

		Seite
Abb. 3.1	Stütz- und Schwebphasen im Schrittrhythmus (nach [10])	10
Abb. 3.2	Schwerpunktverlagerung beim Schrittzyklus - horizontaler Geradeausgang ohne Belastung (nach [11] aus [12])	11
Abb. 3.3	Erhöhungen (Beispiele)	13
Abb. 3.4	Vertiefungen (Beispiele)	13
Abb. 3.5	Fußangeln (Beispiele)	13
Abb. 3.6	Beispiel für seitliches Umknicken	14
Tab. 4.1	Gefährdungsrelevante Gestaltungsmerkmale aus BGV/BGR/BGI	15
Tab. 4.2	Gefährdungsrelevante Gestaltungsmerkmale aus Normen	17
Tab. 4.3	Gefährdungsrelevante Gestaltungsmerkmale aus der Fachliteratur	18
Abb. 4.1	Zuordnung der recherchierten Werte zum Anwendungsbereich sowie zur Regelungsebene im nationalen Vorschriften- und Regelwerk	21
Abb. 5.1	Beispiel für Bewegungssequenzen des rechten Fußes für einen Schrittzyklus mit kritischen Phasen der Schuhspitze und des Absatzes	24
Abb. 7.1	Warnzeichen nach BGV A8	37
Abb. 7.2	Sicherheitskennzeichnung nach DIN 4844	38
Abb. 8.1	Spitzensprengung einer Schuhspitze	42
Abb. 9.1	Richtwerte für gefährliche Erhöhungen	44
Abb. 9.2	Richtwerte für gefährliche Vertiefungen	45
Abb. 10.1	Beispiel für Überdeckung von Versorgungsleitungen	46
Abb. 10.2	Kabelbrücke für Überdeckung von IT-Kabeln	46
Abb. 10.3	Lattenroste mit angeschrägter Randgestaltung und mit Spalten	47
Abb. 10.4	Rinnenfliese mit angeschrägten Rändern	47
Anh., Tab. 1	Länderverzeichnis	59
Anh., Tab. 2	Stufungen in Belägen	60
Anh., Tab. 3	Schrägen	61
Anh., Tab. 4	Schwellen	61
Anh., Tab. 5	Taktile Elemente	62
Anh., Tab. 6	Spalten in Belägen	62
Anh., Tab. 7	Öffnungen in Belägen	62
Anh., Tab. 8	Unterschneidung von Treppenstufen	63
Anh., Tab. 9	Unterschneidungswinkel von Treppenstufen	63
Anh., Tab. 10	Versuchspersonen - Schuhwerk	64
Anh., Abb. 1	Getragenes Schuhwerk der VP1 bis VP6	64
Anh., Tab. 11	Ergebnisse Durchschwingen rechter Fuß - minimaler Abstand zum Boden	65
Anh., Tab. 12	Ergebnisse Anstiegswinkel linker Fuß	65

15 Anhang

15.1 Vorschriften und Regeln

EU-Richtlinien

Richtlinie 92/58/EWG des Rates über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz (Neunte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) vom 24. Juni 1992 (ABl. EU Nr. L 245 S. 23)

Gesetze und Verordnungen

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I Nr. 44 S. 2179, zuletzt geänd. durch Art. 388 Arbeitsstättenverordnung (v. 31.10.2006). BGBl. I S. 2407

Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR)

ASR 7/3 Künstliche Beleuchtung. November 1993

ASR 7/4 Sicherheitsbeleuchtung. März 1981

ASR 8/1 Fußböden. Mai 1977

ASR 17/1,2 Verkehrswege. Januar 1988

ASR 41/3 Künstliche Beleuchtung für Arbeitsplätze und Verkehrswege im Freien. November 1993

ASR A1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung. Juni 2007

Vorschriften und Regelwerk der Berufsgenossenschaften

Berufsgenossenschaftliche Vorschriften (BGV)

BGV A8 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz

BGV C5 Abwassertechnische Anlagen

BGV C10 Luftfahrt

BGV C22 Bauarbeiten

Berufsgenossenschaftliche Regeln (BGR)

BGR 110 Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit in Gaststätten

BGR 111 Arbeiten in Küchenbetrieben

BGR 112 Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit in Backbetrieben

BGR 131 Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten:
Teil 1: Handlungshilfe für den Unternehmer
Teil 2: Leitfaden zur Planung und zum Betrieb der Beleuchtung

BGR 142 Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Luftfahrzeug-Instandhaltung

BGR 157 Fahrzeug-Instandhaltung

BGR 181 Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr

BGR 191 Benutzung von Fuß- und Knieschutz

BGR 202 Arbeiten in Verkaufsstellen

BGR 215 Herstellen von Reinigungs- und Pflegemitteln

BGR 216 Optische Sicherheitsleitsysteme (einschließlich Sicherheitsbeleuchtung)

BGR 229 Arbeiten in der Fleischwirtschaft

Berufsgenossenschaftliche Informationen (BGI)

BGI 532 Sitz-Kassenarbeitsplätze

BGI 561 Treppen

BGI 588 Metallroste

BGI 650 Bildschirm- und Büroarbeitsplätze - Leitfaden für die Gestaltung

BGI 652 Handbuch für Hausmeister, Hausverwalter und Beschäftigte in der Haustechnik

BGI 717 Sicher gehen und stehen - Fallstudie

BGI 742 Arbeiten an Bildschirmgeräten

BGI 770 Gestaltung von Sicherheitsräumen, Sicherheitsabständen und Verkehrswegen bei Eisenbahnen

BGI 810 Sicherheit bei Produktion und Veranstaltungen - für die Praxis; Fernsehen, Hörfunk, Film, Theater, Veranstaltungen

BGI 810-1 Sicherheit bei Produktion und Veranstaltungen - Leitfaden; Fernsehen, Hörfunk, Film, Theater, Veranstaltungen

BGI 835 Innenreinigungsanlagen für Eisenbahnfahrzeuge zur Personenbeförderung

BGI 860-1 Papierherstellung und Ausrüstung, Sichere Maschinen und Anlagen - Teil 1: Gemeinsame Anforderungen

BGI 869 Betriebliches Transportieren und Lagern

BGI 889 Leitfaden für eine präventive Arbeitsgestaltung in der Tierpflege

BGI 5001 Büroarbeit - sicher, gesund und erfolgreich, Praxishilfen für die Gestaltung

BGI 5016 Spielstätten - sicher und erfolgreich; Handlungshilfe für eine präventive Gestaltung der Arbeit

ZH 1/535 (1976) Sicherheitsregeln für Büro-Arbeitsplätze (ungültig)

Normen

DIN 4844-1 : 05/2005	Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 1: Gestaltungsgrundlagen für Sicherheitszeichen zur Anwendung in Arbeitsstätten und in öffentlichen Bereichen
DIN 4844-2 : 02/2001	Sicherheitskennzeichnung - Teil 2: Darstellung von Sicherheitszeichen
DIN 5034-1 : 10/1999	Tageslicht in Innenräumen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN 5035-2 : 09/1990	Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 2: Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien
DIN 18202 : 10/2005	Toleranzen im Hochbau - Bauwerke
DIN 18318 : 10/2006	VOB Teil C : ATV: Verkehrswegebauarbeiten, Pflasterdecken, Pflasterbeläge und Einfassungen
DIN 18333 : 12/2006	VOB Teil C: ATV: Betonwerksteinarbeiten
DIN 18352 : 10/2006	VOB Teil C: ATV: Fliesen- und Plattenarbeiten
DIN 18353 : 10/2006	VOB Teil C: ATV: Estricharbeiten
DIN 18367 : 12/2006	VOB Teil C: ATV: Holzpflasterarbeiten
DIN 18799-1 : 08/1999	Steigleitern an baulichen Anlagen - Teil 1: Steigleitern mit Seitenholmen; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfungen
DIN 24531-1 : 04/2006	Roste als Stufen -Teil1: Gitterroste aus metallischen Werkstoffen
DIN 24531-3 : 11/2006	Roste als Stufen -Teil3: Kunststoffgitterroste
DIN 24537-1 : 04/2006	Roste als Bodenbelag - Teil 1:Gitterroste aus metallischen Werkstoffen
DIN 24537-3 : 11/2006	Roste als Bodenbelag - Teil 3: Kunststoffgitterroste
DIN EN 1034-1 : 10/2000	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitstechnische Anforderungen für Konstruktion und Bau von Maschinen der Papierherstellung und Ausrüstung - Teil 1: Gemeinsame Anforderungen
DIN EN 1034-5 : 03/2006	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitstechnische Anforderungen an Konstruktion und Bau von Maschinen der Papierherstellung und Ausrüstung - Teil 5: Querschneider
DIN EN 1838 : 07/1999	Angewandte Lichttechnik - Notbeleuchtung
DIN EN 12464-1 : 03/2003	Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen
DIN EN 12464-2 : 04/2003-04	Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Arbeitsplätze im Freien

DIN EN ISO 14122-2 : 01/2002	Sicherheit von Maschinen - Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen - Teil 2: Arbeitsbühnen und Laufstege
DIN EN ISO 14122-3 : 01/2002	Sicherheit von Maschinen - Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen - Teil 3: Treppen, Treppenleitern und Geländer
DIN EN ISO 20344 : 10/2004	Persönliche Schutzausrüstung - Prüfverfahren für Schuhe
DIN EN ISO 20344 : 06/2006 Berichtigung 1	Persönliche Schutzausrüstung - Prüfverfahren für Schuhe
DIN EN ISO 20345 : 10/2004	Persönliche Schutzausrüstung - Sicherheitsschuhe
DIN EN ISO 20346 : 10/2004	Persönliche Schutzausrüstung - Schutzschuhe
DIN EN ISO 20347 : 10/2004	Persönliche Schutzausrüstung - Berufsschuhe
TGL 30 033/01 : 11/1988	DDR-Standard, Gesundheits- und Arbeitsschutz: Trittsicherheit in Arbeitsstätten - Teil 1: Allgemeine Festlegungen für Trittflächen

15.2 Tabellen zur Recherche des internationalen Vorschriften- und Regelwerks

Anh., Tab. 1 Länderverzeichnis

Land (Bezeichnung nach der Liste der Staatennamen und ihrer Ableitungen im Deutschen des Ständigen Ausschusses für geographische Namen - StAGN)	**Kurzbezeichnung** nach ISO 3166-1
Spanien	ES
Italien	IT
Irland	IE
Japan	JP
Vereinigtes Königreich von Großbritannien und Nordirland	GB
Norwegen	NO
Neuseeland	NZ
Vereinigte Staaten von Amerika	US

Anh., Tab. 2 Stufungen in Belägen

Land	Höhe [mm]	Gesetz / VO	Leitlinie	Norm	Empfehlung	Bau	Eingeschr. Mobilität	Bemerkung	Quelle
ES	6		x			x			Documento Básico SU, Seguridad de utilización
GB	5		x			x		Außenbereich, an Belagfugen	Building Regulation 2000, Guide M, Access to and Use of Buildings
IT	2	x					x		decreto ministeriale 14 giugno 1989, n. 236
JP	5		x				x		Consideration for the Aged and others' of the Evaluation Method Standards under the Housing Quality Assurance Act (Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification No. 1347 of 2001)
NO	0,8 1,2 2			x	x	x		Für Fliesen Toleranzklasse 1 Toleranzklasse 2 (bevorzugt) Toleranzklasse 3 (Maximalwert)	520.008 Toleranser. Anbefalte toleransekrav til ferdig overflate, NS 3420 Beskrivelsestekster for bygg, anlegg, installasjoner. 3. utg., 1999
	1			x	x	x		Für gegossenen Belag aus Beton, Toleranzklasse 3	
	 7 9 11			x	x	x		Straßensteinbelag Toleranzklasse 3 4 5	
	 4 6 8			x	x	x		Natursteinpflaster Toleranzklasse 3 4 5	
	2			x	x	x		Betonplatten, Werkstein, Ziegel, Toleranzklasse 2	
US	6			x		x			ICC/ANSI A 117.1-1998 Accessible and usable buildings and facilities

Anh., Tab. 3 Schrägen

Land	Schräge Höhe [mm]	Gesetz / VO	Leitlinie	Norm	Empfehlung	Bau	Eingeschr. Mobilität	Bemerkung	Quelle
US	1:2 6-13 mm			x		x			ICC/ANSI A 117.1-1998 Accessible and usable buildings and facilities
ES	25 % 50 mm		x			x			Documento Básico SU, Seguridad de utilización

Anh., Tab. 4 Schwellen

Land	Höhe [mm]	Gesetz / VO	Leitlinie	Norm	Empfehlung	Bau	Eingeschr. Mobilität	Bemerkung	Quelle
GB	15		x			x		Eingänge	Building Regulation 2000, Guide M, Access to and Use of Buildings
IE	15		x				x	Eingänge	Building Regulations 2000, Technical Guidance Document M, Access for People with Disabilities
IE	10		x				x	Türschwellen innen	Building Regulations 2000, Technical Guidance Document M, Access for People with Disabilities
JP	20		x				x	Eingänge	Consideration for the Aged and others' of the Evaluation Method Standards under the Housing Quality Assurance Act (Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification No. 1347 of 2001)
NZ	20		x			x		Eingänge	Approved Document for New Zealand Building Code, Clause D1 Access Routes
US	13			x		x		Eingänge	ICC/ANSI A 117.1-1998 Accessible and usable buildings and facilities

Anh., Tab. 5 Taktile Elemente

Land	Höhe [mm]	Gesetz / VO	Leitlinie	Norm	Empfehlung	Bau	Eingeschr. Mobilität	Bemerkung	Quelle
GB	5		x			x		Außenbereiche	Building Regulation 2000, Guide M, Access to and Use of Buildings
	6		x			x		Im Bereich 400 bis 1200 mm vor Treppen	
US	5			x		x		Vor Plattform-kanten	ICC/ANSI A 117.1-1998 Acces-sible and usable buildings and facilities

Anh., Tab. 6 Spalten in Belägen

Land	Breite [mm]	Gesetz / VO	Leitlinie	Norm	Empfehlung	Bau	Eingeschr. Mobilität	Bemerkung	Quelle
GB	10		x			x		Bei max. Tiefe von 5 mm, Außenbereich	Building Regulation 2000, Guide M, Access to and Use of Buildings
	5		x			x		Ohne Tiefenbegren-zung, Außenbereich	
IT	5	x					x		decreto ministeriale 14 giugno 1989, n. 236

Anh., Tab. 7 Öffnungen in Belägen

Land	∅ [mm]	Gesetz / VO	Leitlinie	Norm	Empfehlung	Bau	Eingeschr. Mobilität	Bemerkung	Quelle
ES	15		x			x			Documento Básico SU, Seguridad de utilización
IT	20	x					x		decreto ministeriale 14 giugno 1989, n. 236
US	13			x		x			ICC/ANSI A 117.1-1998 Accessible and usable buildings and facilities

Anh., Tab. 8 Unterschneidung von Treppenstufen

Land	Wert [mm]	Gesetz / VO	Leitlinie	Norm	Empfehlung	Bau	Eingeschr. Mobilität	Bemerkung	Quelle
GB	≤25		x			x			Building Regulation 2000, Guide M, Access to and Use of Buildings
IE	15-25		x				x		Building Regulations 2000, Technical Guidance Document M, Access for People with Disabilities
IE	≥16		x			x		Offene Treppen	Building Regulations 1997 Technical Guidance Document K, Stairways, Ladders, Ramps and Guards
IT	20-25	x					x	Offene Treppen	decreto ministeriale 14 giugno 1989, n. 236
NZ	15-25		x			x		Offene Treppen	Approved Document for New Zealand Building Code, Clause D1 Access Routes
	0-25		x			x		Geschlossene Treppen	
US	≤38			x		x			ICC/ANSI A 117.1-1998 Accessible and usable buildings and facilities

Anh., Tab. 9 Unterschneidungswinkel von Treppenstufen

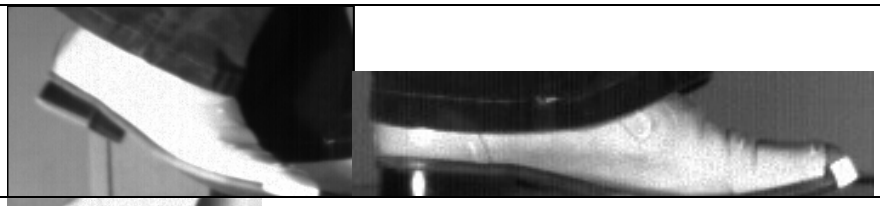
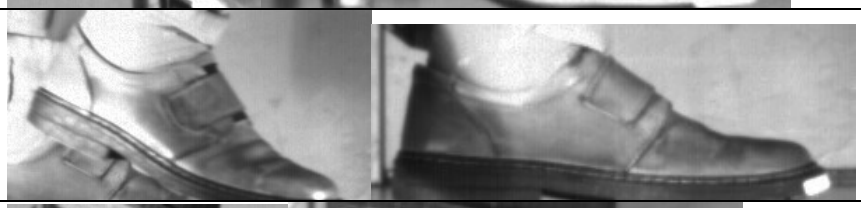
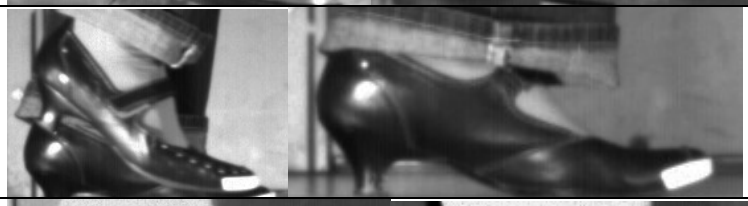
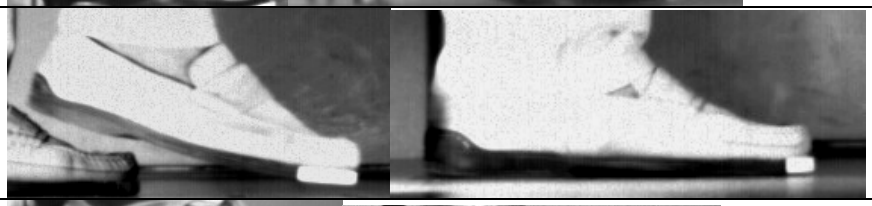
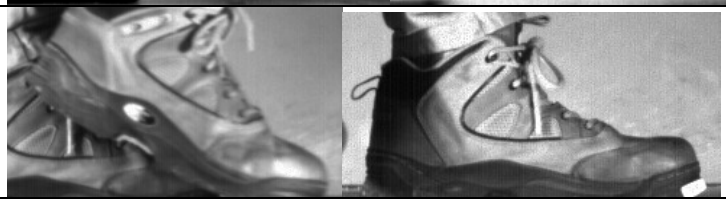
Land	Wert [°]	Gesetz / VO	Leitlinie	Norm	Empfehlung	Bau	Eingeschr. Mobilität	Bemerkung	Quelle
ES	≤15		x			x		Zur Vertikalen	Documento Básico SU, Seguridad de utilización
GB	≥60		x			x		Zur Horizontalen	Building Regulation 2000, Guide M, Access to and Use of Buildings
IT	75-80	x					x	Zur Horizontalen	decreto ministeriale 14 giugno 1989, n. 236
NZ	≥60		x			x		Zur Horizontalen	Approved Document for New Zealand Building Code, Clause D1 Access Routes
US	≤30			x		x		Zur Vertikalen	ICC/ANSI A 117.1-1998 Accessible and usable buildings and facilities

15.3 Ganganalysen - Untersuchungsergebnisse

Anh., Tab. 10 Versuchspersonen - Schuhwerk

Versuchs-person (VP)	Schuhbeschreibung*)	Spitzenkrümmung**)
VP1	Herrenschuh, flacher Absatz	14 mm
VP2	Damenschuh mit Absatz	6 mm
VP3	Herrenschuh, flacher Absatz	16 mm
VP4	Damenschuh mit Absatz	15 mm
VP5	Herrenschuh ohne Absatz	0 mm
VP6	Damenschuh mit Absatz	18 mm

*) Bilder siehe Anh. Abb. 1
**) senkrechter Abstand Spitze zum Fußboden

VP1	
VP2	
VP3	
VP4	
VP5	
VP6	

Anh., Abb. 1 Getragenes Schuhwerk der VP1 bis VP6

Anh., Tab. 11 Ergebnisse Durchschwingen rechter Fuß

Versuchsperson (VP)	Minimaler Abstand zum Boden in mm											
	an der Schuhspitze						am Absatz					
	Einzelwerte					Mittelwert	Einzelwerte					Mittelwert
VP1	7,9	-	6,6	6,6	6,6	**7**	2,7	2,7	2,7	4,0	1,5	**3**
VP2	19,4	9,2	9,2	22,0	10,4	**14**	2,7	4,0	16,9	15,6	15,6	**11**
VP3	16,9	16,9	16,9	8,0	13,1	**14**	25,8	8,0	8,0	6,7	0,4	**10**
VP4	34,4	18,8	27,9	20,1	31,8	**27**	13,6	4,5	18,8	8,4	13,6	**12**
VP5	11,0	7,1	9,7	9,7	17,5	**11**	16,2	14,9	17,5	14,9	16,2	**16**
VP6	12,4	30,4	38,1	31,7	29,1	**28**	14,9	23,9	23,9	21,4	21,4	**21**

Anh., Tab. 12 Ergebnisse Anstiegswinkel linker Fuß

Versuchsperson (VP)	Anstieg in °, Einzelwerte					Mittelwert
VP1	10,6	8,4	8,4	9,5	11,9	**9°**
VP2	10,2	10,9	9,4	k.E.*	10,6	**10°**
VP3	11,2	9,9	9,4	12,7	15,3	**11°**
VP4	22,1	14,5	11,5	22,2	16,6	**18°**
VP5	22,8	24,0	17,9	-	-	**22°**
VP6	2,1	27,8	30,4	37,9	35,4	**30°**