

bfu-Grundlagen

Einfluss von Sohlenmaterial und Profil auf die Gleitfestigkeit

EMPA-Prüfbericht Nr. 124380

Autoren:
Siegfried Derler, Friedrich Kausch

St. Gallen, Bern 1997

Impressum

Herausgeberin	bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung Postfach 8236 CH-3001 Bern Tel. +41 31 390 22 22 Fax +41 31 390 22 30 info@bfu.ch www.bfu.ch Bezug auf www.bfu.ch/bestellen , Art.-Nr. 2.235
Autoren	Siegfried Derler, Technischer Berater, EMPA Friedrich Kausch, EMPA
© bfu 1997	Alle Rechte vorbehalten; Reproduktion (z. B. Fotokopie), Speicherung, Verarbeitung und Verbreitung sind mit Quellenangabe (s. Zitationsvorschlag) gestattet.
Zitationsvorschlag	Derler S, Kausch F. <i>Einfluss von Sohlenmaterial und Profil auf die Gleitfestigkeit. EMPA-Prüfbericht Nr. 124380</i> . St. Gallen, Bern: EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung; 1997. bfu-Grundlagen.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Überblick über die durchgeführten Untersuchungen	1
1 Literaturüberblick	1
1.1 Sohlenmaterial	2
1.2 Sohlenprofil	3
1.3 Oberfläche des Sohlenmaterials	5
1.4 Sohlengestalt allgemein	6
1.5 Literaturverzeichnis	7
2 Untersuchung von 27 Kombinationen von Sohlenmaterialien und Profilen	9
2.1 Beschreibung der Sohlenmuster	9
2.2 Messbedingungen und Messmethoden	10
2.3 Allgemeine Resultate	11
2.4 Vergleiche zwischen einzelnen Sohlenmustern	14
2.5 Einfluss der Sohlenhärte	16
2.6 Einfluss der Auflagefläche	17
3 Statistische Auswertung von EMPA-Messdaten	18
4 Schlussfolgerungen	20
Projektbeteiligte	20
Tabellenanhänge 1 - 5	21
Beilagen 1 und 2	

Überblick über die durchgeführten Untersuchungen

Die Untersuchungen zum Einfluss von Sohlenwerkstoff und Profil auf die Gleitfestigkeit von Schuhen beinhalteten die folgenden Punkte:

1. Literaturrecherche (Kapitel 1)
2. Gleitreibmessungen an 27 Kombinationen von Sohlenmaterialien und Sohlenprofilen und Untersuchung der Sohlenhärte und Sohlenuflagefläche als Einflussfaktoren auf die Gleitfestigkeit von Schuhsohlen (Kapitel 2)
3. Statistische Analyse von Messdaten, die die EMPA während der letzten Jahre im Rahmen von Gleitfestigkeitsprüfungen an Schuhen gewonnen hat (Kapitel 3)

1 Literaturüberblick: Einfluss von Sohlenmaterial und Profil auf die Gleitfestigkeit

Bis heute existieren relativ wenige wissenschaftliche Untersuchungen über die Gleitfestigkeit von Schuhsohlen, und viele Fragen betreffend optimaler Wahl von Sohlenmaterial und Sohlenprofil sind offen geblieben. Falls bei der Herstellung von Sohlen überhaupt auf die Gleitfestigkeit geachtet wird (auch andere Faktoren sind zu berücksichtigen), werden vielfach Regeln angewendet, die auf praktischen Erfahrungen, z.B. im Zusammenhang mit Autoreifen, oder auf allgemeinen Erkenntnissen über das Reibverhalten von Polymeren beruhen.

Bereits Mitte der 60-er Jahre lagen verschiedene Erkenntnisse über typische Sohlenmaterialien vor [3], die zum Teil heute noch Gültigkeit haben; zum Beispiel:

- Weiche Sohlen sind im allgemeinen gleitfester als harte Sohlen.
- Auf trockenen Böden sind weiche Sohlen mit feinen Profilen am gleitfestesten.
- Gummisohlen sind auf trockenen Böden gleitfest, auf nassen Böden in verringertem Mass und auf öligen Böden rutschgefährlich.
- Leder ist auf feuchten Böden aufgrund seiner Eigenschaft zu quellen gleitfester als auf trockenen Böden, die Gleitfestigkeit ist insgesamt niedrig.
- Fettige, ölige oder durch Lösungsmittel aufgeweichte Sohlen sind ungefähr gleich gleitfest wie nackte Füße.

Um die Gleitfestigkeit eines Schuhs zu verbessern, müssen Sohlenmaterial und Sohlenprofil optimiert werden. Allerdings gibt es für die Kombination von Sohlenmaterial und Profil keine allgemeingültigen Lösungen, denn neben der Gleitfestigkeit muss eine Sohle, abhängig von der Anwendung, stets auch anderen Anforderungen genügen (z.B. Chemikalienresistenz bei Arbeitsschuhen oder Elastizität bei Sportschuhen). In der Praxis werden ausserdem mit derselben Sohle sehr unterschiedliche Situationen wie trockene, verschmutzte, nasse oder vereiste Bodenbeläge angetroffen, für welche kaum gleichzeitig maximale Gleitfestigkeit erreicht werden kann. Die allgemeine Erfahrung zeigt nämlich, dass Sohlenmaterial- oder Profiländerungen, die die Gleitfestigkeit im trockenen Zustand verbessern, für nasse Bedingungen zum Gegenteil führen und umgekehrt [24].

Eine weite Verbreitung von Schuhsohlen mit erhöhter Gleitfestigkeit würde in Zukunft zu einer Reduktion von Ausrutschunfällen beitragen. Um diesem Ziel näherzukommen, scheinen zwei Wege vielversprechend, nämlich:

1. Die Entwicklung gleitfester Schuhsohlen für Spezialanwendungen, d.h. von Sohlen, die weitgehend auf bestimmte Bodenbeläge und die gefährlichsten zu erwartenden Verschmutzungen abgestimmt sind [5,6].
2. Die Verbesserung der durchschnittlichen Gleitfestigkeit bei den breit angewendeten Schuhsohlen, indem ungeeignete Sohlen nach und nach aus der Produktion ausgeschieden werden und bei der Sohlenherstellung vermehrt Gestaltungsrichtlinien berücksichtigt werden.

Im folgenden Überblick werden die in der Fachliteratur diskutierten Sohlenparameter, ihr Einfluss auf die Gleitfestigkeit sowie daraus resultierende Richtlinien für die Gestaltung von Schuhsohlen zusammengestellt.

1.1 Sohlenmaterial

1.1.1 Chemische Zusammensetzung

Verschiedene Autoren sind der Ansicht, dass der Sohlenwerkstoff den grössten Einfluss auf die Gleitfestigkeit einer Sohle besitzt [5,18,19]. Slusarski und Stanislawka [18,19] demonstrierten Einflüsse des Sohlenwerkstoffs anhand einer Reihe von produzierten und experimentellen Sohlenmaterialien. Sie stellten fest, dass sich insbesondere Plastifizierstoffe und Füllstoffe positiv auf die Gleitfestigkeit auswirken können.

In einer Untersuchung von Skiba [17] erwiesen sich Schuhsohlen aus NBR (Nitril-Butadien-Rubber, Nitrilkautschuk) im Vergleich zu Sohlen aus PVC (Polyvinylchlorid) und PU (Polyurethan) als besonders rutschfest. Die Rutschfestigkeit von PU war auf glatten, trockenen Böden vergleichsweise niedrig und auf feuchten oder verschmierten Böden ungenügend.

Gemäss Tisserand und Saulnier [21] wird mit Nitrilkautschuk- und Neoprensohlen im allgemeinen gute Gleitfestigkeit erzielt. PU-Sohlen kommen an diese Gleitfestigkeit nur heran, wenn sie speziell im Hinblick darauf entwickelt werden. Mit PVC-Sohlen wird selten eine gute Gleitfestigkeit erreicht.

Wilson [24] wertete die Gleitfestigkeit von über 500 Schuhtypen aus (Messungen auf nasser Keramik). Vulkanisierter Gummi lieferte als Sohlenmaterial im Durchschnitt die höchste Gleitfestigkeit, gefolgt von thermoplastischem Gummi, PVC, PU und EVA (Ethylvinylacetat).

Die chemische Zusammensetzung von Sohlenmaterialien ist im Detail kompliziert [6,17] und kann nicht ohne Aufwand aufgeschlüsselt werden (Polymerwerkstoffe enthalten Anteile von Weichmachern, Treibmitteln, Füllstoffe, Russ etc.). Hinzu kommt, dass die industrielle Herstellung von Sohlenmaterialien selbst mit Prozessschwankungen verbunden ist, die zu gewissen Fluktuationen in den Gleiteigenschaften führen können (vgl. 1.1.2). Statt Sohlenmaterialien chemisch zu analysieren, beschränkt man sich deshalb in der Regel darauf, eine Sohle mit Hilfe weniger mechanischer Parameter zu charakterisieren [6]. Eine zentrale Grösse ist dabei die Sohlenhärte (vgl. Abschnitt 1.1.3).

1.1.2 Fabrikation und Verarbeitung

Normale Schwankungen und Variationen in den Herstellungsbedingungen, wie Dauer und Temperatur der Vulkanisation, Abnutzung der Gussformen, Auskühlungsbedingungen nach Entnahme aus der Form usw. können die Gleitfestigkeit von Schuhsohlen beeinflussen [6].

Die Vulkanisation von Polymeren bewirkt eine Vernetzung der Molekülketten und prägt die mechanischen Eigenschaften von Sohlenwerkstoffen entscheidend mit. Höhere Vernetzung schränkt die molekularen Bewegungsvorgänge im Material ein, verringert dadurch den Hysteresanteil der Reibung (vgl. 1.1.4) und führt zu kleineren Gleitreibzahlen.

Trennmittel, welche verwendet werden, um PU-Sohlen aus den Herstellungsformen zu lösen, können an der Oberfläche haften bleiben und die Gleitfestigkeit der Sohle im Neuzustand herabsetzen [6,16,24].

Um Schuhsohlen besser an Schuhe verkleben zu können, werden sie nach der Fabrikation mitunter einer Halogenisierung unterzogen. Der Verdacht, dass dieser Prozess die Gleitfestigkeit von Schuhsohlen beeinträchtigen könnte, hat sich nicht erhärtet [6].

1.1.3 Sohlenhärte

Gewöhnlich liefern weichere Schuhsohlen höhere Gleitfestigkeit, weil sie engeren Kontakt mit Bodenrauheiten schliessen können und eine grössere Kontaktfläche die Adhäsion (vgl. 1.1.4) vergrössert. Experimentelle Untersuchungen stützen diese Aussage [17,19,24]. Wegen der geringen Verschleissfestigkeit weicher Materialien scheint die untere Grenze für Sohlenhärten bei 50 - 55 Shore A zu liegen [17].

Wilson [24] fand für PVC einen ausgeprägteren Einfluss der Sohlenhärte als für Gummi. Für sehr weiche und profillose Schuhsohlen, z.B. aus PVC oder SBR (Styrol-Butadien-Rubber), kann sich der allgemeine Trend auf nassen Böden umkehren. Wilson warnte daher vor extrem weichen Schuhsohlen ohne gutes und dauerhaftes Profil.

Auch Skiba [17] bemerkte, dass weiche Sohlen, mit denen auf trockenen Böden höhere Reibzahlen erreicht werden, im Schmier- und Weichstoffbereich genau das Gegenteil bewirken können.

Aus einer Untersuchung von Schutzschuhen nach französischer Norm (Gleitreibungsmessung auf Stahl/Öl) schlossen Leclercq et al. [6], dass der Einfluss der Sohlenhärte auf die Gleitfestigkeit bei glatten und rutschigen Böden vernachlässigbar sei.

Im Unterschied zu kompakten Materialien scheint bei geschäumten Materialien weniger die Materialhärte, sondern eher die damit zusammenhängende Materialdichte massgebend für die Gleitfestigkeit einer Sohle zu sein [14].

1.1.4 Viskoelastische Eigenschaften

Der Reibungskoeffizient eines auf einer Fläche gleitenden Polymers setzt sich im wesentlichen aus einem Adhäsionsanteil und einem Hystereseanteil zusammen. Während der Adhäsionsanteil auf adhäsiven Bindungen zwischen den Molekülen des Polymers und der Unterlage beruht, ist der Hystereseanteil darauf zurückzuführen, dass das Polymer beim Gleiten über die Rauheiten der Unterlage zyklisch deformiert wird und dabei Energie verliert. Beide Reibungsanteile hängen eng mit den viskoelastischen Eigenschaften des Polymers zusammen [1,12,18].

1.2 Sohlenprofil

Für viskoelastische Materialien hängt der Reibungskoeffizient vom Druck auf die Reibfläche ab. Der Reibungskoeffizient nimmt mit steigender Kontaktfläche zu, mit steigender Normalkraft ab [12]. Flache, profillose Schuhsohlen sind theoretisch also günstig für die Gleitfestigkeit. Dies gilt allerdings nur für trockene Verhältnisse. Bei Anwesenheit von Zwischenmedien nimmt die Kontaktfläche zwischen Schuh und Bodenbelag und damit die Adhäsionskomponente der Reibung ab. Unter nassen Bedingungen sind Profile erforderlich, die Flüssigkeitsfilme mit Kanten durchstossen und Flüssigkeiten durch Kanäle ableiten können. Aus der Herstellung von Autoreifen lassen sich gewisse Anhaltspunkte für die Gestaltung von Sohlenprofilen übernehmen [20]. Beispielsweise gilt auch für Schuhsohlen die Faustregel: Gleitfestigkeit \times Dauerhaftigkeit = konstant.

Gemäss Tisserand und Saulnier [21] stellt das Design eines Profils immer einen Kompromiss hinsichtlich der folgenden Faktoren dar:

- Gleitfestigkeit auf Böden, die mit Feststoffen geschmiert sind
- Drainage von Flüssigkeiten
- Unterbrechen hydrodynamischer Filme

Bei der Gestaltung eines Profils müssen die Materialeigenschaften mitberücksichtigt werden; es ist nicht möglich, für die verschiedenen Sohlenmaterialien ein einheitliches Profil zu empfehlen. Auf rauhen Bodenbelägen wird der Einfluss des Sohlenprofils auf die Gleitfestigkeit im allgemeinen als gering eingestuft [14,22].

Wilson [23] fasste verschiedene Gestaltungsrichtlinien für gleitfeste Schuhprofile in grafischer Form zusammen, siehe dazu Beilage 1.

1.2.1 Aufliegende Profilfläche

Während auf trockenen Böden grosse Kontaktflächen günstig für die Gleitfestigkeit sind, scheinen sich bei Wasserbenetzung aufliegende Profilflächen von 60-70 % und auf öligen Böden aufliegende Profilflächen von rund 50 % am besten zu eignen. Dies ging aus einer in Deutschland durchgeführten Untersuchung von Sohlenprofilen hervor, die aus regelmässigen Querrippen bestanden [14].

Tisserand und Saulnier [21] empfahlen im Hinblick auf Gleitfestigkeit generell 50-60 % als Verhältnis zwischen Kontaktfläche und gesamter Sohlenfläche.

1.2.2 Profilmuster

Nach Tisserand und Saulnier [21] sind regelmässige Profilmuster grundsätzlich zu bevorzugen, da Asymmetrien zu einer richtungsabhängigen Gleitfestigkeit führen würden.

Wieder [22] untersuchte 6 verschiedene Profilformen bei PU-Sohlen, wobei die Profilierung jeweils 4 mm tief war. Er wählte lauter regelmässige Muster, nämlich Längsprofil, Querprofil, Pfeilprofil vorwärts und rückwärts, Gitterprofil längs/quer und diagonales Gitterprofil. Unter trockenen Bedingungen erwies sich das Profil mit Längsstollen am günstigsten, insbesondere auf glatten Bodenbelägen. Bei Profilstollen in Querrichtung oder schräg zum Schuh führten Scherungen ent-

gegen der Gleitbewegung zur Verminderung der Kontaktfläche oder sogar zu Gleiten auf den Profilkanten. Umgekehrt jedoch lieferte das Längsprofil mit dem Zwischenmedium Öl besonders tiefe Gleitreibzahlen und schnitt auch bei nassen Verhältnissen schlechter ab als das Profil mit Querstollen. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Vorderkanten der Querprofilstollen Flüssigkeitsfilme besser durchdringen und vermehrt Formschlüsse mit den Bodenrauheiten bilden können.

1.2.3 Form und Grösse von Profilstollen

Bei der Gestaltung der Profilstollen sind sowohl Auflagefläche als auch Höhe des Stollens zu beachten, damit Scherdeformationen, welche die Auflagefläche reduzieren, minimal gehalten werden können. Das optimale Volumen von Profilstollen ist materialabhängig [6].

Als günstige Grösse für Profilstollen gaben Tisserand und Saulnier [21] Abmessungen von 8-15 mm an, Wilson [23] Abmessungen von 3-20 mm. Auf Stahl mit Öl wurde für Stollen in Längsrichtung des Fusses eine optimale Länge von ca. 4.5 cm gefunden [15]. Grönqvist [2] äusserte die Vermutung, dass die Gleitfestigkeit von Sohlenprofilen durch kleine Stollen am Absatz und grössere Stollen an der Sohlenvorderseite verbessert werden könnte.

Die Flanken von Profilstollen verlaufen günstigerweise leicht geneigt [21]. In Richtung Boden verjüngte Stollen sind einerseits stabiler und führen andererseits zu trapezförmigen Querschnitten der Zwischenräume, aus denen Flüssigkeiten gut abfliessen und Feststoffe weniger hängenbleiben. Wragge [25] beurteilte Profilstollen mit steilen Flanken und engen Stollenabständen gegenüber Stollen mit wellenförmigem Querschnitt als ungünstig.

1.2.4 Kanäle und Vertiefungen

Für das Verdrängen von Flüssigkeiten sollte ein Sohlenprofil Kanäle mit seitlichen Mündungen aufweisen. Gemäss Tisserand und Saulnier [21] bewähren sich Kanalquerschnitte mit Dimensionen von 5-10 mm. Formen und Profilelemente, in denen Flüssigkeiten eingeschlossen werden können, fördern die Bildung von Flüssigkeitspolstern und wirken sich deshalb negativ auf die Gleitfestigkeit aus. Zu vermeiden sind beispielsweise halbrunde Vertiefungen im Sohlenprofil [22], seitlich geschlossene Profilelemente [21] sowie Saugnäpfe und periphere Umrundungen [6].

Genügend Kanäle und freie Querschnitte sind im Profil insbesondere auch nötig, um Öl und Schmierstoffe herauswalken zu können [25].

1.2.5 Stollenkanten

Die äusseren Kanten und Winkel von Profilstollen sind im Zusammenhang mit Gleitfestigkeit wichtig, insbesondere die Vorderkanten [21]. Gemäss Wieder [22] sind scharfkantige Profilstollen insofern problematisch, als sie hohe Flächenpressungen erzeugen und eventuell Gleiten auf verkippten Profilkanten stattfinden kann. Mehrheitlich besteht aber die Ansicht, dass Stollen mit scharfen Vorderkanten die Gleitfestigkeit erhöhen, insbesondere unter nassen Bedingungen [6,24]. Scharfe Stollenkanten vermögen Flüssigkeitsfilme besser zu unterbrechen als gerundete Stollen. Gemäss Wilson [23] sollten bei einem gleitfesten Schuhprofil die Stollenkanten in viele Richtungen verlaufen.

1.2.6 Mikroprofile

Da Mikroreliefe auf den Profilstollen die Kontaktfläche zum Boden verkleinern und hohe Flächenpressungen verursachen, wirken sie sich in der Regel ungünstig auf die Gleitfestigkeit aus [6]. Tisserand und Saulnier [21] empfahlen deshalb, auf Mikroprofile wie z.B. Inschriften zu verzichten. Jung [5] untersuchte den Spezialfall von Punzungen, welche eher eine Mikroprofilierung als eine Makroprofilierung darstellen. Die Profiltiefe der Punzungen variierte dabei zwischen 0.3 und 1.9 mm. Für die 3 untersuchten Sohlenmaterialien (PU-Ester, PU-Ether und NBR) wurde kein Zusammenhang zwischen Profiltiefe und Gleitfestigkeit gefunden.

1.2.7 Einstreuungen

Frühere Versuche, die Gleitfestigkeit von Schuhsohlen durch Einstreuungen zu verbessern [3] sind heute überholt. Harte Sohlen mit Einstreuungen gelten als gefährlich [2]. Tisserand und Saulnier [21] empfahlen, Körnungen und Einstreuungen prinzipiell zu vermeiden.

1.3 Oberfläche des Sohlenmaterials

1.3.1 Rauigkeit

Die Rauigkeit der Sohlenoberfläche ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Gleitfestigkeit. Glatte, glänzende Sohlen gelten allgemein als rutschgefährlicher [21]. Gemäss Rowland et al. [16] ist für sicheres Gehen auf harten Bodenbelägen für die Sohlenoberfläche eine mittlere Rauhtiefe über 14 μm nötig, auf weichen Böden reichen Rauhtiefen über 10 μm . Mit mikrozellulären PU-Sohlen (siehe Kap. 1.3.2) können mittlere Rauhtiefen von 35-50 μm erzielt werden, während kompakte Gummisohlen im besten Fall auf Rauhtiefen von 25 μm kommen [16].

Dass die Gleitfestigkeit von Schuhsohlen mit steigender Sohlenrauigkeit zunimmt, wurde in zahlreichen Untersuchungen für unterschiedliche Bodenbeläge und Zwischenmedien demonstriert:

Manning et al. [11] kamen bei einer Untersuchung über Gummisohlen zum Schluss, dass die Sohlenrauigkeit insbesondere auf glatten, mit Wasser bedeckten Bodenbelägen den Haupteinflussfaktor auf die Gleitfestigkeit darstellt.

Messungen auf Stahl/Glyzerin durch Wilson [24] zeigten für Gummi- und PU-Sohlen analoge, deutlich aufsteigende Trends der Gleitreibzahlen mit zunehmender Sohlenrauigkeit.

Jung [5] untersuchte profillose Sohlen aus zwei PU-Materialien, die unterschiedlich rau geschliffen waren. Mit der Methode der schiefen Ebene (Stahl/Öl) konnten erst ab einem bestimmten Schwellenwert von ca. 25 μm mittlerer Rauhtiefe Einflüsse der Sohlenrauigkeit auf die Rutschfestigkeit festgestellt werden. Messungen an wiederholt gleich geschliffenen Sohlen deuteten darauf hin, dass die Rutschhemmung von verschiedenen Oberflächenkenngrossen abhängt, so z.B. auch vom Formfaktor (Quotient aus gemittelter Glättungstiefe und gemittelter Rauhtiefe, vgl. DIN 4762 und DIN 4768), der aussagt, ob eher rund- oder spitzkämmige Rauheiten vorliegen.

1.3.2 Porosität und mikrozelluläre Sohlenstruktur

Mikroporöse oder mikrozelluläre Sohlenmaterialien, z.B. aus geschäumtem PU, weisen normalerweise eine höhere Oberflächenrauigkeit als kompakte Materialien auf und bewahren diese Rauigkeit auch bei kontinuierlichem Abrieb während des Tragens. Die Gleitfestigkeit wird dadurch im allgemeinen begünstigt. Auf der anderen Seite können mikroporöse Sohlen aber auch als Schwamm für Zwischenmedien und Verschmutzungspartikel wirken und die Gleitfestigkeit reduzieren [24].

Eine Reihe von Untersuchungen berichten über durchwegs hohe Gleitfestigkeit von mikrozellulären PU-Sohlen [2,7,8,9,16]. Sie erwiesen sich im Vergleich zu kompakten und mikrozellulären Gummisohlen sowohl auf öligen als auch auf nassbelasteten Böden als überlegen. Mikrozelluläre Gummisohlen erschienen in Untersuchungen von Manning und Jones [9] gegenüber kompakten Gummisohlen ebenfalls vorteilhaft. Zu den guten Adhäsionseigenschaften mikrozellulärer Materialien tragen nach Ansicht von Rowland [16] die folgenden Faktoren bei: kapillare Saugwirkung der Poren und Fähigkeit der Zellwände, sich um Bodenrauheiten zu stützen.

1.3.3 Einfluss des Tragens

Die Eigenschaften einer Schuhsohle verändern sich beim Gebrauch durch mechanische und chemische Einflüsse. Die Oberflächen verschiedener Materialien verhalten sich bei Abrieb unterschiedlich. Zum Beispiel werden Gummisohlen beim Tragen aufgeraut, PVC-Sohlen hingegen glattpoliert. Im allgemeinen nimmt die Gleitfestigkeit von Schuhsohlen durch Abrieb beim Tragen zu [2,4,24,25].

Die Abnutzung von Sohlen beim Tragen kann nicht ohne weiteres durch künstlichen Abrieb simuliert werden [6,24], denn einheitliche Abrasion, z.B. durch Schmirgelpapier, führt bei verschiedenen Materialien zu ganz unterschiedlichen Abnutzungsgraden.

Leclercq et al. [6] untersuchten den Einfluss des Gebrauchs bei einer Auswahl von Schutzschuhen und fanden eine allgemeine Zunahme der Gleitfestigkeit. Diese Zunahme war für geschäumte Sohlenmaterialien ausgeprägter als für kompakte Sohlenmaterialien, was hauptsächlich auf den Abrieb von Trennmittelrückständen bei PU-Sohlen zurückgeführt wurde.

Die Oberfläche von mikroporösen oder mikrozellulären Sohlenmaterialien bleibt während des Tragens durch das Aufbrechen der Zellenstruktur rau [16]. Mikrozelluläre Sohlenwerkstoffe bergen vielleicht die Möglichkeit in sich, durch Optimierung von Material und Zellengrösse eine permanente Oberflächenrauigkeit und gleichbleibende hohe Gleitfestigkeit zu erzeugen [7].

1.3.4 Lackierungen und Beschichtungen

Lackierte Schuhsohlen, z.B. aus PU, Leder oder Harz gummi, können im Neuzustand schlechte Gleitfestigkeit aufweisen [24]. Normalerweise verbessert sich die Gleitfestigkeit solcher Sohlen durch Abrieb beim Tragen.

1.4 Sohlengestalt allgemein

1.4.1 Sohlenform und Krümmung

Da grössere Kontaktflächen zum Boden die Gleitfestigkeit begünstigen, sollte grundsätzlich auf verkleinerte Laufflächen an Fussballen und Ferse verzichtet werden [6].

Gemäss Tisserand und Saulnier [21] besteht ein Zusammenhang zwischen Gleitfestigkeit und Sohlenform bzw. Krümmung der Sohle. Systematische Untersuchungen wurden hierzu aber noch nicht durchgeführt.

1.4.2 Flexibilität der Sohle

Steife Schuhsohlen werden im Zusammenhang mit Gleitfestigkeit als nachteilig betrachtet [25], denn flexiblere Schuhsohlen schmiegen sich beim Gehen besser an Bodenunebenheiten an. Die Flexibilität einer Schuhsohle wird bis zu einem gewissen Grad durch die Konstruktion des restlichen Schuhs mitbestimmt.

Es existieren Hinweise darauf, dass die Sohlendicke einen Einfluss auf die Gleitfestigkeit haben könnte. Manning und Jones [9] fanden bei dünnen mikrozellulären PU-Sohlen tendenziell höhere Reibwerte als bei dicken Sohlen gleichen Materials und führten diese Erscheinung auf die höhere Flexibilität der dünnen Sohlen zurück.

1.4.3 Sohlenkonstruktion

Zweikomponentensohlen mit einer Mittelsohle aus weichem, leichtem Material und einer härteren, dichteren Aussenschicht sind ein weiteres Beispiel dafür, dass die Oberflächeneigenschaften einer Sohle nicht allein massgebend für die Gleitfestigkeit sind. Gemäss Wilson [24] können weiche Mittelsohlen einen ähnlichen Effekt wie durchgehend weiches Sohlenmaterial haben und sich trotz harter Aussensohle positiv auf die Gleitfestigkeit auswirken.

1.4.4 Absatz

Dem Absatz einer Sohle kommt im Zusammenhang mit Gleitfestigkeit eine wichtige Bedeutung zu, denn bei der Mehrheit der Ausrutschunfälle kommt die Gleitbewegung des Schuhs unmittelbar nach Aufsetzen des Absatzes zustande [13]. Das Material des Absatzes kann sich von dem der übrigen Sohle unterscheiden und ist oft härter als das der Sohlenvorderseite.

Heutige funktionelle Schuhtypen tendieren zu gerundeten, profilierten Absätzen [6,24]. Auch Grönqvist [2] stellte im Vergleich zu scharfkantigen Absätzen für hinten gerundete Absätze leichte Vorteile bezüglich Gleitfestigkeit fest. Die optimale Geometrie von Absätzen ist für Leclercq et al. [6] aber noch unklar. Gerundete Absätze bieten beim Auftreten zwar sofort eine gewisse Kontaktfläche, doch sind scharfkantige Absätze besser in der Lage, Flüssigkeitsfilme zu durchdringen.

Hohe Absätze gehen oft mit einer Verkleinerung der Laufflächen einher, was sich auf die Gleitfestigkeit negativ auswirkt. Wie zu erwarten fanden Manning und Jones [10], dass Damenschuhe mit hohen Absätzen weniger gleitfest als Schuhe mit flachen Profilsohlen sind. Die untersuchten Schuhe mit hohen Absätzen hielten zwar teilweise beim Gehen auf trockenen Böden (Rutschtest durch Versuchsperson auf gleicher Ebene), rutschten aber auf wachspolierten oder nassen Bodenbelägen.

1.4.5 Absatzflecke

Absatzflecke, d.h. Laufsohlen für hohe Absätze, sind in der Regel weniger gleitfest als Blockabsätze [24]. Dies hängt damit zusammen, dass Absatzflecke normalerweise aus härterem Material bestehen, nicht oder nur wenig profiliert sind und geringe Kontaktfläche zum Boden besitzen. Gemäss Wilson [24] sind insbesondere Absatzflecke aus Nylon oder härterem thermoplastischem PU rutschgefährlich.

1.5 Literaturverzeichnis

1. A. Gabler, E. Straube und G. Heinrich: Korrelation des Nassrutschverhaltens russgefüllter Vulkanisate mit ihren viskoelastischen Eigenschaften, *Kautschuk Gummi Kunststoffe* 46(1993)S.941
2. R. Grönqvist: Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear soles on contaminated floors, *Ergonomics* 38(1995)S.224
3. S.K. Hopkins: Elusive factor in falls: the shoe sole, Reprint from *National Safety News*, November 1966
4. K. Jung: Änderung der rutschhemmenden Eigenschaften von Schutzschuhen während des Tragens, *Zbl. Arbeitsmed.* 41(1991)S.38
5. K. Jung: Untersuchung über den Einfluss verschiedener Laufsohlenmaterialien auf die Rutschhemmung von Schuhen, *Schuh-Technik* 4/1994, S.226
6. S. Leclercq, M. Tisserand, H. Saulnier: Les chaussures antidérapantes, *Cahiers des notes documentaires*, 1995, S.47
7. D.P. Manning, C. Jones and M. Bruce: Improved slip-resistance on oil from surface roughness of footwear, *Rubber Chemistry and Technology* 56(1983)S.703
8. D.P. Manning, C. Jones and M. Bruce: Boots for oily surfaces, *Ergonomics* 28(1985)S.1011
9. D.P. Manning and C. Jones: The superior slip-resistance of footwear soling compound T66/103, *Safety Science* 18(1994)S.45
10. D.P. Manning and C. Jones: High heels and polished floors: the ultimate challenge in research on slip-resistance, *Safety Science* 19(1995)S.19
11. D.P. Manning, C. Jones and F. J. Rowland and M. Roff: The surface roughness of a rubber soling material determines the coefficient of friction on water lubricated surfaces, submitted to *Safety Science*, 1996
12. D.F. Moore: *The friction and lubrication of elastomers*, Pergamon Press, Oxford 1972
13. B. Morach: Quantifizierung des Ausgleitvorgangs beim menschlichen Gang unter besonderer Berücksichtigung der Aufsetzphase des Fusses, *Dissertation Universität Wuppertal* 1993
14. PFI: Untersuchung des Gleitverhaltens von Sohlenwerkstoffen auf festen Bodenbelägen, *Aktuelle Information der PFI*, Nr.3/1978
15. P. Rigoulot et J. Cals: Recherches sur l'adhérence des semelles de sécurité, *Jallate S.A.* 4/1977 (zitiert nach [22])
16. F.J. Rowland, C. Jones and D. P. Manning: Surface roughness of footwear soling materials: relevance to slip resistance, *ASTM - Symposium "The interaction of man, footwear, and walking surfaces"*, Gaithersburg Maryland USA 1995
17. R. Skiba: Materialbedingte Gleitsicherheitseigenschaften von Schuhsohlen, *Schuh-Technik* 10/1985, S.894
18. L. Slusarski and Z. Stanislawska: The assessment of frictional properties of materials for shoe bottoms, *Kautschuk und Gummi · Kunststoffe*, Nr. 10/1983, S.866
19. Z. Stanislawska and L. Slusarski: Frictional properties of materials for shoe bottoms, *International Rubber Conference*, Moscow 1984
20. M. Tisserand: Etude des qualités d'adhérence des chaussures montantes de sécurité, *Travail et Sécurité*, INRS, Nov.1972
21. M. Tisserand et H. Saulnier: Facteurs de conception déterminant la glissance des chaussures, *Technique Chaussure Maroquinerie*, Mai 1987

22. R.M. Wieder: Untersuchung über den Einfluss des Profils von Schuttschuhen auf die Gleitsicherheit beim menschlichen Gang, Schuh-Technik 10/1986, S.732
23. M.P. Wilson: Development of SATRA slip test and tread pattern design guidelines, in: B.E. Gray (ed.): Slips, stumbles, and falls: pedestrian footwear and surfaces, ASTM, Philadelphia 1990, S.113
24. M. Wilson: Slip resistance characteristics of footwear solings assessed using the SATRA friction tester, Journal of Testing and Evaluation 24(1996)S.377
25. F. Wragge und K. Jung: Zur Frage der Gleitsicherheit und der Eignung von Schuttschuhwerk unter den Bedingungen der Seeschiffahrt, Die BG, Oktober 1986, S.566

2 Untersuchung von 27 Kombinationen von Sohlenmaterialien und Profilen

2.1 Beschreibung der Sohlenmuster

Für die experimentellen Untersuchungen standen 27 Kombinationen aus 12 verschiedenen Sohlenprofilen und 10 verschiedenen Gummimischungen zur Verfügung. Die untersuchten Sohlen sind in Tab.1 beschrieben. Im Anhang 1 sind weitere Angaben zu den Prüfmustern zusammengestellt; Beilage 2 zeigt Profilabdrücke der Sohlen.

Tabelle 1: Überblick über die untersuchten Sohlen und Sohlenplatten. Für weitere Angaben zu den Sohlenmustern siehe Anhang 1, Profilabdrücke siehe Beilage 2.

Muster Nr.	Mat.	Sohlentyp	Profil-typ	Profilbeschreibung	Struktur der Auflagefläche	Profil-kanten
1	1	Flachsohle	mittel	Lamellen quer	Orangenhaut an Ferse u. Spitze	scharf
2	2	Flachsohle	mittel	Lamellen quer	Orangenhaut an Ferse u. Spitze	scharf
3	1	Blocksohle	grob	Stollen, v.a. rechteckig, mit Kreuzen	rauh	leicht gebr.
4	2	Blocksohle	grob	Stollen, v.a. rechteckig, mit Kreuzen	rauh	leicht gebr.
5	3	Plattenmaterial	fein	kariert 1x1cm, Linien diagonal (Wabenmuster)	fein	leicht gebr.
6	4	Plattenmaterial	fein	kariert 1x1cm, Linien diagonal (Wabenmuster)	fein	leicht gebr.
7	4	Plattenmaterial	fein	Kreise, Quadrate, Linien (regelmässiges Wabenmuster 1x1cm)	Quadrate gerillt	gebrochen
8	3	Plattenmaterial	fein	Längslinien, Abstand ca. 1mm	feine Linien	gebrochen
9	3	Plattenmaterial	fein	Querlinien, Abstand ca. 1mm	feine Linien	gebrochen
10	3	Plattenmaterial	fein	Kreise, Quadrate, Linien (regelmässiges Wabenmuster 1x1cm)	Quadrate gerillt	gebrochen
11	4	Plattenmaterial	mittel	Wellen quer, Abstand ca. 5mm	Wellenkämme	gebrochen
12	4	Plattenmaterial	fein	Längslinien, Abstand ca. 1mm	feine Linien	gebrochen
13	4	Plattenmaterial	fein	Querlinien, Abstand ca. 1mm	feine Linien	gebrochen
14	5	Plattenmaterial	fein	Rhombengitter, Linienabstände ca. 1mm	feine Linien	scharf
15	5	Plattenmaterial	-	geschliffen	rauh	-
16	4	Plattenmaterial	-	geschliffen	rauh	-
17	4	Plattenmaterial	fein	Rhombengitter, Linienabstände ca. 1mm	feine Linien	scharf
18	4	Plattenmaterial	-	kein Profil	glatt	-
19	6	Blocksohle	grob	Stollen eckig, mehrheitlich länglich, mit Kreuzen	gepunzte und gerillte Stollen	scharf/ gebrochen
20	7	Blocksohle	grob	Stollen eckig, mehrheitlich länglich, mit Kreuzen	Orangenhaut	scharf
21	8	Blocksohle	grob	Stollen eckig, mehrheitlich länglich, mit Kreuzen	gepunzte und gerillte Stollen	scharf/ gebrochen
22	6	Blocksohle	grob	Stollen eckig, mehrheitlich länglich, mit Kreuzen	Orangenhaut	scharf
23	7	Blocksohle	grob	Stollen eckig, mehrheitlich länglich, mit Kreuzen	gepunzte und gerillte Stollen	scharf/ gebrochen
24	8	Blocksohle	grob	Stollen eckig, mehrheitlich länglich, mit Kreuzen	Orangenhaut	scharf
25	3	Plattenmaterial	mittel	Wellen quer, Abstand ca. 5mm	Wellenkämme	scharf/gebr.
26	9	Blocksohle	fein	eingeschnittene Wellen (Breite <1mm)	glatt	scharf
27	10	Blocksohle	fein	eingeschnittene Wellen (Breite <1mm)	glatt	scharf

2.2 Messbedingungen und Messmethoden

2.2.1 Vorbehandlung der Prüfmuster

Die Sohlenmuster wurden nach der Anlieferung mit einer Ethanol/Wasser-Lösung (Verhältnis 1:1) gewaschen.

2.2.2 Gleitfestigkeitsmessungen

Die Gleitreibmessungen erfolgten in Anlehnung an das bfu-Prüfreglement für Schuhe mit erhöhter Gleitfestigkeit mit dem Boden- und Schuhtester BST2000, mit welchem Gleitbewegungen eines künstlichen Fusses auf Bodenbelägen simuliert werden können. Abweichend zum bfu-Reglement wurde eine zu untersuchende Sohle auf einem Holzleisten befestigt und diese Einheit an das künstliche Bein des Prüfgeräts montiert. Der Holzleisten wurde anstelle eines künstlichen Fusses verwendet, weil für die Gleitreibmessungen keine kompletten Schuhe zur Verfügung standen. Allfällige Einflüsse der Schuhkonstruktion auf die Messresultate konnten mit diesem Verfahren ausgeschlossen werden.

Der Holzleisten ist an der Unterseite mit einem Klettband ausgerüstet. Die Sohlenmuster wurden ebenfalls mit Klettband beklebt und für die Messungen mit dem Leisten verbunden. Die Haftung der Sohlenmuster am Leisten erwies sich bei den leichteren Sohlen als gut, bei den schwereren und steifen Sohlentypen als befriedigend. Bei den steifen Sohlen musste an der Sohlenspitze eine zusätzliche Befestigung angebracht werden, um ein Auseinanderklaffen von Sohle und Leisten während der Gleitversuche zu verhindern. Absatzsohlen wurden jeweils direkt auf die Unterseite des Leistens angebracht, während bei Flachsohlen und Sohlenplatten zwischen Leisten und Sohle ein PU-Keil eingeschoben war (befestigt mit Klettband), um den üblichen Konstruktionen von Schuhen, bzw. deren Unterbau möglichst gerecht zu werden.

Tabelle 2: Messbedingungen bei den Gleitreibversuchen.

Prüfraumklima	23 ± 5 °C und 50 ± 20 % relative Luftfeuchtigkeit
Bodenbeläge	- Edelstahl - PVC, glatt - Keramikplatten, unglasiert
Zwischenmedium	Entmineralisiertes Wasser (über Ionenaustauscher) mit 0.5 % Natriumlaurylsulfat (Netzmittel)
Fusswinkelstellung	0° flach längs
Belastung des Prüffusses	500 N
Max. Fahrtischgeschwindigkeit	ca. 0.25 m/s (Einstellung 423)
Anzahl Messungen	15 Messhübe je Reibkombination (Automatikmessung)
Timer Schuh	0.7 s (Verweilzeit des Prüfschuhs in Abhebestellung zwischen zwei Messhüben)
Timer Tisch	5.0 s (Stillstandszeit des Tisches zwischen zwei Messhüben)

2.2.3 Bestimmung der Sohlenauflagefläche

Um die Auflagefläche der untersuchten Sohlenmuster zu bestimmen, wurde von jeder Sohle ein Abdruck auf Papier gemacht. Dazu wurde eine am Holzleisten befestigte Sohle wie bei einer Gleitreibmessung im Prüfgerät montiert, gleichmässig mit schwarzer Stempelfarbe bestrichen, auf ein weisses A4-Blatt abgestellt und mit 500 N belastet. Mittels Scanner wurde das Druckbild in einen PC eingelesen und die Auflagefläche der Sohle mit einem Bildverarbeitungsprogramm berechnet.

2.2.4 Messung der Shore-Härte A

Die Prüfung der Shore-Härte A erfolgte an den angelieferten Sohlenmustern und Plattenmaterialien mit dem Härteprüfgerät Barreiss. Die Messungen wurden im Prüfraum bei 23 ± 5 °C, 50 ± 20 % relative Luftfeuchtigkeit vorgenommen. Jede Sohle wurde an je fünf Stellen auf Härte geprüft. Wenn möglich wurde die Härtemessung an der Profelseite vorgenommen, sonst auf der Sohlenoberseite.

2.3 Allgemeine Resultate

Die mit den Sohlenmustern auf den drei Belägen PVC, Keramik und Stahl gemessenen Gleitreibzahlen sind in Form von Häufigkeitsverteilungen in Abb.1 dargestellt. Die Häufigkeitsverteilungen sind vergleichbar mit jenen, die im Rahmen von bfu-Prüfungen für ganze Schuhe gefunden wurden. Die Gleitreibzahlmittelwerte und Standardabweichungen betragen:

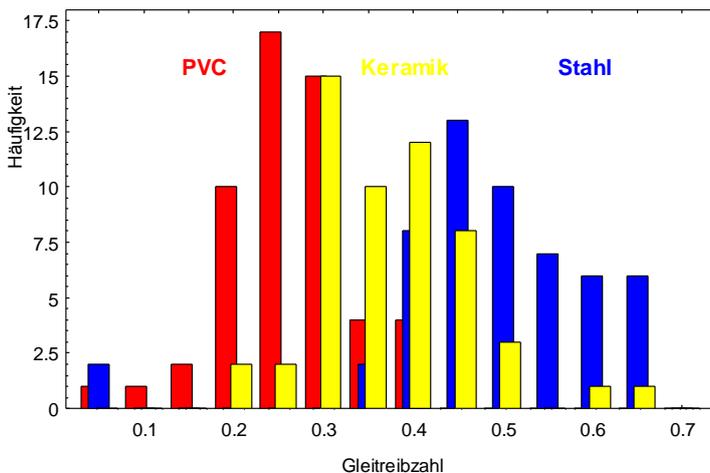


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Gleitreibzahlen für die drei Bodenbeläge PVC, Keramik und Stahl (Zwischenmedium Wasser mit 0.5% Netzmittel).

Bodenbelag	Gleitreibzahl
PVC:	0.24 ± 0.07
Keramik:	0.35 ± 0.09
Stahl:	0.46 ± 0.12

Mit steigendem Gleitreibzahlmittelwert scheint die Standardabweichung zuzunehmen.

Da mit Sohlenmustern, die mit Klettband an einem Holzleisten befestigt waren, erstmals ein Messprogramm durchgeführt wurde, ist über die mit der Methode verbundenen Messstreuungen noch wenig bekannt. Eine Möglichkeit, die Streuungen abzuschätzen, besteht

in einem Vergleich zwischen gleichartigen Messungen, die mit einem linken bzw. einem rechten Exemplar eines Sohlenmusters durchgeführt wurden. Aus Abb.2 geht hervor, dass die entsprechenden Gleitreibzahlen für alle Bodenbeläge längs der Winkelhalbierenden verteilt sind. Die Streuungen, d.h. Abweichungen von der Winkelhalbierenden, sind für die Messungen auf dem Stahlbelag am grössten. Der lineare Korrelationskoeffizient zwischen den Messungen links/rechts ist für Stahl am niedrigsten (0.85), für Keramik am höchsten (0.96) und liegt für PVC dazwischen (0.91). Bei der Berechnung der angegebenen Korrelationskoeffizienten wurde das glatte, profillose Sohlenmuster Nr. 18 nicht berücksichtigt, dessen Gleitreibzahlen für PVC und Stahl nahe bei 0 und weit entfernt von den übrigen Messwerten liegen. Eine statistische Analyse sämtlicher Messwerte zeigt, dass die Differenzen zwischen den mit linken bzw. rechten Sohlen gemessenen Gleitreibzahlen ziemlich genau gemäss einer Normalverteilung mit Mittelwert 0.00 und Standardabweichung 0.03 verteilt sind.

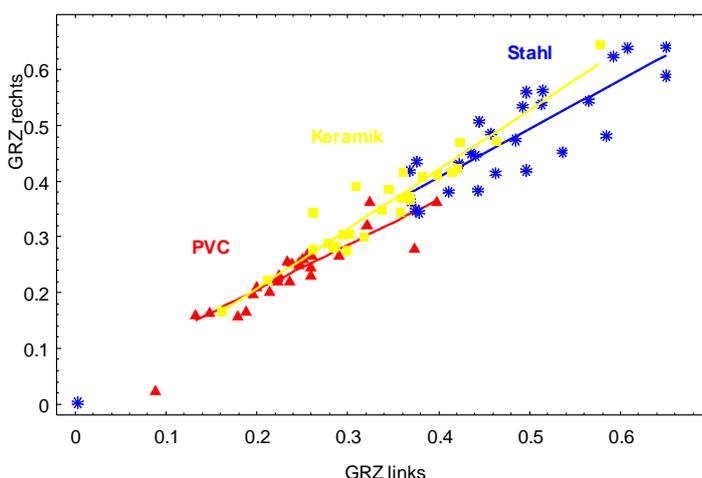


Abbildung 2: Vergleich der mit linken bzw. rechten Sohlenmustern gemessenen Gleitreibzahlen. Die Streuungen sind für die auf Stahl gemessenen Werte am grössten.

In Abb.3 sind die über das linke und rechte Sohlenmuster gemittelten Gleitreibzahlen für die drei Bodenbeläge dargestellt. Die beiden Messreihen auf PVC und Stahl (beides glatte Bodenbeläge) korrelieren mit $r = 0.79$, während die Messungen auf Keramik (rauer Bodenbelag) weder mit denen auf PVC ($r = 0.19$) noch mit denen auf Stahl ($r = 0.17$) korrelieren.

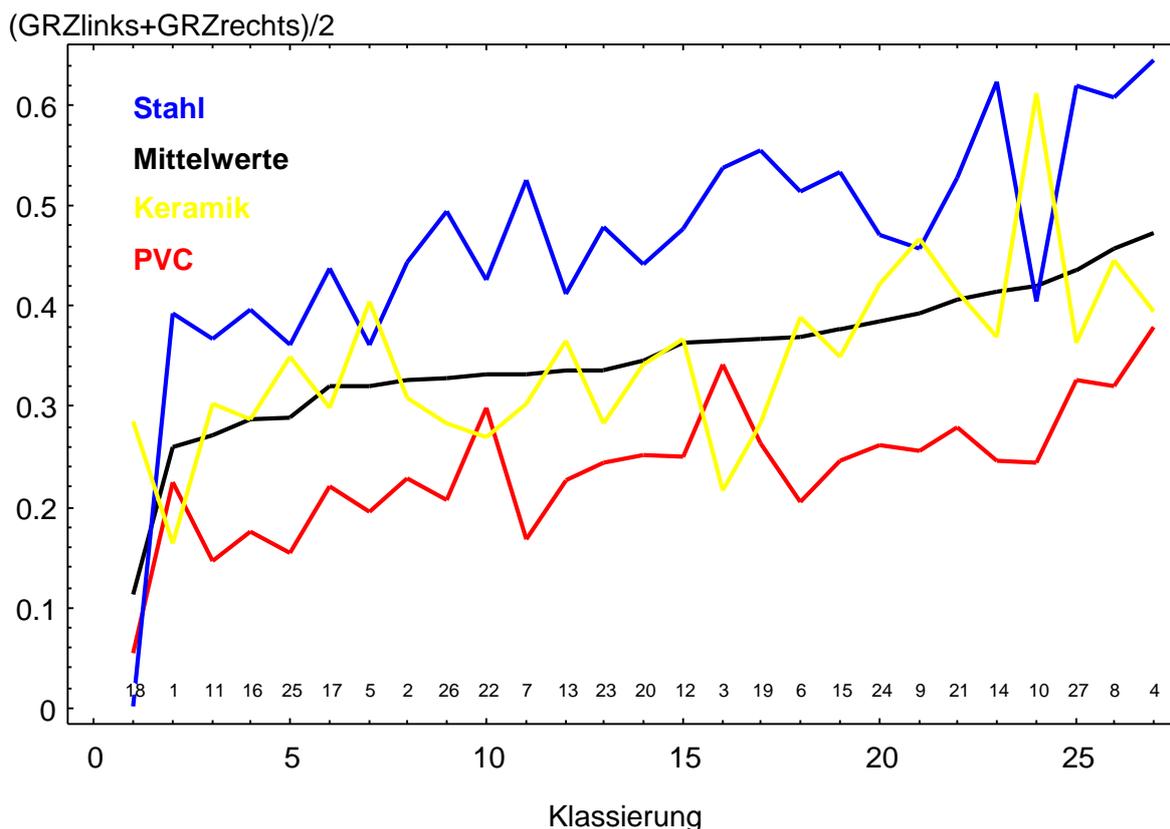


Abbildung 3: Über das linke und rechte Sohlenmuster gemittelte Gleitreibzahlen für PVC, Stahl und Keramik (Zwischenmedium Wasser mit 0.5% Netzmittel). Die Sohlenmuster (Nr. 1 bis 27) sind nach aufsteigenden Gleitreibzahl-Gesamtmittelwerten angeordnet, siehe Tab.3.

Rang	Quadrant	Muster	Gleitreibzahlen (Mittel links/rechts)			
			PVC	Stahl	Keramik	Mittelwert
1	I	4	0.379	0.645	0.395	0.473
2	I	8	0.320	0.608	0.446	0.458
3	I	27	0.325	0.619	0.364	0.436
4	II	10	0.244	0.405	0.611	0.420
5	I	14	0.247	0.623	0.370	0.413
6	I	21	0.278	0.528	0.415	0.407
7	I	9	0.255	0.457	0.467	0.393
8	I	24	0.262	0.472	0.422	0.385
9	I	15	0.245	0.533	0.350	0.376
10	I	6	0.205	0.514	0.388	0.369
11	IV	19	0.263	0.554	0.282	0.367
12	IV	3	0.342	0.538	0.217	0.366
13	I	12	0.249	0.476	0.367	0.364
14	III	20	0.252	0.442	0.343	0.346
15	IV	23	0.245	0.479	0.282	0.336
16	II	13	0.227	0.413	0.365	0.335
17	III	7	0.167	0.526	0.302	0.332
18	IV	22	0.299	0.426	0.269	0.332
19	III	26	0.207	0.494	0.284	0.328
20	III	2	0.228	0.443	0.309	0.327
21	II	5	0.195	0.361	0.405	0.321
22	III	17	0.221	0.438	0.299	0.320
23	II	25	0.155	0.361	0.350	0.289
24	III	16	0.176	0.396	0.287	0.287
25	III	11	0.146	0.367	0.303	0.272
26	III	1	0.224	0.393	0.164	0.260
27	III	18	0.055	0.002	0.285	0.114

Tabelle 3: Klassierung der Sohlenmuster nach dem Mittelwert aller gemessenen Gleitreibzahlen. Die römischen Nummern in der Spalte "Quadrant" bedeuten (vgl. Text und Abb.4):
I: überdurchschnittliche Reibwerte auf allen drei Bodenbelägen
II: unterdurchschnittliche Reibwerte auf PVC und Stahl und überdurchschnittliche Reibwerte auf Keramik
III: unterdurchschnittliche Reibwerte auf allen drei Bodenbelägen
IV: überdurchschnittliche Reibwerte auf PVC und Stahl und unterdurchschnittliche Reibwerte auf Keramik

Tab.3 zeigt eine Zusammenfassung der gefundenen Gleitreibzahlmittelwerte sowie die Klassierung der Sohlenmuster aufgrund der Gesamtmittelwerte. Für Muster 18 (glatte, profillose Sohle) ergibt sich ein Gesamtmittelwert von 0.11, für die übrigen Muster liegen die Werte zwischen 0.25 und 0.50. Das Resultat von Muster 18 ist auf die Messungen mit PVC und Stahl zurückzuführen, bei denen Gleitreibzahlen < 0.10 gefunden wurden, die weit von denen der anderen Sohlenmuster abfallen.

Bei der Klassierung aufgrund der Gleitreibzahlmittelwerte sind im ersten Drittel (Ränge 1 bis 9) völlig unterschiedliche Sohlenmuster anzutreffen, nämlich 3 Blocksohlen mit Grobprofil (2 Varianten), 1 Blocksohle mit Feinprofil und 5 Plattenmaterialien, darunter 4 unterschiedlich profilierte und 1 geschliffene Sohle.

Die im ersten Drittel vertretenen Sohlenmaterialien sind einmal Nr. 2 mit einer grob profilierten Blocksohle, dreimal Nr. 3 mit 3 verschiedenen flachen Feinprofilen, zweimal Nr. 5 mit einem profilierten und einem geschliffenen Plattenmaterial, zweimal Nr. 8 mit grob profilierten Blocksohlen und einmal Nr. 10 mit einer fein profilierten Blocksohle.

Aus den obigen Feststellungen lassen sich keine Hinweise auf bestimmte Profilvermerkmale oder Materialien ableiten, die die Gleitfestigkeit allgemein begünstigen. In Kap. 2.4 werden spezielle Vergleiche zwischen einzelnen Sohlenmustern angestellt.

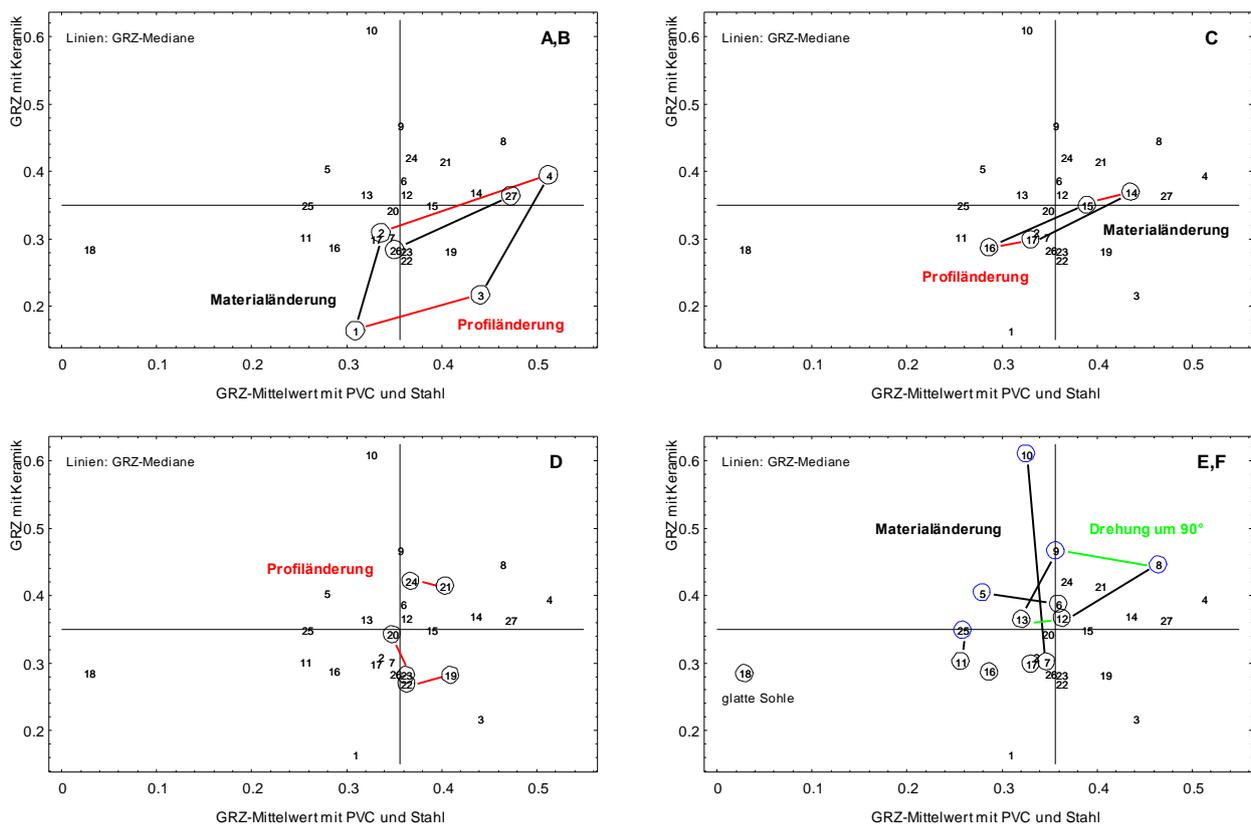


Abbildung 4: Vergleich der gemessenen Gleitreibzahlen für die Datenblöcke A bis F (vgl. Kap. 2.4). Die auf den glatten Bodenbelägen PVC und Stahl gemessenen Resultate wurden gemittelt und den auf dem rauhen Bodenbelag Keramik gemessenen Gleitreibzahlen gegenübergestellt (für jeden Bodenbelag wurden jeweils Messungen mit einem linken und einem rechten Sohlenmuster durchgeführt). Sowohl Profiländerungen als auch Änderungen des Sohlenmaterials führten zu Unterschieden in den gemessenen Gleitreibzahlen. Die gefundenen Effekte sind im Text näher beschrieben.

2.4 Vergleiche zwischen einzelnen Sohlenmustern

Sämtliche Messresultate sind im Tabellenanhang zusammengestellt (Anhänge 2 bis 4). Anhang 5 zeigt eine Zusammenfassung von Gleitreibzahlen in Form einer 10×12-Matrix, in welcher jedes gefüllte Kästchen für eine der 27 Kombinationen von Sohlenmaterial und Profil steht. Die gemessenen Gleitreibzahlen sind für solche Kombinationen am besten zu vergleichen, bei denen entweder Sohlenmaterial oder Profil gleich sind, d.h. innerhalb der von A bis F angeschriebenen Blöcke, vgl. Anhang 5.

- **Block A** (Vergleich zwischen Flachsohle mit Querlamellenprofil und grobem Stollenprofil und Vergleich zweier Materialien): Das gleitfestere Profil ist das Grobprofil (Muster 3 und 4), das gleitfestere Material Nr. 2 (Muster 2 und 4). Die Unterschiede in den gemessenen Gleitreibzahlen sind aufgrund der verschiedenen Profile etwas grösser als aufgrund der verschiedenen Materialien auf PVC und Stahl, das Umgekehrte gilt für Keramik. Die Effekte der Profiländerungen bei gleichem Material bzw. die Effekte der Materialänderung bei gleichem Profil ergeben insgesamt ein konsistentes Bild (vgl. die parallelogrammförmige Datenkonstellation in Abb.4, oben links).
- **Block B** (glatte Blocksohle mit eingeschnittenen Wellen aus 2 Materialien): Für das Muster 27 (Material 10) wurden im Schnitt um 0.11 höhere Gleitreibzahlen gemessen als für das Muster 26 (Material 9), wobei die Unterschiede auf Stahl und PVC etwas ausgeprägter ausfielen als auf Keramik. Die Unterschiede in den Gleitreibzahlen, die hier aufgrund der verschiedenen Materialien gemessen wurden, liegen in derselben Grössenordnung wie die Unterschiede, die bei Block A aufgrund der Profiländerung gefunden wurden (vgl. Abb.4, oben links).
- **Block C** (Vergleich zwischen einer geschliffenen Flachsohle und einem Feinprofil mit kariertem Muster und Vergleich zweier Materialien): Das gleitfestere Profil ist das karierte Feinprofil (Muster 14 und 17), das gleitfestere Material Nr. 5 (Muster 14 und 15). Die Unterschiede in den gemessenen Gleitreibzahlen sind aufgrund der verschiedenen Materialien grösser als aufgrund der verschiedenen Profile. Die grössten Unterschiede sind bei den Messungen auf Stahl zu beobachten. Die Effekte der Profiländerungen bei gleichem Material bzw. die Effekte der Materialänderung bei gleichem Profil ergeben insgesamt ein konsistentes Bild (vgl. Abb.4, oben rechts).
- **Block D** (Vergleich zwischen 2 Varianten eines groben Stollenprofils und Vergleich dreier Materialien): Die beiden Profilvarianten unterscheiden sich in der Struktur der aufliegenden Profilfläche. Die Muster 19, 21 und 23 besitzen gepunzte und gerillte Stollen, während die Muster 20, 22 und 24 Stollen mit Orangenhaut-ähnlicher Oberfläche besitzen. Für Profile mit gerillten Stollen ergaben sich tendenziell höhere Gleitreibzahlen, insbesondere auf den glatten Bodenbelägen. Mit dem Übergang zu einem anderen Sohlenmaterial waren durchschnittlich etwas grössere Unterschiede in den Gleitreibzahlen verbunden, was vor allem auf unterschiedliche Messwerte beim Keramikbelag zurückzuführen ist. Material 8 (Muster 21 und 24) lieferte die höchsten Gleitreibzahlmittelwerte bei überdurchschnittlichen Gleitreibzahlen auf glatten und rauhen Bodenbelägen (vgl. Abb.4, unten links).
- **Block E** (Vergleich einer glatten, profillosen Sohle mit 7 verschiedenen flachen Profilsohlen aus dem gleichen Material): Mit einem Wert von 0.11 lag der Gleitreibzahlmittelwert der glatten, profillosen Sohle (Muster 18) um mindestens 0.16 tiefer als bei den übrigen Sohlen. Das Verhalten der glatten Sohle ist aber auf den 3 Bodenbelägen sehr unterschiedlich. Während auf Keramik Gleitreibzahlen gemessen wurden, die den niedrigsten Werten bei den Profilsohlen entsprechen, lagen die Werte auf PVC um mindestens 0.09 tiefer. Auf Stahl wurden für die profillose Sohle Gleitreibzahlen <0.01 gefunden, für die übrigen Sohlen Werte zwischen 0.37 und 0.53. Profile lieferten also insbesondere auf den glatten Böden höhere Gleitreibzahlen; auf Keramik wirkten sie sich weniger markant aus. Muster 16 ist keine eigentliche Profilsohle, sondern eine mit Schmirgelpapier raugeschliffene flache Sohle. Die Rauigkeit der Sohle führte zu Gleitreibzahlen, die vergleichbar mit denen der profilierten Sohlen sind (vgl. Abb.4, unten rechts).
- **Block F** (Vergleich von 5 Feinprofilen aus je 2 Materialien): Das weichere Sohlenmaterial Nr. 3 (52 Shore A) ergab im Durchschnitt höhere Gleitreibzahlen als das Material Nr. 4 (64 Shore A).

Der Übergang vom einen zum anderen Material führte aber bei den verschiedenen Feinprofilen zu uneinheitlichen Resultaten (vgl. Abb.4, unten rechts). Von Seiten des Profils konnten folgende Einflüsse auf die Gleitreibzahlen festgestellt werden:

- Das Profil "Wellen quer" (Muster 11 und 25) lieferte für beide Materialien und für alle drei Bodenbeläge die tiefsten Gleitreibzahlen.
- Das Profil "Längslinien" (Muster 8 und 12) lieferte im Mittel die höchsten Gleitreibzahlen und in 3 der 6 Kombinationen von Sohlenmaterial und Bodenbelag die höchsten Einzelwerte.
- Das Profil "Querlinien" (Muster 9 und 13) lieferte auf Keramik gleich hohe Gleitreibzahlen wie "Längslinien", auf Stahl und PVC jedoch um durchschnittlich 0.07 tiefere Werte.
- Das Profil "kariert diagonal" (Muster 5 und 6) fällt bei Material 3 von den beiden Linienprofilen ab, bei Material 4 liefert es vergleichbare Werte wie die Linienprofile.
- Beim Profil, das aus verschiedenen Formelementen besteht (Muster 7 und 10), ergab sich kein einheitliches Bild. Es lieferte teils mit den Linienprofilen vergleichbare Werte, teils höhere oder tiefere Gleitreibzahlen.

Für die untersuchten Sohlenmuster unterscheidet sich das Gleitverhalten auf Keramik von demjenigen auf PVC und Stahl, während die auf den beiden letzteren, glatten Bodenbelägen gemessenen Gleitreibzahlen korrelieren (vgl. die in Kap. 2.3 erwähnten Korrelationskoeffizienten für die entsprechenden Messreihen). Um festzustellen, welche Sohlenmuster auf den glatten Bodenbelägen und auf rauher Keramik gleichzeitig überdurchschnittliche Gleitreibzahlen erreichen, wurden in den Grafiken von Abb.4 die Messwerte für PVC und Stahl gemittelt und gegen die auf Keramik gemessenen Werte aufgetragen. Das überall eingezeichnete Fadenkreuz entspricht den Medianen der jeweiligen Gleitreibzahlmittelwerte. Es definiert 4 Quadranten, die von oben rechts aus im Gegenuhrzeigersinn numeriert werden (vgl. Tab.3). Im ersten Quadranten liegen die Sohlenmuster, die für alle Bodenbeläge überdurchschnittliche Gleitreibzahlen liefern. Diese Sohlenmuster decken sich weitgehend mit jenen, welche bei der Klassierung aufgrund der Gleitreibzahlmittelwerte über alle Messkombinationen die vordersten Ränge belegen (siehe Tab.3). Die Sohlenmuster mit unterdurchschnittlicher Gleitfestigkeit befinden sich in den Grafiken von Abb.4 im Quadranten unten links. Die folgenden Sohlenmuster fallen besonders auf:

- Die glatte, profillose Sohle (Muster 18) schnitt auf glatten Böden ganz schlecht ab, auf Keramik unterdurchschnittlich. Diese Resultate sind verständlich, denn der Sohle fehlen Profilstollen wie auch Oberflächenrauheiten, mit denen durch Wasserfilme hindurch Kontakte mit den glatten Bodenbelägen hergestellt werden könnten.
- Das Material 1 lieferte in beiden Profilausführungen (Muster 1 und 3) sehr tiefe Gleitreibzahlen auf Keramik, mit dem Grobprofil (Muster 3) aber immerhin überdurchschnittliche Werte auf den glatten Böden. Material 1 gehört mit 79 Shore A zu den härtesten untersuchten Sohlenmaterialien. Dass die Materialhärte nicht allein ausschlaggebend für die Gleitfestigkeit ist, zeigt ein Vergleich mit Material 5, das die gleiche Härte wie Material 1 besitzt. Das Plattenmaterial 5 schnitt im geschliffenen Zustand (Muster 15) sowie mit einem Feinprofil (Muster 14) insbesondere auf Keramik erheblich besser ab.
- Deutlich abgefallene Gleitreibzahlen wurden ferner für die Muster 11 (Wellen quer) und Muster 16 (geschliffen) gefunden, die beide aus Material 4 bestehen.

Abgesehen von der glatten profillosen Sohle fallen keine Profile speziell negativ auf. Die Gleitreibzahlen der Sohlen aus den Materialien 1 und 4 fielen gegen die restlichen Sohlenmuster ab. Insgesamt scheinen sich in den Messresultaten Materialeinflüsse deutlicher als Profileinflüsse zu zeigen.

2.5 Einfluss der Sohlenhärte

Weiche Schuhsohlen begünstigen gemäss Literatur die Gleitfestigkeit. Die bei den 27 Sohlenmustern gemessenen Shore-Härten A (vgl. Anhang 1) korrelieren nicht mit den auf PVC und Stahl gemessenen Gleitreibzahlen. Ein linearer Korrelationskoeffizient von -0.50 zeigt sich jedoch beim Vergleich mit den auf Keramik gemessenen Werten. Die Tatsache, dass nur für diesen rauhen Bodenbelag eine Korrelation mit der Sohlenhärte gefunden wurde, stimmt mit der Aussage von Leclercq et al. [6] überein, dass die Sohlenhärte auf glatten Böden eine vernachlässigbare Rolle für die Gleitfestigkeit spiele.

Um ein differenzierteres Bild über den Einfluss der Sohlenhärte auf das Gleitverhalten auf Keramik zu erhalten, wurden für die 10 untersuchten Materialien (Gummimischungen) Mittelwerte der Sohlenhärten und der auf Keramik gemessenen Gleitreibzahlen gebildet, vgl. Tab.4. In Abb.5 ist der abfallende Trend der Gleitreibzahlen mit zunehmender Sohlenhärte offensichtlich. In den als Strichen dargestellten Standardabweichungen gehen bei den Härtemessungen unter anderem Messstreuungen aufgrund variierender Sohlendicken ein, bei den Gleitreibmessungen neben Messstreuungen hauptsächlich die unterschiedlichen Profilgestaltungen.

Material	Shore-Härte A	Gleitreibzahl auf Keramik
1	78.6 ± 0.1	0.191 ± 0.027
2	65.9 ± 1.3	0.352 ± 0.043
3	52.4 ± 6.0	0.456 ± 0.098
4	63.9 ± 2.4	0.325 ± 0.042
5	79.6 ± 0.6	0.360 ± 0.010
6	70.8 ± 0.6	0.276 ± 0.007
7	67.3 ± 0.3	0.313 ± 0.031
8	63.0 ± 0.6	0.419 ± 0.004
9	66.6	0.284
10	56.6	0.364

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Sohlenhärten und der auf Keramik gemessenen Gleitreibzahlen für die 10 untersuchten Sohlenmaterialien. Die tabellierten Werte sind in Abb.5 grafisch dargestellt.

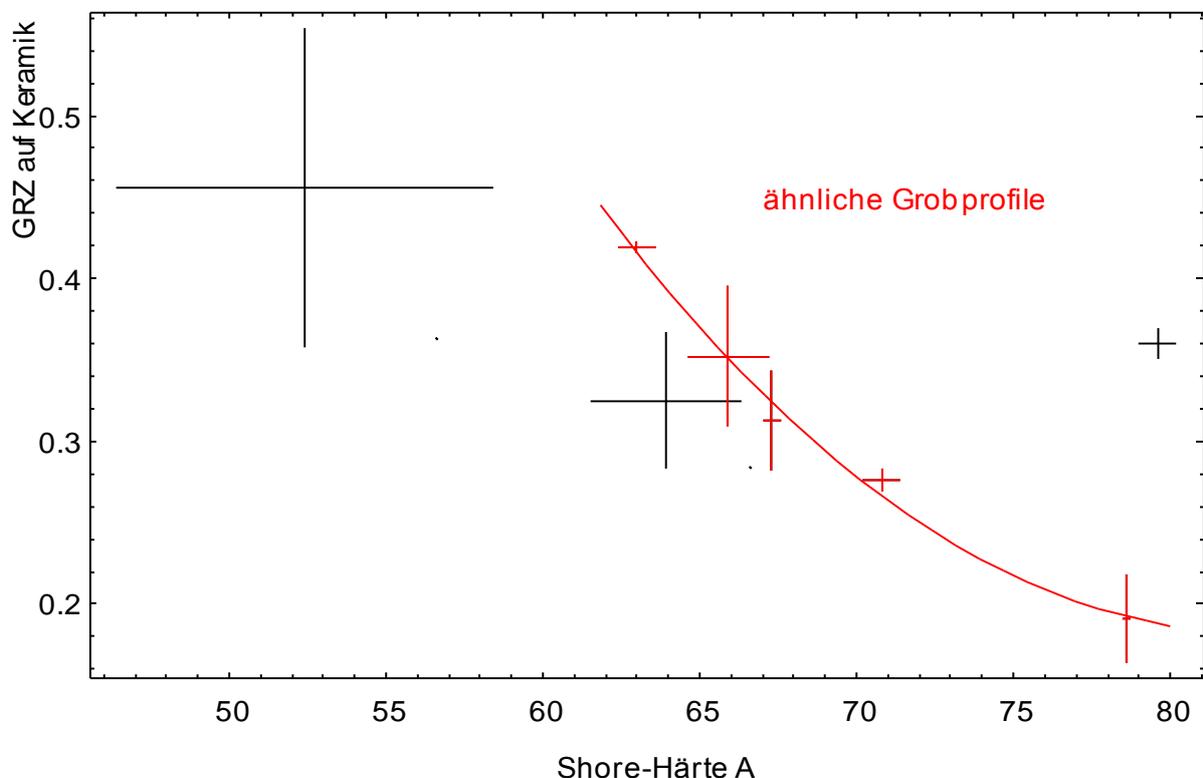


Abbildung 5: Mittelwerte und Standardabweichungen (Kreuze) der Sohlenhärten und der auf Keramik gemessenen Gleitreibzahlen für die 10 untersuchten Sohlenmaterialien (vgl. Tab.4). Die Resultate von 5 Materialien mit überwiegend ähnlichen Grobprofilen sind rot hervorgehoben; die schwarzen Datenpunkte umfassen hauptsächlich flache Sohlen mit Feinprofilen.

2.6 Einfluss der Auflagefläche

Es besteht kein linearer Zusammenhang zwischen den gemessenen Sohlauflageflächen und Gleitreibungszahlen, weder für die Messungen auf einem bestimmten Bodenbelag, noch für die Gleitreibungszahlmittelwerte aller Messkombinationen. Die Messwerte für die Sohlauflageflächen sind im Anhang 1 zusammengestellt.

Werden die Resultate für Gleitreibungszahlmittelwert und Auflagefläche durch eine quadratische Funktion angepasst, ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0.67, vgl. Abb. 6. Die angepasste Funktion nimmt bei 54 cm^2 ihr Maximum an, was der Hälfte der Auflagefläche von 109 cm^2 entspricht, die für die glatte, profillose Sohle (Muster 18) bestimmt wurde und in der Größenordnung der maximal möglichen Kontaktfläche liegt. Diese Beobachtung passt nicht schlecht zu den Angaben in der Literatur, nach denen auf nassen Bodenbelägen durch Profile mit 50-60 % Kontaktfläche gleitfeste Resultate erreicht werden. Zu beachten ist allerdings, dass das angewendete Verfahren zur Bestimmung der Auflagefläche wegen der Schwierigkeit, Profile gleichmässig mit Druckfarbe einzustreichen, mit relativ grossen Ungenauigkeiten behaftet ist (vgl. Anhang 1).

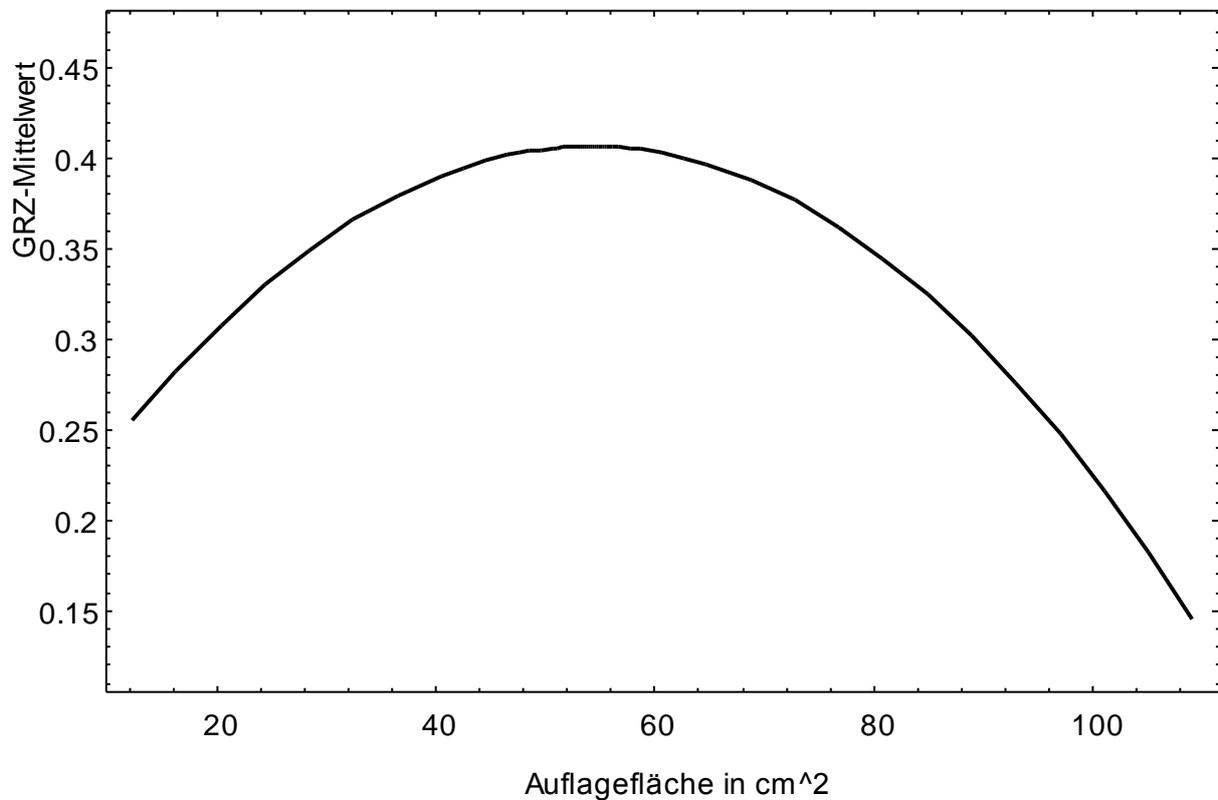


Abbildung 6: Gleitreibungszahlmittelwerte in Abhängigkeit der Sohlauflagefläche. Die gemessenen Gleitreibungszahlen wurden über die drei Bodenbeläge und über linkes und rechtes Sohlenmuster, die gemessenen Sohlauflageflächen über das linke und rechte Sohlenmuster gemittelt. In quadratischer Anpassung korrelieren die aufgetragenen Werte mit einem Koeffizienten von 0.67.

3 Statistische Auswertung von EMPA-Messdaten

Die EMPA St. Gallen führte während der letzten Jahre Prüfungen nach dem bfu-Prüfreglement für Schuhe mit erhöhter Gleitfestigkeit durch. Dabei resultierende Daten (Gleitreibzahlen) wurden statistisch analysiert, um Informationen darüber zu erhalten, ob sich bestimmte Profilmerkmale generell günstig auf die Gleitfestigkeit auswirken.

Ein Querschnitt von 60 Schuhmustern wurde bezüglich der in Tab.5 aufgelisteten Profilmerkmale beurteilt. Für die einem bestimmten Profilmerkmal entsprechenden Prüfmuster wurde jeweils die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Gleitreibzahlen, Gleitreibzahlmittelwert und Standardabweichung untersucht. Berücksichtigt wurden alle im bfu-Prüfreglement vorgesehenen Prüfkombinationen von Standardbodenbelägen und Zwischenmedien sowie alle 3 Prüfzustände der Schuhe, nämlich Originalzustand, gealtert und nach künstlichem Abrieb.

Die gefundenen Ergebnisse sind in Tab.4 zusammengefasst. Wenn überhaupt, wurden minimale Effekte gefunden, die statistisch kaum signifikant und teilweise widersprüchlich sind. Die wichtigsten zu erkennenden Tendenzen sind:

- Sohlentyp: Flachsohlen scheinen auf Stahl gleitfester als Absatz- und Formsohlen.
- Spitzensprengung: Keine einheitliche Tendenz ist feststellbar.
- Profilfeinheit: Grobprofile scheinen auf Stahl weniger gleitfest. Mittelfeine Profile ergaben insbesondere auf Keramik relativ hohe Gleitreibzahlen.
- Profilmuster: Regelmässige Muster scheinen auf Stahl gleitfester als unregelmässige.
- Stollenkanten: Beim Zwischenmedium Wasser mit Netzmittel lässt sich kein Unterschied zwischen scharfen und gebrochenen Kanten feststellen. Scharfe Profilkanten scheinen aber auf Stahl/Glyzerin gleitfester als gebrochene Kanten.
- Häufigste Kantenverläufe: Profile mit unregelmässig in alle Richtungen verlaufenden Stollenkanten scheinen auf Keramik und Stahl gleitfester als Profile mit überwiegend quer oder schräg verlaufenden Kanten.
- Profiltiefe: Tiefere Profile scheinen auf nassem PVC und nassem Stahl gleitfester. Auf Stahl/Glyzerin lieferten tiefere Profile aber die niedrigsten Gleitreibzahlen.
- Struktur der Auflagefläche: Normal glatte Profilaufgabeflächen ergaben bei allen Prüfkombinationen überdurchschnittliche Gleitreibzahlen.

Aufgrund der zum Teil gegenläufigen Tendenzen lassen sich keine eindeutigen Schlussfolgerungen auf generell für die Gleitfestigkeit günstige Sohlenprofilmerkmale ziehen. Der gewählte statistische Ansatz scheint zu vereinfachend zu sein, insbesondere bei Berücksichtigung von Profilmerkmalen allein, ohne das Sohlenmaterial als wichtigen Einflussfaktor auf die Gleitfestigkeit einzubeziehen.

Tabelle 5: Ergebnisse einer statistischen Auswertung von EMPA-Messdaten bezüglich verschiedenen Profilmerkmalen. Als Zahlenwerte sind Unterschiede in den gefundenen Gleitreibzahlmittelwerten eingetragen. Unterschiede von über 0.03 können als mögliche Tendenzen diskutiert werden. Es ist allerdings zu beachten, dass selbst die grössten gefundenen Unterschiede in den Gleitreibzahlmittelwerten (0.07 bis 0.08) aufgrund grosser Standardabweichungen statistisch nicht signifikant sind.

Profilmerkmal	Prüfkombination			
	PVC/Wasser*	Keramik/Wasser*	Stahl/Wasser*	Stahl/Glyzerin
Sohlentyp <ul style="list-style-type: none"> • Flachsohle • Formsohle • Absatzsohle 	Absatzsohlen mind. 0.03 höhere GRZ	Formsohlen mind. 0.02 höhere GRZ	Flachsohlen mind. 0.03 höhere GRZ	Flachsohlen mind. 0.04 höhere GRZ
Spitzensprengung <ul style="list-style-type: none"> • gering • stark 	stark 0.03 höhere GRZ	gering 0.03 höhere GRZ	kein Unterschied	kein Unterschied
Profilfeinheit <ul style="list-style-type: none"> • fein • mittel • grob 	grob mind. 0.05 höhere GRZ	mittel mind. 0.07 höhere GRZ	grob mind. 0.02 tiefere GRZ	grob mind. 0.04 tiefere GRZ
Profilmuster <ul style="list-style-type: none"> • regelmässig • ähnliche Stollen • komplex 	keine Tendenz	komplex mind. 0.05 höhere GRZ	regelmässig mind. 0.04 höhere GRZ	regelmässig mind. 0.04 höhere GRZ
Stollenkanten <ul style="list-style-type: none"> • scharf • gebrochen 	kein Unterschied	kein Unterschied	kein Unterschied	scharf 0.02 höhere GRZ
Häufigste Kantenverläufe <ul style="list-style-type: none"> • quer • schräg/gekrümmt • unregelmässig 	quer mind. 0.04 höhere GRZ	unregelmässig mind. 0.05 höhere GRZ	unregelmässig mind. 0.04 höhere GRZ	kein Unterschied
Profiltiefe <ul style="list-style-type: none"> • < 1mm • 1-3 mm • 3-5 mm • 5-7 mm • > 7 mm 	Profiltiefen >5 mm mind. 0.07 höhere, Profiltiefen <5 mm gleiche GRZ	Profiltiefe 3-5 mm mind. 0.04 höhere, Profiltiefe <1 mm mind. 0.03 tiefere GRZ	Profiltiefe >7 mm mind. 0.05 höhere, andere Profiltiefen gleiche GRZ	Profiltiefe 1-3 mm mind. 0.03 höhere, Profiltiefen >5 mm mind. 0.02 tiefere GRZ
Struktur der Auflagefläche <ul style="list-style-type: none"> • Linien • glatt (normal) • rauh • gepunzt 	glatt und gepunzt mind. 0.02 höhere GRZ	glatt und gepunzt mind. 0.08 höhere GRZ	glatt mind. 0.05 höhere GRZ	glatt und Linien mind. 0.02 höhere GRZ

*) Wasser mit 0.5 % Netzmittel

4 Schlussfolgerungen

Die Fachliteratur führte vor Augen, dass die Gleitfestigkeit von Schuhsohlen in komplexer Weise von einer Vielfalt von Parametern abhängt. Für unterschiedliche Anwendungszwecke und wechselnde Praxissituationen scheint eine einheitliche, universelle Schuhsohle mit optimaler Gleitfestigkeit unrealistisch. Immerhin lassen sich aus der Literatur Richtlinien für die gleitfeste Gestaltung verschiedener Profilvermerkmale beziehen.

Im Rahmen von Gleitreibmessungen, die an einer begrenzten und unsystematischen Auswahl von Sohlenmustern durchgeführt wurden, konnten verschiedene Einflüsse von Sohlenmaterial und Profil demonstriert werden. Materialeinflüsse zeichneten sich im Schnitt deutlicher ab als Einflüsse des Sohlenprofils. Die zum Teil gefundenen Abhängigkeiten der Gleitreibzahlen von Sohlenmaterialhärte und Auflagefläche des Profils stimmten mit den Erwartungen überein. Aus den Messresultaten liessen sich betreffend Gleitfestigkeit in erster Linie paarweise Vergleiche zwischen Sohlenmustern ziehen; allgemeingültige Empfehlungen konnten daraus nicht abgeleitet werden.

Projektbeteiligte

Das Projekt über den Einfluss von Sohlenmaterial und Profil auf die Gleitfestigkeit wurde an der EMPA St. Gallen in Zusammenarbeit mit der bfu Bern und der Suva Luzern durchgeführt. Die Firma Dätwyler AG Altdorf entwickelte die bei den Untersuchungen verwendeten Leisten und stellte die 27 Sohlenmuster zur Verfügung.

EMPA St. Gallen
Abteilung Sicherheit

St. Gallen, 28. November 1997

Dr. S. Derler

F. Kausch

Anhang 1: Herstellerbezeichnungen, Messresultate für Auflageflächen und Shore-Härte A der untersuchten Sohlenmuster. Bei sämtlichen Materialien handelt es sich um Gummimischungen.

Muster Nr.	Material Nr.	Sohlenmaterial-bezeichnung des Herstellers	Profilbezeichnung des Herstellers	Auflagefläche in cm ²	Shore-Härte A	Messung der Shore-Härte A
1	1	433176	Scalino	12.3	78.5	Profilseite
2	2	433161	Scalino	28.5	64.6	Profilseite
3	1	433176	GR KS-90	41.6	78.6	Profilseite
4	2	433161	GR KS-90	48.7	67.1	Profilseite
5	3	433006	Dessin-246	30.7	49.7	Profilseite
6	4	444486	Dessin-246	30.0	66.1	Profilseite
7	4	444486	Dessin-236	35.7	65.4	Profilseite
8	3	433006	Dessin-248	55.0	51.3	Profilseite
9	3	433006	Dessin-248	34.3		
10	3	433006	Dessin-236	46.5	61.0	Profilseite
11	4	444486	Dessin-209	17.8	66.5	Profilseite
12	4	444486	Dessin-248	49.0	66.5	Profilseite
13	4	444486	Dessin-248	48.7		
14	5	433156	mit Profil	31.8	79.0	Profilseite
15	5	433156	ohne Profil, geschliffen	68.5	80.2	Profilseite
16	4	444486	ohne Profil, geschliffen	96.6	60.9	Profilseite
17	4	444486	mit Profil	36.7	61.9	Profilseite
18	4	444486	ohne Profil, glatt	109.1	62.3	Profilseite
19	6	432461/30604	Art. 208/KS-90	23.4	71.2	Sohleninnenseite
20	7	433161/30604	Art. 208	35.1	67.0	Sohleninnenseite
21	8	471971/71812	Art. 208/KS-90	28.3	63.5	Sohleninnenseite
22	6	432461/30604	Art. 208	25.3	70.3	Sohleninnenseite
23	7	433161/30604	Art. 208/KS-90	20.3	67.5	Sohleninnenseite
24	8	471971/71812	Art. 208	31.7	62.4	Sohleninnenseite
25	3	433006	Dessin-209	23.9	47.4	Sohleninnenseite
26	9	444481	Apollo	74.5	66.6	Sohleninnenseite
27	10	444271	Apollo	74.1	56.6	Profilseite

Anhang 2: Auf PVC gemessene Anfangsgleitreibzahlen und Gleitreibzahlen. μ = ausgewertete Gleitreibzahlen, $\Delta\mu$ = Standardabweichungen von 15 Einzelmessungen.

Muster	Fuss	Anfangsgleitreibzahl		Gleitreibzahl	
		μ_A	$\Delta\mu_A$	μ_G	$\Delta\mu_G$
1	l	0.390	0.020	0.223	0.013
1	r	0.398	0.031	0.226	0.012
2	l	0.507	0.047	0.236	0.011
2	r	0.492	0.046	0.220	0.009
3	l	0.402	0.070	0.324	0.022
3	r	0.461	0.055	0.361	0.019
4	l	0.542	0.053	0.398	0.009
4	r	0.527	0.055	0.361	0.009
5	l	0.238	0.013	0.196	0.007
5	r	0.233	0.029	0.195	0.006
6	l	0.293	0.016	0.200	0.004
6	r	0.312	0.015	0.209	0.005
7	l	0.351	0.037	0.179	0.001
7	r	0.394	0.011	0.156	0.018
8	l	0.475	0.061	0.321	0.011
8	r	0.525	0.047	0.320	0.008
9	l	0.393	0.031	0.251	0.004
9	r	0.495	0.026	0.259	0.003
10	l	0.362	0.027	0.234	0.002
10	r	0.418	0.022	0.255	0.011
11	l	0.371	0.042	0.132	0.002
11	r	0.435	0.021	0.159	0.002
12	l	0.564	0.022	0.246	0.004
12	r	0.589	0.016	0.253	0.006
13	l	0.525	0.030	0.225	0.008
13	r	0.528	0.030	0.230	0.004
14	l	0.616	0.012	0.246	0.004
14	r	0.558	0.052	0.248	0.003
15	l	0.471	0.016	0.239	0.003
15	r	0.505	0.036	0.252	0.004
16	l	0.403	0.021	0.188	0.007
16	r	0.310	0.032	0.165	0.007
17	l	0.622	0.039	0.223	0.008
17	r	0.664	0.032	0.220	0.004
18	l	0.466	0.101	0.088	0.015
18	r	0.352	0.050	0.022	0.004
19	l	0.477	0.019	0.261	0.007
19	r	0.471	0.017	0.266	0.007
20	l	0.398	0.016	0.260	0.004
20	r	0.415	0.013	0.245	0.010
21	l	0.425	0.027	0.291	0.015
21	r	0.403	0.018	0.266	0.013
22	l	0.444	0.029	0.296	0.023
22	r	0.471	0.027	0.302	0.025
23	l	0.446	0.021	0.260	0.015
23	r	0.408	0.013	0.230	0.010
24	l	0.430	0.026	0.256	0.015
24	r	0.422	0.019	0.268	0.016
25	l	0.335	0.015	0.148	0.018
25	r	0.386	0.026	0.162	0.017
26	l	0.448	0.015	0.214	0.004
26	r	0.429	0.040	0.200	0.019
27	l	0.382	0.057	0.373	0.015
27	r	0.388	0.015	0.278	0.005

Anhang 3: Auf Stahl gemessene Anfangsgleitreibungszahlen und Gleitreibungszahlen. μ = ausgewertete Gleitreibungszahlen, $\Delta\mu$ = Standardabweichungen von 15 Einzelmessungen.

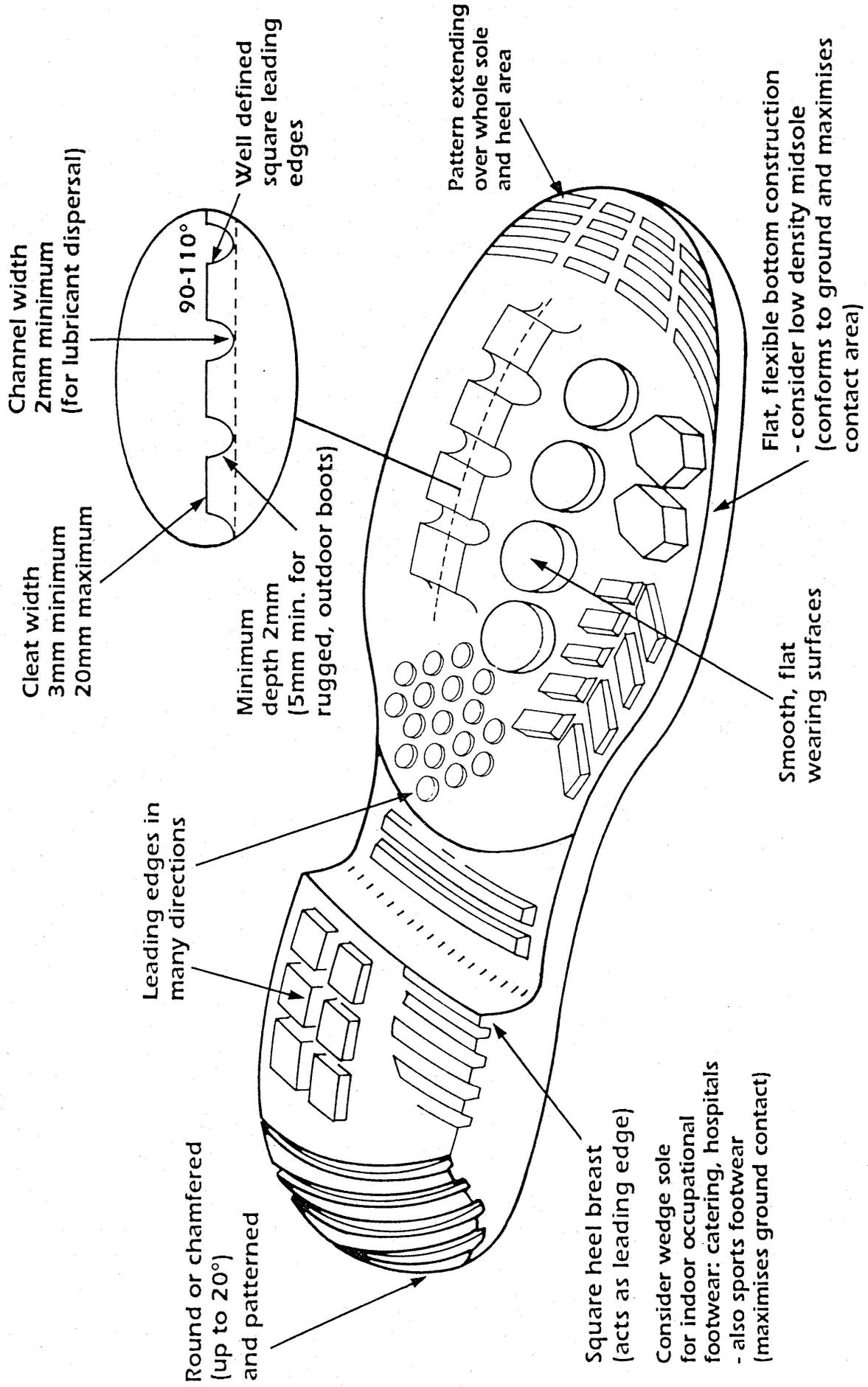
Muster	Fuss	Anfangsgleitreibungszahl		Gleitreibungszahl	
		μ_A	$\Delta\mu_A$	μ_G	$\Delta\mu_G$
1	l	0.514	0.031	0.368	0.009
1	r	0.556	0.014	0.418	0.009
2	l	0.694	0.011	0.441	0.007
2	r	0.700	0.011	0.446	0.008
3	l	0.587	0.017	0.515	0.011
3	r	0.617	0.012	0.562	0.012
4	l	0.759	0.022	0.650	0.012
4	r	0.758	0.012	0.641	0.008
5	l	0.398	0.019	0.379	0.009
5	r	0.367	0.021	0.344	0.020
6	l	0.458	0.037	0.493	0.009
6	r	0.573	0.035	0.534	0.022
7	l	0.639	0.088	0.513	0.022
7	r	0.691	0.051	0.538	0.023
8	l	0.785	0.075	0.592	0.018
8	r	0.836	0.063	0.624	0.021
9	l	0.625	0.056	0.496	0.031
9	r	0.633	0.031	0.419	0.028
10	l	0.446	0.030	0.376	0.013
10	r	0.460	0.041	0.435	0.008
11	l	0.735	0.043	0.369	0.032
11	r	0.704	0.046	0.365	0.037
12	l	0.668	0.018	0.445	0.026
12	r	0.772	0.032	0.507	0.038
13	l	0.616	0.094	0.443	0.038
13	r	0.592	0.019	0.383	0.019
14	l	0.797	0.058	0.608	0.065
14	r	0.814	0.067	0.639	0.034
15	l	0.718	0.078	0.585	0.074
15	r	0.630	0.061	0.481	0.050
16	l	0.655	0.085	0.411	0.042
16	r	0.510	0.056	0.381	0.029
17	l	0.672	0.048	0.463	0.042
17	r	0.696	0.051	0.414	0.043
18	l	0.050	0.013	0.003	0.001
18	r	0.070	0.018	0.002	0.002
19	l	0.658	0.046	0.565	0.030
19	r	0.673	0.049	0.544	0.029
20	l	0.491	0.032	0.435	0.023
20	r	0.531	0.024	0.450	0.022
21	l	0.567	0.024	0.496	0.023
21	r	0.634	0.018	0.560	0.014
22	l	0.409	0.061	0.422	0.033
22	r	0.537	0.102	0.431	0.052
23	l	0.609	0.070	0.485	0.035
23	r	0.615	0.062	0.474	0.045
24	l	0.542	0.034	0.458	0.013
24	r	0.512	0.044	0.486	0.012
25	l	0.567	0.065	0.375	0.026
25	r	0.632	0.067	0.348	0.024
26	l	0.487	0.055	0.536	0.034
26	r	0.583	0.050	0.452	0.039
27	l	0.438	0.038	0.650	0.019
27	r	0.414	0.047	0.589	0.022

Anhang 4: Auf Keramik gemessene Anfangsgleitreibzahlen und Gleitreibzahlen. μ = ausgewertete Gleitreibzahlen, $\Delta\mu$ = Standardabweichungen von 15 Einzelmessungen.

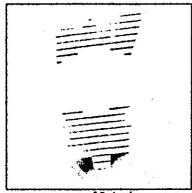
Muster	Fuss	Anfangsgleitreibzahl		Gleitreibzahl	
		μ_A	$\Delta\mu_A$	μ_G	$\Delta\mu_G$
1	l	0.166	0.026	0.161	0.013
1	r	0.172	0.030	0.167	0.013
2	l	0.324	0.037	0.318	0.020
2	r	0.300	0.030	0.300	0.016
3	l	0.218	0.035	0.212	0.018
3	r	0.230	0.037	0.222	0.018
4	l	0.376	0.045	0.382	0.029
4	r	0.400	0.041	0.408	0.027
5	l	0.338	0.011	0.399	0.052
5	r	0.332	0.011	0.411	0.074
6	l	0.331	0.006	0.361	0.015
6	r	0.410	0.005	0.415	0.007
7	l	0.262	0.020	0.262	0.013
7	r	0.350	0.020	0.343	0.016
8	l	0.412	0.007	0.424	0.019
8	r	0.460	0.008	0.469	0.021
9	l	0.443	0.009	0.463	0.017
9	r	0.445	0.014	0.472	0.021
10	l	0.565	0.015	0.577	0.028
10	r	0.602	0.028	0.645	0.038
11	l	0.296	0.007	0.302	0.023
11	r	0.298	0.010	0.304	0.024
12	l	0.375	0.005	0.369	0.019
12	r	0.371	0.008	0.365	0.021
13	l	0.345	0.009	0.345	0.013
13	r	0.387	0.007	0.386	0.018
14	l	0.362	0.016	0.368	0.019
14	r	0.369	0.019	0.372	0.020
15	l	0.360	0.015	0.357	0.019
15	r	0.344	0.017	0.344	0.018
16	l	0.300	0.021	0.299	0.019
16	r	0.247	0.041	0.276	0.037
17	l	0.290	0.016	0.295	0.013
17	r	0.299	0.016	0.303	0.010
18	l	0.362	0.046	0.287	0.020
18	r	0.320	0.062	0.283	0.036
19	l	0.294	0.025	0.284	0.012
19	r	0.292	0.024	0.281	0.013
20	l	0.328	0.017	0.338	0.012
20	r	0.348	0.028	0.348	0.014
21	l	0.421	0.007	0.415	0.004
21	r	0.420	0.007	0.415	0.006
22	l	0.248	0.026	0.261	0.010
22	r	0.280	0.034	0.278	0.010
23	l	0.287	0.015	0.285	0.008
23	r	0.286	0.020	0.280	0.008
24	l	0.416	0.010	0.421	0.004
24	r	0.422	0.016	0.423	0.003
25	l	0.316	0.013	0.309	0.011
25	r	0.410	0.006	0.390	0.012
26	l	0.293	0.020	0.279	0.008
26	r	0.312	0.023	0.289	0.004
27	l	0.358	0.031	0.359	0.009
27	r	0.371	0.037	0.369	0.014

Anhang 5: Zusammenfassung der gemessenen Gleitreibzahlen. Jedes gefüllte Kästchen entspricht einer der 27 untersuchten Kombination von Sohlenmaterial und Profil. In jedem Kästchen sind (von oben nach unten) die folgenden Gleitreibzahlen angegeben: Gesamtmittelwert und Mittelwerte l/r für PVC, Stahl und Keramik.

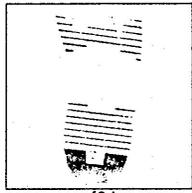
Material/ Profil	1 433176	2 433161	3 433006	4 444486	5 433156	6 432461 /30604	7 433161 /30604	8 471971 /71812	9 444481	10 444271
glatt				0.114 0.055 0.002 0.285 18	E					
einge- schnitt. Wellen									0.328 0.207 0.494 0.284 26	0.436 0.325 0.619 0.364 27
Wellen quer			0.289 0.155 0.361 0.350 25	0.272 0.146 0.367 0.303 11	F				B	
kariert diagonal			0.321 0.195 0.361 0.405 5	0.369 0.205 0.514 0.388 6						
Quer- linien			0.393 0.255 0.457 0.467 9	0.335 0.227 0.413 0.365 13						
versch. Elemente			0.420 0.244 0.405 0.611 10	0.332 0.167 0.526 0.302 7						
Längs- linien			0.458 0.320 0.608 0.446 8	0.364 0.249 0.476 0.367 12						
geschlif- fen				0.287 0.176 0.396 0.287 16	0.376 0.245 0.533 0.350 15					
Rhomben gitter				0.320 0.221 0.438 0.299 17	0.413 0.247 0.623 0.370 14	C				
Lamellen quer	0.260 0.224 0.393 0.164 1	0.327 0.228 0.443 0.309 2								
grob (KS 90)	0.366 0.342 0.538 0.217 3	0.473 0.379 0.645 0.395 4				0.367 0.263 0.554 0.282 19	0.336 0.245 0.479 0.282 23	0.407 0.278 0.528 0.415 21		
grob (A.208)	A					0.332 0.299 0.426 0.269 22	0.346 0.252 0.442 0.343 20	0.385 0.262 0.472 0.422 24	D	



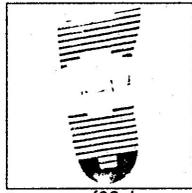
(Aus Ref. 23) —Slip-resistant sole design—recommended features.



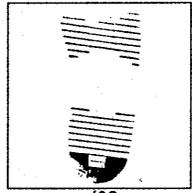
prof01_l



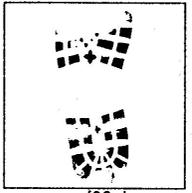
prof01_r



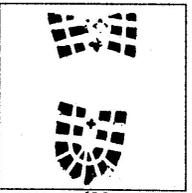
prof02_l



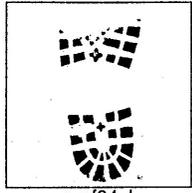
prof02_r



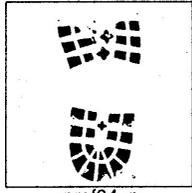
prof03_l



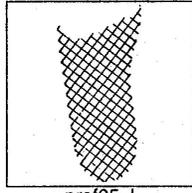
prof03_r



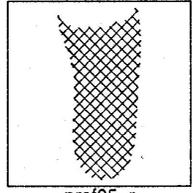
prof04_l



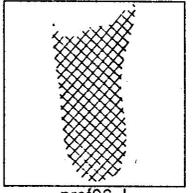
prof04_r



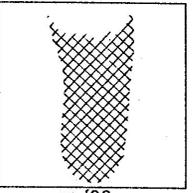
prof05_l



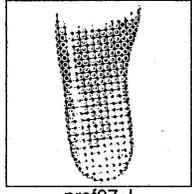
prof05_r



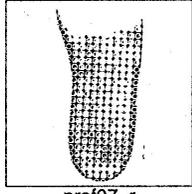
prof06_l



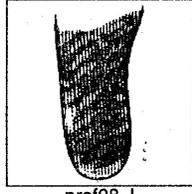
prof06_r



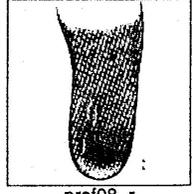
prof07_l



prof07_r



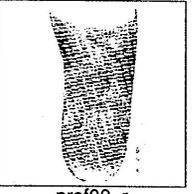
prof08_l



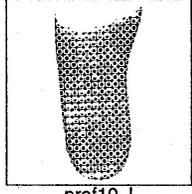
prof08_r



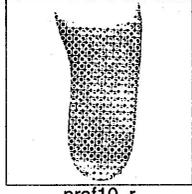
prof09_l



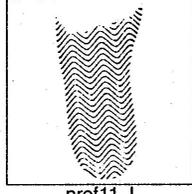
prof09_r



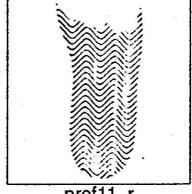
prof10_l



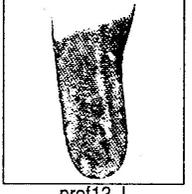
prof10_r



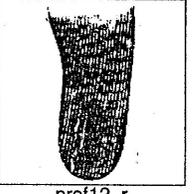
prof11_l



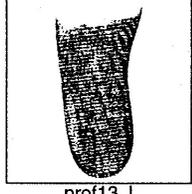
prof11_r



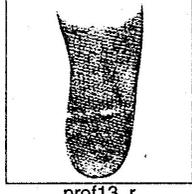
prof12_l



prof12_r



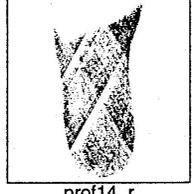
prof13_l



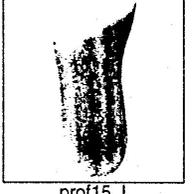
prof13_r



prof14_l



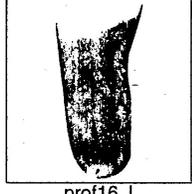
prof14_r



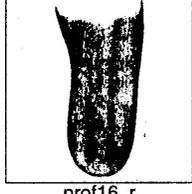
prof15_l



prof15_r



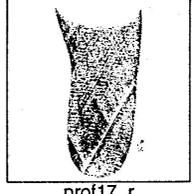
prof16_l



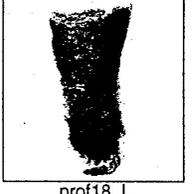
prof16_r



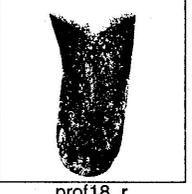
prof17_l



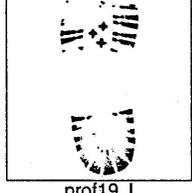
prof17_r



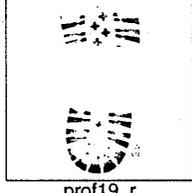
prof18_l



prof18_r



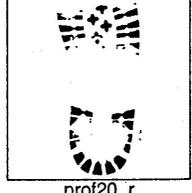
prof19_l



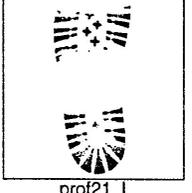
prof19_r



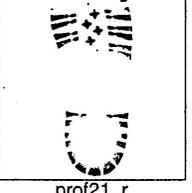
prof20_l



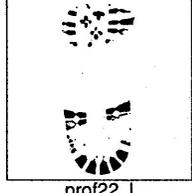
prof20_r



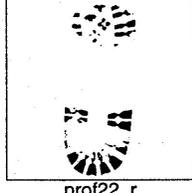
prof21_l



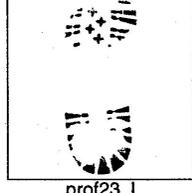
prof21_r



prof22_l



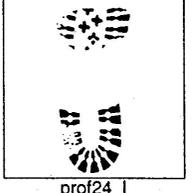
prof22_r



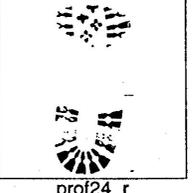
prof23_l



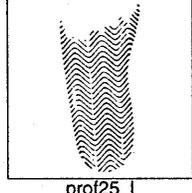
prof23_r



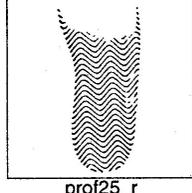
prof24_l



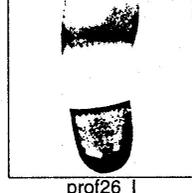
prof24_r



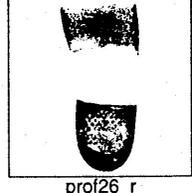
prof25_l



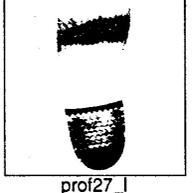
prof25_r



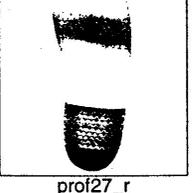
prof26_l



prof26_r



prof27_l



prof27_r

Sicher leben: Ihre bfu.

Die bfu setzt sich im öffentlichen Auftrag für die Sicherheit ein. Als Schweizer Kompetenzzentrum für Unfallprävention forscht sie in den Bereichen Strassenverkehr, Sport sowie Haus und Freizeit und gibt ihr Wissen durch Beratungen, Ausbildungen und Kommunikation an Privatpersonen und Fachkreise weiter. Mehr über Unfallprävention auf www.bfu.ch.

© bfu 1997. Alle Rechte vorbehalten; Reproduktion (z. B. Fotokopie), Speicherung, Verarbeitung und Verbreitung sind mit Quellenangabe (s. Zitationsvorschlag) gestattet