

Rutschsicherheit auf Treppen

Prüfverfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung
von Treppen-Stufenkanten

H. Fischer, H. Reyhl

**Forschung
Projekt F 1639**

**Forschung
Projekt F 1639**

H. Fischer
H. Reyhl

Rutsicherheit auf Treppen

**Prüfverfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung
von Treppen-Stufenkanten**

Dortmund/Berlin/Dresden 2006

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt „Erarbeitung von Prüfverfahren zur Rutsicherheit auf Treppen“ - Projekt F 1639 - der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Autoren: Dr.-Ing. Hugo Fischer
Holger Reyhl
Gruppe „Produkte, mechanische und elektrische Sicherheit“
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

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

Berlin:
Nöldnerstr. 40 - 42, D-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.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Kurzreferat		5
Abstract		6
1	Einleitung	7
2	Anforderungen an die Prüfverfahren	8
3	Biomechanischen Untersuchungen beim Begehen von Treppen	9
4	Prüfung der Rutschhemmung von Treppenstufen	13
5	Vorschlag von Prüfparametern für Stufenkanten	14
6	Interpretation der Prüfergebnisse	17
7	Diskutierte Prüfverfahren	18
8	Wahl eines geeigneten Prüfverfahrens	19
9	Erprobung des Verfahrens am Beispiel ausgewählter Stufenkantenprofile	22
9.1	Untersuchte Stufenkantenprofile	22
9.2	Durchführung der Prüfung	22
9.3	Prüfergebnisse	22
9.4	Auswertung der Prüfergebnisse	23
10	Schlussfolgerungen und Ausblick	25
11	Literaturverzeichnis	26
12	Verzeichnis der Vorschriften und Regeln	27
13	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	28
Anhang A	Geprüfte Stufenkantenprofile	29
Anhang B	Zusammenstellung der Messergebnisse	30
Anhang C	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$	34

Rutschsicherheit auf Treppen Prüfverfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung von Treppen-Stufenkanten

Kurzreferat

Häufige Ursache für Treppenstürze ist die unzureichende Rutschsicherheit von Treppenstufen, insbesondere der Stufenkanten. Derzeit gibt es keine speziellen Verfahren zur Prüfung der Rutschhemmung von Treppenstufen und deren Vorderkanten.

Aus den Ergebnissen vorangegangener biomechanischer Untersuchungen beim Abwärtsgehen auf Treppen werden die kritischen Phasen und daraus abgeleitete Prüfparameter diskutiert. Aus verschiedenen Ansätzen wird ein Verfahren gewählt, das die vorgeschlagenen Parameter weitgehend berücksichtigt. Das Verfahren wird an 8 bautypischen Stufenkantenprofilen erprobt und ein Verfahrensablauf in Anlehnung an den Normentwurf DIN 51 131 für die Prüfung der Rutschhemmung von Fußböden vorgeschlagen. Das Prüfverfahren ermöglicht eine Beurteilung der Rutschsicherheit in den kritischen Aufsetzwinkeln des Schuhs auf der Stufenkante.

Schlagwörter:

Treppen, Treppenstufen, Stufenkanten, Rutschhemmung, Prüfverfahren, Messgeräte

Slip-resistance on stairs

Testing method to determine the slip-resistance of staircase-step edges

Abstract

Falls on staircases are often caused by inadequate slip-resistance, especially on step edges. At present, there are no special methods available to test the slip-resistance of staircase-steps and their front edges.

Based on the results of previous bio-mechanical studies, the critical phases of going downstairs and the derived test-parameters are discussed. Considering the different approaches, a method was chosen which takes into account most of the proposed parameters. The method was tested on 8 standard step edge designs and a procedure for the testing of the slip-resistance was proposed, which is in accordance with the standard draft DIN 51 131 for the determination of the slip-resistance of floors. The method provides the possibility to test the slip-resistance when the shoe meets the step at the most critical angle.

Key words:

Stairs, staircase-steps, step-edges, slip-resistance, test-method, testing-device

1 Einleitung

Treppenstürze sind ein Schwerpunkt im Unfallgeschehen, vor allem hinsichtlich ihrer Folgen. Von den 36.200 meldepflichtigen Treppenunfällen im Jahre 2001 waren 828 schwere, d. h. rentenpflichtige Unfälle sowie 2 tödliche Unfälle zu verzeichnen [1].

Etwa 90 % der Sturzunfälle ereignen sich am Treppenanfang oder Treppenende, meist durch Störung des Bewegungsrhythmus (der sog. Bewegungsregulation) [2, 4]. Bei einer Untersuchung im Bereich der BG für Einzelhandel wurde für 82 % der Treppenunfälle kein Verstoß gegen die Vorschriften und Regeln festgestellt. Das traf auch für die Mehrzahl der Treppenstürze durch Ausrutschen zu. Treppenstufen, d. h. die Auftrittsflächen und Stufenkanten werden hinsichtlich ihrer rutschhemmenden Eigenschaft im Vorschriften- und Regelwerk (BGR 181 bzw. GUV-R 181) bei gleichen Einsatzbedingungen genauso wie die benachbarten Fußbodenbeläge betrachtet. Zum Beispiel gelten bei möglicher Feuchtigkeit bzw. Nässe für Treppen und angrenzende Fußböden gleichermaßen in Innenbereichen die Bewertungsgruppe R9 und in Außenbereichen die Gruppen R11 oder R10/V4. Die Stufenbeläge werden also wie die benachbarten Bodenbeläge ausgewählt, im günstigen Fall werden die Stufenkanten zusätzlich noch mit rutschhemmenden Zusatzsystemen, z. B. Profilleisten, -streifen, -rillen, versehen. Falsch ausgewählte Zusatzsysteme können aber die Trittsicherheit auf Treppen verschlechtern, z. B. durch Verringerung der Rutschhemmung oder als Stolperstelle.

Für Treppenstufen und deren Vorderkanten sind keine speziellen Verfahren zur Ermittlung der Rutschhemmung bekannt. Es fehlen derzeit spezielle Prüfparameter für Prüfverfahren der Auftrittsflächen und Vorderkanten von Treppenstufen. Stufenauftrittsflächen werden gegenwärtig geprüft wie ebene Fußboden-Trittflächen (Abschn. 4).

2 Anforderungen an die Prüfverfahren

In den Prüfverfahren sollen das Prüfprinzip, der Verfahrensablauf und die Prüfparameter vorgeschlagen werden, wonach Prinziplösungen entwickelt und Prüfgeräte gebaut werden können. Die konstruktive Ausführung der Geräte kann dabei unterschiedlich sein. Neben Geräten für eine Prüfung im Labor sollten auch mobile Geräte für eine Vor-Ort-Prüfung entwickelt werden.

Die Rutschsicherheit von Treppenstufen einschließlich deren Vorderkanten hängt von verschiedenen **Einflussfaktoren und Parametern** ab:

- geometrische Gestalt (Profilierung, Kantenradius ...), Oberflächenrauigkeit (Mikrorauigkeit, verschleißbedingte Glätte ...), Materialeigenschaften (Härte/Elastizität ...)
- möglichen Gleitmitteln (Nässe, Pflegemittel ...)
- Schuhsohle (Gestalt, Profil, Rauigkeit, Härte/Elastizität ...)
- menschbezogenen Faktoren/Gehverhalten (Ganggeschwindigkeit, Fußkräfte, Fußstellung, gangstabilisierende Hilfsmittel/Handläufe, Wahrnehmung/Erkennbarkeit von rutschigen Stellen ...)

Die Prüfverfahren sollen auf die Prüfung des Reibpartners Treppenstufe einschl. Stufenkante gerichtet sein. Der Reibpartner Schuhsohle soll dabei als Prüfnormal vorgegeben werden. Bei der Erarbeitung der Prüfverfahren zur Rutschhemmung sollen unter den genannten Faktoren und Parametern diejenigen erfasst und optimiert werden, die wesentlichen Einfluss auf die Rutschsicherheit von Treppenstufen haben, z. B. Kontaktflächen zwischen Stufen/Kanten und Schuhsohlen, Material und Profilgebung der Schuhsohle, typische Gleitmittel, sturzgefährdungsrelevante Bewegungsparameter des Menschen. Die zu entwickelnden Prüfverfahren sollen die Bewegungsparameter in kritischen Phasen (vor allem die Fußstellungen) sowohl im normalen Gang als auch bei gestörtem Gangrhythmus berücksichtigen. Die in der Realität beim Treppensteigen ermittelten **Treppen- und Bewegungsparameter** sollen dann modellhaft als **Prüfparameter** auf die Prüfverfahren übertragen werden. Für die Erarbeitung der Prüfparameter, insbesondere der menschbezogenen Bewegungsparameter, waren biomechanische Untersuchungen beim Begehen der Treppen erforderlich.

3 Biomechanischen Untersuchungen beim Begehen von Treppen

An der BAuA wurden Untersuchungen der Fußbewegungen und der Stufenbelastungen beim Abwärtsgehen auf Treppen durchgeführt, um für kritische Phasen die Bewegungsparameter zu erfassen [3]. Die Untersuchungen wurden auf das Abwärtsgehen eingegrenzt, da die Mehrzahl der Stürze sich beim Abwärtsgehen ereignen und diese im Vergleich zu den Stürzen beim Aufwärtsgehen in der Regel mit schwereren Unfallfolgen verbunden sind [2]. Nachfolgend werden aus den Untersuchungen [3] die wesentlichen Ergebnisse dargelegt und diskutiert, aus denen die Parameter für Prüfverfahren abgeleitet werden sollen.

Als **Versuchseinrichtung** diente ein sechsstufiges Treppenmodell mit stufenlos verstellbarem Neigungswinkel $20^\circ \dots 40^\circ$, eine Videokamera und Bildpunktverfolgungs-Software für xy-Koordinatensystem, eine 3-Komponenten-(xyz)-Kraftmessplattform (Fa. Kistler) und eine Druckverteilungs-Messplattform (Pedar-System). An den Versuchen nahmen 10 Personen (3 Männer, 7 Frauen) teil. Getragen wurden persönliche Schuhe sowie Schutzschuhe. Die Untersuchungen erfolgten beim freien, unbelasteten Abwärtsgehen auf der Versuchstreppe ohne Benutzung des Handlaufs.

Ermittelt wurden **Bewegungsparameter**, wie

- Aufsetz- und Abhebewinkel des Schuhs
- Aufsetzgeschwindigkeit
- Kräfte und Kontaktfläche bzw. Flächenpressung und deren Verteilung.

Der **Bewegungsablauf** des Fußes/Schuhs kann beim Abwärtsgang je nach Stufentiefe bzw. Treppen-Neigungswinkel sowie Ganggeschwindigkeit in unterschiedlicher Weise erfolgen. Dementsprechend unterscheiden sich auch die **biomechanischen Bewegungsparameter** für die Abrollbewegung des Schuhs auf der Stufenfläche bzw. Stufenkante aufgrund der unterschiedlichen Bewegungs- und Kräfteverhältnisse.

Flachere Treppen, z. B. im Freien, haben in der Regel größere Stufentiefen als steile Treppen, z. B. als Gebäudetreppen oder Zugangstreppen zu Maschinen und Anlagen. Auch der Aufsetzwinkel der Schuhsohle ist im Durchschnitt flacher als auf steileren Treppen. So betrug z. B. in den Untersuchungen [3] bei einer Treppe mit Neigungswinkel $\alpha = 20^\circ$ der mittlere Aufsetzwinkel $\beta = 6,5^\circ$. Bei großer Stufentiefe und entsprechend großer Schrittlänge, wie sie bei flachen Treppen möglich sind, kann die Vordersohle und Schuhspitze in Schrägstellung **vor der Stufenkante** (mit oder ohne Zusatzsystem - Abb. 3.1) aufsetzen. Die nachfolgende Abrollbewegung der Schuhsohle erfolgt zunächst nach hinten bis zum Aufsetzen des Absatzes, dann nach vorn **auf der Auftrittsfläche** vor der Stufenkante. Inwieweit auf der Stufenkante aufgesetzt wird, hängt auch von der Nutzungsweise der Treppe, d. h. vom Personen-Nutzerkreis und dessen Gehverhalten, wie Ganggeschwindigkeit, Schrittlänge, Schuhgröße u. a. ab. Die rutschhemmende Gestaltung der Vorderkante kann bei flachen Treppen unter solchen Bedingungen u. U. eine untergeordnete Rolle spielen. Es dominiert die rutschhemmende Gestaltung der Stufen-Auftrittsfläche.

Bei **sehr flachen Treppen** ($<20^\circ$) bzw. bei tiefen Stufen nähern sich die Bewegungsparameter auf der Treppe denen auf der Ebene. Es überwiegt die Vorwärtsbewegung der Schuhsohle beim Aufsetzen. Auf Treppenstufen mit geringer Rutschhemmung können bei höheren Ganggeschwindigkeiten und damit verbundenen dynamischen Kräften Sturzgefährdungen durch **Ausrutschen nach vorn** entstehen.

Beim Aufsetzen der Vordersohle wirkt in der ersten Hälfte der Auftrittszeit zunächst eine nach vorn gerichtete Horizontalkraft, die in der zweiten Hälfte der Abrollbewegung bis zum Abheben umgekehrt wird und nach hinten gerichtet ist.

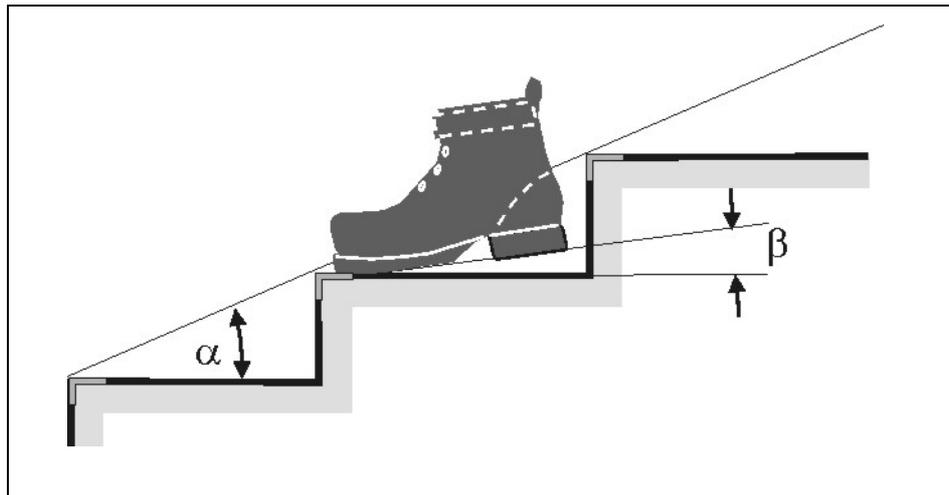


Abb. 3.1 Aufsetzen der Vordersohle vor der Stufenkante

Je steiler die Treppe ist, desto kürzer ist die Auftrittsfläche auf der Stufe (Auftrittstiefe) und desto größer wird der Einfluss der Rutschhemmung der Stufenkante auf die Rutschsicherheit. Auf **steileren Treppen** mit geringerer Stufentiefe und bei großem Schuhwerk setzt die Vordersohle meist schräg **auf der Stufenkante** auf, wobei die Schuhspitze unterschiedlich weit über die Stufenkante hinausragen kann (Abb. 3.2). Der Aufsetzwinkel auf steilen Treppen ist meist größer als auf flachen Treppen, d. h. je steiler die Treppe ist, desto größer ist der Aufsetzwinkel. So betrug z. B. bei einer Steiltreppe mit Neigungswinkel $\alpha = 40^\circ$ der mittlere Aufsetzwinkel $\beta = 13,1^\circ$, wobei im Einzelfall Aufsetzwinkel bis 25° durchaus möglich sind [3]. Die Abrollbewegung des Schuhs nach hinten und nach vorn geschieht dann **über die Stufenkante**. Diese Art der Abrollbewegung ist bei der Mehrzahl der Treppen, d. h. mit mittlerem bis großem Steigungswinkel ($>24^\circ$), der Fall. Auf solchen Treppen setzen die meisten Personen die Vordersohle auf einer kreisförmigen Bahn entgegen der Gangrichtung auf, die jedoch in kürzester Zeit umgekehrt wird. Je steiler die Stufe desto ausgeprägter ist die Rückwärtsbewegung des Schuhs. Unkritisch im normalen, ungestörten Bewegungsablauf sind die kurzzeitigen Rückwärtsbewegungen mit relativ hoher Aufsetzgeschwindigkeit beim Aufsetzen vor allem auf steilen Treppenstufen, da die dynamischen Körperkräfte durch Umkehrung der Bewegungsrichtung nach vorn sehr schnell kompensiert werden.

Der Winkel β zwischen Schuhsohle und Auftrittsfläche beim Abheben ist weitgehend unabhängig vom Neigungswinkel der Treppe. Dieser Winkel im Bereich $20^\circ \dots 35^\circ$ (Mittelwert 30°) erscheint hingegen weniger kritisch als der beim Aufsetzen, da sich das andere Bein bereits in der Stützphase befindet.

Bei sehr steilen Treppen und dynamischer Körperbewegung kann auch das schräge Aufsetzen auf der Stufenkante in steilem Winkel unmittelbar in eine Gleitbewegung übergehen. In der Abrollbewegung der Vordersohle über die Stufenkante, kann sich bei größerem Drehwinkel trotz nach hinten gerichteter Horizontalkraft unmittelbar vor dem letzten Kontakt mit der Stufenkante noch einmal die mögliche Rutschrichtung nach vorn umkehren. Die Bewegungsparameter zum Schluss der Abrollphase des Schuhs auf der Stufenkante (sehr hohe Anforderungskoeffizienten bei hohen Horizontalkräften und sehr geringen Vertikalkräften) können als unkritisch angesehen werden, wenn durch Schwerpunktverlagerung auf das vorgesetzte Stützbein das Gleichgewicht weitgehend stabilisiert ist. Es kann jedoch durch kurzzeitiges Anrutschen und unsicheren Stand auf dem Stützbein der Gangrhythmus gestört werden, was in der Folge zum Fehltreten auf den nächsten Stufen führen kann. Daher sollte bei umfassender Prüfung neben dem steilen Aufsetzen auch das steile Abheben mit berücksichtigt werden.

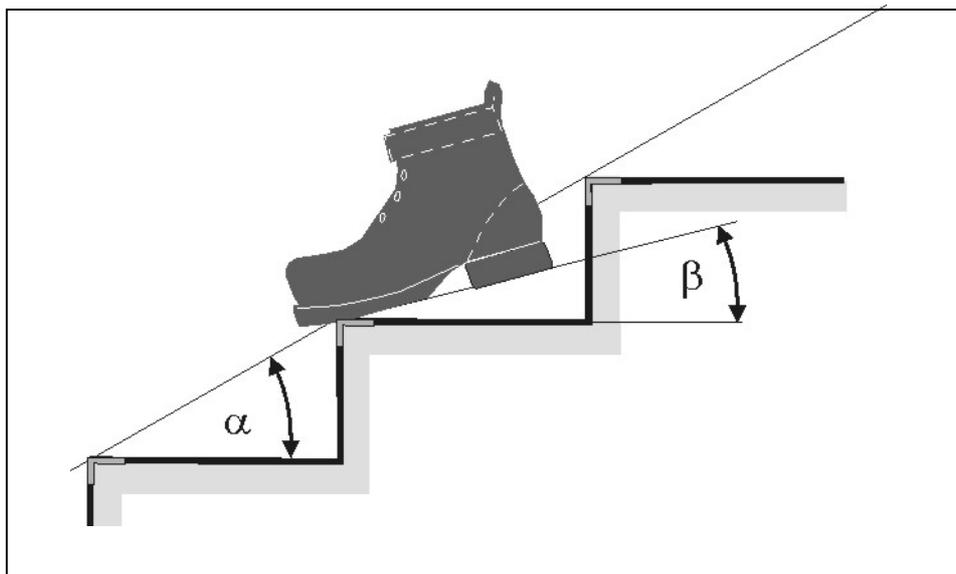


Abb. 3.2 Aufsetzen der Vordersohle auf der Stufenkante

Aus der Bewegungsanalyse können als **kritische Phasen** angesehen werden:

1. beim normalen, ungestörten Abwärtsgang:

- a) das **Aufsetzen** mit dem Schuh auf der Treppenstufe in unterschiedlichem Winkel ($0^\circ \dots 20^\circ$) **in der Vorwärtsbewegung** (vor oder auf der Stufenkante – je nach Stufentiefe/Treppenneigung, Gangverhalten, ...)
- b) das **Abheben** der Vordersohle von der Stufenkante/Auftrittsfläche in unterschiedlichem Winkel ($20^\circ \dots 35^\circ$) **in der Rückwärtsbewegung** (je nach Stufentiefe und Gangverhalten) sowie

- c) das schräge **Aufsetzen** auf der Stufenkante bei sehr steilen Treppen (je nach Bewegungsdynamik) sowie das Abrollen der Vordersohle kurz vor dem **Abheben** in größerem Winkel ($35^\circ \dots 45^\circ$) (je nach Stufentiefe/Treppenneigung) **in der Vorwärtsbewegung**.

2. beim gestörten Gangrhythmus,

z. B. durch optische oder taktile Irritationen, ungleiche Stufenhöhen oder unsicheren Auftritt (z. B. durch kurzzeitiges Anrutschen) [3]:

- a) das ungewollte Aufsetzen, d. h. **Fehltreten** in meist flacher Fußwinkelstellung ($0^\circ \dots 20^\circ$) auf der Stufe/Stufenkante an einer zufälligen Kontaktstelle in der Vorwärtsbewegung.

Beim Begehen von Treppen mit mittlerem Neigungswinkel ($25^\circ \dots 35^\circ$) liegen teilweise günstigere Bewegungsparameter vor als beim Gang auf der Ebene (geringere Aufsetzgeschwindigkeiten und Anforderungskoeffizienten beim Aufsetzen). **Trotzdem sollten die Anforderungen an die Rutschhemmung auf den Auftrittsflächen von Treppenstufen und -podesten nicht geringer sein als auf ebenen Fußbodenflächen**, da schon geringe Unsicherheiten zu Störungen des Bewegungsrhythmus führen können. Des Weiteren sollte auf den **Reibwertunterschied zwischen Stufen-auftrittsfläche und Stufenkante** geachtet werden. Besonders ein zu großer Unterschied im Übergang von hoher Rutschhemmung auf der Auftrittsfläche und geringer Rutschhemmung auf der Stufenkante kann durch Anrutschen den Bewegungsrhythmus stören [5].

4 Prüfung der Rutschhemmung von Treppenstufen

Bezüglich der Rutschhemmung der Auftrittsflächen von Treppenstufen bestätigt die derzeitige Prüfpraxis, dass diese ebenso geprüft und beurteilt werden kann wie die Rutschhemmung von Trittflächen auf der Ebene, da die Prüfparameter weitgehend gleich sind [3]. Ein gesondertes Prüfverfahren für die Rutschhemmung der Auftrittsflächen ist nicht erforderlich. Somit können für die Stufenauftrittsflächen auch die Verfahren für auf der Ebene verlegter Bodenbeläge angewendet werden [5]. Das Problem besteht bei einer Vor-Ort-Prüfung jedoch darin, dass die Stufentiefe als Messstrecke nach den üblichen Fußboden-Prüfverfahren in der Regel nicht ausreichend ist (erforderlich sind >50 cm). In diesem Fall muss quer zur Begehungsrichtung, d. h. längs der Stufen, gemessen werden. Wenn die Rutschhemmung abhängig ist von der Begehungsrichtung, ist daher zur Zeit eine Vor-Ort-Messung auch mit mobilen Geräten nicht möglich, sondern nur eine Labormessung nach den derzeitigen Verfahren, z. B. nach DIN 51 130 auf der Schiefen Ebene, bei denen die Begehungsrichtung berücksichtigt werden kann.

Nachfolgende Untersuchungen haben die Erarbeitung von Prüfverfahren zur Rutschhemmung von Stufenkanten zum Inhalt.

5 Vorschlag von Prüfparametern für Stufenkanten

Unter Berücksichtigung der in Abschn. 3 beschriebenen kritischen Phasen können aus den biomechanischen Untersuchungen [3] die **Prüfparameter** für ein zu entwickelndes Verfahren zur Prüfung der Rutschhemmung der Stufenkanten (mit oder ohne Zusatzsystem) abgeleitet werden (Tab. 5.1).

Die Mindestreibwerte in der Tabelle wurden nach den höchsten Anforderungskoeffizienten für die kritischen Winkelbereiche unter Berücksichtigung des Bewegungsablaufs und der Gleichgewichtsverhältnisse des Körpers festgelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass möglichst keine großen Sprünge im Reibwertverlauf des gesamten Winkelbereichs entstehen.

Zum Beispiel wurde für steile Fußwinkelstellungen ($35^\circ \dots 45^\circ$) und steile Treppen (40°) als obere Grenze für die Anforderungskoeffizienten der Bereiche $Q = 0,6 \dots 0,8$ festgestellt. Es wurde als Mindestreibwert $\mu \geq 0,6$ gewählt, um keine zu großen Unterschiede zum Mindestreibwert $\mu \geq 0,3$ für flachere Fußwinkelstellungen ($0^\circ \dots 20^\circ$) entstehen zu lassen.

Zu hohe Reibwerte können u. U. zur Störung des Bewegungsablaufs oder zum Hängen bleiben der Schuhsohle im Profil führen.

Tab. 5.1 Vorschlag von Prüfparametern [3]

Prüfbedingungen	Prüfwinkel auf Stufenkante	Gleitrichtung	Prüfgeschwindigkeit	Andruckkraft je Stufenkante (anteil. Gewichtskraft)	Mindestreibwert
normaler, ungestörter Gangrhythmus:					
- beim Aufsetzen	$0^\circ \dots 20^\circ$	vorwärts	10...30 cm/s	10...30 kg	$\geq 0,3$
- beim Abheben	$20^\circ \dots 35^\circ$	rückwärts	10...30 cm/s	7,5...15 kg	$\geq 0,4$
- beim steilen Aufsetzen/Abheben	$35^\circ \dots 45^\circ$	vorwärts	10...30 cm/s	7,5...15 kg	$\geq 0,6$
gestörter Gangrhythmus					
- beim Aufsetzen	$0^\circ \dots 20^\circ$	vorwärts	1,0...1,7 m/s	10...30 kg	$\geq 0,3$

Der Prüfwinkel für die Stufenkantenprüfung, der die Fußstellung zum Zeitpunkt des möglichen Ausrutschens nachbilden soll, wurde im Vergleich zur Fußbodenprüfung auf der Ebene nicht auf einen festen Winkel bzw. eng begrenzten Winkelbereich beschränkt, sondern **es wurde hier jede mögliche Fußwinkelstellung in den kritischen Phasen auf der Stufenkante beim Aufsetzen und Abheben gewählt. Im Unterschied zur Profilierung von Fußbodenbelägen kann bei der Stufenkantenprofilierung (insbesondere von Zusatzsystemen, wie Profilleisten, -streifen, -rillen ...) in jeder Fußwinkelstellung ein anderes Profil (Kanten, Spitzen, Rauigkeit ...) wirksam werden.**

Der Fußwinkel beim Aufsetzen und Abheben ist zudem abhängig vom Gehverhalten der Person (insbes. von der Ganggeschwindigkeit) sowie vom Treppen-Neigungswinkel. Daher wurden als Prüfwinkel unterschiedliche Winkelbereiche beim Aufsetzen ($0^\circ \dots 20^\circ$) und Abheben ($20^\circ \dots 35^\circ$) gewählt. Die Gleitrichtung ergibt sich aus der möglichen Ausrutschrichtung. **Für die kritische Fußbewegung Aufsetzen/Abheben ist also neben der Vorwärtsbewegung eine Gleiterbewegung rückwärts entgegen der Treppen-Begehungsrichtung vorgesehen, da die rutschhemmende Eigenschaft von Stufenkantenprofilen bei der Vorwärts- und Rückwärtsbewegung unterschiedlich sein kann.**

Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass die häufigsten Winkel für mittlere bis höhere Treppen-Neigungswinkel beim Aufsetzen zwischen 10° und 20° (vorwärts) und beim Abheben zwischen 25° und 35° (rückwärts) liegen. Diese Winkelbereiche sollten bei der Auswertung besondere Beachtung finden (kritische Winkel – siehe Anhang C).

Im Unterschied zur Rutschhemmungsprüfung von Trittflächen auf der Ebene wären für die Prüfung von Stufenkanten relativ niedrigere Prüfgeschwindigkeiten von $5 \dots 10$ cm/s (für ungestörten Gangrhythmus) ausreichend. Da bei solchen Geschwindigkeiten für viele Reibpaarungen keine stabilen Reibungsverhältnisse möglich sind und sich messtechnisch schwer nachbilden lassen [5], wurde für die **Prüfgeschwindigkeit** der Bereich **$10 \dots 30$ cm/s** gewählt. Solche Aufsetzgeschwindigkeiten werden auch besonders auf den flacheren Treppen erreicht.

Prüfgeschwindigkeiten von $1,0$ bis $1,7$ m/s beim Aufsetzen im gestörten Gangrhythmus (Fehltreten) sind als translatorische Gleiterbewegung nach gegenwärtigem Stand der Technik nur schwer bzw. nur mit hohem Aufwand realisierbar und werden daher hier bei der Suche nach geeigneten Prüfverfahren vorerst nicht in Betracht gezogen.

Der Prüfparameter **Flächenpressung** kann sich in jeder Fußstellung verändern, da sich die Kontaktfläche in Abhängigkeit von der Profilierung der Vorderkante oder des Zusatzsystems ständig ändern kann. Daher wurde als entsprechender Prüfparameter nicht die Flächenpressung, sondern eine anteilige Gewichtskraft durch die Prüfpersonen in der Anfangs- und Schlussphase gewählt ($7,5 \dots 30$ kg). Unter dem Gesichtspunkt der praktischen Handhabbarkeit werden sich die Gewichte für mobile Gleitreibungsmessgeräte eher an der unteren Grenze des anteiligen Körpergewichts orientieren (< 10 kg).

Der an der Vorderkante rutschhemmend wirksame Bereich ist abhängig vom Neigungswinkel der Treppe. Auf steileren Treppen ($> 30^\circ$) ist ein Bereich von mindestens 30 mm rutschhemmend wirksam, bei flacheren Treppen ($< 30^\circ$) hingegen mindestens 50 mm [3]. Da Zusatzsysteme unabhängig vom Treppenneigungswinkel eingesetzt werden, sollte daher die Rutschhemmungsprüfung der Stufenkanten mindestens über eine **Breite von 50 mm** erfolgen, soweit das Zusatzsystem breiter ist (z. B. bei in den Stufenbelag integrierten Zusatzsystemen). Die Breite der meisten gebräuchlichen Stufenkanten-Zusatzsysteme bewegt sich im Bereich < 50 mm.

Der erforderliche **Mindestreibwert** beim Aufsetzen auf der Treppenstufe im normalen, ungestörten Gang ist nicht größer als beim Aufsetzen auf der ebenen Trittfläche. Er sollte für das Aufsetzen (Gleitbewegung vorwärts) ebenfalls $\mu \geq 0,3$ sein, da sich Gangunsicherheiten auf Treppen gravierender auswirken können als auf ebenen

Trittflächen (insbes. Störungen des Bewegungsrhythmus durch Anrutschen). Für das Abheben in der Bewegung nach hinten und das steile Aufsetzen/Abheben nach vorn in der Schlussphase wurden wegen der höheren Anforderungskoeffizienten auch höhere Mindestreibungswerte ($\mu \geq 0,4$ für Gleitbewegung nach hinten bzw. $\mu \geq 0,6$ für Gleitbewegung nach vorn) gewählt [3].

Bei der Gesamtbeurteilung der Rutschsicherheit auf Treppenstufen ist darauf zu achten, dass der Reibwertunterschied im Übergangsbereich Stufenauftrittsfläche/Vorderkante nicht zu groß ist. Die Rutschhemmung soll möglichst gleich sein. Als **kritische Reibwertdifferenz zwischen Auftrittsfläche und Vorderkante** wurde ebenso wie zwischen benachbarten Fußbodenbelägen auf der Ebene ein Wert **$\Delta\mu > 0,2$** gewählt [5].

Als **Prüfgleiter** sollten dem Sohlenmaterial entsprechendes Material mit großer Härte (>90 Shore A) verwendet werden [5], z. B. Leder für trockene Oberflächen und SBR - Gummi für nasse Oberflächen gemäß Normentwurf DIN 51 131.

6 Interpretation der Prüfergebnisse

Ausgewertet sollte der Reibwertverlauf über die einzelnen Fußwinkelstellungen hinsichtlich eines stetigen und gleichmäßigen Verlaufes sowie unter Beachtung der in Tabelle 5.1 angegebenen Mindestreibwerte. Der Prüfwinkel sollte sich in nicht zu großen Schritten, z. B. in 5°-Schritten, verändern. Zu große Sprünge im Reibwertverlauf über die Winkelstellung, d. h. zu große Reibwertdifferenzen, können ein erhöhtes Rutschrisiko darstellen.

In der Auswertung sollten nach Abschnitt 5 in erster Linie das Aufsetzen im Winkelbereich 10°...20° in der Vorwärtsbewegung Beachtung finden, wenn sich die Person noch nicht in der beidbeinigen Stützphase befindet, und in zweiter Linie das Abheben nach weiterem Abrollen im Winkelbereich 25°...35° in der Rückwärtsbewegung.

Die Prüfung bei großen Winkeln 35°...45° für steiles Aufsetzen/Abheben in der Vorwärtsbewegung vervollständigt die Aussage über die rutschhemmende Eigenschaft des gesamten Zyklus.

7 Diskutierte Prüfverfahren

Von den im Bericht [3] diskutierten Prüfverfahren wurde die instationäre Gleitreibungsmessung vor Ort mit Hilfe eines über die Stufenkanten gleitenden Körpers weiter untersucht [6]. Das Prinzip besteht darin, dass ein Gleitkörper über mehrere Stufenkanten (mind. immer 2 Stufenkanten) aufliegt und mit gleichförmiger, d. h. konstanter Geschwindigkeit entweder sich selbstgleitend unter Mitwirkung der Hangabtriebskraft abwärts oder mit Hilfe einer Seilwinde aufwärts bewegt. Über die für die gleichförmige Bewegung erforderliche Zugkraft, das Gleitergewicht und den Treppeneneigungswinkel kann der Reibwert berechnet werden.

Mit den Messergebnissen der Nachuntersuchungen [6] konnten die Ergebnisse des Berichtes [3] im Wesentlichen betätigt werden. Die Präzision und Validität dieses einfachen Prüfverfahrens konnte wohl verbessert werden, es wurden aber gleichzeitig die Grenzen dieses Verfahrens sichtbar und zwar hinsichtlich des eingeschränkten Prüfwinkels und der Gleitrichtung. Es können lediglich eine Winkelstellung in zwei Bewegungsrichtungen geprüft werden; unterschiedliche Prüfwinkel sind nicht möglich. In der Abwärts- und Aufwärtsbewegung des Gleitkörpers entspricht der Prüfwinkel dem Neigungswinkel der Treppe, d. h. bei vielen Treppen um 30° . Die Prüfbedingungen nach Tabelle 5.1 können nur sehr eingeschränkt erfüllt werden; überhaupt nicht für das Aufsetzen im kritischen Winkelbereich $10^\circ \dots 20^\circ$.

Aus diesen Gründen wurde dieses vereinfachte Verfahren nicht weiter verfolgt.

Das Prüfverfahren auf der Schiefen Ebenen [5] analog DIN 51 130, bei dem die Stufenkantenprofile als Prüfbelag ausgelegt sind, wurde aus den selben Gründen (starrer Prüfwinkel, nur eine Gleitrichtung) wie das zuvor beschriebenen Verfahren auch nicht weiter untersucht.

8 Wahl eines geeigneten Prüfverfahrens

Gewählt wurde ein Tribometerverfahren in Anlehnung an den Normentwurf DIN 51 131, bei dem die Reibpartner Belag/Schuhsohle getauscht wurden, d. h. das zu prüfende Stufenkantenprofil wird über einen Referenzbelag, der die Schuhsohle verkörpern soll, gezogen (Abb. 8.1).

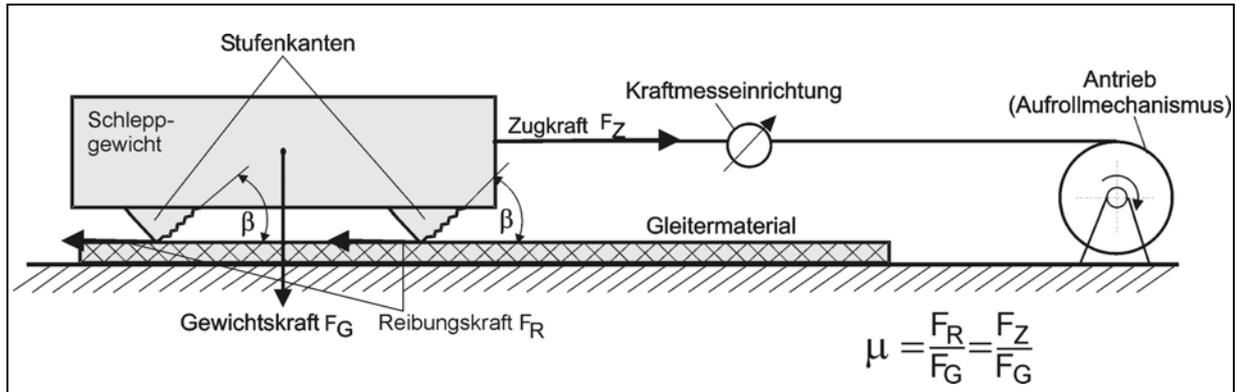


Abb. 8.1 Prinzipskizze für das gewählte Gleitreibungs-Prüfverfahren

Da die Prüfparameter in Tabelle 5.1 bezüglich Gleitgeschwindigkeit und Andruckkraft sich mit dem Gleitreibungsmessgerät GMG 100 (20 cm/s bzw. 10 kg Gewicht) unter Nutzung dessen Antriebs- und Kraftmesseinrichtung realisieren lassen, wurde auf dieses als Grundgerät zurückgegriffen und mit einer Zusatzeinrichtung für die Stufenkantenprüfung umgerüstet (Abb. 8.2).



Abb. 8.2 Gleitreibungsmessgerät für die Stufenkantenprüfung auf der Basis des GMG 100

Aus Stabilitätsgründen wurde das zu prüfende Stufenkantenprofil an dem Gleiterschlitten vorn und hinten angebracht. In Abbildung 8.3 sind die Kräftewirkungen am Profil-Gleiterschlitten dargestellt, aus denen sich bei möglichst gleicher Normalkraft/Reibungskraft am vorderen und hinteren Profil die optimalen Hebelarmverhältnisse l_1/l_2 ermitteln lassen.

Die im Ruhezustand statisch belasteten Profilvergleiter werden bei Bewegung durch ein von den Horizontalkräften (Zugkraft F_Z und Reibungskraft F_R) hervorgerufenen Moment am Profilvergleiter 1 zusätzlich belastet bzw. am Profilvergleiter 2 entlastet, insbesondere bei großer Reibungskraft F_R und hohem Angriffspunkt h .

$$F_1 = F_{1\text{stat}} \left[1 + \mu \frac{h}{l_2} \right] \qquad F_2 = F_{2\text{stat}} \left[1 - \mu \frac{h}{l_1} \right]$$

wobei

$$F_{1\text{stat}} = F_G \frac{l_2}{l_1 + l_2} \qquad F_{2\text{stat}} = F_G \frac{l_1}{l_1 + l_2}$$

Werden möglichst gleiche Kräfteverhältnisse an beiden Gleitern angenommen ($F_1 = F_2$), ergibt sich für eine optimale Anordnung der Profilvergleiter folgende Beziehung:

$$l_2 = l_1 - 2 \mu h$$

Für mittlere Reibwerte der Profilvergleiter auf dem Referenzbelag ($\mu = 0,3 \dots 0,6$) und eine Höhe des Angriffspunktes $h = 9,5 \text{ cm}$ wurden als mittlere Längen

$$l_1 = 24 \text{ cm}$$

$$l_2 = 18 \text{ cm}$$

ermittelt.

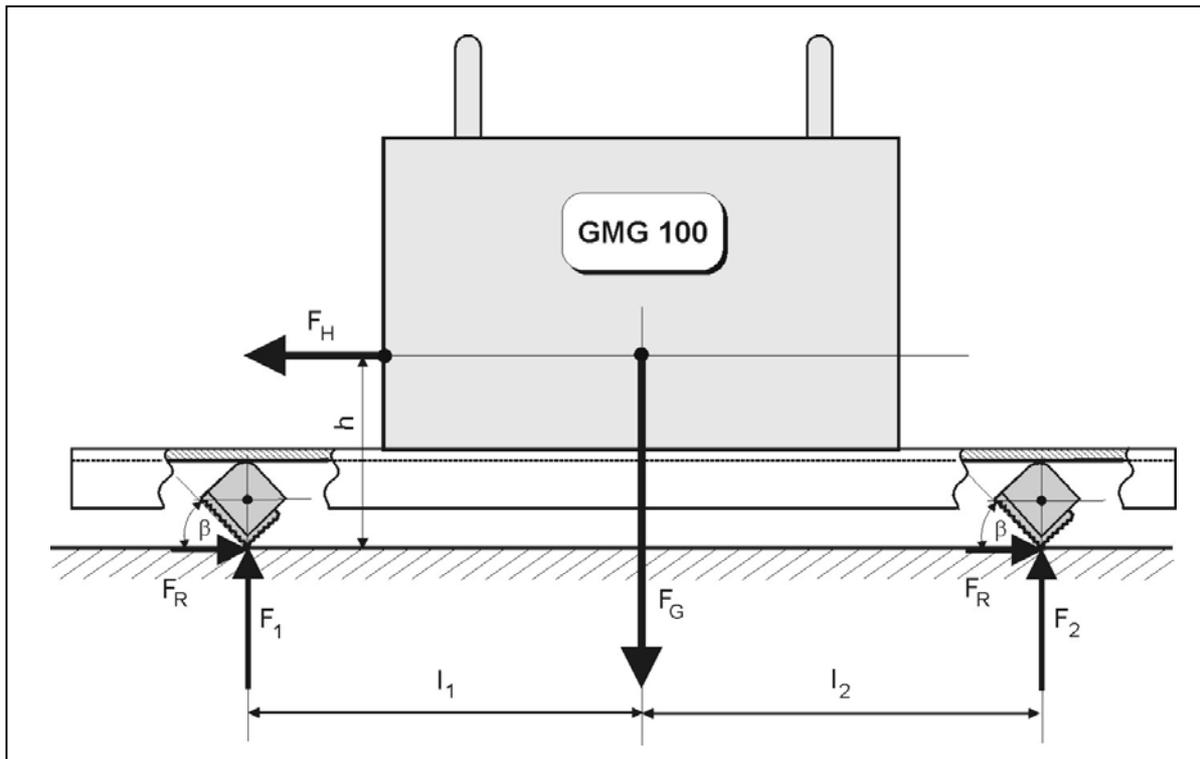


Abb. 8.3 Kräftewirkung am Profil-Gleiterschlitten

Durch die zusätzliche Masse des Gleiterschlittens gegenüber der Masse des GMG 100 hat sich das Gesamtgewicht des Gerätes F_G von 9,3 kg auf 10,5 kg erhöht. Da die im GMG 100 integrierte Reibwertberechnung ($\mu = F_R/F_G$) auf dem geringeren Gerätegewicht basiert, ist eine Korrektur des angezeigten Reibwertes erforderlich. Alle angezeigten Reibmesswerte sind demzufolge mit dem Faktor 0,9 zu multiplizieren.

9 Erprobung des Verfahrens am Beispiel ausgewählter Stufenkantenprofile

9.1 Untersuchte Stufenkantenprofile

Ausgewählt wurden ein repräsentativer Querschnitt von aufsetzbaren Stufenkantenprofilen in unterschiedlichen Formen - sowohl metallische Profile (Aluminium und Messing) mit und ohne elastischen Einlagen (Gummi) als auch Plasteprofile (PVC). Die untersuchten 8 Profile sind mit den wichtigsten reibungsrelevanten Maßen im Anhang A dargestellt.

Die Profile wurden auf Profilträgern befestigt, die eine Drehung der Profile im Anstellwinkel zwischen 0° und 45° ermöglichen.

9.2 Durchführung der Prüfung

Unter Beachtung der Gleitrichtung (vorwärts oder rückwärts) wurden die einzelnen Profile in 5° -Schritten lückenlos über den gesamten Winkelbereich zwischen $0^\circ \dots 45^\circ$ geprüft, um die Reibwerte über die gesamte Aufsetz- und Abrollbewegung zu erfassen und somit eine differenziertere Auswertung zu ermöglichen. Gegebenenfalls sollten die zu prüfenden Winkelbereiche gemäß Tabelle 5.1 präzisiert werden. Bei der Gleitrichtung rückwärts werden die Profile am Gleiterschlitzen so gewendet, dass der auftrittsseitige Profilschenkel sich hinten (in Bewegungsrichtung gesehen) befindet, d. h. der Winkel β ist an der Rückseite einzustellen.

In Anlehnung an E DIN 51 131 diene als Referenz-Gleiterbelag Gummi SBR sowohl für trockenen als auch nassen Oberflächenzustand. Als Gleitmittel wurde entspanntes Wasser (0,1%ige Natriumlaurylsulfat-Lösung) verwendet. Vor der ersten Messung wurde der Gleiterbelag mehrfach angefeuchtet, bis eine Sättigung des Materials eintrat. Die Gleitreibungsmessung erfolgte über einen Gleitweg von ca. 50 cm. Eine Reinigung des Belages wurde durch Abwischen nach jeder Messung durchgeführt. Zur Gewährleistung stabiler Prüfbedingungen empfiehlt es sich, die anfänglich glatte Oberfläche des SBR-Gleiterbelags aufzurauen (analog E DIN 51 131).

9.3 Prüfergebnisse

Aus den 5 Reibwerten einer Messreihe wurden nach E DIN 51 131 aus den letzten 3 Messwerten Mittelwerte und Standardabweichungen gebildet. In Tabelle Anlage B sind die Ergebnisse für jedes Profil P1...P8 in 5° -Winkelschritten, in den Gleitrichtungen „vorwärts“ und „rückwärts“ sowie Oberflächenzuständen „trocken“ und „nass“ zusammengestellt.

Bei einigen Versuchsreihen im trockenen Zustand musste wegen der hohen Reibwerte ($\mu > 1,0$) und damit verbundenen Belastung der Prüfeinrichtung auf Wiederholungsmessungen verzichtet werden.

9.4 Auswertung der Prüfergebnisse

Auf der Grundlage der Prüfergebnisse in den Tabellen Anhang B sind in den Abbildungen Anhang C der Reibwertverlauf für die einzelnen Profile über die einzelnen Winkelstellungen $0^\circ \dots 45^\circ$ sowohl in der Vorwärts-/Rückwärtsbewegung als auch im trockenen/nassen Oberflächenzustand abgebildet.

Die Reibwerte für die einzelnen Profile P1...P8 zeigen über den gesamten Winkelbereich $0^\circ \dots 45^\circ$ einen weitgehend gleichmäßigen Verlauf (Anlage C).

Die Auswertung bezieht sich auf die gekennzeichneten kritischen Winkelbereiche in Gleitrichtung vorwärts ($0^\circ \dots 20^\circ$ und $35^\circ \dots 45^\circ$) sowie Gleitrichtung rückwärts ($25^\circ \dots 35^\circ$) - sowohl im trockenen als auch nassen Zustand. Die mittleren Reibwerte für die kritischen Winkelbereiche sind in Tabelle 9.1 zusammengestellt.

Aus den mittleren Reibwerten lassen sich für die untersuchten Stufenkantenprofile folgende Ergebnisse ableiten:

- Erwartungsgemäß besitzen alle Profile für alle kritischen Winkelbereiche im trockenen Zustand eine hohe Rutschhemmung ($\mu > 0,6$).
- Im nassen Oberflächenzustand sinkt der Reibwert in unterschiedlichem Maße, z. T. in die Nähe bzw. unterhalb des vorgegebenen Mindestreibwertes.
- Die wichtigste Prüfbedingung, d. h. Mindestreibwert $\mu \geq 0,3$ bei Aufsetzwinkel $10^\circ \dots 20^\circ$ und möglicher Gleitrichtung vorwärts, wird bei Nässe für alle Profile außer für P6 ohne Einschränkung erfüllt. Der Reibwert für Profil P6 befindet sich nahe am Grenzwert $\mu = 0,3$.
- Für die mögliche Gleitrichtung rückwärts (krit. Winkelbereich $25^\circ \dots 35^\circ$) wird der vorgegebene Mindestreibwert von $\mu \geq 0,4$ bei den Profilen P6 und P8 nicht erreicht.
- Für alle Profile P1...P8 besteht ein Risiko, im nassen Zustand bei steilem Aufsetzen auf der Stufenkante bzw. steiler Fußwinkelstellung in der Abrollbewegung (krit. Winkelbereich $35^\circ \dots 45^\circ$) über die Stufenkante nach vorn abzurutschen. Solche Bedingungen können bei schneller Abwärtsbewegung, besonders auf steilen Treppen, entstehen.
Der Reibwert für die Profile P2 und P3 befindet sich nahe am vorgegebenen Grenzwert (unterhalb 0,6). Er kann im vorliegenden Fall erhöht werden, wenn die quer verlaufende Riffelung weiter vorn in Richtung Vorderkante angebracht wird, d. h. der Kantenradius (von jetzt ca. 8 mm) verringert wird.
- Auffällig ist der teilweise große Reibwertunterschied im trockenen und nassen Zustand, besonders bei den Profilen P6...P8, d. h. bei den PVC-Profilen. Es wird angenommen, dass Reibwertdifferenzen zwischen trockenem und nassem Zustand in der Größenordnung $\Delta\mu \geq 0,2 \dots 0,3$ ein erhöhtes Rutschrisiko darstellen können [5]. Praktisch bedeutet dies z. B., dass eingetragene Nässe auf Treppen in Eingangsbereichen bzw. nicht wahrnehmbare Nässe an den Schuhsohlen bei bestimmten Stufenkanten/-profilen ein erhöhtes Rutschrisiko verursachen können. Solche Profile sollten daher nicht auf Treppen in Eingangsbereichen eingesetzt werden.

Tab. 9.1 Mittlere Reibwerte für kritische Auftrittswinkel (vorwärts/rückwärts; trocken/nass)

Gleitrichtung	vorwärts →				rückwärts ←		Bemerkungen
	10°...20°		35°...45°		25°...35°		
kritische Auftrittswinkel	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	
Oberflächenzustand	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass	
P1 	0,86	0,38	0,85	0,41 ¹⁾	0,81	0,45	Rutschrisiko für alle Profile P1...P8 bei steilem Aufsetzen bzw. steiler Fußwinkelstellung im nassen Oberflächenzustand nach vorn { Rutschrisiko beim Aufsetzen auf nassem Profil – sowohl nach vorn als auch nach hinten { Rutschrisiko beim Aufsetzen auf nassem Profil – besonders nach hinten
P2 	0,74	0,53	0,77	0,52 ¹⁾	0,75	0,61	
P3 	0,75	0,60	0,69	0,57 ¹⁾	0,73	0,59	
P4 	0,63	0,45	0,74	0,41 ¹⁾	0,68	0,53	
P5 	0,92 ²⁾	0,48	0,93 ²⁾	0,43 ¹⁾	0,75	0,51	
P6 	0,93 ²⁾	0,29 ¹⁾	1,17 ²⁾	0,35 ¹⁾	0,99 ²⁾	0,41 ¹⁾	
P7 	0,90	0,44	1,02 ²⁾	0,44 ¹⁾	0,75 ²⁾	0,42	
P8 	1,09 ²⁾	0,41	1,14 ²⁾	0,41 ¹⁾	1,11 ²⁾	0,33 ¹⁾	

¹⁾ Einzelwerte bzw. Mittelwerte unterhalb vorgegebener Mindestreibwerte

10°...20° (vorwärts): $\mu_{\min} \geq 0,3$

25°...35° (rückwärts): $\mu_{\min} \geq 0,4$

35°...45° (vorwärts): $\mu_{\min} \geq 0,6$

²⁾ Einzelwerte, keine Wiederholungsmessungen

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

In der praktischen Handhabung der Prüfeinrichtung nach Abbildung 8.2 zeigte es sich, dass die Verstellbarkeit der Profilträger nicht optimal ist und sowohl in der Winkeleinstellung (über einzelne Keile mit unterschiedlichen Anstellwinkeln) als auch Feststellung (über Klemmverschraubungen mit Flügelmuttern) einen erhöhten Zeit- bzw. Kraftaufwand benötigen. Zudem erwies sich die Klemmverbindung vor allem bei hoher Reibungskraft im trockenen Zustand ($\mu > 1,0$) als nicht ausreichend stabil. Für die konstruktive Weiterentwicklung der Prüfeinrichtung wird daher empfohlen, die Winkeleinstellung über eine seitlich angebrachte Winkelskala und die Feststellung des Profilträgers über eine starre Arretierung in den einzelnen Winkelstellungen vorzunehmen.

In der Anwendung des Verfahrens sind die in Tabelle 5.1 vorgeschlagenen Prüfparameter weiter zu verfolgen und gegebenenfalls zu präzisieren. Auf Grundlage gesammelter Erfahrungen sollte geprüft werden, ob die große Vielfalt der Prüfbedingungen reduziert (z. B. Prüfwinkel) werden kann und die zur Beurteilung angeführten Mindestreibwerte sich bewähren oder gegebenenfalls korrigiert werden sollten. An der Beurteilung der Rutschhemmung von Stufenkanten, d. h. Interpretation der Messergebnisse (siehe Abschn. 6 und 9) sollte unter Berücksichtigung praktischer Erfahrungen, insbesondere aus Unfallauswertungen, weiter gearbeitet werden.

Das vorgestellte Verfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung von Stufenkantenprofilen lässt sich vom Prinzip her auch für die **Prüfung der rutschhemmenden Eigenschaften von Leitersprossen** anwenden. Wesentliche Bewegungsabläufe, d. h. die Abrollbewegung des Schuhs auf der Leitersprosse, Aufsetzgeschwindigkeiten und Kräfteverhältnisse sind weitgehend vergleichbar. Dominierende Ausgleitrichtung ist die Rückwärtsbewegung in unterschiedlicher Schrägstellung des Schuhs, in Abhängigkeit u. a. vom Anstellwinkel der Leiter. Entsprechend der möglichen Ausgleitrichtung auf der Leitersprosse wäre die Gleitreibungsmessung in Rückwärtsbewegung durchzuführen analog der beschriebenen Stufenkantenprüfung für die Fußwinkelstellung $25^\circ \dots 35^\circ$. Als Prüfwinkel ist ein Winkelbereich von $0^\circ \dots 45^\circ$ ausreichend. Eine Anwendung des Verfahrens wäre ohne Änderung der Prüfeinrichtung sofort möglich. Ein Mindestreibwert dürfte in der Größenordnung $\mu \geq 0,6$ sein, wie beim steilen Aufsetzen/Abheben bei der Stufenkantenprüfung im Winkelbereich $35^\circ \dots 45^\circ$. Die Festlegung des Mindestreibwertes müsste noch diskutiert werden.

11 Literaturverzeichnis

- [1] **Hoffmann, B.; Rostek, R.:** Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften - HVBG (Hrsg.): Arbeitsunfallstatistik 2001, Sankt Augustin: HVBG 2003 (BGZ-Report, 3/2003)
- [2] **Dworschak, W.:** Sicherheitstechnische Gestaltung von Stufenkanten an Treppen. Die BG, März 2000, S. 138-141
- [3] **Kirchberg, S.; Fischer, H.:** Rutschsicherheit beim Auftreten auf Treppenstufen – Voruntersuchung zur Entwicklung von Prüfverfahren. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dresden 2000 (interner Forschungsbericht zu Projekt F 1547)
- [4] **Fischer, H.; Weißgerber, B.:** Sicheres Begehen von Treppen – ergonomische, psychologische und technische Aspekte. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 2001 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Fb 927)
- [5] **Fischer, H.:** Beurteilung der Rutschsicherheit von Fußböden. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 2005 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Sonderschrift S 84)
- [6] **Wolf, M.:** Experimentelle Untersuchungen mit einem Gleitkörper zur Prüfung der Rutschsicherheit von Treppen-Stufenkanten. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dresden 1999 (Bericht zum Praktikum)

12 Verzeichnis der Vorschriften und Regeln

DIN 51 130: Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft – Arbeitsräume und Arbeitsbereiche mit erhöhter Rutschgefahr – Begehungsverfahren – Schiefe Ebene

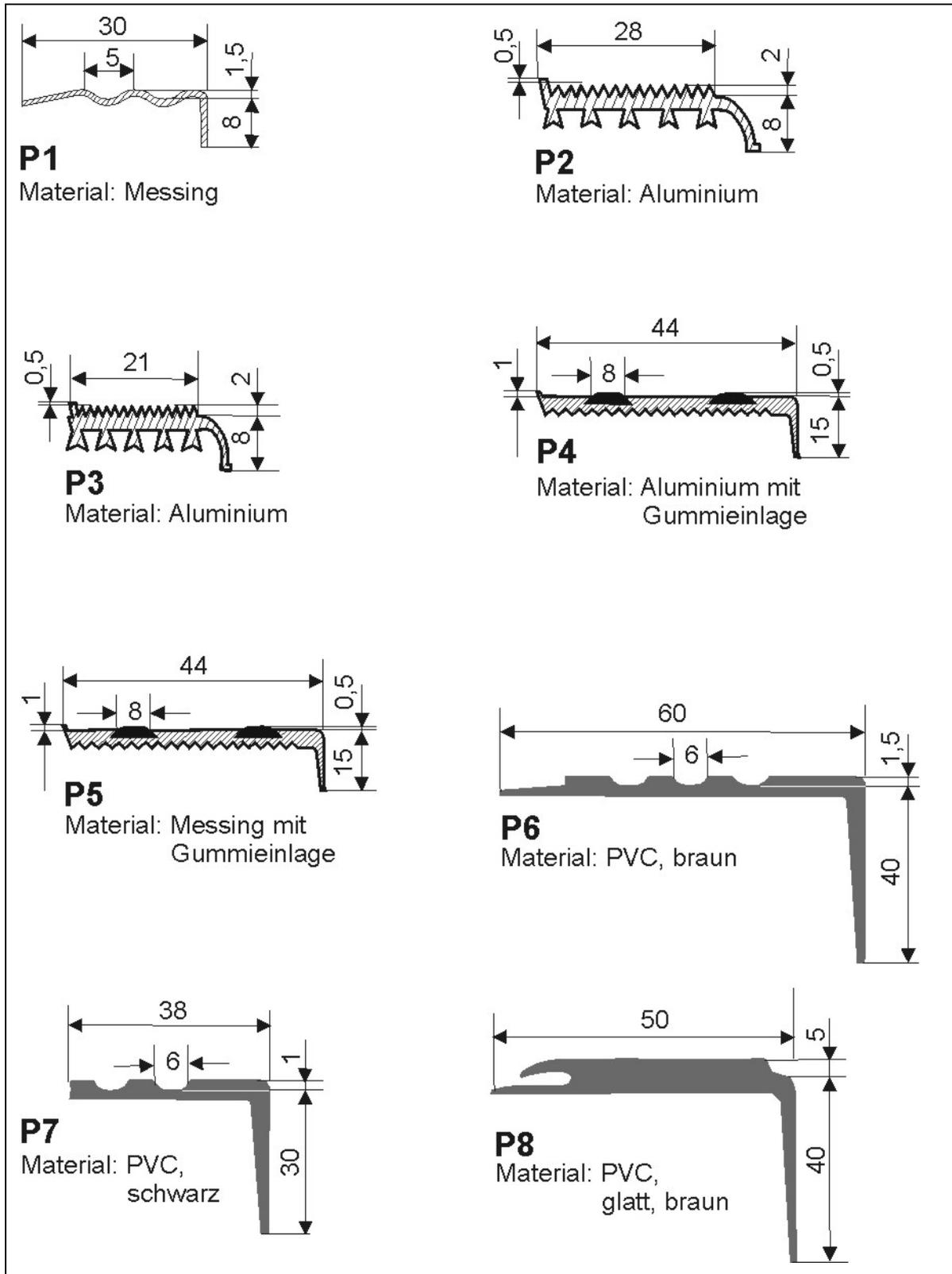
DIN 51 131 (Entwurf): Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft – Verfahren zur Messung des Gleitreibungskoeffizienten

BGR 181 bzw. GUV-R 181: Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr

13 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb. 3.1	Aufsetzen der Vordersohle vor der Stufenkante	10
Abb. 3.2	Aufsetzen der Vordersohle auf der Stufenkante	11
Tab. 5.1	Vorschlag von Prüfparametern [3]	14
Abb. 8.1	Prinzipskizze für das gewählte Gleitreibungs-Prüfverfahren	19
Abb. 8.2	Gleitreibungsmessgerät für die Stufenkantenprüfung auf der Basis des GMG 100	19
Abb. 8.3	Kräftewirkung am Profil-Gleiterschlitzen	21
Tab. 9.1	Mittlere Reibwerte für kritische Auftrittswinkel (vorwärts/rückwärts; trocken/nass)	24
Anh. A, Abb. 1	Geprüfte Stufenkantenprofile	29
Anh. B, Tab. 1	Reibwerte in Abhängigkeit vom Auftrittswinkel für Profile P1...P8, Oberfläche trocken, Gleitbewegung vorwärts	30
Anh. B, Tab. 2	Reibwerte in Abhängigkeit vom Auftrittswinkel für Profile P1...P8, Oberfläche trocken, Gleitbewegung rückwärts	31
Anh. B, Tab. 3	Reibwerte in Abhängigkeit vom Auftrittswinkel für Profile P1...P8, Oberfläche nass, Gleitbewegung vorwärts	32
Anh. B, Tab. 4	Reibwerte in Abhängigkeit vom Auftrittswinkel für Profile P1...P8, Oberfläche nass, Gleitbewegung rückwärts	33
Anh. C, Abb. 1	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P1 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass \boxtimes)	34
Anh. C, Abb. 2	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P2 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass \boxtimes)	35
Anh. C, Abb. 3	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0 \dots 45^\circ$ des Profils P3 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass \boxtimes)	36
Anh. C, Abb. 4	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P4 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass \boxtimes)	37
Anh. C, Abb. 5	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P5 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass \boxtimes)	38
Anh. C, Abb. 6	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P6 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass \boxtimes)	39
Anh. C, Abb. 7	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P7 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass \boxtimes)	40
Anh. C, Abb. 8	Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P8 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass \boxtimes)	41

Anhang A Geprüfte Stufenkantenprofile



Anh. A, Abb. 1 Geprüfte Stufenkantenprofile

Anhang B Zusammenstellung der Messergebnisse

Stufenkanten-Profil trocken		Auftrittswinkel - vorwärts 																			
		0°		5°		10°		15°		20°		25°		30°		35°		40°		45°	
		Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw
P1		0,83	0,005	0,89	0,009	0,85	0,009	0,86	0,009	0,86	0,018	0,83	0,005	0,83	0,009	0,81	0,009	0,84	0,018	0,89	0,014
P2		0,77	0,014	0,74	0,010	0,75	0,014	0,71	0,005	0,75	0,009	0,76	0,014	0,77	0,005	0,78	0,019	0,78	0,005	0,76	0,005
P3		0,83	0,019	0,78	0,022	0,76	0,009	0,73	0,014	0,75	0,009	0,75	0,005	0,71	0,005	0,71	0,009	0,68	0,005	0,67	0,005
P4		1,11	-	0,64	0,005	0,63	0,010	0,63	0,005	0,64	0,005	0,67	0,005	0,68	0,034	0,72	0,005	0,74	0,014	0,76	0,005
P5		0,98	-	0,86	-	0,90	-	0,91	-	0,94	-	0,94	-	0,94	-	0,92	-	0,94	-	0,94	-
P6		0,89	-	1,01	-	0,97	-	0,89	-	0,94	-	1,00	-	1,01	-	0,93	-	1,27	-	1,31	-
P7		0,95	0,024	0,89	0,022	0,94	0,018	0,89	0,005	0,87	0,005	0,89	0,009	0,80	0,022	0,82	0,009	1,13	-	1,10	-
P8		1,02	-	1,07	-	1,13	-	1,07	-	1,08	-	1,09	-	1,08	-	1,08	-	1,15	-	1,19	-

Anh. B, Tab. 1 Reibwerte in Abhängigkeit vom Auftrittswinkel für Profile P1...P8, Oberfläche trocken, Gleitbewegung vorwärts

Stufenkanten-Profil trocken		Auftrittswinkel - rückwärts ←																			
		0°		5°		10°		15°		20°		25°		30°		35°		40°		45°	
		Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw
P1		0,93	0,014	0,84	0,015	0,85	0,027	0,83	0,014	0,84	0,010	0,81	0,019	0,81	0,009	0,81	-	0,78	-	0,77	-
P2		0,79	0,014	0,77	0,022	0,77	0,010	0,75	0,005	0,72	0,005	0,75	0,005	0,74	0,014	0,77	0,005	0,75	0,005	0,77	0,005
P3		0,77	0,010	0,75	0,009	0,71	0,005	0,72	0,009	0,69	0,009	0,75	0,005	0,71	0,000	0,74	0,000	0,74	0,014	0,74	0,014
P4		0,78	0,010	0,88	0,005	0,75	0,005	0,75	0,005	0,71	0,005	0,69	0,009	0,67	0,005	0,69	0,005	0,79	0,018	0,76	0,010
P5		0,90	0,021	0,78	0,010	0,77	0,014	0,76	0,005	0,77	0,005	0,77	0,005	0,75	0,000	0,72	0,014	0,75	0,005	0,74	0,010
P6		1,00	-	1,05	-	0,98	-	0,92	-	0,94	-	0,96	-	1,02	-	1,00	-	1,12	-	1,08	-
P7		1,00	-	1,02	-	0,96	-	0,91	-	0,88	-	0,80	-	0,69	-	0,75	-	0,83	-	0,98	-
P8		1,06	-	1,10	-	1,10	-	1,11	-	1,13	-	1,16	-	1,09	-	1,08	-	1,11	-	1,21	-

Anh. B, Tab. 2 Reibwerte in Abhängigkeit vom Auftrittswinkel für Profile P1...P8, Oberfläche trocken, Gleitbewegung rückwärts

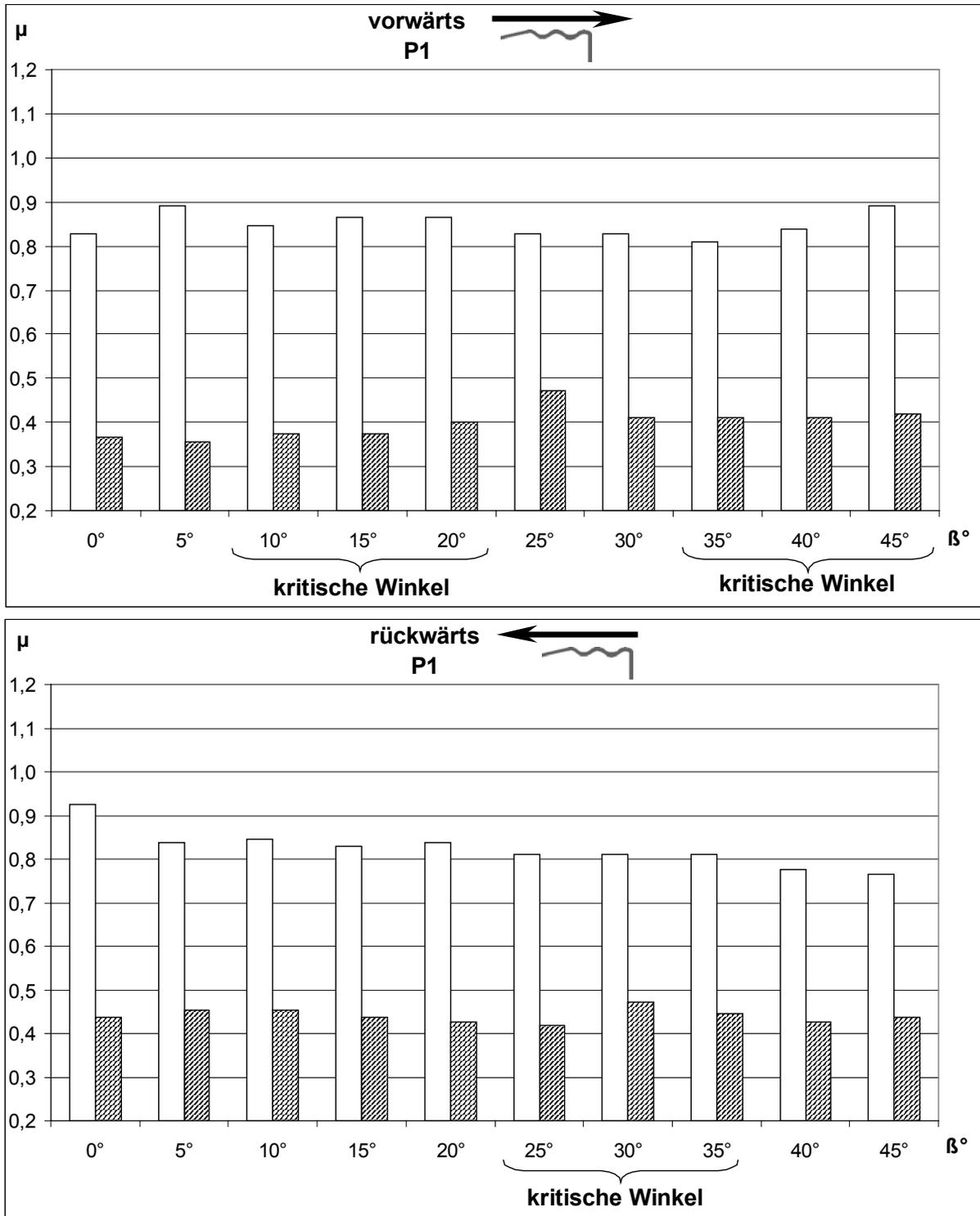
Stufenkanten-Profil nass		Auftrittswinkel - vorwärts 																			
		0°		5°		10°		15°		20°		25°		30°		35°		40°		45°	
		Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw
P1		0,37	0,009	0,36	0,010	0,37	0,009	0,37	0,009	0,40	0,019	0,47	0,014	0,41	0,049	0,41	0,005	0,41	0,005	0,42	0,005
P2		0,54	0,010	0,58	0,014	0,53	0,005	0,53	0,005	0,53	0,000	0,51	0,005	0,45	0,014	0,51	0,005	0,53	0,000	0,52	0,005
P3		0,49	0,022	0,62	0,022	0,61	0,019	0,61	0,015	0,57	0,005	0,53	0,010	0,57	0,005	0,57	0,009	0,57	0,000	0,57	0,005
P4		0,54	0,075	0,45	0,000	0,45	0,000	0,45	0,000	0,44	0,010	0,44	0,005	0,41	0,010	0,42	0,005	0,40	0,005	0,41	0,005
P5		0,51	0,027	0,40	0,015	0,41	0,014	0,51	0,049	0,52	0,136	0,45	0,041	0,44	0,005	0,47	0,005	0,41	0,010	0,42	0,019
P6		0,56	0,071	0,26	0,021	0,24	0,010	0,31	0,005	0,31	0,027	0,38	0,036	0,37	0,014	0,33	0,014	0,36	0,047	0,37	0,026
P7		0,42	0,051	0,35	0,063	0,34	0,005	0,45	0,054	0,54	0,100	0,45	0,058	0,42	0,042	0,40	0,005	0,49	0,064	0,43	0,078
P8		0,49	0,079	0,39	0,044	0,38	0,051	0,48	0,046	0,37	0,027	0,40	0,027	0,39	0,037	0,45	0,066	0,41	0,031	0,37	0,027

Anh. B, Tab. 3 Reibwerte in Abhängigkeit vom Auftrittswinkel für Profile P1...P8, Oberfläche nass, Gleitbewegung vorwärts

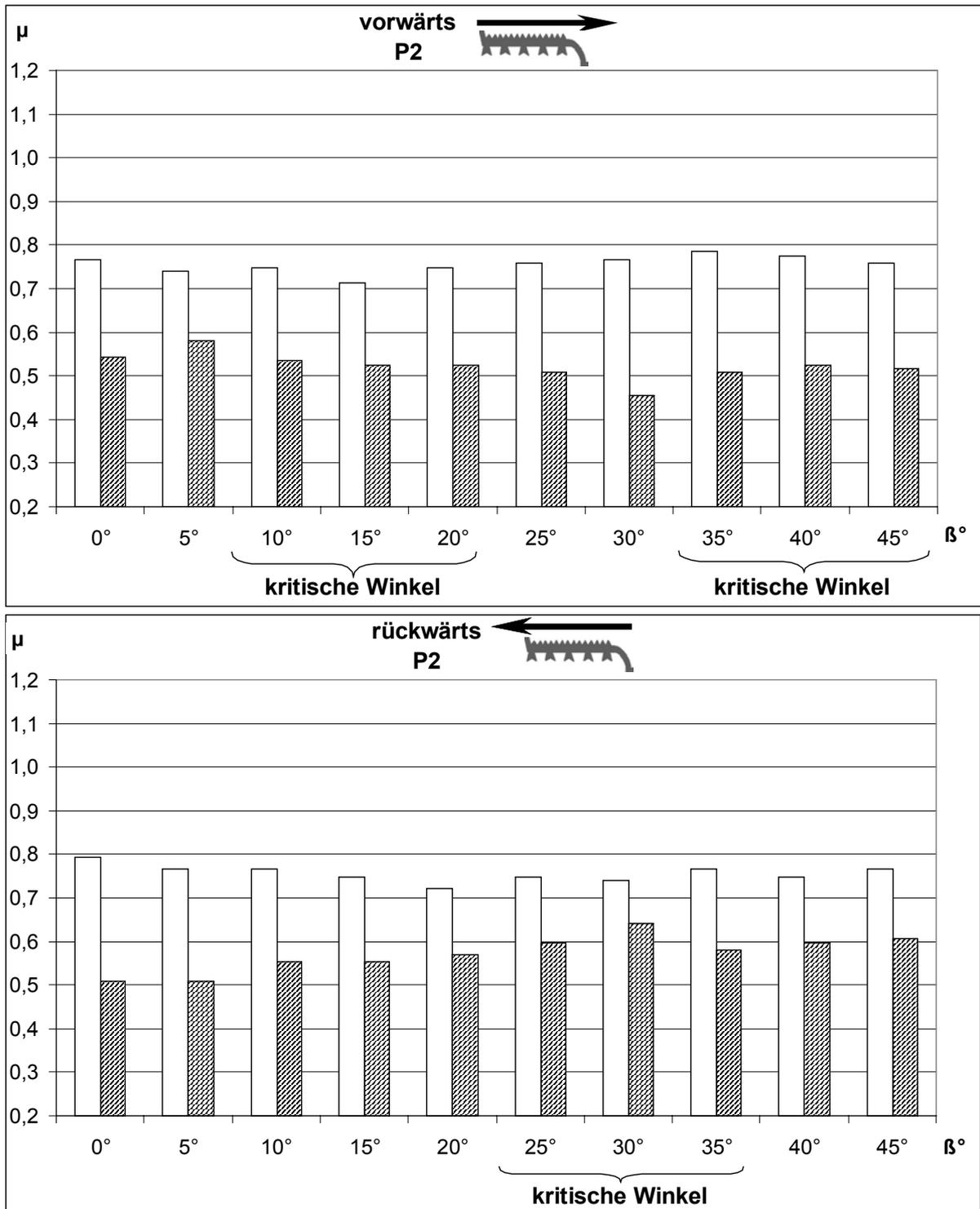
Stufen- kanten- Profil nass		Auftrittswinkel - rückwärts ←																			
		0°		5°		10°		15°		20°		25°		30°		35°		40°		45°	
		Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw	Mw 3...5	Stabw
P1		0,44	0,019	0,45	0,041	0,45	0,005	0,44	0,014	0,43	0,022	0,42	0,014	0,47	0,010	0,45	0,019	0,43	0,019	0,44	0,010
P2		0,51	0,010	0,51	0,018	0,55	0,014	0,55	0,000	0,57	0,010	0,60	0,005	0,64	0,014	0,58	0,005	0,60	0,005	0,61	0,021
P3		0,57	0,015	0,59	0,014	0,58	0,010	0,57	0,005	0,57	0,000	0,61	0,014	0,60	0,005	0,57	0,032	0,61	0,010	0,58	0,027
P4		0,45	0,018	0,53	0,009	0,53	0,005	0,54	0,005	0,55	0,005	0,53	0,009	0,53	0,005	0,53	0,014	0,53	0,010	0,53	0,014
P5		0,45	0,029	0,45	0,000	0,45	0,010	0,45	0,014	0,46	0,014	0,51	0,014	0,50	0,019	0,53	0,019	0,53	0,005	0,49	0,009
P6		0,46	0,024	0,45	0,034	0,41	0,019	0,37	0,019	0,37	0,000	0,39	0,027	0,41	0,005	0,42	0,039	0,38	0,014	0,34	0,015
P7		0,48	0,019	0,35	0,014	0,33	0,005	0,35	0,022	0,34	0,010	0,41	0,005	0,43	0,014	0,42	0,014	0,39	0,009	0,39	0,009
P8		0,41	0,015	0,34	0,021	0,35	0,015	0,33	0,024	0,31	0,019	0,34	0,014	0,36	0,019	0,30	0,005	0,37	0,029	0,36	0,014

Anh. B, Tab. 4 Reibwerte in Abhängigkeit vom Auftrittswinkel für Profile P1...P8, Oberfläche nass, Gleitbewegung rückwärts

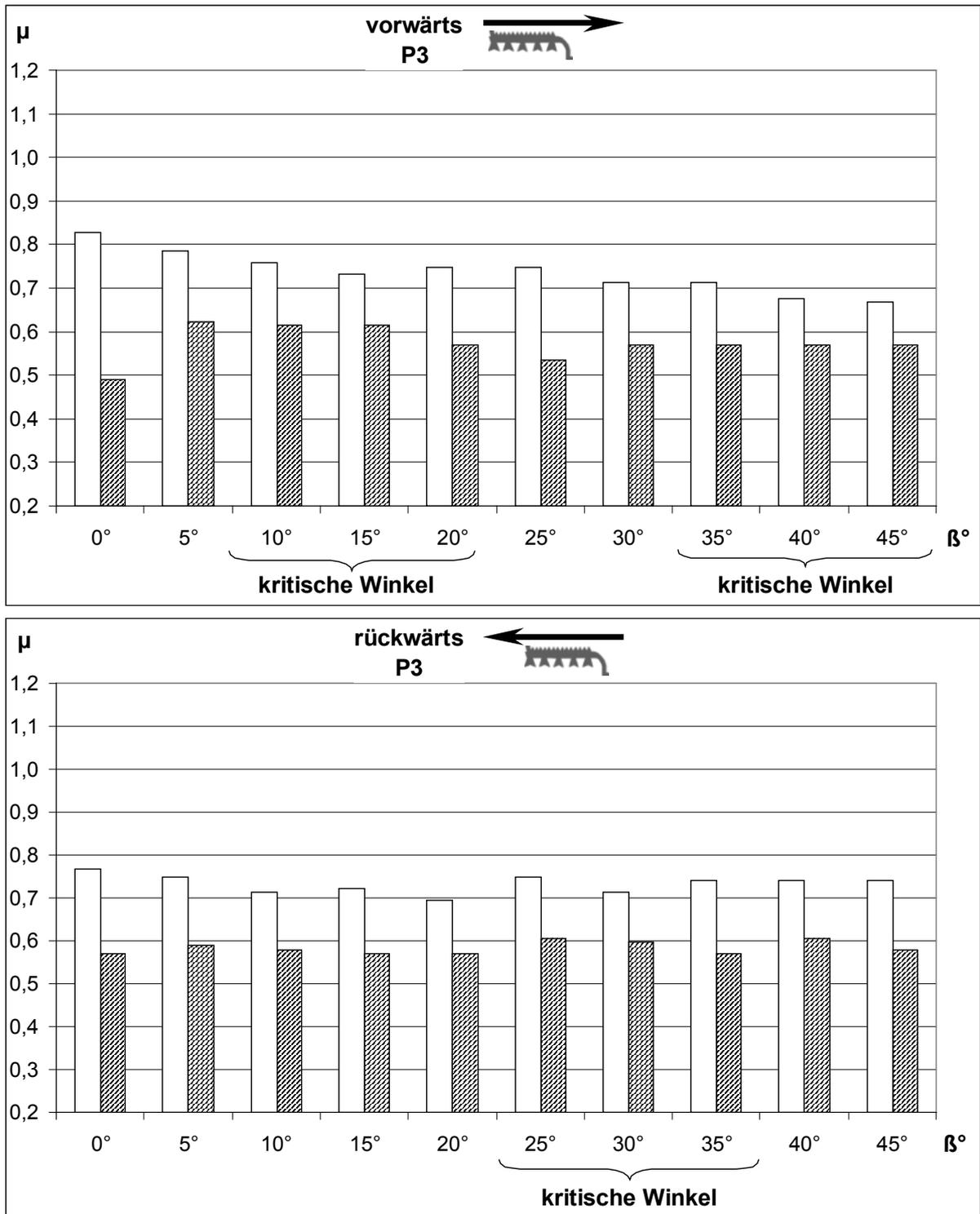
Anhang C Reibwertverlauf für Auftrittswinkel 0°...45°



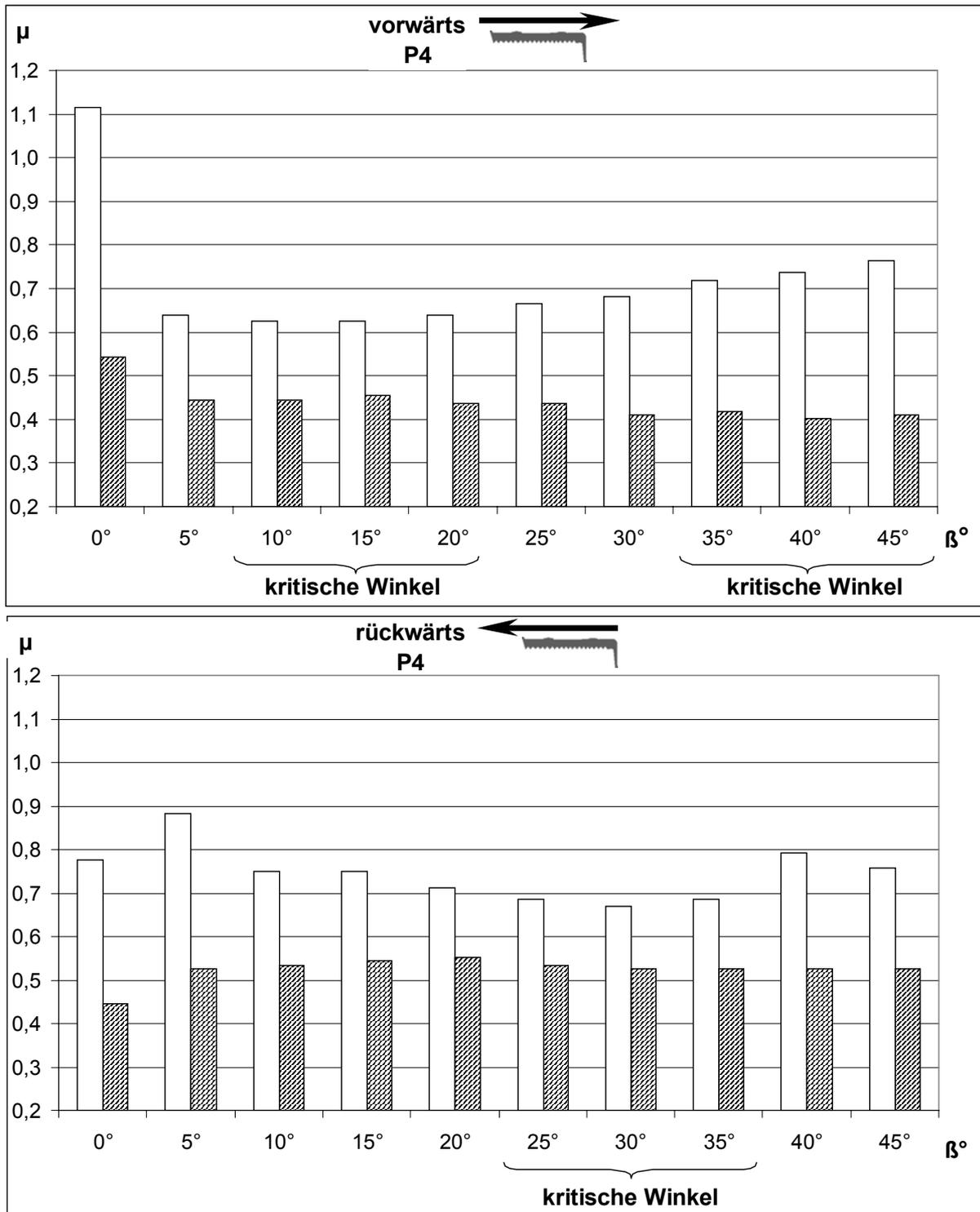
Anh. C, Abb. 1 Reibwertverlauf für Auftrittswinkel 0°...45° des Profils P1 (vorwärts / rückwärts, trocken □ / nass ▨)



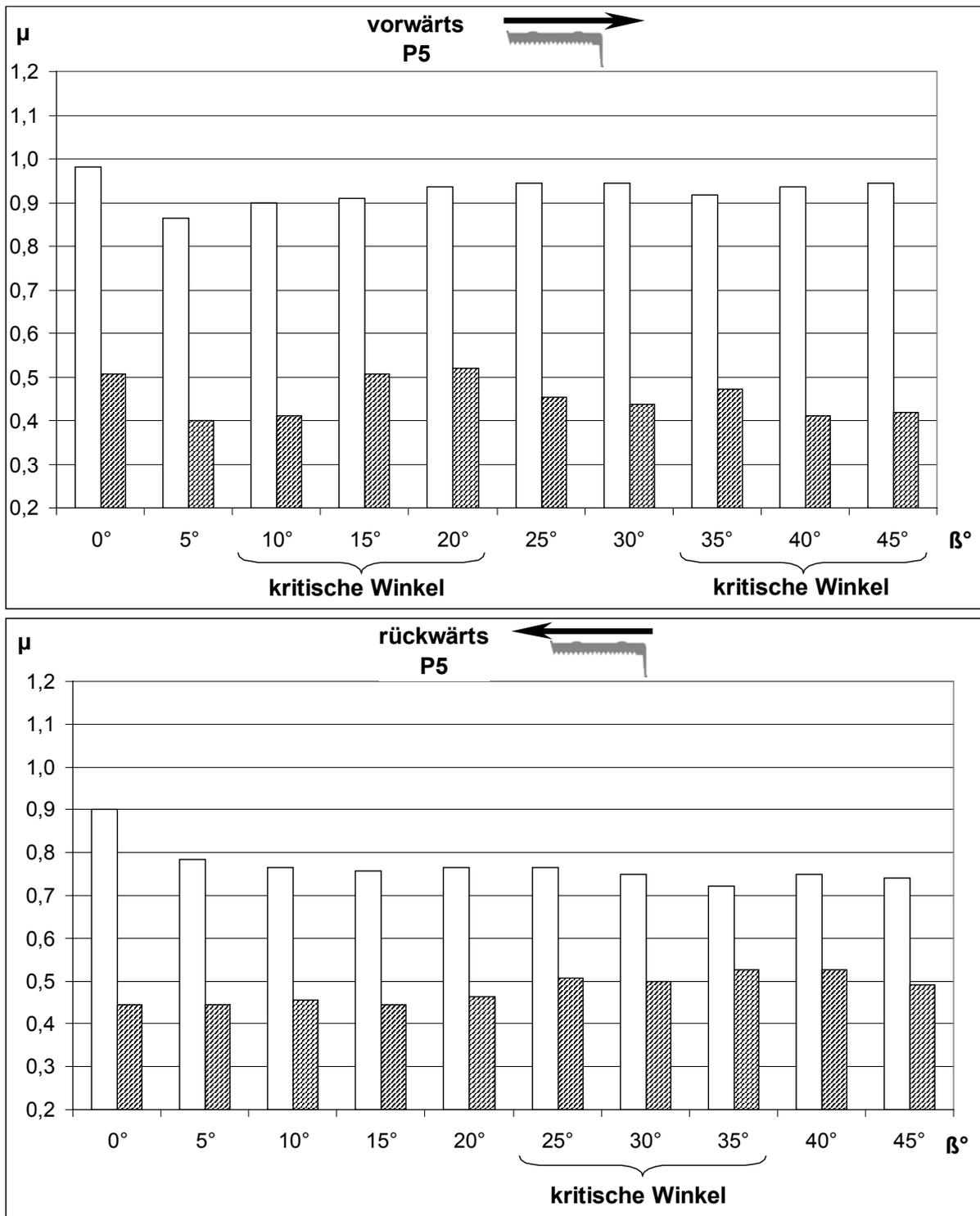
Anh. C, Abb. 2 Reibwertverlauf für Auftrittswinkel 0°...45° des Profils P2
(vorwärts / rückwärts, trocken □ / nass ▨)



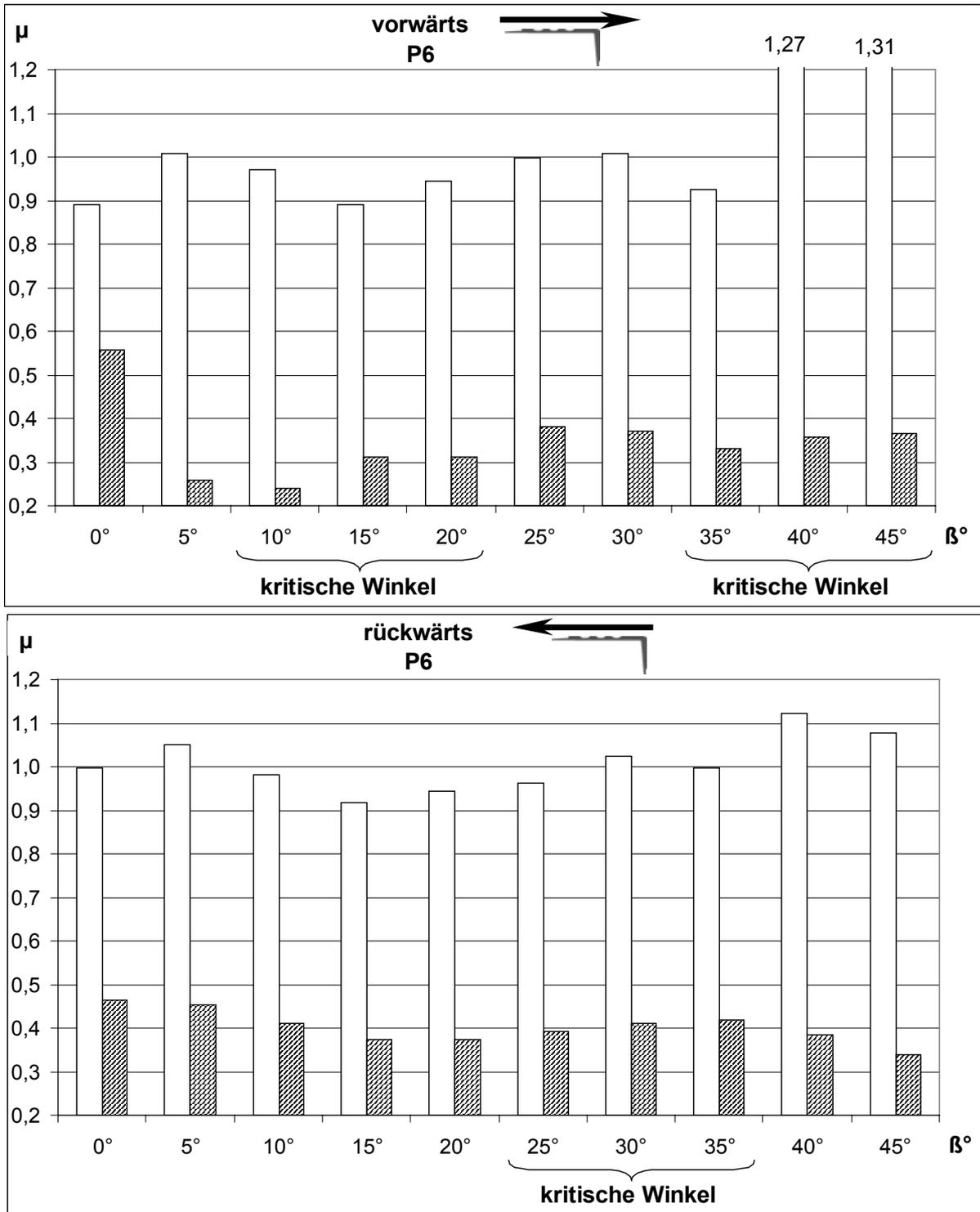
Anh. C, Abb. 3 Reibwertverlauf für Auftrittswinkel 0...45° des Profils P3
(vorwärts / rückwärts, trocken □ / nass ▨)



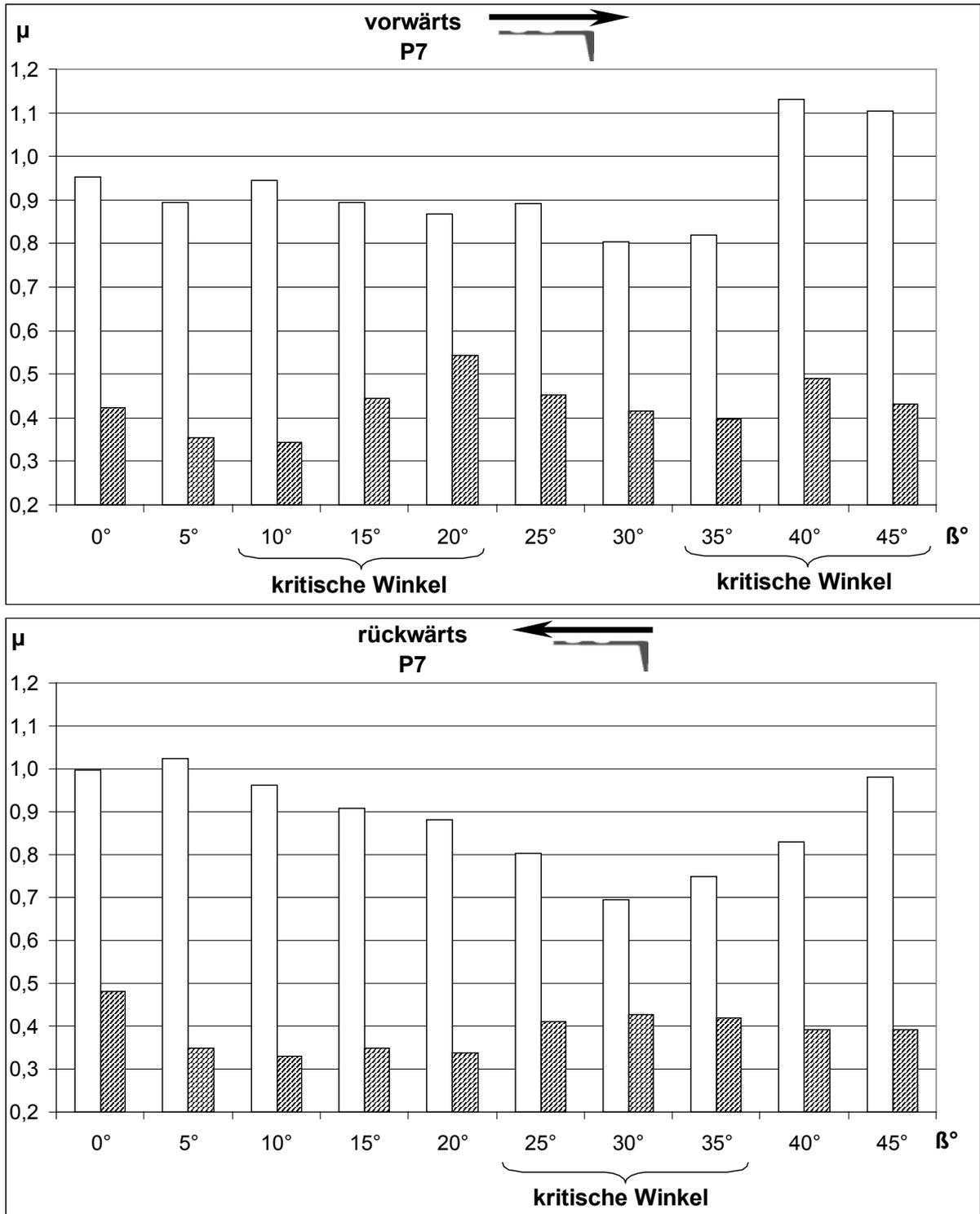
Anh. C, Abb. 4 Reibwertverlauf für Aufttrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P4 (vorwärts / rückwärts, trocken \square / nass ▨)



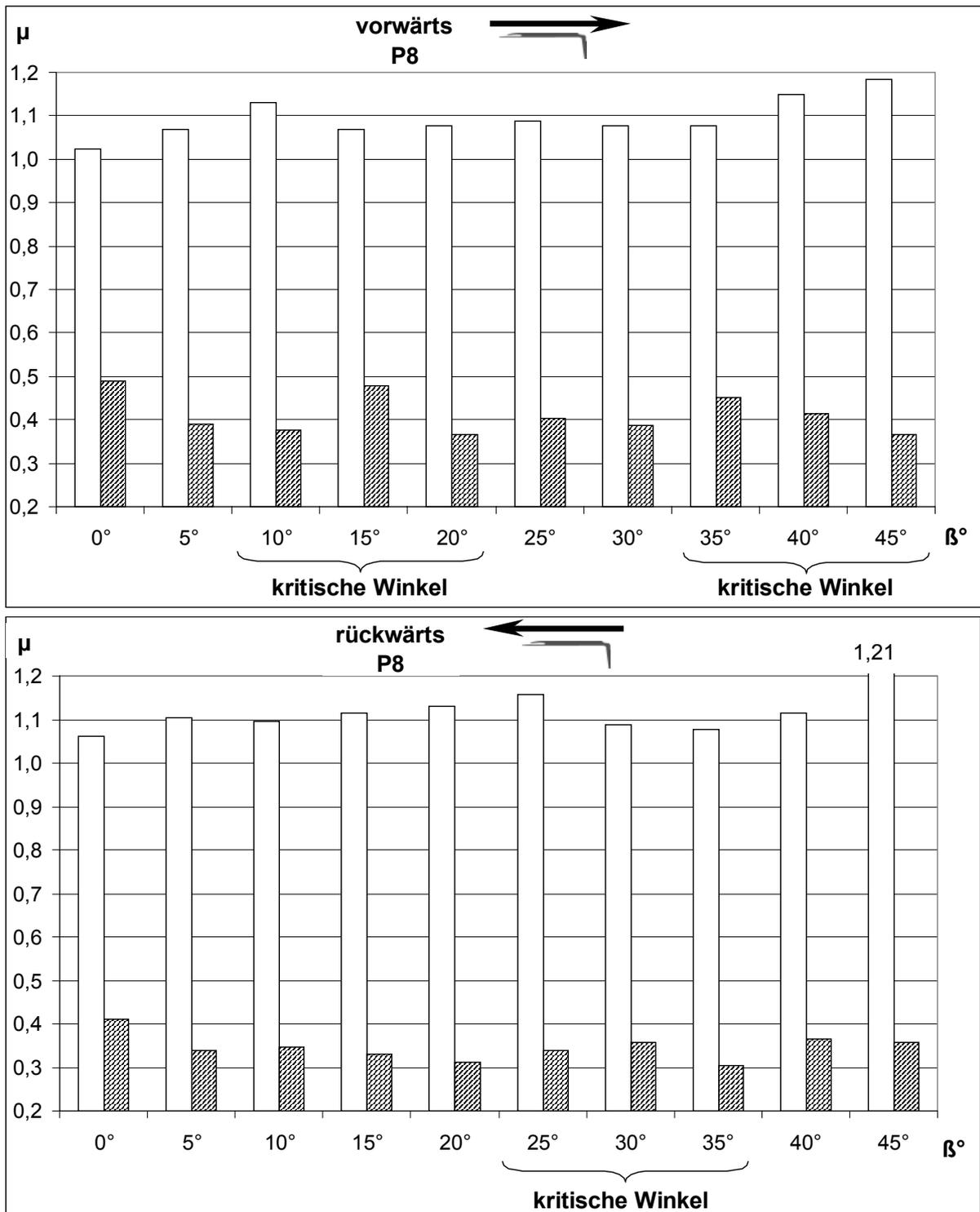
Anh. C, Abb. 5 Reibwertverlauf für Auftrittswinkel 0°...45° des Profils P5 (vorwärts / rückwärts, trocken □ / nass ▨)



Anh. C, Abb. 6 Reibwertverlauf für Auftrittswinkel 0°...45° des Profils P6 (vorwärts / rückwärts, trocken □ / nass ▨)



Anh. C, Abb. 7 Reibwertverlauf für Auftrittswinkel 0°...45° des Profils P7
(vorwärts / rückwärts, trocken □ / nass ▨)



Anh. C, Abb. 8 Reibwertverlauf für Auftrittswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ des Profils P8 (vorwärts / rückwärts, trocken □ / nass ▨)