

**Bergische Universität Wuppertal**  
**Fachbereich D – Abteilung Sicherheitstechnik**  
**Sicherheitstechnik / Arbeitssicherheit**



**FP 288 „Rutschhemmungsmatrix“**  
**Wissenschaftlicher Abschlussbericht**

**Projekt:** Entwicklung einer Rutschhemmungsmatrix zur Auswahl von Bodenbelägen und Schuhen zur Reduzierung von Ausgleitunfällen

**Laufzeit:** 01.04.2009 – 31.12.2012

**Gefördert von:** Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)

**Projektleiterin:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Anke Kahl

**Projektmitarbeiter:** Dipl.-Ing. Christoph Wetzel  
M.Sc. Lars Rübekeil  
Dipl.-Ing. Ulrich Windhövel  
Dipl.-Ing. Michael Kowatzky

**Autor des Abschlussberichtes:** Dipl.-Ing. Christoph Wetzel

## Vorbemerkung

Der vorliegende wissenschaftliche Abschlussbericht zum Forschungsprojekt 288 „Rutschhemmungsmatrix“ basiert in wesentlichen Teilen auf der Dissertation von Herrn Dipl.-Ing. Christoph Wetzels mit dem Titel „Entwicklung einer Rutschhemmungsmatrix für die Auswahl von Fußböden und Schuhen zur Reduzierung von Ausgleitunfällen“. Die Dissertation wurde am 19. März 2013 beim Promotionsausschuss des Fachbereiches D der Bergischen Universität Wuppertal eingereicht. Der Bericht wird im Rahmen der Dissertation von Herrn Wetzels veröffentlicht.

Dieser wissenschaftliche Abschlussbericht enthält die Ergebnisse und den Erkenntnisgewinn der Hauptuntersuchung (Rutschhemmungsmatrix). Die Untersuchungsmethoden und Ergebnisse des Projektteils „Reproduktion des Prüfschuhs Picasso“ sind in einem separaten Bericht dargestellt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorbemerkung</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen und Formeln</b> .....	<b>VI</b>
<b>Kurzreferat</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>3</b>
1.1 Problemstellung.....	4
1.2 Zielstellung und Hypothesen .....	8
1.3 Methodisches Vorgehen.....	10
1.4 Zeitplan .....	12
1.5 Systemabgrenzung .....	13
1.6 Begriffe.....	15
<b>2 Analyse des Standes der Technik</b> .....	<b>17</b>
2.1 Unfallstatistik .....	17
2.2 Rechtliche Grundlagen.....	19
2.2.1 Produktsicherheit.....	20
2.2.1.1 Fußböden .....	20
2.2.1.2 Schuhe.....	22
2.2.2 Arbeitssicherheit .....	24
2.2.2.1 Einrichten mit Fußböden.....	24
2.2.2.2 Betreiben .....	26
2.3 Reibungssystem.....	27
2.3.1 Physikalische Größen.....	27
2.3.1.1 Reibung und Reibungsarten .....	27
2.3.1.2 Reibungsgrößen .....	28
2.3.2 Komponenten des Reibungssystems .....	29
2.4 Reibungsprüfverfahren.....	31
2.4.1 Prinzipien zur Reibungsmessung .....	31
2.4.2 Fußboden- und Schuhtester .....	32
2.4.3 Gleitmessgerät GMG 200 .....	35
2.4.4 Schiefe Ebene .....	36
2.4.5 Pendelmessgerät.....	37
2.5 Gefährdungsbeurteilung „Ausgleiten beim Gehen“ .....	39
2.5.1 Gefährdungsbeurteilung - Analyse .....	39
2.5.1.1 Arbeitssystem- und Gefährdungsmodell.....	39

2.5.1.2	Biomechanik des menschlichen Ganges .....	40
2.5.1.3	Sicherheitsbedingung .....	42
2.5.1.4	Gefährdungsbeurteilung – Analyse in Arbeitsbereichen.....	43
2.5.2	Gefährdungsbeurteilung – Bewertung .....	43
2.5.2.1	Bewertung des Gefährdungspotentials (hazard) .....	43
2.5.2.1.1	Bewertung des Gefährdungspotentials (hazard) von Schuhen.....	43
2.5.2.1.2	Bewertung des Gefährdungspotentials (hazard) von Fußböden .....	44
2.5.2.2	Bewertung der Gefährdung.....	45
2.5.2.2.1	Abgeleitete Grenzwerte aus dem menschlichem Gang .....	45
2.5.2.2.2	Wuppertaler Grenzwerte .....	46
2.5.2.2.3	Schutzkonzept „Auslöseschwelle und Grenzwert“ .....	47
2.5.2.2.4	BGI / GUV-I 8687 .....	47
2.5.3	Gefährdungsbeurteilung - Gestaltung und Maßnahmen.....	48
<b>3</b>	<b>Empirische Analyse des IST-Zustandes .....</b>	<b>51</b>
3.1	Untersuchungsmaterialien.....	51
3.1.1	Fußböden .....	51
3.1.2	Schuhe .....	53
3.1.3	Zwischenmedien.....	57
3.1.4	Umgebungsbedingungen.....	58
3.2	Auswahl von Messtechnik und Festlegung von Prüfabläufen .....	59
3.2.1	Messung produktbezogener Parameter der Fußböden .....	59
3.2.2	Messung produktbezogener Parameter der Schuhe .....	61
3.2.3	Kombinierte Fußboden-Schuh-Messung .....	62
3.2.3.1	Auswahl der Messtechnik .....	62
3.2.3.2	Festlegung von Prüfabläufen .....	64
3.3	Messunsicherheit .....	65
3.3.1	Arten von Messunsicherheiten .....	65
3.3.2	Konzept zur Ermittlung der Messunsicherheit .....	66
<b>4</b>	<b>Bewertung und Auswertung der Ergebnisse .....</b>	<b>68</b>
4.1	Statistische Grundlagen zur Auswertung .....	68
4.1.1	Deskriptive Statistik .....	68
4.1.2	Univariate Korrelations- und Regressionsrechnung.....	68
4.1.3	Multivariate Korrelations- und Regressionsrechnung .....	71
4.1.3.1	Modellformulierung .....	71
4.1.3.2	Die Schätzung der Regressionsfunktion.....	72
4.1.3.3	Prüfung der Regressionsfunktion.....	73
4.1.3.4	Prüfung der Regressionskoeffizienten.....	74

---

4.1.3.5	Prüfung der Modellprämissen .....	75
4.1.4	Künstliche Neuronale Netze .....	76
4.2	Messunsicherheit .....	78
4.2.1	Produktbedingte Messunsicherheit.....	78
4.2.2	Systematische Messunsicherheit.....	78
4.2.2.1	Veränderung von Schuhen .....	78
4.2.2.2	Veränderung von Fußböden .....	78
4.2.3	Korrekturrechnung.....	80
4.3	Bewertung des IST-Zustandes .....	81
4.3.1	Auswahl eines Bewertungssystems.....	81
4.3.2	Ergebnisse der kombinierten Fußboden-Schuh-Messungen.....	81
4.3.3	Bewertung der Ergebnisse des IST-Zustandes - Wasser .....	83
4.3.4	Bewertung der Ergebnisse des IST-Zustandes - Öl .....	87
4.4	Bewertung der Baumusterprüfungen von Fußböden und Schuhen .....	91
4.4.1	Definition von Rangfolgen.....	91
4.4.1.1	Normrangfolgen .....	91
4.4.1.2	Praxisrangfolgen.....	92
4.4.2	Vergleiche von Norm- und Praxisrangfolgen .....	94
4.4.2.1	Methodik .....	94
4.4.2.2	Vergleiche zur Praxisrangfolge Fußböden Wasser .....	95
4.4.2.3	Vergleiche zur Praxisrangfolge Fußböden Öl.....	97
4.4.2.4	Vergleich von Norm- und Praxisrangfolgen - Schuhe.....	101
4.5	Verschleiß von Fußböden .....	103
4.6	Vergleich von Sicherheitsschuhen mit Straßenschuhen .....	105
4.7	Übertragbarkeit von Prüfverfahren .....	106
<b>5</b>	<b>Gestaltung .....</b>	<b>108</b>
5.1	Eruierung valider Baumusterprüfungen.....	108
5.1.1	Anforderungen an Referenzmaterialien .....	108
5.1.2	Eruierung valider Referenzmaterialien und Prüfverfahren .....	109
5.1.3	Ringversuch mit alternativen Referenzmaterialien .....	114
5.1.4	Definition von Wuppertaler Rangfolgen .....	116
5.2	Statistisches Gefährdungsmodell.....	118
5.2.1	Zielstellung .....	118
5.2.2	Modellentwicklung .....	118
5.2.2.1	Bestimmung der Einflussgrößen.....	118
5.2.2.2	Modell-Spezifizierung.....	120
5.2.3	Berücksichtigung der Messunsicherheit .....	125

---

5.2.4	Festlegung eines Sicherheitsniveaus .....	126
5.2.5	Validierung des Modells.....	127
5.2.6	Statistisches Gefährdungsmodell für das Zwischenmedium Öl .....	128
5.3	Entwicklung der Rutschhemmungsmatrizen .....	131
5.3.1	Rutschhemmungsmatrix - Wasser.....	131
5.3.2	Rutschhemmungsmatrix - Öl .....	134
5.3.3	Klassifizierung durch mobile Messgeräte .....	136
5.3.4	Anwendung der Rutschhemmungsmatrizen .....	138
5.4	Quantifizierung des Fußboden- und Schuheinflusses .....	140
5.5	Zusammenhänge von Reibungswerten mit Produktparametern.....	141
5.5.1	Zielstellung .....	141
5.5.2	Lineare Korrelation .....	141
5.5.3	Multivariate lineare Regression .....	142
5.5.4	Künstliche Neuronale Netze .....	142
<b>6</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>145</b>
6.1	Diskussion der 1. Hypothese.....	145
6.2	Diskussion der 2. Hypothese.....	146
6.3	Diskussion der 3. Hypothese.....	147
6.4	Diskussion der 4. Hypothese.....	148
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>150</b>
	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis.....</b>	<b>154</b>
	<b>Verzeichnis der Abbildungen .....</b>	<b>167</b>
	<b>Verzeichnis der Tabellen.....</b>	<b>171</b>
	<b>Anhang 1: Übersicht der untersuchten Fußböden .....</b>	<b>173</b>
	<b>Anhang 2: Übersicht der untersuchten Schuhe .....</b>	<b>175</b>
	Sicherheitsschuhe .....	175
	Straßenschuhe .....	176
	Sonderschuhe .....	177
	<b>Anhang 3: Basispolymere für Laufsohlen.....</b>	<b>178</b>
	<b>Anhang 4: Rauheitskenngrößen .....</b>	<b>179</b>
	<b>Anhang 5: Vergleich von Sicherheitsschuhen mit Straßenschuhen .....</b>	<b>181</b>
	<b>Anhang 6: Korrelationsmatrizen Produktparameter .....</b>	<b>182</b>
	<b>Anhang 7: Konsequenzen für Fußboden- und Schuhprodukte.....</b>	<b>183</b>
	<b>Anhang 8: Ergebnisse und Publikationen Dritter .....</b>	<b>184</b>

## Verzeichnis der Abkürzungen und Formeln

### Abkürzungen

AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der EU
AG	Arbeitsgebiet
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
Asp.	Asphalt
ASR 1.5	ASR A1.5/1.2 „Fußböden“
ASR	Technische Regel für Arbeitsstätten
ASTA	Ausschuss für Arbeitsstätten
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Bes.	Beschichtung
Bet.	Betonstein
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BGI	Berufsgenossenschaftliche Information
BGR	Berufsgenossenschaftliche Regel
BGV	Berufsgenossenschaftliche Vorschrift
bspw.	beispielsweise
BST	Boden- und Schuhtester
BUW	Bergische Universität Wuppertal
bzw.	beziehungsweise
CEN	Comité Européen de Normalisation
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN Spec	Standardisierung (nicht konsensbasierte Norm)
DIN V	Deutsche Vornorm
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMS	Dehnungsmessstreifen
E DIN	Norm-Entwurf
EG	Europäische Gemeinschaft
EN V	Europäische Vornorm
EN	Europäische Norm
ESb	Klassifizierung Gleitwiderstand (barfuß) nach DIN EN 13845
ESf	Klassifizierung Gleitwiderstand (mit Schuhen) nach DIN EN 13845
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EU-BauPV	EU-Bauproduktenverordnung

---

EVA	Ethylen-Vinyl-Acetat
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
F.	Formel
FABE	Fachausschuss Bauliche Einrichtungen der DGUV
FbHL	Fachbereich Handel und Logistik der DGUV
FST	Fußboden- und Schuhtester / Floor- and Shoe-Tester
GDA	Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie
gem.	gemäß
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
ggü.	gegenüber
Gla.	Glas
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GUV-I	Information der Gesetzlichen Unfallversicherung
HBM	Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
Hj.	Halbjahr
Hol.	Holz
inkl.	inklusive
IRHD	International Rubber Hardness Degree
ISO	International Organization for Standardization
K.-Streifen	Konfidenzstreifen
Ker.	Keramik
KNN	Künstliche Neuronale Netze
Lam.	Laminat
Met.	Metall
MW	Mittelwert
NaLS	Natriumlaurylsulfat
Nat.	Naturstein
NBR	Nitril-Butadien-Rubber
NI	National Instruments
NR	Natural Rubber (Naturkautschuk)
Nr.	Nummer
NRF	Normrangfolge
O	organisatorische Schutzmaßnahme
P	persönliche Schutzmaßnahme
P.-Streifen	Prognosestreifen
PE	Polyethylen



---

PRF	Praxisrangfolge
ProdSG	Produktsicherheitsgesetz
ProdSV	Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz
PSA	persönliche Schutzausrüstung
PSRV	Polished skid resistance value
PU, PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
Q.	Quartal
resp.	respektive
R-Gruppe	Rutschhemmungsgruppe
R-Klasse	Rutschhemmungsklasse
RÖ	Rutschhemmungsklasse für Fußböden / Öl
RW	Rutschhemmungsklasse für Fußböden / Wasser
S	Substitution (Schutzmaßnahme)
S.	Seite
SAE	Society of Automotive Engineers
SBR	Styrol-Butadien-Rubber
SG	Sachgebiet
SGB	Sozialgesetzbuch
SiC	Silizium-Carbid
SÖ	Rutschhemmungsklasse für Schuhe Öl
SP	Sonderprofil
SRS	Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle
SRV	skid resistance value
St-II	Standardbelag II
SW	Rutschhemmungsklasse für Schuhe Wasser
T	technische Schutzmaßnahme
TC	Technical Committee
Tex.	Textil / textiler Bodenbelag
TPR, TR	Thermoplastic Rubber
TPS	Thermoplastisches Styrol-Blockcopolymer
TPU	Thermoplastisches Polyurethan
TS	Technical Specification / Technische Spezifikation
typ.	typisch
u.a.	unter anderen
UKSRG	United Kingdom slip-resistance group

USRV	unpolished skid resistance value
V73	Vulka73
vgl.	vergleiche
V-Klasse	Verdrängungsraum-Klasse
V-Wahrscheinlichkeit	Vertrauenswahrscheinlichkeit
WG	Working Group
WRF	Wuppertaler Rangfolge
z.B.	zum Beispiel

### Formelzeichen, Größen und Einheiten

$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius, Einheit der Temperatur $T$ , $0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K}$
$a$	Achsenabschnitt, $[a] = -$
$b$	Steigung, $[b] = -$
$b_0$	geschätztes konstantes Glied der Regressionsfunktion, $[b_0] = -$
$b_j$	geschätzter Regressionskoeffizient ( $j = 1, 2, \dots, J$ ), $[b_j] = -$
$C$	Konfidenzintervall der Regressionsgeraden, $[C] = -$
$D$	Prognoseintervall der Regressionsgeraden, $[D] = -$
$E$	Energie, $[E] = \text{J (Joule)}$
$E(X)$	Erwartungswert, $[E(X)] = -$
$e_k$	Werte der Residualgröße ( $k = 1, 2, \dots, K$ ), $[e_k] = -$
$F_A$	Aktionskraft, $[F_A] = \text{N}$
$F_{emp}$	empirischer F-Wert, $[F_{emp}] = -$
$F_G$	Gewichtskraft, $[F_G] = \text{N}$
$F_H$	Hangabtriebskraft, $[F_H] = \text{N}$
$F_N$	Normalkraft, $[F_N] = \text{N}$
$F_R$	Reibungskraft, $[F_R] = \text{N}$
$F_T$	Tangentialkraft, $[F_T] = \text{N}$
$F_{tab}$	tabellierter F-Wert, $[F_{tab}] = -$
$F_{Tx}$	Tangentialkraft quer zur Gangrichtung, $[F_R] = \text{N}$
$F_{Ty}$	Tangentialkraft in Gangrichtung, $[F_{Ty}] = \text{N}$
$F_Z$	Zugkraft, $[F_Z] = \text{N}$
$g$	Erdbeschleunigung, Konstante $9,81 \text{ m/s}^2$
$h$	Höhe, $[h] = \text{m}$
$J$	Zahl der unabhängigen Variablen, $[J] = -$
$K$	Kelvin, Einheit der Temperatur $T$ , $0 \text{ K} = - 273,15^{\circ}\text{C}$
$K$	Zahl der Beobachtungen, $[K] = -$

kg	Kilogramm, Einheit der Masse $m$
$m$	Masse, $[m] = \text{kg}$
m	Meter, Längenmaßeinheit
$Mr_1, Mr_2$	Materialanteile $Mr_1, Mr_2$ , $[Mr] = \%$
$n$	Anzahl, $[n] = -$
N	Newton, Einheit der Kraft $F$
$P(X)$	Wahrscheinlichkeit, $[P(X)] = \%$
$Pa$	arithmetischer Mittenrauwert des Primärprofils, $[Pa] = \mu\text{m}$
$Pp$	mittlere Höhe der Profilspitzen des Primärprofils, $[Pp] = \mu\text{m}$
$Pq$	quadratischer Mittenrauwert des Primärprofils, $[Pq] = \mu\text{m}$
$Psk$	Schiefe des Primärprofils, $[Psk] = \mu\text{m}$
$Pt$	Gesamthöhe des Primärprofils, $[Pt] = \mu\text{m}$
$Pv$	mittlere Tiefe der Profiltäler des Primärprofils, $[Pv] = \mu\text{m}$
$Pz$	gemittelte Höhe des Primärprofils, $[Pz] = \mu\text{m}$
$Q_A$	Anforderungsquotient, $[Q_A] = -$
$Q_\alpha$	Quantil einer Verteilungsfunktion mit der Wahrscheinlichkeit $\alpha$
$r$	Pearsonsche Korrelationskoeffizient, $[r] = -$
$R$	Spannweite, $[R] = -$
$R^2$	Bestimmtheitsmaß, $[R^2] = -$
$Ra$	arithmetischer Mittenrauwert des Rauheitsprofils, $[Ra] = \mu\text{m}$
$Rk$	Kernrauheit, $[Rk] = \mu\text{m}$
$Rmr(c)$	Materialanteil des Rauheitsprofils, $[Rmr(c)] = \%$
$Rp$	mittlere Höhe der Profilspitzen des Rauheitsprofils, $[Rp] = \mu\text{m}$
$Rpk$	reduzierte Spitzenhöhe, $[Rpk] = \mu\text{m}$
$Rq$	quadratischer Mittenrauwert des Rauheitsprofils, $[Rq] = \mu\text{m}$
$Rs$	Abstand der Profilspitzen des Rauheitsprofils, $[Rs] = \mu\text{m}$
$Rsk$	Schiefe des Rauheitsprofils, $[Rsk] = \mu\text{m}$
$Rsm$	mittlere Rillenbreite des Rauheitsprofils, $[Rsm] = \mu\text{m}$
$Rt$	Gesamthöhe des Rauheitsprofils, $[Rt] = \mu\text{m}$
$Rv$	mittlere Tiefe der Profiltäler des Rauheitsprofils, $[Rv] = \mu\text{m}$
$Rvk$	reduzierte Spitzentiefe, $[Rvk] = \mu\text{m}$
$Rz$	gemittelte Höhe des Rauheitsprofils, $[Rz] = \mu\text{m}$
s	Sekunde, Einheit der Zeit $t$
S	Sicherheitsfaktor, $[S] = -$
s	Standardabweichung / Standardfehler, $[s_{index}] = -$
s	Strecke, Reiblänge, $[s] = \text{m}$

---

$T$	Temperatur, $[T] = ^\circ\text{C}$ , $[T] = \text{K}$
$t$	Zeit, $[t] = \text{s}$
$t_{index}$	t-Wert aus der Student-Verteilung, $[t_{index}] = -$
$U$	Messunsicherheit, $[U] = -$
$u$	Störgröße, $[u] = -$
$v$	Geschwindigkeit, $[v] = \text{m/s}$
$X_j$	unabhängige Variable ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
$x_{jk}$	Werte der unabhängigen Variablen ( $j = 1, 2, \dots, J$ ; $k = 1, 2, \dots, K$ )
$\bar{x}$	Mittelwert, $[\bar{x}] = \text{Einheit von } x$
$Y$	abhängige Variable
$y(x)$	Funktionsgleichung
$y_k$	Werte der abhängigen Variablen ( $k = 1, 2, \dots, K$ )
$\alpha$	Irrtumswahrscheinlichkeit, $[\alpha] = \%$
$\alpha$	Neigungswinkel, $[\alpha] = ^\circ$
$\beta$	Vertrauenswahrscheinlichkeit, $[\beta] = \%$
$\beta_0$	konstantes Glied der Regressionsfunktion, $[\beta_0] = -$
$\beta_j$	wahrer Regressionskoeffizient ( $j = 1, 2, \dots, J$ ), $[\beta_j] = -$
$\gamma$	vertikaler Aufsetzwinkel des Schuhs, $[\gamma] = ^\circ$
$\Delta$	Delta, Symbol für die Differenz
$\varepsilon$	horizontaler Aufsetzwinkel des Schuhs, $[\varepsilon] = ^\circ$
$\lambda_c$	Grenzwellenlänge, Länge der Einzelmessstrecke $[\lambda_c] = \text{mm}$
$\sigma$	Varianz, $[\sigma] = -$
$\mu$	Reibungskoeffizient, $[\mu] = -$
$\mu_A$	Anfangsgleitreibungskoeffizient, $[\mu_A] = -$
$\mu_G$	Gleitreibungskoeffizient, $[\mu_G] = -$
$\mu_H$	Haftreibungskoeffizient, $[\mu_H] = -$

Verzeichnis der Formeln

F. 1:	Reibungskoeffizient	S.28
F. 2:	Reibungskoeffizient aus der Messung der Reibungskraft	S.31
F. 3:	Reibungskoeffizient aus der Messung des Reibungswinkels	S.31
F. 4:	Reibungskoeffizient aus der Messung des Reibungsenergieverlustes	S.31
F. 5:	Anforderungsquotient	S.41
F. 6:	Ungleichung des Ausgleitens	S.42
F. 7:	Sicherheitsbedingung	S.42
F. 8:	Arithmetisches Mittel	S.68
F. 9:	Standardabweichung	S.68
F. 10:	Korrelationskoeffizient nach Pearson	S.69
F. 11:	Signifikanz des Korrelationskoeffizienten	S.69
F. 12:	Gleichung der Regressionsgeraden	S.69
F. 13:	Steigung der Regressionsgeraden	S.69
F. 14:	Achsenabschnitt der Regressionsgeraden	S.69
F. 15:	Standardabweichung der Werte von der Regressionsgeraden	S.70
F. 16:	Konfidenzintervall der Regressionsgeraden	S.70
F. 17:	Prognoseintervall der Regressionsgeraden	S.70
F. 18:	Schätzfunktion der multiplen Regression	S.72
F. 19:	Zielfunktion der multiplen Regression	S.72
F. 20:	Standardisierter Regressionskoeffizient	S.73
F. 21:	Stochastisches Modell der multiplen Regressionsfunktion	S.73
F. 22:	Bestimmtheitsmaß der multiplen Regression	S.74
F. 23:	F-Test der multiplen Regression	S.74
F. 24:	Standardfehler der multiplen Regression	S.74
F. 25:	F-Test eines Regressionskoeffizienten	S.75
F. 26:	Konfidenzintervall eines Regressionskoeffizienten	S.75
F. 27:	Statistisches Gefährdungsmodell	S.120
F. 28:	Statistisches Gefährdungsmodell, Wasser	S.121
F. 29:	Störgröße des statistischen Gefährdungsmodells, Wasser	S.124
F. 30:	Statistisches Gefährdungsmodell, Wasser, V-Wahrscheinlichkeit 90%	S.124
F. 31:	Statistisches Gefährdungsmodell Öl	S.128
F. 32:	Statistisches Gefährdungsmodell Öl, V-Wahrscheinlichkeit 90%	S.128

## Kurzreferat

Statistiken der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung verdeutlichen eindrucksvoll, dass Ausrutschen beim Gehen ein betrieblicher Unfallschwerpunkt ist. Insbesondere prozess- oder witterungsbedingte gleitfördernde Stoffe wie beispielsweise Nässe stellen eine erhöhte Gefährdung dar. Die Akteure des betrieblichen Arbeitsschutzes stehen vor der Herausforderung, die Gefährdung „Ausrutschen beim Gehen“ zu beurteilen und als Schutzmaßnahme sichere Fußboden-Schuh-Kombinationen auszuwählen. Handlungsempfehlungen nach dem Stand der Technik fokussieren sich insbesondere auf die Auswahl von Fußböden und vernachlässigen Instrumentarien zur Auswahl von Schuhen.

Zielstellungen sind die ganzheitliche Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Fußböden, Schuhen und gleitfördernden Stoffen sowie die Entwicklung einer Rutschhemmungsmatrix zur Auswahl von Fußboden- und Schuhprodukten.

In einer empirischen Untersuchung wird ein messtechnisches Abbild praktischer Situationen erzeugt und ausgewertet. Hierzu werden Reibungswerte der Kombinationen von 85 unterschiedlichen Fußböden und 100 verschiedenen Sicherheits- und Straßenschuhen mit den Zwischenmedien Wasser und Motoröl herangezogen.

Das rutschhemmende Potential von Fußböden und Schuhen wird durch nationale und EG-Baumusterprüfungen zum Teil nicht praxismäßig bewertet. In dieser Arbeit werden konkrete Vorschläge für valide Baumusterprüfungen mit alternativen Referenzmaterialien und Prüfverfahren unterbreitet.

Das entwickelte statistische Gefährdungsmodell ermöglicht eine rechnerische Prognose des Ausmaßes der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen in Abhängigkeit der rutschhemmenden Eigenschaften von Fußböden und Schuhen (Ergebnisse von Baumusterprüfungen). Durch Verallgemeinerung des Modells entsteht das Präventionsinstrument Rutschhemmungsmatrix, das sowohl die Gefährdungsbeurteilung als auch die Auswahl sicherer Fußboden-Schuh-Kombinationen im Sinne einer dauerhaften, kollektiven und willensunabhängigen Schutzmaßnahme wesentlich vereinfacht.

Straßenschuhe führen in praktischen Situationen zu wesentlich mehr kritischen Situationen als Sicherheitsschuhe. Mit Sicherheitsschuhen vergleichbare Mindestanforderungen an die Rutschhemmung von Straßenschuhen sind daher sinnvoll.

Die Ergebnisse leisten einen Beitrag zur praxismäßig bewerteten Auswahl von Fußboden- und Schuhprodukten und bieten die Chance, die Zahl der Ausgleitunfälle durch eine Umsetzung in der Normung, in der Produktentwicklung und im betrieblichen Arbeitsschutz nachhaltig zu reduzieren.

## Abstract

Statistics produced by the German Social Accident Insurance show impressively that slipping during walking is an occupational accident black spot. Lubricants such as moisture, caused in particular by processes or weather conditions, constitute an elevated risk<sup>1</sup>. Bodies involved in the safety and health of workers at work are faced with the challenge of assessing the slipping risk during walking and of selecting a protective measure in the form of safe floor and footwear combinations. Recommendations for action which take account of the state of the art are particularly focussed upon the selection of floors, to the neglect of instruments for the selection of footwear.

The objectives are for the interaction between floors, footwear and lubricants to be considered integrally and for a slip-resistance matrix to be developed for the selection of floor and footwear products.

An empirical study is performed in order to describe and evaluate practical situations in terms of the measured data. For this purpose, reference is made to the coefficients of friction of combinations of 85 different floors and 100 different safety and outdoor footwear products, with water and engine oil serving as the lubricants.

The assessment by national and EU type examinations of the non-slip potential of floors and footwear is in some cases not appropriate for industrial practice. Proposals are made for valid type examinations involving alternative reference materials and test methods.

The statistical risk model that has been developed enables a mathematical prognosis to be formulated of the scale of the slipping while walking risk as a function of the non-slip properties of floors and footwear (the results of type examinations). The model is generalized to produce the slip-resistance matrix, a prevention instrument which substantially simplifies both risk assessment and the selection of safe floor/footwear combinations in order to create a sustainable, collective and automatic protective measure.

Under real-case conditions, critical situations occur substantially more frequently with outdoor footwear than with safety footwear. Minimum requirements for the slip resistance of outdoor footwear that are comparable to those for safety footwear are therefore advisable.

The results support the evaluation and selection of floor and footwear products in a way that is suitable for industrial practice. If implemented in standards, in product development and in measures for the safety and health of workers at work, they have the potential to reduce sustainably the frequency of slipping accidents.

---

<sup>1</sup> Risk = hazard (potential) in coincidence with exposure

# 1 Einleitung

„Der menschliche Gang ist einer der unsichersten Fortbewegungsvorgänge, die es unter Lebewesen in der Natur gibt.“ [FISCHER 2005] Der normalgesunde Mensch lernt und trainiert von Kindesalter an das Gehen als automatisierten Bewegungsablauf. Dennoch spiegelt sich die Unsicherheit beim Gehen in einer hohen Zahl an Stolper-, Rutsch- und Sturzunfällen (SRS-Unfälle) wider. Der Geltungsbereich der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) erstreckt sich auf gewerbliche Unternehmen und öffentliche Einrichtungen wie öffentliche Verwaltungen, Kindergärten, Schulen und Universitäten. Unfälle bei Tätigkeiten der Beschäftigten während der Arbeit oder Ausbildung werden durch die Unfallversicherungsträger (UVT) versichert. Die Unfallstatistik der DGUV belegt, dass ca. 20 Prozent der jährlich etwa 1,2 Millionen Arbeits- und Wegeunfälle mit einer Ausfallzeit von mehr als drei Tagen auf Stolpern, Rutschen und Stürzen zurückzuführen sind. Der Anteil der Unfallursache „Ausrutschen“ beträgt etwa die Hälfte, so dass durch die Unfallversicherungsträger pro Jahr für über 100.000 Rutschunfälle Rehabilitations- und Entschädigungsleistungen geleistet werden (FBHL 2012). Nicht erfasst sind die Zahlen von Rutschunfällen im Heim- und Freizeitbereich, von Beinaheunfällen und von Rutschunfällen ohne Verletzungen bzw. mit Bagatellverletzungen. Die tatsächliche Zahl von kritischen Situationen, in denen es zum Ausrutschen kommt, ist also wesentlich höher anzusetzen.

SRS-Unfälle sind neben ihrer hohen Zahl durch eine hohe Unfallschwere gekennzeichnet, die neben einer durchschnittlichen Ausfallzeit von 20 Tagen insbesondere durch den Anteil von 25% an neuen Unfallrenten (dauerhafte Erwerbsunfähigkeit) zum Ausdruck kommt (FBHL 2012).



## 1.1 Problemstellung

Der betriebliche Arbeitsschutz hat die Aufgabe, die Beschäftigten vor Arbeitsunfällen und arbeitsbedingten Belastungen und Erkrankungen zu schützen. Bei der Beurteilung der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen ist ein komplexes System aus den sich gegenseitig beeinflussenden Komponenten Fußboden, Schuh und gleitförderndem Stoff zu analysieren und in Bezug auf den gehenden Menschen in praktischen Situationen zu bewerten. Die Komponenten Fußboden und Schuh weisen eine große Bandbreite an unterschiedlichen Materialien, Qualitäten, Profilierungen, Oberflächenstrukturen und daraus resultierenden rutschhemmenden Eigenschaften auf. Zur Vermeidung von Ausrutschunfällen stehen nach dem Stand der Technik eine Vielzahl von möglichen und denkbaren Schutzmaßnahmen zur Verfügung. Gemäß der sicherheitstechnischen Gestaltungsrangfolge (Substitution (S) → technische Schutzmaßnahmen (T) → organisatorischen Schutzmaßnahmen (O) → persönlichen Schutzmaßnahmen (P)) sind die Schutzmaßnahmen mit der weitreichendsten Wirkung zu bevorzugen. Folglich sollten die Akteure des betrieblichen Arbeitsschutzes sichere Fußboden-Schuh-Kombinationen in Abhängigkeit der betriebs- oder witterungsbedingt auftretenden gleitfördernden Stoffe auswählen. Innerhalb des Gestaltungsfeldes des „Additiven Primärschutzes“ (vgl. Kapitel 2.5.3) ist die Maßnahme „Auswahl (Substitution) von Fußböden“ mittels Anforderungen und Empfehlungen aus gegenwärtigen staatlichen und berufsgenossenschaftlichen Regelwerken möglich. Eine Handlungsanleitung für die Auswahl von rutschhemmenden Schuhen existiert derzeit nicht.

Der Ansatz eines ganzheitlichen Arbeitsschutzes „sichere Arbeit mit sicheren Produkten“ legt den Fokus ebenso auf die Gestaltung von sicheren Produkten, insbesondere auf deren inhärent sichere Konstruktion (vgl. Kapitel 2.5.3). Auch für dieses Gestaltungsfeld des konstruktiven Primärschutzes existieren nur eingeschränkte Möglichkeiten. Die Hersteller der Produkte Fußboden und Schuhe sowie die Akteure des betrieblichen Arbeitsschutzes sind mit folgenden Problemfeldern konfrontiert:

### Problemfeld Fußböden

Die Bereitstellung des Produktes Fußboden auf dem Markt ist, abhängig von Art und Material des Fußbodens, unterschiedlich geregelt. Für jede Produktgruppe sind konkretisierende, harmonisierte Produktnormen verfügbar, allerdings werden konkrete Anforderungen an die Rutschhemmung von Bodenbelägen nur für einige dieser Produktgruppen gestellt (z.B. elastische, laminierte und textile Bodenbeläge für trockene

Einsatzbereiche; Sportböden). Andere Produktgruppen verweisen auf nationale Regelungen oder setzen bei bestimmten Produkten eine ausreichende Rutschhemmung voraus (z.B. bei ungeschliffenen Beton- oder Natursteinen). Die harmonisierten Produktnormen definieren oder verweisen auf ein Prüfverfahren. Das Ergebnis der EG-Baumusterprüfung ist ohne die Angabe von Empfehlungen zu Einsatzbereichen und / oder Mindestanforderungen nur eingeschränkt nutzbar und für den Anwender als Information nicht hilfreich. Zudem ist eine Vergleichbarkeit der Produkte im Sinne der Rutschhemmung aufgrund differierender Prüfverfahren und Referenzmaterialien nicht gegeben.

Für die sichere Nutzung von Arbeitsstätten finden die staatliche technische Regel für Arbeitsstätten<sup>2</sup> (ASR A1.5/1,2 „Fußböden“) und die Regelung der Unfallversicherungsträger (BGR 181 / GUV-R 181 „Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr“) Anwendung. Darin werden Mindestanforderungen an die Rutschhemmungsklassen von Fußböden (R-Klasse / R-Gruppe) für gelistete Arbeitsbereiche<sup>3</sup> festgelegt. Die R-Klassen werden im Rahmen einer nationalen Baumusterprüfung (vgl. Kapitel 1.6) mit dem Prüfverfahren „Schiefe Ebene“ nach DIN 51130 durch Begehung des Fußbodens mit einem Sicherheitsschuh und dem Zwischenmedium Motoröl ermittelt. Auch die Fußböden, die gemäß der Regelungen im Arbeitsbereich ausschließlich mit Nässe in Kontakt kommen, werden mit Motoröl geprüft. Studien<sup>4</sup> an der Bergischen Universität Wuppertal haben beispielhaft für ausgewählte Produkte bzw. die Produktgruppe „Betonsteinwaren“ aufgezeigt, dass dieses Prüfverfahren die Produkte hinsichtlich des Auftretens von Nässe falsch bewertet. Fußböden mit gleicher R-Gruppe nach DIN 51130 zeigen in Verbindung mit Nässe und Schuhen stark unterschiedliche rutschhemmende Potentiale. Folglich werden Fußböden nach dem Stand der Technik richtig ausgewählt und verlegt, weisen aber ggf. unter den tatsächlichen Bedingungen im Arbeitsbereich keinen ausreichenden Schutz vor der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen aus.

### Problemfeld Schuhe

Je nach Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung stellt der Arbeitgeber den Beschäftigten Sicherheitsschuhe als persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung und ordnet eine

---

<sup>2</sup> Die ASR 1.5/1,2 „Fußböden“ wurde am 13.03.2013 veröffentlicht. Diese Arbeit nimmt Bezug auf den Schlusssentwurf der Arbeitsgruppe mit Stand 11/2012.

<sup>3</sup> Insbesondere unter Berücksichtigung der typischerweise in diesen Arbeitsbereichen auftretenden gleitfördernden Stoffen.

<sup>4</sup> SEBALD 2007; WINDHÖVEL ET.AL. 2009, WINDHÖVEL ET.AL. 2010

Tragepflicht an. Besteht keine Notwendigkeit des Gebrauchs von Sicherheitsschuhen, tragen die Beschäftigten private Straßen- oder Freizeitschuhe.

Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhe unterliegen als persönliche Schutzausrüstung (PSA) der Kategorie II bei ihrer Bereitstellung auf dem Markt einer EG-Baumusterprüfung und müssen Mindestanforderungen an die Rutschhemmung der Laufsohle erfüllen. Die Prüfung erfolgt mit dem maschinellen Prüfverfahren nach der harmonisierten Norm DIN EN ISO 13287 durch zwei mögliche Prüfkombinationen (Keramikfliese / Wasser und Stahlboden / Glycerin). Das Bestehen einer Kombination reicht als Voraussetzung für die Bereitstellung auf dem Markt aus. Gemäß SEBALD 2007 ist die Praxistauglichkeit der Prüfkombination Stahlboden/Glycerin in Frage zu stellen.

Straßen- und Freizeitschuhe hingegen unterliegen keinen gesetzlichen Bestimmungen, die ein Mindestmaß an Rutschhemmung der Laufsohle bei der Bereitstellung auf dem Markt regeln. Die daraus resultierende Problematik ist, dass in Arbeitsbereichen Schuhe mit unbekanntem rutschhemmenden Eigenschaften getragen werden und somit eine erhöhte Rutschgefährdung aufweisen können.

Das Ergebnis der EG-Baumusterprüfung ist dem Anwender im Regelfall nicht bekannt. Die Maßnahme „Schuhauswahl“ als additiver Primärschutz beschränkt sich auf die Wahl, ob Sicherheitsschuhe benutzt werden sollen oder nicht. Die Auswahl zwischen verschiedenen Sicherheitsschuhen ist eingeschränkt, da dem Anwender die Informationen über das rutschhemmende Potential fehlen.

#### Problemfeld Verschleiß und Veränderung

Die rutschhemmenden Eigenschaften von Fußböden und Schuhe können sich über ihre Lebensdauer verändern. Während „das Ablaufen“ von Schuhsohlen noch relativ offensichtlich ist, sind die Veränderungen der Eigenschaften von Fußböden durch Oberflächenverschleiß, Reinigung und Pflege weitaus weniger leicht zu erkennen und zu bewerten. Mit Prüfverfahren im Labormaßstab können Fußböden im eingebauten Zustand nicht überprüft und im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung untersucht werden.

#### Problemfeld Produktentwicklung

Hersteller von Fußböden und Schuhen entwickeln ihre Produkte in Bezug auf die rutschhemmenden Eigenschaften anhand der zur Verfügung stehenden Prüfverfahren und -parameter der nationalen und EG-Baumusterprüfungen. Führen diese Prüfungen zu einer nicht praxisgerechten Bewertung, bedeutet dies für die Produktentwicklung, dass ein besseres Ergebnis nicht zwangsläufig auch bessere rutschhemmende Eigenschaften in

der Anwendung der Produkte nach sich zieht. Dies ist weder für den Hersteller noch für den Anwender zufriedenstellend.

### Problemfeld Normung

Ausgleitunfälle entstehen durch das aktive Zusammenwirken von Fußboden und Schuh. Die zuständigen Normungsgremien sind allerdings ausschließlich produktbezogen tätig und im Bereich Fußböden zudem den jeweiligen Arten von Fußböden zugeordnet. Die Gefährdung Ausgleiten beim Gehen wird folglich in der Gremienarbeit nicht ganzheitlich, sondern für Schuhe und Fußbodenarten isoliert betrachtet. Aus diesem Grund ist gegenwärtig eine Vielfalt unterschiedlicher und nicht vergleichbarer Prüf- und Bewertungsmethoden vorhanden.

### Problemfeld Gefährdungsbeurteilung und Maßnahmenauswahl

Die Akteure des betrieblichen Arbeitsschutzes stehen vor der Problemstellung, sichere Fußboden-Schuh-Kombinationen auszuwählen. Mit der BGI/GUV-I 8687 „Bewertung der Rutschgefahr unter Betriebsbedingungen“ steht seit 2011 eine Handlungshilfe zur Verfügung, mit der eine Gefährdungsbeurteilung im Betrieb erleichtert wird. Damit kann der Fußboden im Gebrauchszustand (Verschleiß, Reinigung, Pflege) untersucht und bewertet werden. Zudem ist die Analyse von Fußböden im Gebrauchszustand in Verbindung mit den verwendeten Schuhen und Zwischenmedien (Verunreinigungen) realisierbar. Allerdings bleibt die Auswahl von Fußböden und Schuhen als Maßnahme des additiven Primärschutzes eingeschränkt.

## 1.2 Zielstellung und Hypothesen

Zielstellung dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Präventionsinstrumentes für die Praxis zur Gefährdungsbeurteilung ‚Ausgleiten beim Gehen und zur Auswahl sicherer Fußboden-Schuh-Kombinationen als dauerhafte, kollektive und willensunabhängige Schutzmaßnahme. Im Sinne des Ansatzes eines ganzheitlichen Arbeitsschutzes „sichere Arbeit mit sicheren Produkten“ sollen zur Auswahl von Fußböden und Schuhen die produktbezogenen, rutschhemmenden Eigenschaften – Ergebnisse nationaler oder EG-Baumusterprüfungen – herangezogen werden.

Folgende vier Hypothesen werden in dieser Arbeit untersucht:

**1. Hypothese: Die nationalen und EG-Baumusterprüfungen von Fußböden und Schuhen sind nur eingeschränkt praxisrelevant.**

*Die Auswahl von Fußböden und Schuhen anhand der produktbezogenen rutschhemmenden Eigenschaften setzt eine praxisgerechte und valide Bewertung der Produkte durch nationale oder EG-Baumusterprüfungen voraus. Allerdings sind die zur Bewertung herangezogenen, normativ festgelegten Referenzmaterialien und die Prüfung unter Laborbedingungen nur teilweise auf praktische Situationen übertragbar.*

**2. Hypothese: Verbindliche Mindestanforderungen an die Rutschhemmung von Straßenschuhen sind sicherheitstechnisch sinnvoll.**

*Straßenschuhe stellen in vielen Arbeitsbereichen im Vergleich zu Sicherheitsschuhen ein erhöhtes Unfallrisiko dar. Für Straßen- und Freizeitschuhe gibt es normative Empfehlungen an die Rutschhemmung der Laufsohle (DIN-FACHBERICHT 156), allerdings keine rechtlich verankerte Grundlage zur Umsetzung. Im Rahmen dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit eine Einführung verbindlicher Anforderungen aus sicherheitstechnischer Sicht sinnvoll ist.*

**3. Hypothese: Die Erstellung einer Rutschhemmungsmatrix ist möglich.**

*Eine praxisgerechte Bewertung und Klassifizierung von Fußböden und Schuhen anhand des rutschhemmenden Potentials ist durch die Auswahl geeigneter Referenzmaterialien möglich. Die Rutschhemmungsmatrix (vgl. Abbildung 1) visualisiert die Gefährdung Ausgleiten beim Gehen in Abhängigkeit der*

*rutschhemmenden Potentiale von Fußböden und Schuhen. Das Präventionsinstrument ermöglicht die präventive Auswahl von sicheren Fußboden-Schuh-Kombinationen als geeignete Schutzmaßnahme im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung der Rutschgefahr.*





 <b>Klassen der Schuhe</b> Ergebnis einer Baumusterprüfung 	Schuhe mit hoher Rutschhemmung				
	Schuhe mit erhöhter Rutschhemmung				
	Schuhe mit ausreichender Rutschhemmung				
	Schuhe <b>ohne</b> ausreichende Rutschhemmung				
<b>Matrix der Rutschhemmung</b>		Fußböden <b>ohne</b> ausreichende Rutschhemmung 	Fußböden mit ausreichender Rutschhemmung	Fußböden mit erhöhter Rutschhemmung	Fußböden mit hoher Rutschhemmung 
		<b>Klassen der Böden</b> Ergebnis einer Baumusterprüfung			

Abbildung 1: Zielstellung Rutschhemmungsmatrix

**4. Hypothese: Die Abhängigkeit der rutschhemmenden Eigenschaften einer Fußboden-Schuh-Kombination von ihren Produkteigenschaften ist beschreibbar.**

*Die Zusammenhänge der Produkteigenschaften von Fußböden und Schuhen (z.B. Material, Härte, Oberflächenrauheit, Profileigenschaften) mit den rutschhemmenden Eigenschaften lassen sich qualitativ und quantitativ beschreiben. Aus bekannten Einflussgrößen lassen sich die rutschhemmenden Eigenschaften durch ein empirisches Modell prognostizieren. Die Ergebnisse leisten einen Beitrag zur Produktentwicklung.*

### 1.3 Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen dieser Arbeit folgt den methodischen Schritten Analyse, Bewertung und Gestaltung (vgl. Abbildung 2).

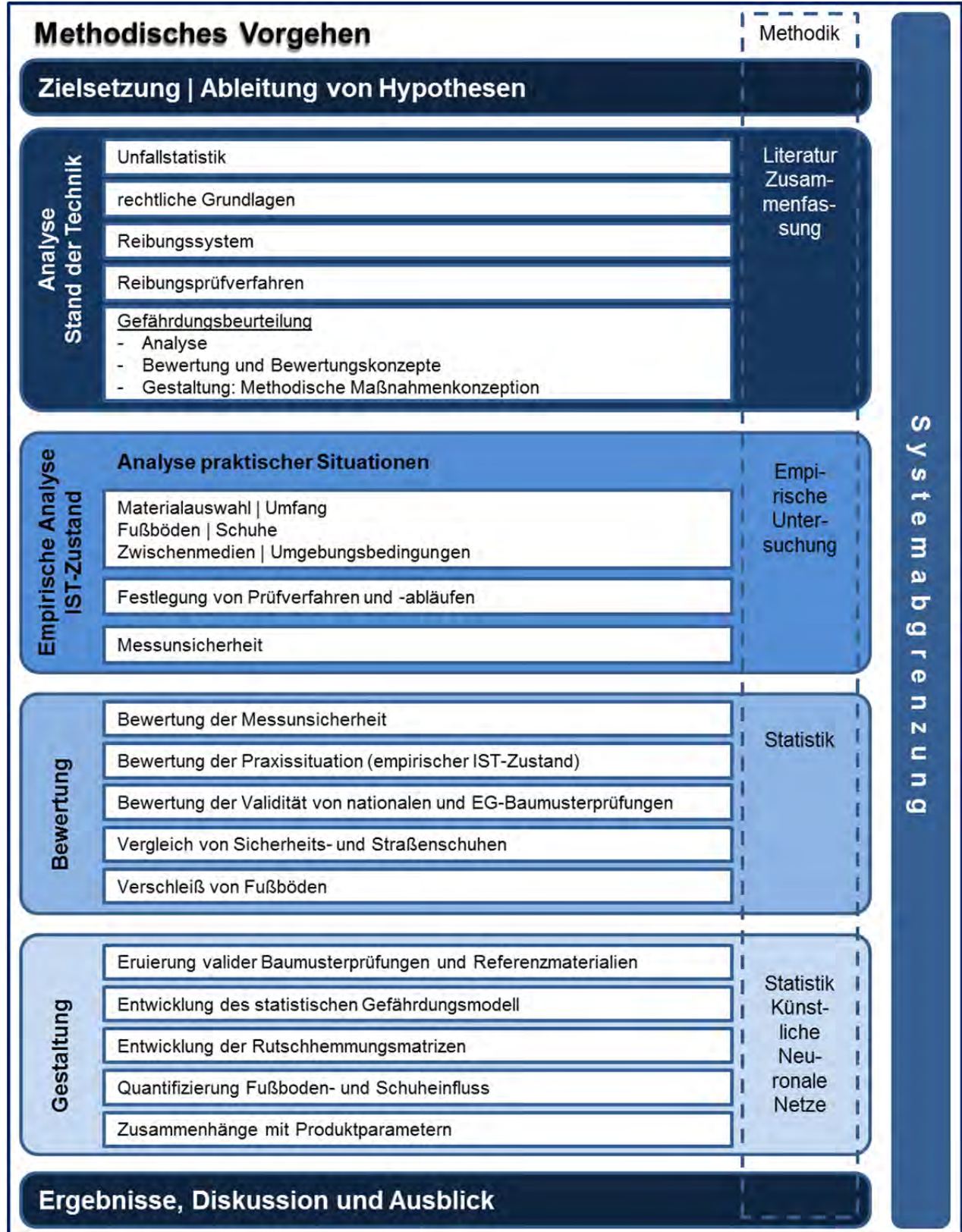


Abbildung 2: Methodisches Vorgehen

Nach einer Analyse des Standes der Technik und Darstellung der theoretischen Grundlagen wird zum Erreichen der Zielstellungen und Überprüfung der Arbeitshypothesen eine umfangreiche empirische Untersuchung durchgeführt. Um ein umfassendes Abbild der am Markt vorhandenen Schuh- und Fußbodenprodukte zu erhalten, werden über 85 verschiedene Fußbodenprodukte und über 100 verschiedene Sicherheits- und Freizeitschuhe, jeweils charakterisiert durch unterschiedliche Materialien, Oberflächenflächeneigenschaften und rutschhemmende Qualitäten, ausgewählt. Für jedes Produkt werden die rutschhemmenden Eigenschaften gemäß den gegenwärtig geltenden technischen Regeln und Normen gemessen und weitere Produktparameter ermittelt.

Den Schwerpunkt der empirischen Untersuchung bilden die Messungen der Gleitreibung von Fußboden-Schuh-Kombinationen mit den Zwischenmedien Wasser und Öl. Es wird ein Konzept zur Erfassung und Quantifizierung der Messunsicherheit sowie zur rechnerischen Korrektur der Ergebnisse erarbeitet und angewendet.

Gemäß dem Stand der Technik werden Fußboden- und Schuhprodukte in nationalen und EG-Baumusterprüfungen separat untersucht und bewertet. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das rutschhemmende Verhalten dieser Produkte in Praxissituationen ist in Frage zu stellen. Das Forschungsvorhaben wählt erstmalig einen neuen methodischen Ansatz und analysiert ein umfangreiches, repräsentatives Abbild der rutschhemmenden Eigenschaften der am Markt verfügbaren Fußboden-Schuh-Kombinationen. Die Ergebnisse werden hinsichtlich der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen bewertet und lassen damit die Beurteilung der derzeitigen Praxissituationen (IST-Zustand) zu (Hypothesen 1 und 2).

Aus den Ergebnissen werden Praxisrangfolgen ermittelt, die das rutschhemmende Potential eines Produktes in Praxissituationen beschreiben. Durch den Vergleich der Praxisrangfolge mit Normrangfolgen (Rangfolge verschiedener Produkte gemäß einer standardisierten nationalen oder EG-Baumusterprüfung) können die nach dem Stand der Technik geltenden Verfahren und Bewertungen von Produkten hinsichtlich ihrer Validität überprüft werden (Hypothese 1). Für die normativen Prüfungen, die keine praxisgerechte Bewertung von Produkten zulassen, werden alternative valide Prüfverfahren und Referenzmaterialien ermittelt und als Wuppertaler Rangfolge definiert.

Zur mathematischen Beschreibung der Abhängigkeit der Reibung einer Praxiskombination von den rutschhemmenden Potentialen der Produkte Fußboden und Schuh wird ein statistisches Gefährdungsmodell entwickelt, das die Grundlage für die Erarbeitung der



Rutschhemmungsmatrix darstellt (Hypothese 3). Das Modell wird durch ergänzende empirische Tests validiert.

Die Zusammenhänge zwischen Produktparametern und der Reibung eines Fußboden-Schuh-Systems werden mittels verschiedener statistischer Verfahren, inklusive der Nutzung „Künstlicher Neuronaler Netze“ (KNN), analysiert. Die Möglichkeit zur Entwicklung eines Prognosemodells für den Reibungskoeffizienten in Abhängigkeit von Produktparametern wird überprüft (Hypothese 4).

### 1.4 Zeitplan

Alle Arbeiten des Forschungsvorhabens wurden im geplanten Zeitrahmen abgeschlossen.

Arbeitspakete	Zeitspanne							
	01.04. bis 30.06. 2009	01.07. bis 31.12. 2009	01.01. bis 30.06. 2010	01.07. bis 31.12. 2010	01.01. bis 30.06. 2011	01.07. bis 31.12. 2011	01.01. bis 30.06. 2012	01.07. bis 31.12. 2012
<b>1. Vorbereitung</b>								
1.1 Kick-Off-Meeting	X		100%					
1.2 Festlegung von Messparametern			100%					
1.3 Beschaffung der Untersuchungsmaterialien			100%					
1.4 Vorbereitung der Untersuchungsmaterialien			100%					
<b>2. Voruntersuchung und neue Referenzgleiter</b>								
2.1 Picasso-Reproduktion (Versuche und Produktion)						100%		
2.2 Parameterermittlung der Untersuchungsmaterialien			100%					
2.3 Messungen mit mobilen Messgeräten			100%					
2.4 Auswertung und 1. Sachstandsberatung			X					
<b>3. Hauptuntersuchung</b>								
3.1 Bodenmessung Öl auf Schiefer Ebene (Uni)			100%					
3.2 Kombinierte Boden-Schuhmessung						100%		
3.3 Bodenmessung Wasser auf Schiefer Ebene (BGIA)							100%	
3.4 Ermittlung geeigneter Referenzmaterialien								100%
3.5 Auswertung und 2. Sachstandsberatung					X			
<b>4. Auswertung und Messunsicherheit</b>								
4.1 Matrixberechnung								100%
4.2 Messunsicherheit Referenzmaterialien (Ringversuch mit den Referenzmaterialien)								100%
4.3 Messunsicherheit Gefährdungsbeurteilung (Wiederholungsmessung mit mobilen Messgeräten)								100%
4.4 Erarbeitung der Umsetzung im Regelwerk der Unfall- versicherungsträger								100%
4.5 Auswertung und 3. Sachstandsberatung							X	100%
<b>5. Endbericht und Öffentlichkeitsarbeit</b>								
								100%

Abbildung 3: Arbeitspakete und Zeitplan

## 1.5 Systemabgrenzung

Die Untersuchungen und Ergebnisse beziehen sich auf Bereiche, die dem staatlichen und berufsgenossenschaftlichen Arbeitsschutzrecht unterliegen. Dies umschließt u.a. Arbeits- und Betriebsstätten, Betriebsgelände, öffentliche Gebäude, deren Außenbereiche sowie Schulen, Kindergärten, Hochschulen und weitere Bereiche. Privatgrundstücke und private Gebäude werden nicht behandelt, wobei die Anforderungen und Regelungen auch im privaten Bereich herangezogen werden können, wenn Privatpersonen ihrer Verkehrssicherungspflicht gem. Bürgerlichem Gesetzbuch (BGB)<sup>5</sup> nachkommen.

Das Reibungssystem aus Schuh, Zwischenmedium, Fußboden und Umgebungsbedingungen ist ein komplexes System, da jede der Komponenten große Variationen aufweist und die Komponenten sich zum Teil gegenseitig beeinflussen. Folglich gibt es nahezu unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten. Für die Untersuchungen werden Abgrenzungen getroffen. Der Fokus wird auf die von den Unfallversicherungsträgern dokumentierten Unfallschwerpunkte gesetzt. Variiert werden die Komponenten Fußboden und Schuh, um die Vielfalt der am Markt vorhandenen Produkte abzubilden. Als Zwischenmedium kommen zwei Prüfmedien, Wasser und Motoröl, zum Einsatz. Dieses Vorgehen erlaubt es, Situationen durch witterungsbedingt auftretende Nässe in Außenbereichen, eingetragene Nässe, Feuchtigkeit durch Reinigung und produktionsbedingt auftretende flüssige gleitfördernden Stoffe wie Nässe, Öle, Fette zu analysieren.

Abgegrenzt und nicht weiter behandelt werden folgende Themenkomplexe:

- Reibungssysteme ohne Zwischenmedien (sauberer Schuh auf gereinigtem Boden), da gem. BGR 181<sup>6</sup> und Erfahrungen von Experten diese Reibungssysteme in der Regel unkritisch sind (BGR 181, FbHL 2012);
- Reibungssysteme mit festen Verunreinigungen und gleitfördernden Stoffen wie Staub, Körner, Laub, Sand, etc., da – bei ausreichender Menge – kein Kontakt zwischen Schuh und Fußboden entsteht und die zum Gehen nötige Reibung nur innerhalb des gleitfördernden Stoffes oder zwischen diesem und den Komponenten Schuh und Fußboden auftritt. Angezeigt ist hier die Entfernung der gleitfördernden Stoffe;

---

<sup>5</sup>Abgeleitet aus der Schadensersatzpflicht gem. §823 Bürgerliches Gesetzbuch.

<sup>6</sup> „Diese BG-Regel findet keine Anwendung auf Fußböden in Arbeitsräumen, Arbeitsbereichen und betrieblichen Verkehrswegen, die trocken genutzt werden, und wo die Gefahr des Ausrutschens aufgrund gleitfördernder Stoffe nicht besteht.“ [BGR 181]

- 
- Bereiche, die witterungsbedingt verschneit oder vereist sind. Auch hier besteht kein Kontakt zwischen Fußboden und Schuh;
  - Bereiche, die barfuß begangen werden, z.B. im Schwimmbad;
  - Bereiche, in denen gewollt niedrigere Reibungswerte auftreten, z.B. im Tanzsport;
  - hohe und niedrige Temperaturbereiche: In sehr warmen Umgebungen (z.B. Stahlwerk) und kalten Umgebungen (z.B. Kühlhaus) können sich die Reibungseigenschaften ändern, bspw. ändert sich die Elastizität einer Gummi-Schuhsohle in einem Kühlhaus;
  - In Bereichen, in denen eilige Fußgänger (z.B. Bahnhof) oder rennende Personen (z.B. Pausenhof einer Schule) unterwegs sind, muss zusätzlich geprüft werden, ob die Systematik der Rutschhemmungsmatrix Anwendung finden kann.

## 1.6 Begriffe

Die Begrifflichkeiten im Rahmen der Regelsetzung, Forschung und Entwicklung für die systematische Betrachtung der Gefährdung „Ausgleiten beim Gehen“ variieren. Im Folgenden werden ausgewählte Begriffe mit ihren Variationen erläutert und in diesem wissenschaftlichen Abschlussbericht nach diesen Definitionen verwendet:

- ausgleiten, ausrutschen, rutschen  
Kontrollverlust des gehenden Menschen durch Verlust und Reduzierung der Haftung des Fußes mit oder ohne Schuh auf einem Fußboden. Die Folge kann ein Sturz sein.
- EG-Baumusterprüfung  
Baumusterprüfung entsprechend einer harmonisierten Produktnorm zur Konkretisierung von Schutzziele nach europäischem Recht (EU-Verordnungen oder national umgesetzte Richtlinien).
- Fußboden, Boden, Bodenbelag, Fußbodenbelag, Belag, Untergrund  
Oberfläche, die begangen wird.
- Gleitsicherheit, Rutschsicherheit  
Sicherheit gegen Ausrutschen des Menschen beim Gehen.
- nationale Baumusterprüfung  
Baumusterprüfung nach nationalem (deutschem) staatlichen oder berufsgenossenschaftlichen Regelwerk, ggf. spezifiziert in einer nationalen Prüfnorm.
- Normrangfolge  
Rangfolge von Fußböden oder Schuhen entsprechend der Ergebnisse einer standardisierten nationalen oder EG-Baumusterprüfung.
- Praxisrangfolge  
Rangfolge von Fußböden oder Schuhen entsprechend des durchschnittlichen rutschhemmenden Potentials in praktischen Situationen.
- Referenzmaterial  
Standardisiertes Material für Prüfverfahren. Die Prüfung von Schuhen erfolgt auf einem Referenzboden, die Prüfung von Fußböden mit einem Referenzschuh.
- Reibungssystem, Reibungssystem „BZSU“, Bodensystem  
Aufeinandertreffen und Zusammenwirken von Fußboden, Schuh, Zwischenmedium und Umgebungsbedingungen.

- Rutschgefahr<sup>7</sup>, Rutschgefährdung<sup>8</sup>

Quantifiziertes Risiko<sup>9</sup>, beim menschlichen Gang auszurutschen. In der Regelsetzung wird häufig von „Rutschgefahr“ gesprochen, wobei nach dem methodischen Verständnis des Autors der Begriff „Rutschgefährdung“ in vielen Fällen richtiger ist.
- Rutschhemmung, Gleitwiderstand, Rutschwiderstand, Rutschfestigkeit
  - a.) Rutschhemmendes Potential der Produkte Fußboden und Schuh
  - b.) Maß der Reibung im Reibungssystem aus Fußboden, Schuh, Zwischenmedium und Umgebungsbedingungen.
- Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhe

Schuhe als persönliche Schutzausrüstung werden in Sicherheitsschuhe, Schutzschuhe und Berufsschuhe unterteilt, die sich hauptsächlich durch die Anforderungen an den Zehenschutz unterscheiden. Da für die Rutschhemmung der Laufsohle keine Unterschiede gemacht werden, wird in dieser Arbeit der Begriff „Sicherheitsschuhe“ synonym für „Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhe“ gebraucht.
- Straßenschuhe, Freizeitschuhe

Handelsübliche Schuhe, die keine Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhe bzw. persönliche Schutzausrüstung sind.
- Trittsicherheit

Gleitsicherheit inkl. der Sicherheit gegen Stolpern.
- Wuppertaler Rangfolge

Rangfolge von Fußböden oder Schuhen entsprechend den Ergebnissen einer alternativen Baumusterprüfung mit hoher Übertragbarkeit zur Praxisrangfolge.
- Zwischenmedium, Gleitmittel, Prüfmedium, gleitfördernder Stoff, Verunreinigung

Stoffe, die im Reibungssystem zwischen Schuh und Fußboden wirken und meist die Reibung herabsetzen. Während „Verunreinigungen“ bei der Gefährdungsbeurteilung vor Ort relevant sind, werden definierte „Prüfmedien“ und „Gleitmittel“ bei standardisierten Prüfverfahren eingesetzt. „Zwischenmedien“ und „gleitfördernde Stoffe“ sind als Oberbegriffe zu verstehen.

---

<sup>7</sup> Gefahr: Akuter, nicht hinnehmbarer Systemzustand, bei dem die Sicherheit gefährdet und die Gesundheit geschädigt bzw. beeinträchtigt werden kann (KAHL 2012).

<sup>8</sup> Gefährdung: Möglichkeit eines Schadens ohne bestimmte Anforderungen an deren Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit; Gefährdungspotential (hazard) in räumlich / zeitlicher Koinzidenz mit dem Menschen (KAHL 2012).

<sup>9</sup> Risiko: Darstellung des Erwartungswertes aus Schadensschwere und Eintrittswahrscheinlichkeit (KAHL 2012).

## 2 Analyse des Standes der Technik

### 2.1 Unfallstatistik

Ausgleiten beim Gehen ist ein Unfallschwerpunkt. Dies belegen die Unfallstatistiken u.a. der DGUV und der Europäischen Union (EU), die in Tabelle 1 hinsichtlich ihres Anteils am Gesamtunfallgeschehen exemplarisch zusammengefasst sind. Die Daten sind nicht vergleichbar, da zum einen die Erfassung und zum anderen die statistische Auswertung auf unterschiedlichen Kriterien und Kategorien beruhen. In der Regel werden Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle zusammengefasst, da die Ursache für einen Sturz nicht immer spezifizierbar ist. Die Zahlen werden auf unterschiedliche Systeme bezogen:

- Bezugsbereich: gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Hand, aufgrund der unterschiedlichen Unfallversicherungsträger,
- Arbeits- und/oder Wegeunfälle,
- Unfälle bezogen auf den Fußboden oder nicht spezifiziert,
- Spezifikation der Ursache, zum Teil werden Verunreinigungen von Fußböden und Witterungsbedingungen extra ausgewiesen.

Anteile von SRS-Unfällen / Rutschunfällen am Gesamtunfallgeschehen						
Quelle	Jahr/Stand	Geltungsbereich	Unfallart	Meldepflichtige Unfälle	Neue Unfallrenten	Tödliche Unfälle
Fachbereich Handel und Logistik der DGUV, Sachgebiet Bauische Einrichtungen, Arbeitsgebiet Fußböden, Rampen und Treppen 2012	2010 (Stand 06/2012)	Gewerbliche Wirtschaft (ohne öffentliche Bereiche) in Deutschland	Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle auf dem Fußboden	14,9%	16,4%	2,6%
			Arbeitsunfälle mit Wegeunfällen			
			Rutschunfälle	14,2%	-	-
DGUV-Bericht, Statistik - Arbeitsunfallgeschehen 2010	2010 (Stand 07/2012)	Zuständigkeitsbereich der Unfallversicherungsträger in Deutschland	Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle	20,8%	23,0%	2,9%
			Arbeitsunfälle bei betrieblichen Tätigkeiten			
			Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle auf dem Fußboden	13,2%	14,5%	2,3%
EU-Report 2009 - Ursachen und Begleitumstände von Arbeitsunfällen in der EU	2005 (Stand 2009)	EU	Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle	14,4%	22,1%	3,8%
			Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle auf dem Fußboden	8,3%	-	-
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2000	2000	Unfälle bei der Arbeit	Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle	20%	-	-
			Rutschunfälle	8%	-	-
Health & Safety Laboratory 2012	2010 (Stand 05/2012)	England	Rutschunfälle	30%	-	-
Unternehmen Procter & Gamble globale Unfalldatenbank, Gesamtzahl Beschäftigte: 138.000	2008 - 2011 (Stand 09/2012)	Global	Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle	8% - 11%	-	-
Unternehmen Bayer, (Quelle: BAYER-direkt 4/2012)	1.HJ / 2012 (Stand 4Q./2012)	Global	Unfälle bei der Fortbewegung, Ausrutschen, Stolpern, Hinfallen	37%	-	-
Unternehmen BASF (Quelle: Sichere Chemiearbeit, 4/2009)	2008	Standort Ludwigshafen	Unfälle beim Gehen, Stehen, Steigen	36%	-	-

Tabelle 1: Unfallstatistik SRS-Unfälle

Die Angaben über den Anteil der Rutschunfälle an den SRS-Unfällen schwanken zwischen 40% und 95% (vgl. Tabelle 1, Fachbereich Handel und Logistik 2012, EU-Report 2009, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2000).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass SRS-Unfälle einen Anteil am Gesamtunfallgeschehen zwischen 14% und 21% aufweisen. Sind etwa die Hälfte der SRS-Unfälle auf Ausrutschen rückführbar, beträgt der Anteil der Rutschunfälle am Gesamtunfallgeschehen etwa 10% und liegt somit – in Deutschland – bei über 100.000 Unfällen jährlich. Das englische Health & Safety Laboratory weist für England einen Wert von 30% aus. Die Unfallstatistik des globalen Konsumgüterproduzenten Procter & Gamble mit weltweit ca. 138.000 Beschäftigten weist einen Anteil von 8 - 11% SRS-Unfällen am Gesamtunfallgeschehen innerhalb des Konzerns auf. Bei den Chemieunternehmen Bayer und BASF liegt dieser Anteil bei knapp 40% (FBHL 2012, BASF 2012, BAYER 2012, HSL 2012, P&G 2012, EU-BERICHT 2009, BAUA 2000).

In den Statistiken sind Beinaherutschnfälle und Rutschunfälle ohne oder mit marginalen Verletzungen nicht berücksichtigt.

## 2.2 Rechtliche Grundlagen

Das Forschungsvorhaben legt den Fokus auf das rutschhemmende Verhalten der Produkte Schuhe und Fußböden (Produktsicherheit) sowie der Gefährdungsbeurteilung für das Aufeinandertreffen dieser Produkte in Kombination mit dem Menschen und den im Arbeitsbereich herrschenden Bedingungen (Arbeitssicherheit). Aus diesem Grund werden die rechtlichen Grundlagen und Zusammenhänge des derzeit geltenden Regelwerkes für die beiden Regelungsbereiche „Produktsicherheit“ und „Arbeitssicherheit“ erläutert (vgl. Abbildung 4).

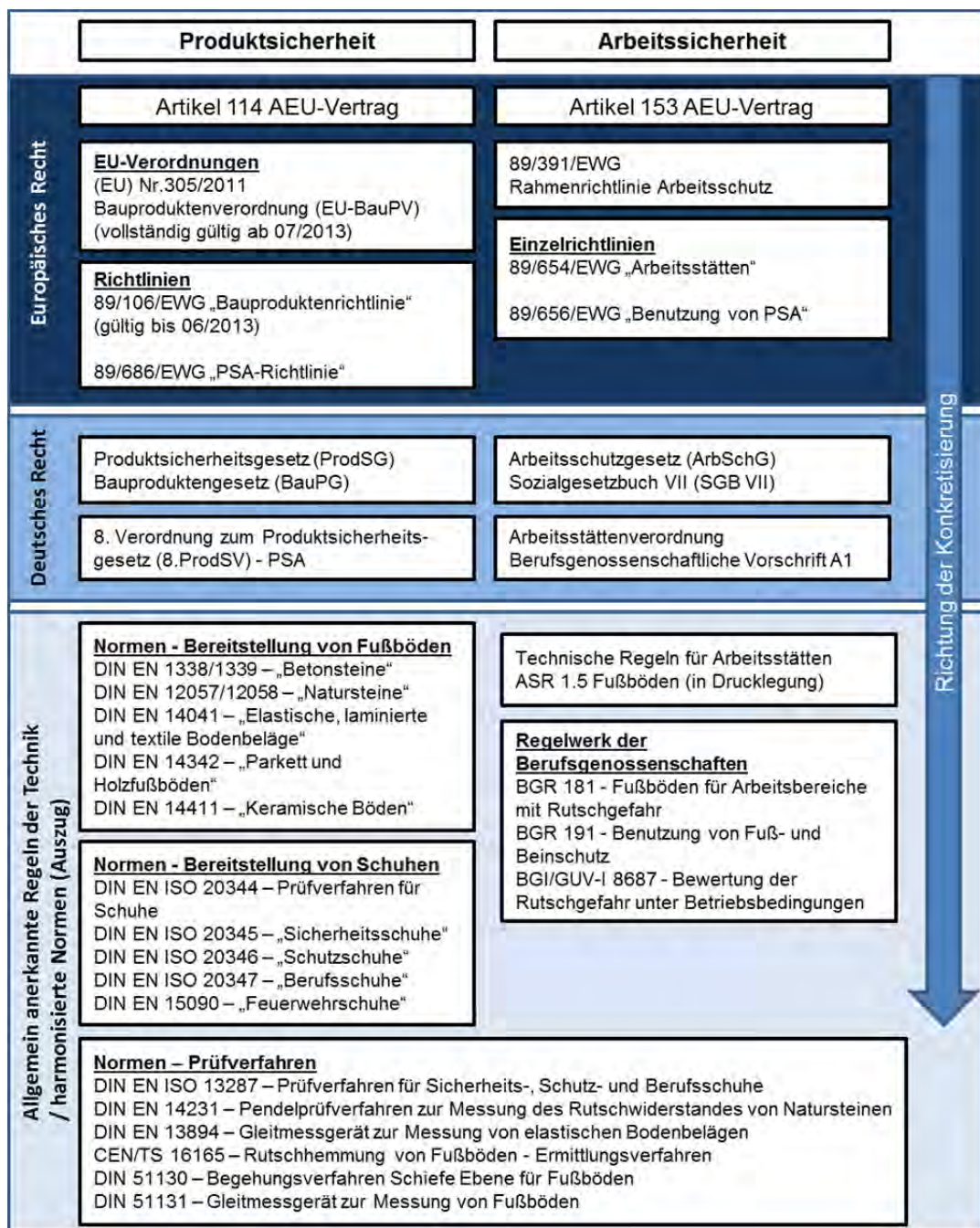


Abbildung 4: Übersicht Rechtsgrundlagen



## 2.2.1 Produktsicherheit

Die Produktsicherheit beschäftigt sich mit der Bereitstellung von Produkten auf dem Markt, vormals „Inverkehrbringen“, die innerhalb der EU nur verkauft werden dürfen, wenn grundlegende Anforderungen an die Sicherheit erfüllt sind. Grundlage ist der Artikel 114 AEU-Vertrag, der einen freien Warenverkehr im Binnenmarkt der EU und einen Abbau von Handelshemmnissen festlegt. Alle bereitgestellten Produkte, die in den Anwendungsbereich fallen, müssen den jeweiligen grundlegenden Sicherheitsanforderungen entsprechen. Für unterschiedliche Produktgruppen werden entweder EU-Verordnungen oder Richtlinien erlassen. EU-Verordnungen besitzen direkt innerhalb der EU Gültigkeit. Richtlinien werden an die Mitgliedsstaaten adressiert und müssen in nationales Recht umgesetzt werden. Die Schutzziele der Verordnungen oder Richtlinien resp. der rechtsverbindlichen Gesetze werden in der Regel durch harmonisierte Produktnormen mit empfehlendem Charakter konkretisiert, die aufgrund von Mandaten der EU von dem Europäischen Normungsinstitut (CEN) unter Mitwirkung der Mitgliedsstaaten erarbeitet werden. Harmonisierte Normen werden im Amtsblatt der EU veröffentlicht, eine Anwendung der relevanten Normen für die Produkte löst die Konformitätsvermutung aus, dass ein Produkt den grundlegenden Sicherheitsanforderungen entspricht. (KAHL 2012; LEHDER 2011; AEUV 2009).

### 2.2.1.1 Fußböden

Fußböden sind Bauprodukte gemäß dem Bauproduktgesetz und müssen im Sinne des Gesetzes „brauchbar“ sein. „Ein Bauprodukt ist brauchbar, wenn es [...] die wesentlichen Anforderungen der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit, des Brandschutzes, der Hygiene, Gesundheit und des Umweltschutzes, der Nutzungssicherheit, des Schallschutzes sowie der Energieeinsparung und des Wärmeschutzes erfüllt.“ [BAUPG 1992, §5(1)]. Ab Juli 2013 wird die EU-Verordnung 305/2011 in vollem Umfang in Kraft gesetzt, die die Bauproduktenrichtlinie resp. das BauPG ablöst. Die EU-Bauproduktenverordnung verweist im Anhang 1 „Grundanforderungen an Bauwerke“ in Satz 4 explizit darauf, dass sich „bei seiner Nutzung oder seinem Betrieb keine unannehmbaren Unfallgefahren oder Gefahren einer Beschädigung ergeben, wie Gefahren durch Rutsch-, Sturz- und Aufprallunfälle, Verbrennungen, Stromschläge, Explosionsverletzungen und Einbrüche.“ [EU-BAUPRODV 2011, Anhang 1, Satz 4]

Beide Regelungen sehen die Festlegung konkreter Sicherheitsanforderungen an die Produkte durch harmonisierte Normen vor. Tabelle 2 beinhaltet eine Auswahl von

harmonisierten Normen, zugehörigen Prüfverfahren und -normen sowie die Mindestanforderungen an die rutschhemmenden Eigenschaften in Abhängigkeit der Produktgruppe.

Produktgruppe	Harmonisierte Norm	Prüfnorm	Prüfverfahren	Prüfgröße	Mindestanforderung
<b>Keramik, Fliesen und Platten</b>	DIN EN 14411	CEN/TS 16165	diverse	diverse	-
<b>Betonsteine, Betonplatten, Pflastersteine aus Beton</b> <sup>1)</sup>	DIN EN 1338 / DIN EN 1339	DIN EN 1338 / DIN EN 1339	Pendelprüfgerät Gleiter Slider 55 Trinkwasser	SRV	-
	E DIN EN 1338 / E DIN EN 1339	E DIN EN 1338 E DIN EN 1339	Pendelprüfgerät Gleiter Slider 55 Trinkwasser	USRV (unpoliert) PSRV (poliert)	Klassen P - keine Anforderung Q $\geq$ 35 R $\geq$ 45 S $\geq$ 55
<b>Natursteine, Fliesen und Platten</b> <sup>1)</sup>	DIN EN 12057 DIN EN 12058	DIN EN 14231	Pendelprüfgerät Gleiter Slider 55 a) trocken b) entionisiertes Wasser	SRV	-
<b>Terrazzoplatten</b>	DIN EN 13748-1 DIN EN 13748-2	DIN EN 13748-1 DIN EN 13748-2	Pendelprüfgerät Gleiter Slider 55 Trinkwasser	SRV	-
<b>künstlicher Stein, Fliesen und Platten</b>	DIN EN 15285	DIN EN 14231	Pendelprüfgerät Gleiter Slider 55 a) trocken b) entionisiertes Wasser	SRV	-
<b>Elastische, laminierte, textile Bodenbeläge</b> (für trockene, nicht verunreinigte Bereiche)	DIN EN 14041	DIN EN 13894	Gleitmessgerät Gleiter Leder/SBR trocken	Gleitreibungskoeffizient $\mu$	$\mu \geq 0,30$
<b>Elastische Bodenbeläge - PVC mit partikelbasiertem erhöhten Gleitwiderstand</b>	DIN EN 13845	DIN EN 13845	Schiefe Ebene Schuh mit Slider 96 NaLS-Wasser 0,1%		Klasse ESf (mit Schuhen) $\geq 20^\circ$ Klasse ESb (barfuß) $\geq 15^\circ$
<b>Sportböden</b>	DIN EN 14904	DIN EN 13036-4	Pendelprüfgerät Gleiter Slider 55 trocken	SRV	80 - 110
<b>Holz, Parkett</b>	DIN EN 14342	CEN/TS 15676	Pendelprüfgerät Gleiter Slider 55 a) trocken b) Trinkwasser	SRV	-
<b>Glas</b>				keine Spezifikation vorhanden	
<b>Stahl/ Aluminium/ Roste</b>				keine Spezifikation vorhanden	
<sup>1)</sup> Ausreichende Rutschhemmung, wenn die Oberfläche unbehandelt bleibt					
<sup>2)</sup> Ausreichende Rutschhemmung, wenn die Oberflächenrauheit $> 1\text{mm}$ (nach EN 13373)					

**Tabelle 2: Anforderungen an Fußböden bei der Bereitstellung auf dem Markt**

Lediglich für drei Produktgruppen gibt es festgelegte Anforderungen für die Bereitstellung auf dem Markt. Die anderen Normen verweisen entweder – im Falle von Beton- und Natursteinen – auf eine ausreichende Sicherheit bei unbehandelter Oberflächenstruktur oder auf nationale Regelungen. Für die meisten Bodenbelagsarten wird auf ein Prüfverfahren verwiesen oder innerhalb der Norm spezifiziert, allerdings werden keine Anforderungen an das Ergebnis gestellt und damit die Sicherheitsanforderungen nicht konkretisiert.

Für die einzelnen Produktgruppen sind verschiedene Technical Committees (TC) zuständig, die jeweils ein eigenes Prüfverfahren beschreiben oder auf Prüfnormen verweisen. Die Folge sind unterschiedliche Prüfverfahren, Referenzgleiter und Prüfzwischenmedien und ggf. Anforderungen, die weder ein einheitliches Sicherheitsniveau beschreiben noch untereinander vergleichbar sind. Das Normungsgremium CEN TC 339 „Gleitwiderstand von Fußgängerflächen –

Bewertungsmethoden“ hat das Mandat, die Prüf- und Bewertungsmethoden zu vereinheitlichen und eine Norm zu erarbeiten, auf die in puncto Rutschhemmung verwiesen werden kann. Die Erarbeitung einer Vornorm (prEN 15673-1 „Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden - Ermittlungsverfahren - Teil 1: Referenzmethode“) mit der Beschreibung einer Referenzmethode ist aufgrund hoher Messunsicherheiten gescheitert. Im Juli 2012 wurde stattdessen die Technische Spezifikation CEN/TS 16165 (gleich DIN Spec 51132) verabschiedet, die vier verschiedene – in Europa bereits vorhandene – Prüfverfahren beschreibt. Die aktuelle Zielstellung besteht darin, auf Grundlage dieses Dokumentes weitere Untersuchungen, Forschungen und Ringversuche zur Reduzierung der Messunsicherheit durchzuführen, Erfahrungen mit den Prüfverfahren zu sammeln und ein einheitliches Prüf- und Bewertungssystem zu entwickeln.

Nationale Anforderungen an Fußböden werden im Regelungsbereich „Arbeitssicherheit“ in Kapitel 2.2.2 erläutert.

### **2.2.1.2 Schuhe**

Handelsübliche Schuhe können in die Kategorien „Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhe“ und „Straßen- und Freizeitschuhe“ eingeteilt werden.

Sicherheitsschuhe sind gemäß der 8. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz persönliche Schutzausrüstungen der Kategorie II und unterliegen der EG-Baumusterprüfung, bevor diese auf dem Markt bereitgestellt werden. Die 8. ProdSV verweist auf die PSA-Richtlinie 89/686/EWG und stellt als Anforderung: „Die Laufsohlen des Schuhwerks, die ein Ausgleiten verhüten sollen, müssen so konzipiert, hergestellt oder mit geeigneten aufgesetzten Vorrichtungen versehen sein, daß je nach Bodenbeschaffenheit und -zustand durch Eingriff oder Reibung fester Halt gewährleistet ist.“ [89/686/EWG]. Die Anforderungen werden durch die Normenreihe

- DIN EN ISO 20344 – Persönliche Schutzausrüstungen - Prüfverfahren für Schuhe,
- DIN EN ISO 20345 – Persönliche Schutzausrüstungen - Sicherheitsschuhe,
- DIN EN ISO 20346 – Persönliche Schutzausrüstungen - Schutzschuhe,
- DIN EN ISO 20347 – Persönliche Schutzausrüstungen - Berufsschuhe,

als Grundanforderungen konkretisiert. Weitere Normen für Spezialschuhe (z.B. Heißarbeit, Feuerwehr, Arbeiten mit Kettensägen) verweisen in puncto Rutschhemmung auf oben genannte Normen. Als Prüfverfahren steht ein maschinelles Reibungsprüfverfahren

(spezifiziert in DIN EN ISO 13287) zur Verfügung (vgl. Kapitel 2.4.2). Die für die EG-Baumusterprüfung erforderlichen Tests erfolgen in zwei Schuhwinkelstellungen

- 0° - ebenes Vorwärtsgleiten,
- +7° - Vorwärtsgleiten auf der Ferse,

und in zwei Prüfkombinationen

- Keramikfliese und Wasser (NaLS<sup>10</sup>-Wasser 0,5%) – Kennzeichnung SRA  
(mit der Überarbeitung der Prüfnorm DIN EN ISO 13287 wurde eine neue Referenzfliese „Eurotile 2“ inklusive eines Korrekturwertes im Vergleich zur „Eurotile 1“ eingeführt),
- Stahlboden und Glycerin – Kennzeichnung SRB.

Ein Schuh muss für mindestens eine der Prüfkombinationen die erforderlichen Anforderungen erreichen (vgl. Tabelle 3). Erfüllt ein Schuh die erforderlichen Werte für beide Prüfkombinationen, wird dieser mit SRC gekennzeichnet. Die Klassifizierung nach SRA, SRB, SRC gibt nur Auskunft darüber, dass die jeweiligen Mindestanforderungen erreicht wurden; Informationen über eine qualitative Abstufung oder das tatsächliche rutschhemmende Potential lassen daraus nicht ableiten.

Kennzeichnung	Prüfkombination	Anforderungen $\mu \geq$				
		Keramikfliese NaLS-Wasser		Stahlboden Glycerin		
		0°	+7°	0°	+7°	
SRA	nur Prüfkombination Keramikfliese / NaLS-Wasser auf einer der zwei möglichen Referenzfliesen	Eurotile 1	0,32	0,28		
		Eurotile 2	0,39	0,31		
SRB	nur Prüfkombination Stahlboden / Glycerin			0,18	0,13	
SRC	beide Prüfkombinationen Keramikfliese / NaLS-Wasser Stahlboden / Glycerin	Eurotile 1	0,32	0,28	0,18	0,13
		Eurotile 2	0,39	0,31		

**Tabelle 3: Anforderungen an Sicherheitsschuhe gemäß DIN EN ISO 20344**

Für Straßen- und Freizeitschuhe bestehen keine verbindlichen rechtlichen Anforderungen für die Bereitstellung auf dem Markt, sondern lediglich die Empfehlung, das Prüfverfahren nach DIN EN ISO 13287 anzuwenden<sup>11</sup>. Als Bewertungskriterien werden für die Prüfkombination Keramikfliese / Wasser Werte von  $\mu \geq 0,30$  für das ebene Vorwärtsgleiten und  $\mu \geq 0,28$  für das Vorwärtsgleiten auf der Ferse empfohlen. Mit einer Differenz von

<sup>10</sup> Lösung von Natriumlaurylsulfat in entmineralisiertem Wasser; NaLS-Wasser 0,5% nach DIN EN ISO 13287 und NaLS-Wasser 0,1% nach DIN 51131 und CEN/TS 16165

<sup>11</sup> Empfehlungen der Normausschüsse CEN/TC 309 „Schuhe“ und ISO/TC 216 „Schuhe“

$\Delta\mu = 0,02$  für das ebene Vorwärtsgleiten entspricht dies den Anforderungen an Sicherheitsschuhe (vgl. Tabelle 3, Kennzeichnung SRA, Eurotile 1) (CEN ISO/TR 20880, DIN-FACHBERICHT 156).

## **2.2.2 Arbeitssicherheit**

Der Regelungsbereich Arbeitssicherheit beschäftigt sich mit den Gefährdungen für Sicherheit und Gesundheit bei Tätigkeiten am Arbeitsplatz, die durch das Zusammentreffen von Produkten (z.B. Arbeitsmitteln), den vorherrschenden Bedingungen und der Arbeitsaufgabe im Arbeitssystem mit dem Menschen auftreten können. Die EU-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz (89/391/EWG) und die zugehörigen Einzelrichtlinien sind u.a. im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und den zugehörigen Verordnungen als geltendes und anzuwendendes Recht national umgesetzt. Das Arbeitsschutzgesetz verpflichtet Arbeitgeber die „durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln“ [ARBSCHG 2009, §5] sowie „die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes [...] zu treffen, die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit beeinflussen“ [ARBSCHG 2009, §3]. Die Arbeitsstättenverordnung regelt, dass die Fußböden der Räume „gegen Verrutschen gesichert, tragfähig, trittsicher und rutschhemmend sein“ müssen [ARBSTÄTTV 2010].

Das Sozialgesetzbuch VII autorisiert die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung autonome rechtsverbindliche Vorschriften und empfehlendes Regelwerk zu erarbeiten.

Eine Differenzierung der Anforderungen des Arbeitsschutzes kann in „Einrichten“ und „Betreiben“ vorgenommen werden.

### **2.2.2.1 Einrichten mit Fußböden**

Da die rechtsverbindlichen Vorschriften keine konkreten Anforderungen stellen, muss zum Einrichten von Gebäuden mit Fußböden das untergesetzliche Regelwerk herangezogen werden. Die berufsgenossenschaftliche Regel BGR 181 „Fußböden für Arbeitsbereiche mit Rutschgefahr“ bildet derzeit die allgemein anerkannte Grundlage für das Einrichten von Arbeitsbereichen mit Fußböden. Am 13.03.2013 wurde mit Stand Februar 2013 die vom Ausschuss für Arbeitsstätten zur Konkretisierung der ArbStättV erarbeitete Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A1.5/1,2 „Fußböden“ (ASR 1.5) veröffentlicht. Die ASR 1.5 übernimmt die wesentlichen Regelungen und Festlegungen von Anforderungen aus der BGR 181. Im Rahmen des Kooperationsmodells der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie (GDA) zwischen Bund und UVT soll die

ASR 1.5 zukünftig insbesondere in Bezug auf die Anforderungen im Anhang 2 gemeinsam bearbeitet werden. (FBHL 2012)

Beide Regeln der Technik kategorisieren Fußböden durch das Prüfverfahren nach DIN 51130. Bodenbeläge werden von einer Prüfperson auf einer neigbaren Ebene mit einem Referenzschuh<sup>12</sup> und dem Prüfmedium Motoröl begangen (vgl. Kapitel 2.4.1), bis die Grenze des sicheren Gehens erreicht ist. Das Prüfergebn ist der Akzeptanzwinkel, der zur Einordnung in eine Rutschhemmungs-Klasse (R-Klasse oder auch R-Gruppe) dient (Tabelle 4). Zusätzlich wird der Verdrängungsraum, der „zur Gehebene hin offene Hohlraum“ [BGR 181] in cm<sup>3</sup>/dm<sup>2</sup> ermittelt und in eine der V-Klassen (V 4, V 6, V 8 oder V 10 cm<sup>3</sup>/dm<sup>2</sup>) eingeordnet.

Bewertungsgruppe der Rutschhemmung	Akzeptanzwinkel	Beispiele von Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen
R -	weniger als 6°	Bereiche, in denen keine gleitfördernden Stoffe auf den Fußboden gelangen und daher keine Gefahr des Ausrutschens besteht
R 9	von 6° bis 10°	Eingangsbereiche (innen), Kundenräume (Verkauf), Treppen, Speiseräume
R 10	mehr als 10° bis 19°	Sanitärräume, nassbelastete Lagerräume, Kaffeeküchen, Garagen
R 11	mehr als 19° bis 27°	Mechanische Bearbeitungsbereiche, Kfz-Werkstätten, Gastronomieküchen, Verkehrswege in Außenbereichen (R11 oder R10 +V4)
R 12	mehr als 27° bis 35°	Herstellung von Fetten / Ölen, Spülräume (R12+V4), Gastronomieküchen über 100 Gedecke je Tag (R12+V4)
R 13	mehr als 35°	Wurstküchen (R13+V8), Gemüseverarbeitung (R13+V6), Feinkostherstellung (R13+V6)

**Tabelle 4: Bewertungsgruppen von Fußböden nach BGR 181 und ASR 1.5**

Für unterschiedliche Bereiche in Gebäuden und an Arbeitsplätzen werden Mindestanforderungen an die R- und V-Klasse festgelegt. Beispielsweise sollte ein

<sup>12</sup> Nach der Prüfnorm DIN 51130 (06/2004) wurde der Prüfschuh „Picasso“ eingesetzt, in der neueren Version DIN 51130 (10/2010) sowie in der DIN CEN/TS 16165 ist der Prüfschuh „Uvex Athletic“ spezifiziert. Die gültige BGR 181 (2003) definiert ebenfalls den Prüfschuh „Picasso“, in der ASR 1.5 ist der Prüfschuh nicht spezifiziert, allerdings wird in den Literatur-Angaben die DIN 51130 und die BGR 181 aufgelistet. Beide Prüfschuhe werden nicht mehr produziert und sind nicht mehr erhältlich. Im Fachgebiet Sicherheitstechnik / Arbeitssicherheit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Rutschhemmungsmatrix“ ein neuer Prüfschuh mit der Bezeichnung „Leipzig V73 SP“ entwickelt, der die bisherigen Prüfschuhe ersetzt.

Eingangsbereich (eingetragene Nässe) mit einem Fußboden eingerichtet werden, der mindestens die Klasse R 9 erreicht hat (vgl. Tabelle 4).

### **2.2.2.2 Betreiben**

Nach dem Einrichten von Gebäuden und Arbeitsbereichen mit Fußböden muss die Gebrauchstauglichkeit im Betrieb überprüft und gewährleistet sein. Das Prüfverfahren der Schiefen Ebene, das die Grundlage für das Einrichten darstellt, ist ausschließlich im Labor durchführbar. Eingebaute Fußböden könnten nur durch Ausbau überprüft werden. Die rutschhemmenden Eigenschaften von Fußböden können sich durch Verschleiß (durch Fußgänger und Fahrzeuge), Reinigung und Pflege verändern, zudem sind bei der Gefährdungsbeurteilung die auftretenden gleitfördernden Stoffe und die Vielzahl an möglichen Schuhen zu berücksichtigen.

Bis zum Jahr 2011 gab es kein Regelwerk, das eine mögliche Handlungsanleitung zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung beschrieb. Das Arbeitsgebiet „Fußböden, Rampen und Treppen“ des Sachgebietes „Bauliche Einrichtungen und Handel“ im „Fachbereich Handel und Logistik“ (FbHL) der DGUV hat in den letzten Jahren die Entwicklung eines mobilen Prüfverfahrens vorangetrieben. Im Jahr 2008 wurden die Parameter für ein automatisiertes Zugtribometer (bspw. das Gleitmessgerät 200, vgl. Kapitel 2.4.3) in der DIN 51131 genormt. Im nächsten Schritt wurde die Informationsschrift BGI/GUV-I 8687 „Bewertung der Rutschgefahr unter Betriebsbedingungen“ erarbeitet und Anfang 2011 veröffentlicht. Die Analyse und Bewertung bietet durch eine ganzheitliche Betrachtung des Reibungssystems folgende Anwendungsmöglichkeiten:

- Analyse und Bewertung von Fußböden mit oder ohne witterungs- oder prozessbedingt auftretenden gleitfördernden Stoffen mit einem standardisierten Gleiter, der einen Schuh mit durchschnittlich geringer Rutschhemmung simuliert.
- Analyse und Bewertung von Fußböden mit oder ohne witterungs- oder prozessbedingt auftretenden gleitfördernden Stoffen in Verbindung mit den im Betrieb verwendeten Sicherheitsschuhen.

## 2.3 Reibungssystem

### 2.3.1 Physikalische Größen

Die physikalischen Grundlagen der Reibung und Reibungsgrößen werden unter Berücksichtigung der Literatur von LEHDER 2011, FISCHER 2005, SEBALD 2007, LINDNER 2001, SKIBA ET.AL. 1993, PIGORS 1992, WIEDER 1988 zusammengefasst.

#### 2.3.1.1 *Reibung und Reibungsarten*

Zwei Körper, die sich relativ zueinander bewegen, sind „bewegungshemmenden Kräften unterworfen, den sogenannten Reibungskräften. Die Ursache dieser Reibungskräfte liegt in der Wechselwirkung zwischen der Oberfläche des betroffenen Körpers und Grenzflächen anderer Medien, seien sie fest, flüssig oder gasförmig“ [Lindner 2001]. Prinzipiell können Reibungsvorgänge nach der Kinematik in Haft-, Gleit-, Roll-, Seil-, Bohr- und Wälzreibung sowie nach ihren Reibungszuständen in Festkörper-, Flüssigkeits-, Gas- und Mischreibung differenziert werden. Ursächlich für das Auftreten von Reibungskräften sind mechanische und molekulare Kräfte zwischen den Reibpartnern, die wie folgt beschrieben werden können:

##### Adhäsionsreibung

Molekulare Anziehungskräfte zwischen den Grenzschichten der Reibpartner, die bei einer Relativbewegung durch Abscheren überwunden werden. Vorwiegend haben die chemische Zusammensetzung der Materialien und die Kontaktfläche Einfluss auf die Adhäsionskräfte.

##### Deformationsreibung

Die Krafteinwirkung auf die Reibpartner (Normalkraft) verursacht insbesondere bei viskoelastischen Materialien sowohl eine plastische Verformung als auch eine Hysterese, die zu einem Formschluss (z.B. zwischen Profil oder Mikrorauheit) führen.

##### Kohäsionsreibung

Bei der Relativbewegung der Reibpartner können durch das Ineinandergreifen der Mikro- oder Makrorauheiten Materialanteile abgeschert werden (Verschleiß, Veränderung der Oberfläche). Dazu müssen die molekularen Anziehungskräfte (Kohäsion) überwunden werden.



### Flüssigkeitsreibung

Sind die Reibpartner durch einen Flüssigkeitsfilm vollständig getrennt, wirkt die innere Reibung der Flüssigkeit der Relativbewegung entgegen. Sie ist im Speziellen von der Viskosität der Flüssigkeit und der Schichtdicke abhängig.

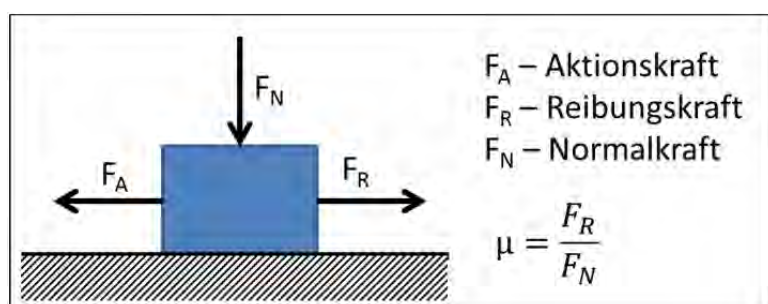
### Mischreibung

Bei der Reibung im Reibungssystem aus Fußboden, Zwischenmedium und Schuh handelt es sich im Regelfall um Mischreibung, bei der je nach Materialkombination und Zwischenmedien die einzelnen Reibungsarten unterschiedlich starke Anteile an der Gesamtreibung haben.

Die Laufsohlen von Schuhen sind typischerweise aus viskoelastischen Materialien<sup>13</sup> gefertigt. Für Reibungssysteme mit Beteiligung viskoelastischer Materialien gelten die klassischen Gesetze der Coulomb'schen Reibung nur eingeschränkt. Neben der Abhängigkeit von den verwendeten Materialien spielen bei der viskoelastischen Reibung die Kontaktfläche, der Flächendruck sowie die Gleitgeschwindigkeit eine Rolle. Des Weiteren kann die Gleitreibung einer Kombination höher, niedriger oder gleich der Haftreibung sein.

#### **2.3.1.2 Reibungsgrößen**

Wird eine Aktionskraft  $F_A$  (bspw. Zugkraft, Hangabtriebskraft) auf eine Reibpaarung aufgebracht, wirkt in der Reibebene eine entgegengesetzt gerichtete Reibungskraft  $F_R$  (vgl. Abbildung 5). Die Reibungskraft ist proportional zu der auf den Körper aufbrachten Normalkraft  $F_N$  (Gewichtskraft, Anpresskraft).



(F. 1)

**Abbildung 5: Reibungskräfte**

Der Quotient aus Reibungskraft und Normalkraft ist aufgrund der Proportionalität konstant, er wird als Reibungskoeffizient  $\mu$  definiert (Proportionalitätsfaktor) und kennzeichnet die

<sup>13</sup> Fußböden können auch aus viskoelastischen Materialien hergestellt sein (z.B. PVC-Böden).

Reibungseigenschaften eines Reibungssystems. Der Reibungskoeffizient  $\mu$  hängt insbesondere von den Material- und Oberflächeneigenschaften der Reibpartner und ggf. dem Zwischenmedium ab. Unterschieden werden die Reibungskoeffizienten:

- $\mu_H$  – Haftreibungskoeffizient: Bereich der statischen Reibung zwischen 0 und  $\mu_A$ , wenn sich die Körper relativ zueinander in Ruhe befinden,
- $\mu_A$  – Anfangsgleitreibungskoeffizient: Reibung im Übergang zwischen statischer und dynamischer Reibung<sup>14</sup>,
- $\mu_G$  – Gleitreibungskoeffizient: Reibung während der dynamischen Relativbewegung der Reibpartner.

### 2.3.2 Komponenten des Reibungssystems

Das Reibungssystem besteht aus den vier Hauptkomponenten „Fußboden“, „Zwischenmedium“, „Schuh“ und „Umgebungsbedingungen“. Diese Komponenten weisen eine große Vielfalt an unterschiedlichen Ausprägungen, insbesondere hinsichtlich Material und Oberflächenstrukturen auf. Basierend auf unterschiedlichen Literaturquellen fasst Abbildung 6 diese Ausprägungen zusammen. In praktischen Situationen trifft beim menschlichen Gang eine Variation der Komponenten in einem Reibungssystem zusammen. Aufgrund der Vielzahl an Parametern, der möglichen Ausprägungen und der gegenseitigen Beeinflussung ist dieses System sehr komplex.

Die Analyse und Bewertung von Produkten erfolgt auch über Reibungssysteme unter Variation der zu bewertenden Komponente. Die weiteren Komponenten sind durch die Festlegung von Prüfverfahren, Referenzmaterialien und deren Vorbereitung, Zwischenmedien, Prüfparametern und Umgebungsbedingungen bestimmt.

Zur Analyse und Bewertung der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen wird das rutschhemmende Potential in Form des Reibungskoeffizienten des Gesamtsystems herangezogen.

---

<sup>14</sup> Maximum der Reibungskraft zu Beginn der Gleitbewegung. Diese Größe wird ermittelt, da bei viskoelastischer Reibung die maximale Haftreibung nicht oder nur eingeschränkt messtechnisch ermittelt werden kann (LEHDER 2011, SEBALD 2007).

	<b>Fußboden</b>	<b>Zwischenmedium</b>	<b>Schuh Gleiter</b>	<b>Umgebungsparameter</b>
<b>Art</b>	- glatte, - strukturierte, - profilierte Bodenbeläge und Roste	- feste, - flüssige, - fettige, viskose, Zwischenmedien	- Barfuß, - Straßen-, - Freizeitschuhe, - Sicherheits-, Schutz-, und Berufsschuhe	- klimatische, - personenbezogene, - organisatorische Parameter
<b>Beispiele Materialien</b>	- Keramik - Feinsteinzeug - Holz - Kunststoff - Laminat - Textil / Teppich - Naturstein - Betonstein - Terrazzo - Asphalt - Glas - Gummi - Linoleum - Kunstharz - ...	<b>Fest:</b> - Staub, Sand - Späne - Körner, Krümel - Nahrungsmittel - Abfall - Laub - Eis und Schnee - ... <b>Flüssig:</b> - Nässe, Feuchtigkeit - Regenwasser - Putzwasser - Getränke - ... <b>Fettig, viskos:</b> - Öl - Glycerin - Kühlschmierstoffe - Maschinenfett - Schlamm, Matsch - Speiseöl, Butter	- Damenschuhe mit und ohne Absatz - Herrenschuhe - Kinderschuhe - Sportschuhe - Wanderschuhe - 'Gummistiefel' - ... <b>Laufsohlen aus:</b> - Gummi - PU - TPU - TR - PVC - ...	<b>Klimatisch:</b> - Wetter - Temperatur - Luftfeuchtigkeit - Wärmestrahlung  <b>Personenbezogen:</b> - Schuhgröße / -weite - Gewicht - Ganggeschwindigkeit - Aufmerksamkeit - Hast, Eile - Ermüdung - Lastenhandhabung - Koordination  <b>Organisatorisch:</b> - Reinigung - Unterweisung - Beleuchtung
<b>Parameter</b>	- chemische Zusammensetzung - Profilierung - Rauheit - Abrieb - Elastizität - Härte - Glanz - Verdrängungsraum - Benetzungsverhalten - Oberflächenspannung - Kontaktfläche - ...	- chemische Zusammensetzung - Viskosität - Dichte - Masse - Größe - Konsistenz - Oberflächenstruktur - Oberflächenspannung - Benetzungsverhalten - ...	- chemische Zusammensetzung, - Elastizität - Härte - Rauheit - Kontaktfläche - Oberflächenstruktur - Profilform - Profiltiefe - Kantenbeschaffenheit - ...	- messbare Faktoren - nicht messbare 'weiche' Faktoren
<b>Zustand</b>	- neu, - gebraucht, - gereinigt, - gepflegt, - verschlissen, - nachbehandelt, - ...	- Menge, - Mischung, - ...	- neu, - getragen, - abgenutzt, - ...	nicht relevant

Abbildung 6: Komponenten des Reibungssystems (nach BGI/GUV-I 8687, SEBALD 2007, FISCHER 2005, PARIDON 2005, GÖTTE ET.AL. 2003)

## 2.4 Reibungsprüfverfahren

### 2.4.1 Prinzipien zur Reibungsmessung

Reibung kann nach verschiedenen Prinzipien gemessen werden:

- Reibungskraft,
- Reibungswinkel,
- Reibungsenergieverlust.

Abbildung 7 enthält schematische Zeichnungen und die zugehörige Berechnung des Reibungskoeffizienten.

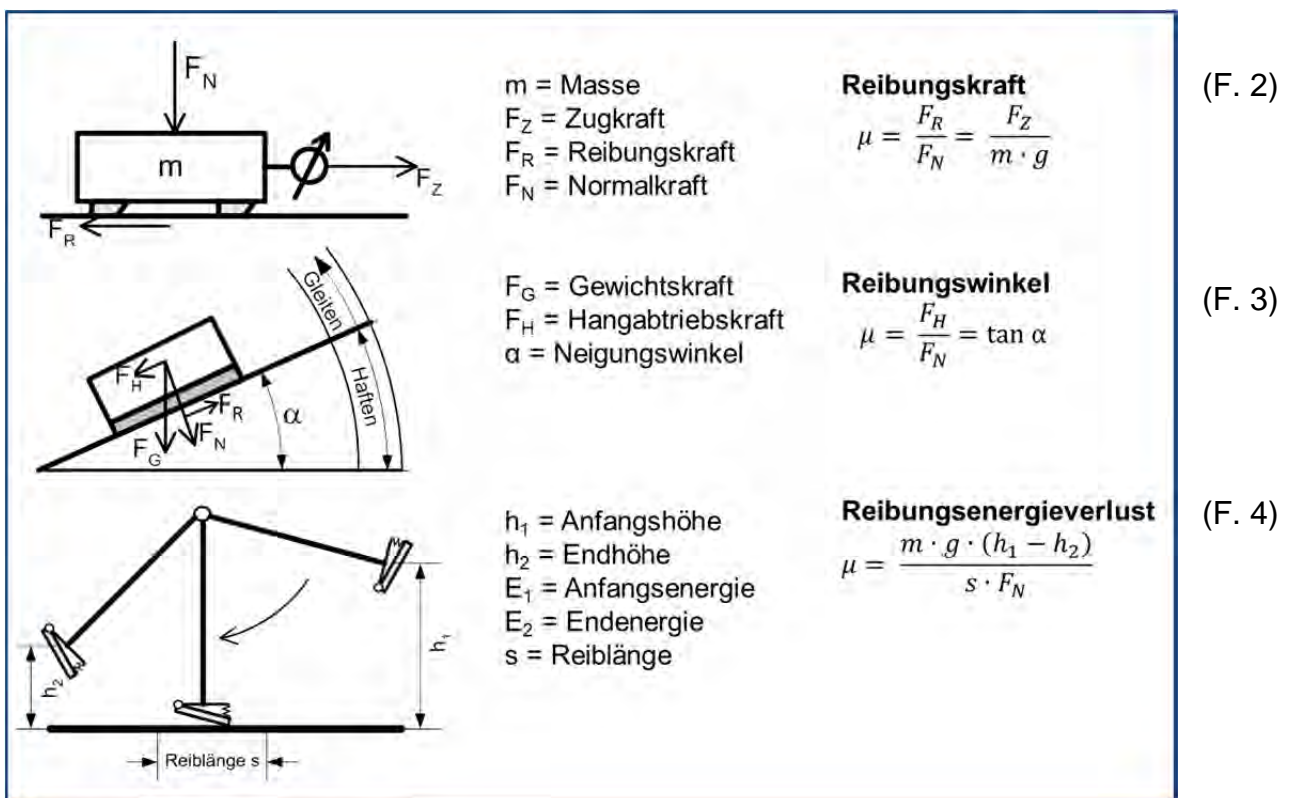


Abbildung 7: Prinzipien zur Reibungsmessung [nach LEHDER 2011]

Die Messung der Reibungskraft erfolgt durch eine relative Bewegung eines mit Gleitern bestückten Körpers (oder eines Schuhs) auf einem Bodenbelag. Die benötigte Zugkraft entspricht der wirkenden Reibungskraft. Bei Beginn der Bewegung kann die Anfangsgleitreibung und während der Bewegung die Gleitreibung ermittelt werden.

Bei der Messung des Reibungswinkels gleitet ein Körper auf einer neigbaren Ebene. Die Hangabtriebskraft entspricht der Reibungskraft und vergrößert sich mit steigendem

Winkel. Das Messergebnis kann als Neigungswinkel oder über die trigonometrische Beziehung als Reibungskoeffizient (Tangens des Neigungswinkels  $\alpha$ ) angegeben werden. Ist ein Körper auf der Ebene in Ruhe, kann mit steigendem Neigungswinkel bei Beginn der Bewegung die maximale Haftreibung ermittelt werden. Wird der Körper in einer gleitenden Bewegung aufgesetzt, wie es bei der Begehung mit einer Prüfperson der Fall ist, wird die Gleitreibung ermittelt.

Das Messprinzip des Reibungsenergieverlustes basiert auf dem Verlust kinetischer Energie, wenn ein Gleitkörper über eine definierte Strecke Reibarbeit verrichtet hat. Die Differenz zwischen der potentiellen Energie vor und nach der Reibstrecke gibt Aufschluss über die Reibung.

Im Folgenden werden die Reibungsprüfverfahren vorgestellt, die in dieser Arbeit Anwendung finden.

#### 2.4.2 Fußboden- und Schuhtester

Der Fußboden- und Schuhtester (FST<sup>15</sup>) ist eine maschinelle Prüfeinrichtung zur Messung der Reibungskraft zwischen Fußböden und Schuhen (vgl. Abbildung 8). Der FST erfüllt die Anforderungen an Prüfmaschinen zur Messung der Rutschhemmung von Schuhen nach DIN EN ISO 13287 und wurde in Zusammenarbeit des Fachgebietes Sicherheitstechnik / Arbeitssicherheit der Bergischen Universität Wuppertal (BUW) mit dem Wuppertaler Sondermaschinenbauer Neuhaus Hamburger Mechatronic GmbH entwickelt und gebaut.

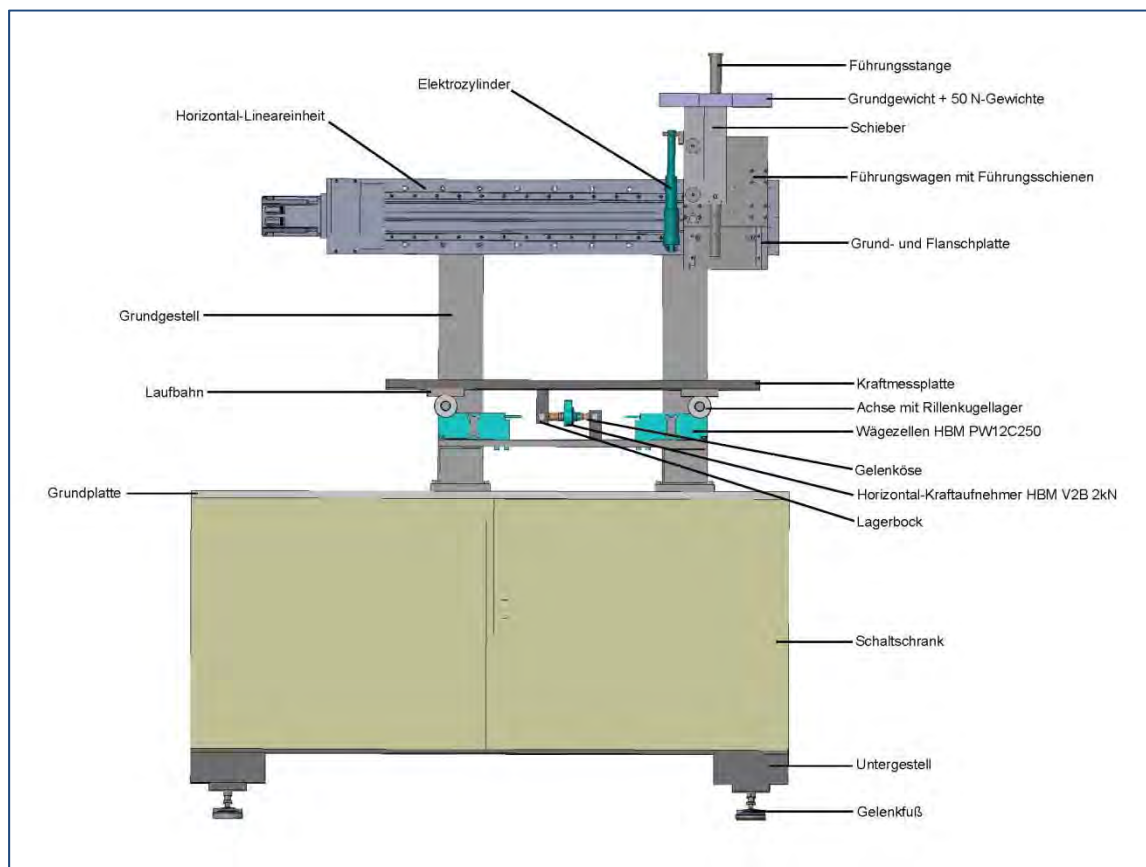


**Abbildung 8: Fußboden- und Schuhtester  
[FG ARBSI 2012]**

<sup>15</sup> Diese Bezeichnung und Abkürzung wurde gewählt, um einerseits eine Unterscheidung zur Vorgänger-Maschine, dem „Boden- und Schuhtester“ (BST), zu erreichen und andererseits die gleiche Abkürzung für die englische Bezeichnung „Floor- and Shoe-Tester“ verwenden zu können.

Der Fußboden wird auf einer Kraftmessplattform montiert. Der zu prüfende Schuh wird auf einem künstlichen Fuß oder einem Schuhteilen befestigt, mit Gewichten belastet und auf den Fußboden abgesenkt. Während der Bewegung mit gleichförmiger Geschwindigkeit des Schuhs über den Fußboden werden die auftretenden Horizontal- und Vertikalkräfte über Kraftmesszellen (Dehnungsmessstreifen) gemessen und digital ausgewertet.

Der FST ist lediglich für die Schuhprüfung standardisiert, allerdings ist die Maschine universell konstruiert und mit einstellbaren Prüfparametern versehen, so dass sowohl eine Schuh- als auch eine Fußbodenprüfung möglich sind.



**Abbildung 9: Fußboden- und Schuhtester, schematische Zeichnung [FG ARBSI 2012]**

Abbildung 9 zeigt den schematischen Aufbau und die einzelnen Komponenten des FST:

- Gestell mit Elektroschaltschrank,
- Präzisions-2-Komponenten-Kraftmessplatte, Größe 100 x 60 cm, Aufnahmevorrichtung für Bodenbeläge bis 12 cm Höhe,
  - o Lagerung auf Rillenkugellagern,
  - o Horizontalkraft-Messung über HBM V2B 2 kN / 0,1% Genauigkeit,

- Vertikalkraft-Messung über zwei Wägezellen HBM PW12C250, 5 kN / 0,5% Genauigkeit,
- Horizontal-Lineareinheit mit Kugelgewindetrieb und Servomotor für variable Prüfgeschwindigkeiten von 0,01 – 1,00 m/s,
- Vertikal-Hubeinrichtung (Führungswagen mit Gleitschienen) mit Aufbringung der Normalkraft (300 N bis 750 N) und verstellbarer Aufnahmeeinrichtung für verschiedene Bauformen von Fußteilen, Schuhleisten und Gleiterhalterungen (für Schuhe bis 10 cm Sohlen bzw. Absatzhöhe).

Weitere Komponenten der Prüfmaschine sind:

- speicherprogrammierbare Steuerung und Bedienfeld zur flexiblen Festlegung von:
  - Messstrecken (20 – 70 cm),
  - Kontaktzeiten (0 – 10 s),
  - Prüfgeschwindigkeiten (0,01 – 1 m/s),
  - Programmabläufen,
- rechnergestützte Messdatenerfassung und Datenanalyse mit der Software Diadem von National Instruments,
- trennende Schutzeinrichtungen, Einhausung sowie Lichtgitter an der Vorderseite; CE-Kennzeichnung.

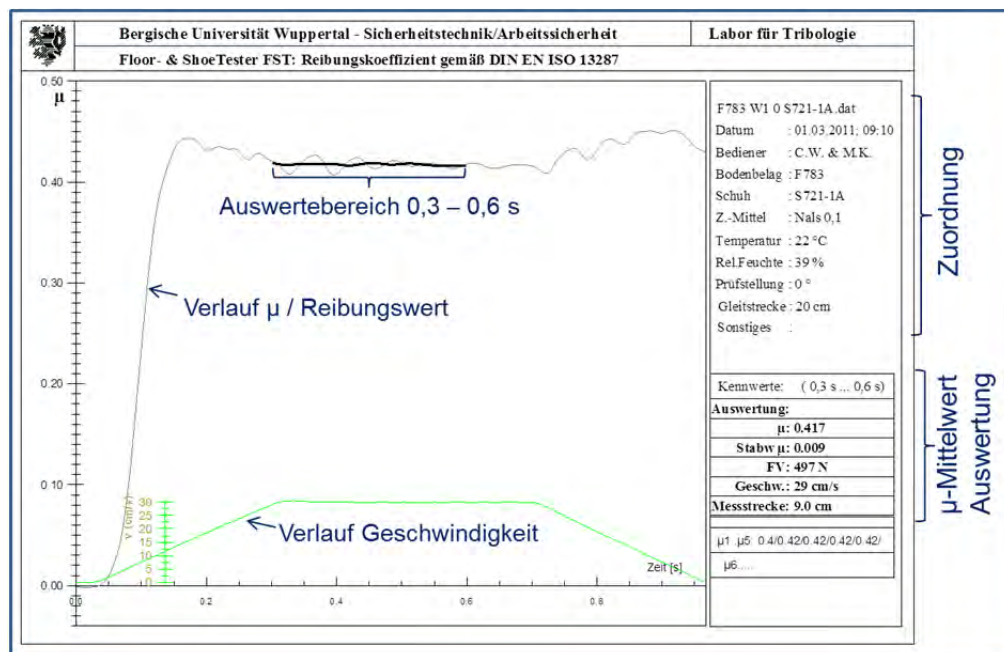


Abbildung 10: Ergebnisdiagramm FST

Abbildung 10 zeigt beispielhaft ein Ergebnisdiagramm des FST, bei dem der Reibungskoeffizient  $\mu$  und der Verlauf der Prüfgeschwindigkeit über der Zeit aufgetragen sind.

Vergleichsprüfungen des FST mit einer Kistler-Mehrkomponenten-Kraftmessplattform, dem Boden- und Schuhtester<sup>16</sup> und die Teilnahme an europäischen Ringversuchen des CEN TC161/WG3 im Rahmen der Überarbeitung der DIN EN ISO 13287 zeigen, dass die mit dem FST ermittelten Ergebnisse physikalisch richtig und präzise sind.

Die Vorteile der Maschine liegen in dem präzisen Messsystem, der Flexibilität hinsichtlich der Messparameter, der Messung beliebiger Fußboden-Schuh-Kombinationen und im hohen Automatisierungsgrad. Nachteilig ist, dass der menschliche Gang nur eingeschränkt nachgeahmt wird.

### 2.4.3 Gleitmessgerät GMG 200

Das Gleitreibungsmessgerät GMG 200<sup>17</sup> (Abbildung 11) ist ein mobiles, automatisiertes Zugtribometer zur Messung der Reibungskraft und entspricht den Anforderungen der Prüfnorm DIN 51131. Das GMG besteht aus einem ca. 9 kg schweren Körper, in dem die Zugvorrichtung, der Kraftaufnehmer, die Stromversorgung und die Steuerungs- und Auswerteeinheit verbaut sind. Die Gleiterplatte besteht aus drei Gleitern mit einer Fläche von je 3,5 cm<sup>2</sup> (entspricht einer Flächenpressung von ca. 8,5 N/cm<sup>2</sup>) und wird an der Unterseite des Gerätes befestigt.



Abbildung 11: Gleitmessgerät 200 (links) und GMG-Gleiterplatte (rechts) [FG ARBSI]

<sup>16</sup> Der Boden- und Schuhtester wurde in den 1980er-Jahren im Fachgebiet Sicherheitstechnik / Arbeitssicherheit an der Bergischen Universität Wuppertal entwickelt und gebaut. (vgl. SKIBA ET.AL. 1987)

<sup>17</sup> Gleitmessgerät GMG 200 der Firma GTE Industrieelektronik



Eine Relativbewegung des GMG mit konstanter Geschwindigkeit von  $v = 0,2 \text{ m/s}$  über den Fußboden wird durch Einziehen des Stahlbandes erreicht, dass mit einer Halteplatte fixiert wird. Die Reibungskraft wird gemessen, auf das Eigengewicht bezogen und der Gleitreibungskoeffizient berechnet. Das Prüfergebnis ist gem. DIN 51131 der Mittelwert der letzten drei von fünf Einzelmessungen.

Nach DIN 51131 stehen mit SBR-Gummi und Leder zwei genormte Gleitermaterialien zur Verfügung. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung können weitere Materialien verwendet werden, beispielsweise Gleiter aus den im Arbeitsbereich benutzten Sicherheitsschuhen. Die Gleiter werden entsprechend einem definierten Verfahren vor der Messung angeschliffen.

Der Kraftaufnehmer des Messgerätes kann mittels eines Kraftmessgerätes überprüft werden. Messungen auf festgelegten Referenzbelägen bestätigen die Eignung der standardisierten Gleiter.

#### 2.4.4 Schiefe Ebene

Die Schiefe Ebene ist ein Prüfverfahren zur Reibungsmessung nach dem Prinzip der Messung des Reibungswinkels (Abbildung 12). „Die Prüfperson geht mit Blickrichtung talwärts in aufrechter Haltung in Schritten einer halben Fußlänge vorwärts und rückwärts auf dem [...] Bodenbelag. Die Neigung des Prüfbelages wird vom waagerechten Zustand ausgehend mit einer Geschwindigkeit von ca.  $1^\circ$  je Sekunde erhöht. Der Neigungswinkel, bei dem die Prüfperson die Grenze des sicheren Gehens erreicht, wird durch mehrmaliges Auf- und Abfahren um den kritischen Bereich festgestellt. Der Neigungswinkel [...] wird, jeweils vom waagerechten Zustand ausgehend, dreimal ermittelt.“ [BGR 181]

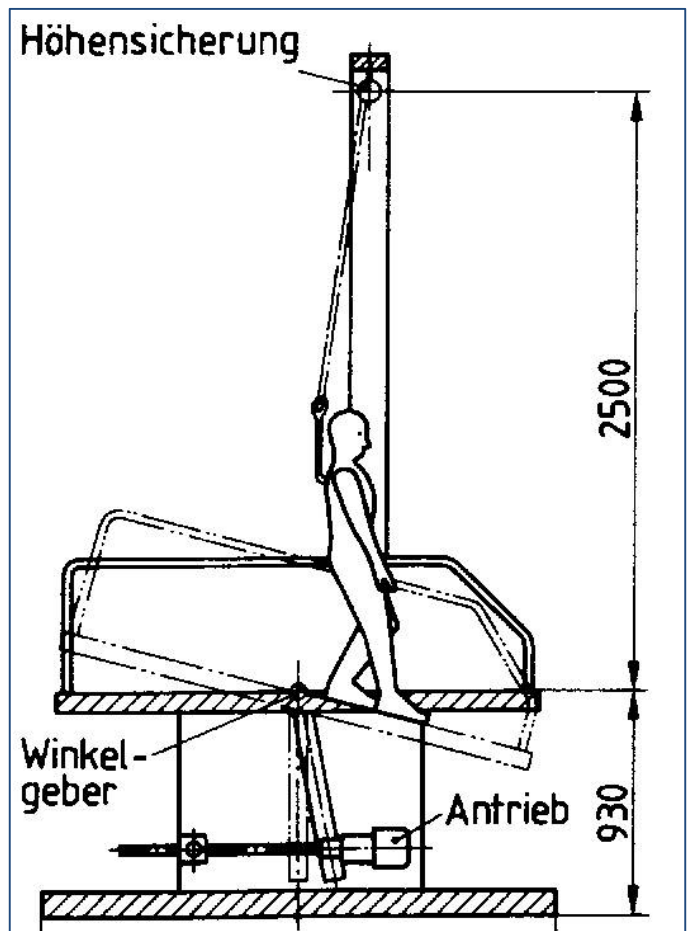


Abbildung 12: Aufbau der Schiefen Ebene [DIN 51130]

Dieses Prüfverfahren findet zur Prüfung der rutschhemmenden Eigenschaften von Bodenbelägen in verschiedenen Regelwerken Anwendung:

- Prüfung von Bodenbelägen und Klassifizierung in R-Gruppen gem. DIN 51130, ASR 1.5 und BGR 181, vgl. Kapitel 2.2.2.1. Zur Reduzierung von subjektiven Einflüssen durch die Prüfpersonen ist für diese Prüfung ein Kalibrierverfahren standardisiert. Vor einer Prüfung begeht die Prüfperson drei Standardbeläge; die Messergebnisse gehen in die Berechnung des korrigierten Akzeptanzwinkels ein.
- Prüfung von Bodenbelägen gem. CEN/TS 16165: identisch zu DIN 51130, ohne Klassifizierung in R-Gruppen
- Prüfung von Bodenbelägen für nassbelastete Barfußbereiche nach DIN 51097
- Prüfung von Bodenbelägen gem. prEN 15673-1, Begehung mit einem Sportschuh mit einer Sohle aus Slider 96 und dem Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,1%. Der Normentwurf wurde aufgrund hoher Messunsicherheiten 09/2009 zurückgezogen.
- EG-Baumusterprüfung von PVC-Bodenbelägen mit erhöhtem Rutschwiderstand gem. DIN EN 13845
- Bis 08/2004 wurde das Prüfverfahren zur Prüfung der Rutschhemmung von Sicherheitsschuhen gem. DIN 4843-100 verwendet.

Als Vorteile des Prüfverfahrens sind zu nennen, dass alle Arten von Fußboden-Schuh-Kombinationen gemessen werden können und der menschliche Gang nachempfunden wird. Die Personenabhängigkeit (Subjektivität) und der ausschließliche Einsatz als Laborprüfverfahren sind von Nachteil. Die Begehung während der Messung weicht erheblich vom normalen Gang in der Ebene ab.

#### **2.4.5 Pendelmessgerät**

Das mobile Reibungsprüfverfahren des Pendelmessgerätes (vgl. Abbildung 13) basiert auf dem Prinzip der Messung des Reibungsenergieverlustes.

„Das Pendelprüfgerät zur Bestimmung der Reibung enthält einen federbelasteten Gleitkörper aus Normgummi, der am Ende des Pendelarms befestigt ist. Beim Schwingen des Pendelarms wird die Reibungskraft zwischen Gleitkörper und Prüfoberfläche gemessen, indem die Verringerung der Schwingungslänge ermittelt wird.“ [CEN/TS 16165]

Als Gleitkörper stehen mit dem Slider 55<sup>18</sup> ein weiches, mit dem Slider 96<sup>19</sup> ein hartes Gleitermaterial zur Verfügung. Bei korrekter Justierung des Pendelmessgerätes beträgt die Prüfgeschwindigkeit ca. 2,8 m/s, die Gleitstrecke 12,6 cm und die Normalkraft 22 N. Abhängig vom Verschleißzustand der Gleiterkante (0,1 - 0,3 cm) liegt die Flächenpressung zwischen 10 N/cm<sup>2</sup> und 29 N/cm<sup>2</sup>.



Abbildung 13: Pendelmessgerät [FG ARBSI 2012]

Das Messgerät ist in einer Reihe von europäisch harmonisierten Normen als Prüfverfahren für die Bereitstellung auf dem Markt von Fußböden festgelegt (vgl. Kapitel 2.2.1.1), allerdings werden nur für wenige Produktgruppen Anforderungen an das Ergebnis gestellt.

Der Vorteil des Prüfverfahrens ist die mobile Anwendung. Nachteilig sind die Unhandlichkeit und möglichen Bedienfehler, die kurze Reibstrecke, die defizitäre Nachahmung des menschlichen Ganges und der schwierige Einsatz auf profilierten Bodenoberflächen.

<sup>18</sup> Auch Gummigleitkörper 57 genannt, die Zahl bezieht sich auf die Härte des Gleitkörpers, IRHD: 55, Shore A: 57

<sup>19</sup> Auch Gummigleitkörper 96 genannt, die Zahl bezieht sich auf die Härte des Gleitkörpers, IRHD: 96, Shore D: 48

## 2.5 Gefährdungsbeurteilung „Ausgleiten beim Gehen“

Die Gefährdungsbeurteilung gliedert sich in die methodischen Schritte Analyse, Bewertung und Gestaltung.

### 2.5.1 Gefährdungsbeurteilung - Analyse

Zur Analyse der Gefährdung „Ausgleiten beim Gehen“ werden das zugehörige Arbeitssystem beschrieben, die Anforderungen des menschlichen Ganges sowie die Sicherheitsbedingung erläutert.

#### 2.5.1.1 Arbeitssystem- und Gefährdungsmodell

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Arbeitsaufgabe „Fortbewegung“ zu bewältigen, beispielsweise fahren, rollen, fliegen. Meist selbstverständlich wird die Fortbewegungsart „gehen“ verwendet, die in dem Arbeitssystemmodell „menschlicher Gang“ als Arbeitsgegenstand betrachtet wird (vgl. Abbildung 14). Das Gehen ist bei einer Vielzahl von Arbeitsaufgaben und Tätigkeiten notwendig und geschieht oftmals unbewusst, da die Bewegungsabläufe von Kindheit an erlernt und trainiert wurden. Dennoch besteht bei jedem Schritt, den ein Mensch macht, prinzipiell die Gefährdung auszurutschen. Das Arbeitssystemmodell wird allgemein auf das Gehen bezogen. Der zu bewältigende Arbeitsablauf ist ein „Schritt“, den ein Mensch unter Benutzung der Arbeitsmittel „Fußboden“ und „Schuh“ macht, um einen Weg zurückzulegen (Ausgabe des Arbeitssystems). Der Arbeitsablauf „Schritt“ kann zusätzlich durch witterungs- oder prozessbedingt auftretende gleitfördernde Stoffe beeinflusst werden, die sich auf dem Arbeitsmittel Fußboden befinden oder dem Arbeitsmittel „Schuh“ anhaften.

Das Arbeitssystem spiegelt somit das in Kapitel 2.3.2 beschriebene Reibungssystem wider. Eine arbeitsbedingte Gefährdung entsteht, wenn ein Gefährdungspotential (hazard) in räumlicher und/oder zeitlicher Koinzidenz mit dem Menschen (exposition) steht. Ein Gefährdungspotential hinsichtlich ihres rutschhemmenden Potentials weisen die Produkte (Arbeitsmittel) „Fußboden“ und „Schuh“ auf, die jeweils in sehr unterschiedlichen Qualitäten erhältlich sind. Bei dem systembedingten Zusammenspiel verschiedener Ausführungen von Fußböden und Schuhen in Verbindung mit den Umgebungseinflüssen und gleitfördernden Stoffen (auch Reibungssystem) wirkt letztlich eine Summe von Gefährdungspotentialen auf den gehenden Menschen ein (exposition). Eine räumliche oder zeitliche Trennung von Mensch und Gefährdungspotentialen als weitreichender Gestaltungsansatz ist bei dieser Gefährdung Ausgleiten beim Gehen nicht möglich, da ein

Laufverbot eine Nichterfüllung der Arbeitsaufgabe zur Folge hätte. Weitere grundlegende Gestaltungsansätze ergeben sich durch Reduzierung des Gefährdungspotentials bzw. der Erhöhung der rutschhemmenden Eigenschaften von Fußböden und Schuhen. Die Biomechanik sowie die Art und Weise des menschlichen Ganges haben zudem Einfluss darauf, ob die Summe der Gefährdungspotentiale ein Ausrutschen verursacht.

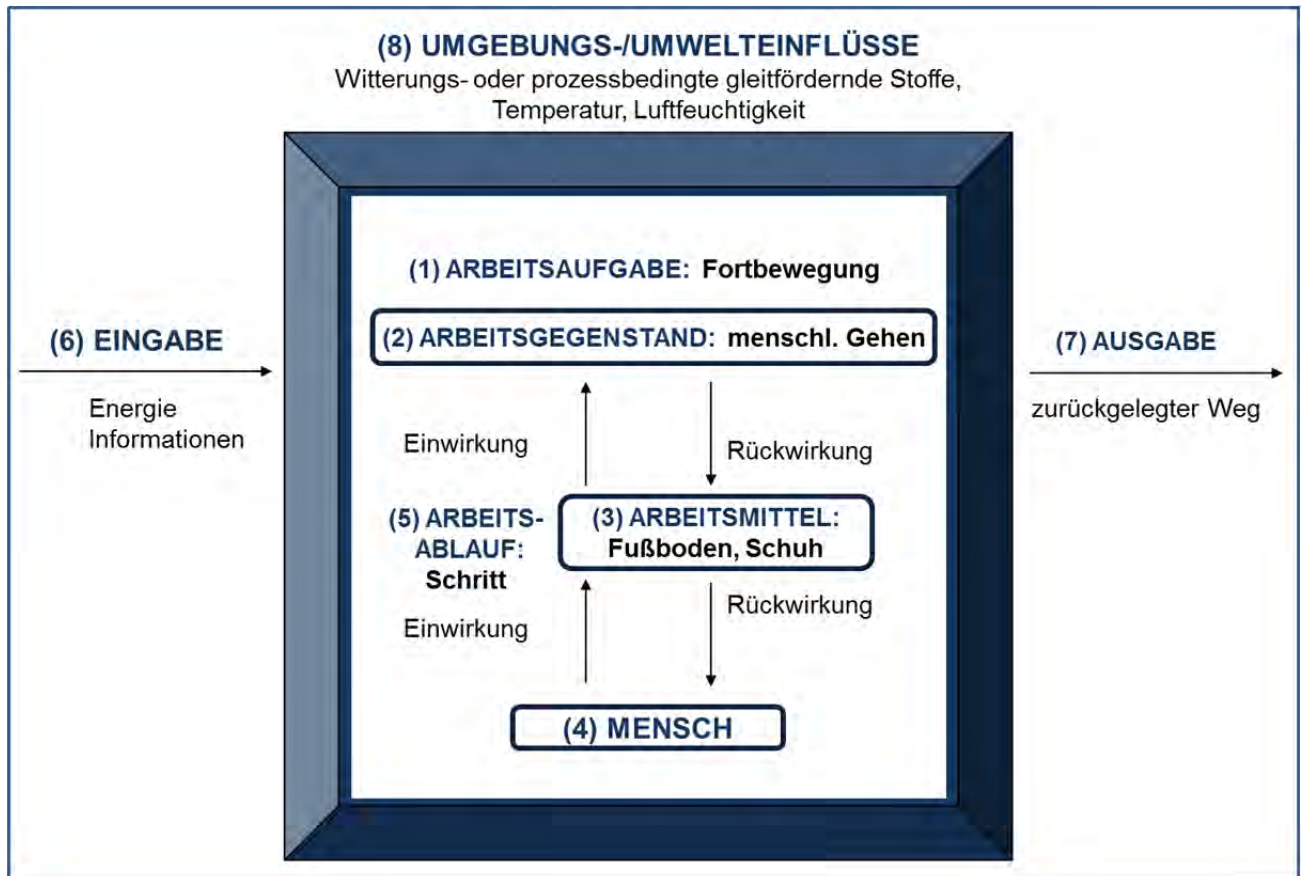


Abbildung 14: Arbeitssystemmodell 'menschlicher Gang' (nach KAHL 2012)

### 2.5.1.2 Biomechanik des menschlichen Ganges

„Beim Horizontalgang kommt die Vorwärtsbewegung dadurch zustande, dass das erste Bein aus der Stützphase heraus eine Rückstoßkraft auf den Fußboden überträgt, während das andere Bein sich pendelnd schwebend nach vorn bewegt. [...] (vgl. Abbildung 15) [...] Danach erfolgt der gleiche Vorgang mit dem gegenüberliegenden Bein. Je eine Stütz- und Schwebphase des linken und rechten Beines bewirken einen Doppelschritt oder Gangzyklus. Die Überschneidung der Stützphasen beider Beine ist die doppelte Stützphase. Bei schnellem Laufen entfällt die Überschneidung und es tritt eine doppelte Schwebphase auf.“ [LEHDER 2011]

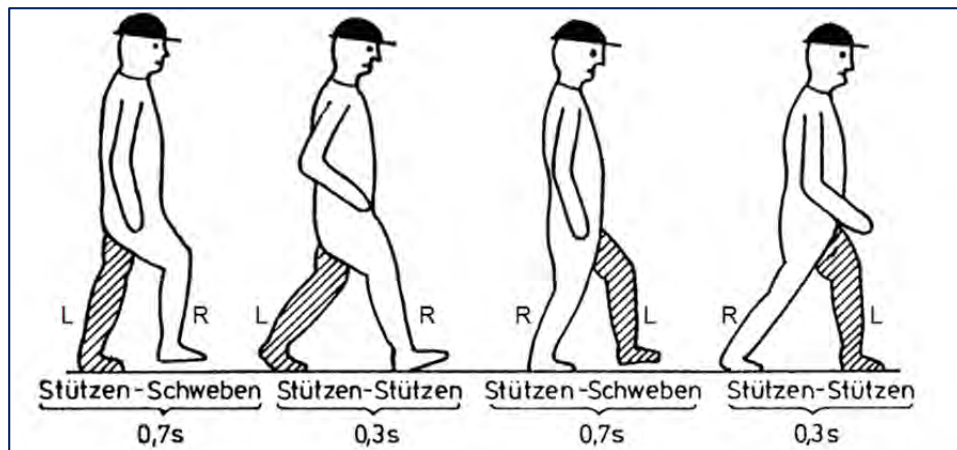


Abbildung 15: Stütz- und Schwebphase im Gangzyklus [LEHDER 2011]

Während der Abrollphase des Fußes auf dem Boden wirken Tangential- und Normalkräfte, die neben der Neigung des Bodenbelags von dem Gewicht der Person, der Ganggeschwindigkeit, der Schrittlänge und dem Aufsetzwinkel der Ferse abhängen (vgl. Abbildung 16). Die auftretenden Kräfte zeigen während eines Schrittes einen charakteristischen Verlauf. Der Quotient aus der Tangentialkraft  $F_T$  in Gangrichtung und der Normalkraft  $F_N$  über den Verlauf eines Schrittes ist als „gangbedingter, momentaner Anforderungsquotient  $Q_A$ “ definiert (vgl. Formel 5). „Er kennzeichnet das auf den Fußboden übertragene Kräfteverhältnis [...] während der einzelnen Phasen des menschlichen Ganges.“ [LEHDER 2011]

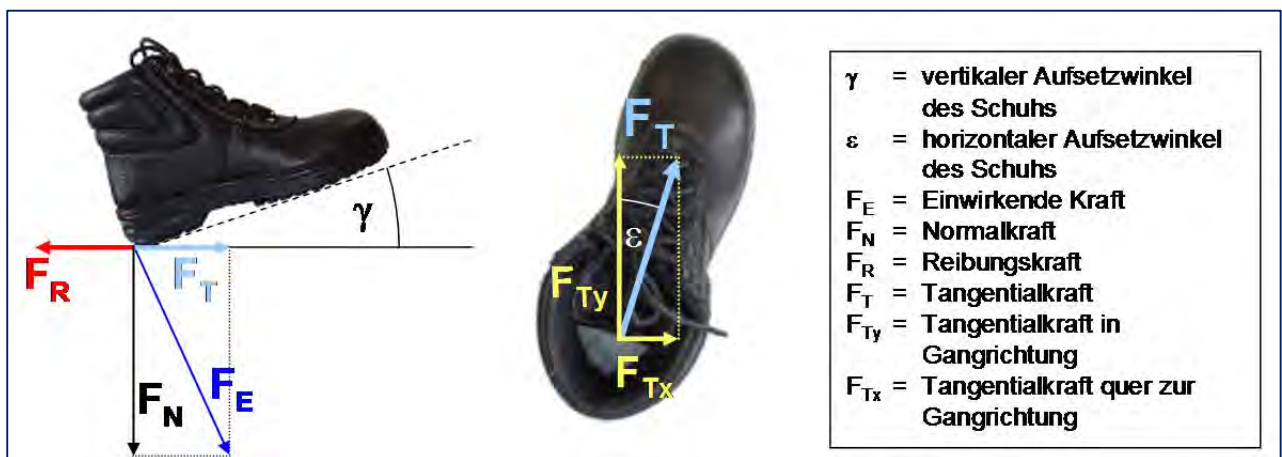


Abbildung 16: Kräfteverhältnis beim Aufsetzen des Fußes [SEBALD 2007]

$$Q_A = \frac{F_T}{F_N} \tag{F. 5}$$

Jeder Mensch hat einen individuellen Anforderungsquotienten  $Q_A$ . Laufen verschiedene Personen mit der gleichen Gangart (z.B. ebener Geradeausgang), weisen die interindividuellen Spannweiten einen Wert von ca.  $\Delta Q_A = 0,15$  auf. Der Verlauf des Anforderungsquotienten weist zwei Maxima auf,  $Q_{Amax1}$  zu Beginn der Abrollphase bzw. beim Aufsetzen der Ferse und  $Q_{Amax2}$  am Ende der Abrollphase bzw. beim Abstoßen des Fußes. Aus Sicht der Unfallverhütung ist das erste Maximum entscheidend, da beim Aufsetzen des Fußes der Körperschwerpunkt am weitesten zurückliegt. Im Falle des Ausrutschens wird ein Sturz nach hinten begünstigt, der im Regelfall nicht abgefangen bzw. durch die Hände geschützt werden kann und typischerweise schwerwiegendere Unfallfolgen als beim Vorwärtsfallen nach sich zieht.

Der gehende Mensch kann seinen Anforderungsquotienten beeinflussen: Durch langsames Gehen, ein flaches Aufsetzen des Fußes und kurze Schrittlänge ist es möglich nahezu keine Tangentialkräfte auf den Boden zu übertragen. Beispielhaft ist das Gehen auf einer Eisfläche zu nennen.

### **2.5.1.3 Sicherheitsbedingung**

Die Anforderungen des menschlichen Ganges müssen durch mindestens gleich große Reibungskräfte im Reibungssystem kompensiert werden, damit es nicht zum Ausgleiten kommt. Anforderungsquotient und Reibungskoeffizient können direkt miteinander verglichen werden, weil es sich um gleichartige Kräfteverhältnisse handelt. Die Sicherheitsbedingung lautet damit:

$$\mu \geq Q_{Amax} \quad (\text{F. 6})$$

Das Verhältnis von Reibungskoeffizient zu Anforderungsquotient kennzeichnet die Sicherheit gegen Ausgleiten.

$$S = \frac{\mu}{Q_{Amax}} \quad (\text{F. 7})$$

Zur Analyse und Bewertung im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung wird der Reibungskoeffizient des Reibungssystems aus Fußboden, Zwischenmedium, Schuh und Umgebungsbedingungen herangezogen.

### **2.5.1.4 Gefährdungsbeurteilung – Analyse in Arbeitsbereichen**

Die Analyse der Gefährdung in Arbeitsbereichen erfordert ein valides und mobiles Messgerät zur Messung des Reibungskoeffizienten. In Arbeitsbereichen sind typischerweise Fußböden fest verbaut und weisen einen Gebrauchszustand auf. Der Anwender trifft eine Auswahl der Messbedingungen nach den real auftretenden Parametern des Reibungssystems im Betriebszustand. Beispielsweise werden prozess- oder witterungsbedingt auftretende gleitfördernde Stoffe nach Art und Menge verwendet, wie sie vor Ort vorgefunden werden (Staub, Nässe, Restfeuchtigkeit der Reinigung, Öle, Fette, Körner, etc.). Treten gleitfördernde Stoffe temporär auf, sind diese kritischen Situationen zu eruieren und für die Messung zu simulieren. Die Wahl des Gleitermaterials ist nach den in Gebrauch befindlichen Schuhen zu differenzieren. Werden ausschließlich bestimmte Typen von (Sicherheits-)Schuhen getragen, kann die Analyse mit Gleitern aus dem Material dieser Schuhe erfolgen und das Ergebnis mit einem Bewertungskonzept zur Bewertung des Reibungssystems verglichen werden. Verschiedene getragene Sicherheits- und Straßenschuhe erfordern die Verwendung eines Standardgleiters, der einen Schuh mit durchschnittlich geringer Rutschhemmung simulieren soll. Wenn die Bewertung der Messung mit dem Standardgleiter ein zulässiges Niveau erreicht, schließt sich die Argumentation an, dass andere Schuhe mit ähnlicher oder höherer Rutschhemmung ein vergleichbares oder höheres Niveau erreichen werden.

### **2.5.2 Gefährdungsbeurteilung – Bewertung**

Der Bewertungsschritt ist in zwei Bereiche zu differenzieren, zum einen die Bewertung des Gefährdungspotentials (hazard) der beiden Produkte Fußboden und Schuh und zum anderen die Bewertung der Gefährdung (exposition), bei der ein Reibungssystem (Gefährdungspotential / hazard) in räumlicher und/oder zeitlicher Koinzidenz mit dem Menschen steht.

#### **2.5.2.1 Bewertung des Gefährdungspotentials (hazard)**

Das Gefährdungspotential steht mit den rutschhemmenden Produkteigenschaften in einem antiproportionalen Zusammenhang. Je niedriger die Rutschhemmung, desto höher ist das Gefährdungspotential eines Produktes.

##### **2.5.2.1.1 Bewertung des Gefährdungspotentials (hazard) von Schuhen**

Sicherheitsschuhe unterliegen als PSA bei der Bereitstellung auf dem Markt Anforderungen an das rutschhemmende Potential (siehe Erläuterungen in Kapitel 2.2.1.2).



Da es sich dabei um Mindestanforderungen handelt, ist das wirkliche rutschhemmende Potential nicht bekannt, da der Anwender nicht weiß, inwieweit der Schuh über den Anforderungen liegt. Schuhe, die in Gebrauch sind und sich bekanntlich durch ihre Nutzung ändern (Abnutzung der Laufsohle), werden üblicherweise nicht weiter hinsichtlich ihres rutschhemmenden Potentials analysiert, sondern ab einem bestimmten, nicht näher definierten Grad der Abnutzung, ausgesondert und ersetzt.

Die Rutschhemmung von Straßenschuhen unterliegt keinen rechtlichen Anforderungen. Das Gefährdungspotential von in Arbeitsbereichen getragenen Straßenschuhen ist nicht bekannt.

#### 2.5.2.1.2 Bewertung des Gefährdungspotentials (hazard) von Fußböden

Die Anforderungen an die Bereitstellung von Fußböden auf dem Markt wurden in Kapitel 2.2.1.1 erläutert. Die harmonisierten Normen dreier Produktgruppen legen im Rahmen von EG-Baumusterprüfungen Mindestanforderungen fest. Für andere Produktgruppen verweisen die Produktnormen auf nationale Regelungen. In Deutschland werden die Regelwerke ASR 1.5 bzw. BGR 181 (vergleiche Kapitel 2.2.2.1) für die Auswahl von Bodenbelägen für Arbeitsbereiche (Regelungsbereich Arbeitssicherheit) herangezogen. Die Bewertung des Gefährdungspotentials nach dem R-Gruppen-System setzt eine produktbezogene nationale Baumusterprüfung voraus. Das stationäre Prüfverfahren der Schiefen Ebene ermöglicht die Prüfung eines Baumusters bzw. des Bodenbelags nur vor dem Einbau. Veränderungen des Bodenbelags durch Verschleiß, Reinigung oder Pflege können eine Änderung des Gefährdungspotentials (positiv oder negativ) bewirken, das folglich in der realen Situation im Arbeitsbereich nicht genau bekannt ist.

Von der englischen „UK Slip Resistance Group“ ist ein Bewertungskonzept zur Bewertung des Gefährdungspotentials von Fußböden in Praxissituationen im Rahmen einer Handlungsanleitung<sup>20</sup> zur Handhabung des Pendelmessgeräts (vgl. Kapitel 2.4.5) veröffentlicht worden (vgl. Tabelle 5).

PTV (Pendel Test Value) Slider 96 and Slider 55	Slip potential
0 - 24	High slip potential
25 - 35	Moderate slip potential
≥ 36	Low slip potential

**Tabelle 5: Bewertungen von Fußböden mit dem Pendelmessgerät [nach UKSRG 2011]**

<sup>20</sup> UK Slip Resistance Group Guideline Issue 4, 2011

### **2.5.2.2 Bewertung der Gefährdung**

Zur Bewertung der Gefährdung im Arbeitsbereich wird das Reibungssystem mit den vor Ort herrschenden Bedingungen betrachtet. Die Reibung des Gesamtsystems aus Fußboden (im Gebrauchszustand), den prozess- oder witterungsbedingt auftretenden gleitfördernden Stoffen, dem Schuh (im Gebrauchszustand) und den gegebenen Umgebungsbedingungen wird analysiert und mit einem Grenzwertkonzept bewertet. In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Ansätze zur Erstellung eines Grenzwertkonzeptes verfolgt und veröffentlicht. Gemäß dem beschriebenen Arbeitssystemmodell und der Sicherheitsbedingung werden im Folgenden die Grenzwertkonzepte vorgestellt, die im Zusammenhang mit biomechanischen Untersuchungen des menschlichen Gangs stehen. Die einzelnen Konzepte sind ähnlich und vertreten einheitlich die Aussage, dass Reibungssysteme mit Reibungskoeffizienten von  $\mu < 0,30$  als „unsicher“ oder „kritisch“, mit  $\mu \geq 0,45$  als „sicher“ und „betriebstauglich“ und mit  $0,30 \leq \mu \leq 0,45$  als „bedingt sicher“ oder „zulässig“ mit „zusätzlichen Maßnahmen“ zu betrachten sind. Diese prinzipielle Bewertung wird in der Literatur der vergangenen Jahre von Experten der Wissenschaft und der Unfallversicherungsträger geteilt. (LEHDER 2011, SEBALD 2007, FISCHER 2005, GÖTTE ET.AL. 2003, BÖNIG 1996)

#### **2.5.2.2.1 Abgeleitete Grenzwerte aus dem menschlichem Gang**

BÖNIG ermittelt 1996 in experimentellen Untersuchungen die Anforderungsquotienten von 50 Probanden (repräsentative Gruppe) für verschiedene Gangbedingungen und unterbreitet Vorschläge für biomechanisch-basierte Reibzahlgrenzwerte (vgl. Tabelle 6).

Die Werte für den Bewertungsbereich „Unfallstatistik“ entsprechen dem 95%-Perzentil der Verteilung der ermittelten Anforderungsquotienten, dies bedeutet, dass 5% der Bevölkerung einen höheren Anforderungsquotient als die beschriebene Grenzreibzahl haben. Die Werte für die „gesellschaftliche Akzeptanz“ wurden unter der Berücksichtigung eines akzeptierten Risikos für einen Ausgleitunfall abgeleitet. Der Bewertungsbereich „Ergonomie“ beschreibt Mindestwerte, die erreicht werden sollten, um Belastungen durch Ganganpassung zu vermeiden.

Bewertung	Gangbedingungen und Grenzreibzahl		Bewegungsbereiche		allgemeine Grenze
gesellschaftliche Akzeptanz	ebener Geradeausgang	0,38	ebene Wege	0,42	0,44
	Kurvengang	0,42			
	Treppenaufwärtsgang	0,33	Treppen	0,41	
	Treppenabwärtsgang	0,41			
	Rampenquergang	0,44	geneigte Wege	0,44	
	Rampenaufwärtsgang	0,26			
	Rampenabwärtsgang	0,43			
Unfallstatistik	ebener Geradeausgang	0,30	ebene Wege	0,32	0,36
	Kurvengang	0,32			
	Treppenaufwärtsgang	0,23	Treppen	0,31	
	Treppenabwärtsgang	0,31			
	Rampenquergang	0,36	geneigte Wege	0,36	
	Rampenaufwärtsgang	0,18			
	Rampenabwärtsgang	0,36			
Ergonomie	ebener Geradeausgang	0,31	ebene Wege	0,35	0,35
	Kurvengang	0,35			
	Treppenaufwärtsgang	0,23	Treppen	0,26	
	Treppenabwärtsgang	0,26			
	Rampenquergang	0,35	geneigte Wege	0,35	
	Rampenaufwärtsgang	0,15			
	Rampenabwärtsgang	0,35			

Tabelle 6: Vorschläge für biomechanisch-basierte Reibzahlgrenzwerte [BÖNIG 1996]

2.5.2.2.2 Wuppertaler Grenzwerte

SKIBA greift die Ergebnisse von BÖNIG als wissenschaftliche Bestätigung der zuvor aufgestellten Grenzwerte auf und veröffentlicht 1997 eine neue Version der „Wuppertaler Grenzwerte für sicheres Gehen“, die von LEHDER übernommen wurden (vgl. Tabelle 7).

Wuppertaler Grenzwerte		
Für alle Bereiche: Fußboden, Zwischenmittel und Sohle unter Praxisbedingungen		
Reibzahl $\mu$	Bewertung	
$\mu \geq 0,60$	<b>++</b>	sehr sicher
$0,45 \leq \mu < 0,60$	<b>+</b>	sicher
$0,30 \leq \mu < 0,45$	<b>-</b>	bedingt sicher, <i>zusätzliche Unfallverhütungsmaßnahmen erforderlich</i>
$\mu < 0,30$	<b>--</b>	unsicher

Tabelle 7: Wuppertaler Grenzwerte (nach SKIBA 1997 und LEHDER 2011)

### 2.5.2.2.3 Schutzkonzept „Auslöseschwelle und Grenzwert“

SEBALD entwickelt 2007 das Schutzkonzept „Auslöseschwelle und Grenzwert des Reibungskoeffizienten beim Gehen“ (vgl. Abbildung 17), welches vom Aufbau an die Grenzwertkonzepte beispielsweise für „Lärm“ und „Vibration“ angelehnt ist. Er führt die Ampelfarben ein, definiert die Bereichsgrenzen als „Auslöseschwelle“ und „Grenzwert“ und bezieht sich auf die konkreten Werte von BÖNIG, SKIBA und LEHDER.



Abbildung 17: Schutzkonzept 'Auslöseschwelle und Grenzwert' [SEBALD 2007]

### 2.5.2.2.4 BGI / GUV-I 8687

Im Januar 2011 wurde von den Unfallversicherungsträger die im „Fachausschuss Bauliche Einrichtungen, Arbeitskreis Fußböden, Rampen und Treppen“<sup>21</sup> erarbeitete Berufsgenossenschaftliche Information BGI / GUV-I 8687 „Bewertung der Rutschgefahr unter Betriebsbedingungen“ veröffentlicht. Das Bewertungskonzept (vgl. Tabelle 8) bezieht sich auf die Wuppertaler Grenzwerte, die damit erstmals in ein technisches Regelwerk übernommen wurden.

<sup>21</sup> Heutige Bezeichnung: Fachbereich Handel und Logistik, Sachgebiet Bauliche Einrichtungen und Handel, Arbeitsgebiet Fußböden, Rampen und Treppen

Messwert Gleitreibungskoeffizient	Bewertung der Rutschgefahr unter Betriebsbedingungen
$\mu < 0,30$	Bodensystem kritisch, besondere Maßnahmen erforderlich
$0,30 \leq \mu < 0,45$	Bodensystem betriebstauglich, eventuell risikoorientiert ausgewählte Maßnahmen erforderlich
$\mu \geq 0,45$	Bodensystem uneingeschränkt betriebstauglich

**Tabelle 8: Bewertungskonzept der Rutschgefahr [nach BGI / GUV-I 8687]**

Begrifflich wird das Reibungssystem aus Fußboden, Zwischenmedium, Schuh und Umgebungsbedingungen als „Bodensystem“ definiert, außerdem wird statt „sicher“ die Terminologie „betriebstauglich“ und statt „unsicher“ der Begriff „kritisch“ verwendet.

### 2.5.3 Gefährdungsbeurteilung - Gestaltung und Maßnahmen

Eine Kombination verschiedener Gestaltungslösungen und Schutzmaßnahmen können die Gefährdung Ausgleiten beim Gehen auf ein ungefährliches Maß reduzieren. Aus der Literatur und dem technischen Regelwerk (BGI / GUV-I 8687, BGR 181, LEHDER 2011, PARIDON 2005, SEBALD 2007) wurden bekannte und mögliche Maßnahmen herausgearbeitet und den Freiheitsgraden der „Methodischen Gestaltungskonzeption Ausgleiten“ (vgl. Abbildung 18) zugeordnet. Diese Methodik führt in der ganzheitlichen Systematik von Maßnahmen des Arbeitsschutzes sowohl das Herstellen und Inverkehrbringen (Bereitstellung auf dem Markt) von Produkten als auch die Tätigkeiten mit Produkten auf. Dieses Konzept spiegelt die Regelungsbereiche der EU „Produktsicherheit“ und „Arbeitssicherheit“ wider. Maßnahmen der Produktsicherheit sind vom Hersteller durchzuführen und beeinflussen das rutschhemmende Potential von Fußböden und Schuhen. Die produktspezifischen Gestaltungslösungen gliedern sich nach KAHL 2012 in die Bereiche:

- **konstruktiver Primärschutz** - konstruktiv verankerter Ausschluss des hazards (inhärente Sicherheit) oder konstruktiv verankerte Minimierung des hazards auf ein ungefährliches Maß; Beispiel: Material-Compound einer Schuhsohle;
- **konstruktiver Sekundärschutz** - Begrenzung und Vermeidung des Wirksamwerdens des hazards durch konstruktiv verankerte, technische Maßnahmen mit zwangsweiser Wirkung; Beispiel: Laufsohlen-integrierte Spikes;
- **ergänzender produktspezifischer Tertiärschutz** - Hinweise auf mögliche Gefährdungen und Möglichkeiten der Einwirkungsminimierung durch

organisatorische oder individuelle Maßnahmen, Beispiel: Anwendungsbeschränkungen eines Schuhs.



Abbildung 18: Methodische Gestaltungskonzeption Ausgleiten (nach KAHL ET.AL. 2012)

Die Akteure des betrieblichen Arbeitsschutzes müssen weitere Maßnahmen ergreifen um die Gefährdung während der Tätigkeiten am Arbeitsplatz zu minimieren (Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung). Nach KAHL 2012 können vom Anwender Gestaltungslösungen der folgenden Freiheitsgrade in der Gestaltungsrangfolge „Substitution“, „technische“, „organisatorische“ und „persönliche“ Maßnahmen (S-T-O-P) angewendet werden:

- **additiver Primärschutz (S)** - Vermeiden des hazards durch geeignete Produktauswahl oder zwingend wirksame Entfernung des Beschäftigten aus dem Wirkungsbereich des hazards, Beispiel: Auswahl eines Schuhs mit hohen rutschhemmenden Eigenschaften;
- **additiver Sekundärschutz (T)** - Vermeidung der Ausbreitung des hazards oder Unterbrechung der räumlichen Beziehung zwischen Beschäftigten und hazards durch additive technische Schutzmaßnahmen mit zwangsweiser Wirkung, Beispiele: Laufsohlenaufsatz mit Spikes, Steigeisen;

- **ergänzender Tertiärschutz (O | P)** - Minimierung der Einwirkung auf den Beschäftigten durch organisatorische und/oder individuelle Maßnahmen, Unterbrechung der räumlichen und zeitlichen Beziehung zwischen Beschäftigten und hazard durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen oder Verhaltensprävention, Beispiele: Tragepflicht von Sicherheitsschuhen, Anordnung von langsamem Gehen.

Die Maßnahmen mit der größten Wirksamkeit sind jeweils dem Primärschutz zuzuordnen, da hier das Gefährdungspotential dauerhaft, kollektiv und willensunabhängig abgesenkt wird. Anzumerken ist, dass alle Maßnahmen zwar theoretisch möglich, in der Praxis aber zum Teil aufwendig umzusetzen sind. Beispielsweise ist die „Auswahl eines rutschhemmenden Schuhs“ eine häufig genannte Maßnahme, eine Handlungshilfe zur Auswahl steht allerdings nicht zur Verfügung. Die Schuhauswahl geschieht in der Praxis durch Ausprobieren mehrerer Schuhmodelle und anschließender subjektiver Beurteilung oder durch aufwendige Messungen der vorhandenen Fußböden mit einer Auswahl von Schuhen.

Die Zuordnung einzelner Maßnahmen zu den Elementen dieser Konzeption ist nicht immer zwingend und eindeutig. Diskutabel ist im Freiheitsgrad des „konstruktiven Primärschutzes“, ob durch die Produktgestaltung von Fußböden und Schuhen eine inhärente Sicherheit gewährleistet werden kann, die auch in Verbindung mit möglichen Praxissituationen ausreichenden Schutz bietet. Zwar kann bei Fußböden und Schuhen nicht jegliche Restgefährdung ausgeschlossen werden, aber durch die inhärente Gestaltung, insbesondere durch die Auswahl des Materials, kann das Gefährdungspotential maßgeblich beeinflusst und minimiert werden.

Die „methodische Gestaltungskonzeption Ausgleiten“ weist zwei Besonderheiten auf. Einerseits können Gestaltungslösungen wie bspw. die Nachbehandlung von Fußböden sowohl dem konstruktiven als auch dem additiven Sekundärschutz zugeordnet werden. Andererseits wird die Maßnahme „Auswahl von rutschhemmenden Schuhen“ dem Gestaltungsfeld des „additiven Primärschutzes“ zugeordnet, obwohl im Allgemeinen die Auswahl bzw. das Tragen einer PSA eine individuelle Gestaltungslösung ist. In diesem Fall aber stellt der Schuh sowohl eine PSA als auch einen Teil des ggf. unfallauslösenden Systems dar. Das Gefährdungspotential wird durch Substitution abgesenkt. Der Schutz vor Restgefährdungen bzw. der Schutz vor weiteren Gefährdungen ist gesondert zu betrachten.

### 3 Empirische Analyse des IST-Zustandes

Die Vielfalt der am Markt verfügbaren Fußböden und Schuhe sowie zahlreiche denkbare Bedingungen in Arbeitsbereichen führen zu einer nahezu unendlichen Zahl an möglichen Reibungskombinationen. Um die Zielstellungen dieser Arbeit zu erreichen, ist es notwendig, ein umfassendes, repräsentatives, messtechnisches Abbild von praxisgerechten und real auftretenden Fußboden-Zwischenmedien-Schuh-Kombinationen zu erstellen. Für diese empirischen Untersuchungen sind relevant:

- Eingrenzung und Auswahl der Untersuchungsmaterialien,
- Auswahl von Messtechnik und Messgrößen sowie die Festlegung von Prüfabläufen,
- Erarbeitung eines Konzeptes zur Quantifizierung, Reduzierung und Dokumentation der Messunsicherheit.

#### 3.1 Untersuchungsmaterialien

Die Analyse erfolgt durch Messungen von Fußboden-Schuh-Kombinationen. Variiert werden die Parameter Fußboden und Schuh; die Zwischenmedien werden auf zwei Gleitmittel eingegrenzt. Die Auswahl der Untersuchungsmaterialien erfolgt durch Recherchen, Beratung mit betrieblichen Arbeitsschützern und Experten der Unfallversicherungsträger, Fußboden- und Schuhherstellern und einer Auswertung von Marktdaten.

##### 3.1.1 Fußböden

Es werden insgesamt 90 verschiedene Fußböden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Materialart,
- rutschhemmendes Potential nach R-Gruppen, mit stärkerem Fokus auf den niedrigeren R-Gruppen, da dort das Gefährdungspotential höher ist,
- Bauart und Oberflächeneigenschaften (Profilierung, Rauheit),
- Referenz- und Kalibrierböden normativer Verfahren zur Reibungsmessung.

Tabelle 9 enthält eine Kurzübersicht der Fußböden nach Materialarten, ausgewählter Anzahl und den zugehörigen R-Gruppen sowie eine Übersicht über die absoluten



Anzahlen nach R-Gruppen<sup>22</sup>. Eine Übersicht über alle Fußböden mit Materialbezeichnungen und Kennwerten von normativen Prüfverfahren befindet sich im Anhang 1. Die Fußböden spiegeln ein Abbild der am Markt erhältlichen Materialien und rutschhemmenden Qualitäten von Fußböden für Innen- und Außenbereiche sowie verschiedenste Arbeitsbereiche wider. Daten zu Marktanteilen des Statistischen Bundesamtes sind nur unvollständig verfügbar oder nicht vergleichbar<sup>23</sup>. Zudem sind die statistischen Angaben auf alle gewerblichen und privaten Bereiche bezogen, so dass Aussagen über die Anteile von Bodenbelagsarten in Arbeitsbereichen nicht möglich sind.

Fußbodenart, Material	Anzahl	R-Gruppen	Anzahlen nach R-Gruppen	
			R-	
Keramik	12	R- / R9 / R10 / R11 / R12 / R13	R-	18
Beton (inkl. Gehwegplatten, Betonpflaster)	12	R- / R9 / R10 / R11 / R12 / R13	R9	14
Naturstein (Granit, Marmor, Schiefer, Sandstein)	9	R- / R9 / R10 / R12	R10	21
Textile Beläge, Teppich, Sauberlaufmatten, Aluprofilroste	5	R11 / R12	R11	16
Elastische Böden, Kunststoff, Gummi, Linoleum	13	R- / R9 / R10 / R11	R12	16
Bleche (Stahl, Aluminium)	3	R- / R10 / R11	R13	5
Roste (Stahl, Aluminium, GFK)	6	R9 / R10 / R11 / R12 / R13	<b>Gesamt</b>	<b>90</b>
Holz / Laminat	7	R- / R9 / R10 / R11		
Beschichtungen, PU, Epoxidharz, Bodenfarbe	8	R- / R9 / R10 / R11 / R13		
Glas	2	R- / R11		
Asphalt	1	R13		
Referenz- / Kalibrierböden	12	R- / R9 / R10 / R11 / R12		
<b>Gesamt</b>	<b>90</b>			

**Tabelle 9: Kurzübersicht Bodenbeläge nach Materialien, Anzahlen und R-Gruppen**

Die Bodenbeläge werden wie folgt vorbereitet:

- Verwendung verschiedener Proben und farbliche Kennzeichnung für unterschiedliche Zwischenmedien, Wasser (blau) und Öl (gelb),
- Codierung: F7xx-A (F = Fußboden, 7xx = lfd. Nummer, A = Probennummer),
- Probengröße 40 cm x 100 cm, Möglichkeit der Verwendung für alle Prüfverfahren,
- Festlegung der Prüfrichtung,
- Simulation eines Gebrauchszustandes<sup>24</sup> durch Reibungsmessungen mit einem Sicherheitsschuh.

<sup>22</sup> Die Auswahl erfolgte nach Herstellerangaben, dargestellt sind die gemessenen R-Gruppen, die zum Teil von den Herstellerangaben abweichen.

<sup>23</sup> Beispielsweise werden Beton- und Natursteine in Tonnen und nicht in m<sup>2</sup> angegeben.

<sup>24</sup> Durch Reibungsmessungen verändern sich die Oberflächentexturen der Reibpartner. Insbesondere bei neuen Bodenbelägen ist während der ersten Messungen eine deutliche Änderung der Reibungseigenschaften festzustellen (vgl. Kapitel 4.2.2.2 und Kapitel 4.5).

### 3.1.2 Schuhe

Für die Untersuchungen werden insgesamt 104 Schuhe ausgewählt, die sich auf 48 Sicherheitsschuhe (inkl. Berufsschuhe), 48 Straßenschuhe und 8 Sonderschuhe (Schuhe mit Referenz- und Kalibriermaterialien normativer Reibungsprüfverfahren und Schuhe mit Autoreifen) verteilen. Kriterien für die Schuhauswahl sind:

- Sicherheitsschuhe und Straßenschuhe (Damen-, Herren-, Sportschuhe),
- Laufsohlenmaterial,
- Laufsohlenprofil,
- Laufsohlenhärte,
- Schuhformen (z.B. Absätze).

Material	Sicherheits- / Berufsschuhe	Straßenschuhe	Sonderschuhe
Gummi / synthetisches Gummi	15	17	8
Gummi / TR	0	11	0
Gummi / EVA	2	2	0
Latex / Naturgummi	0	3	0
PU / PE-PU	19	4	0
PVC	3	1	0
TPU	7	1	0
Leder	0	2	0
Mehrere / Sonstige Materialien	2	7	0
<b>Gesamt:</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>8</b>

**Tabelle 10: Kurzübersicht Schuhe nach Laufsohlenmaterialien**

Tabelle 10 beinhaltet eine nach Laufsohlenmaterialien kategorisierte Kurzübersicht der ausgewählten Schuhe. Eine ausführliche Übersicht der untersuchten Schuhe mit Angaben zur Profilierung und Härte sowie den bewerteten<sup>25</sup> Ergebnissen der EG-Baumusterprüfung für Sicherheitsschuhe gem. DIN EN ISO 13287 (2013) ist in Anhang 2 dargestellt.

Die Anzahl der Schuhe pro Material entspricht etwa den Marktanteilen. Für Sicherheitsschuhe sind bezüglich der Marktanteile keine statistischen Daten bekannt und die Verhältnisse beruhen auf Aussagen von Schuhherstellern. Für Straßenschuhe wurden

<sup>25</sup> Grün unterlegt: Mindestanforderungen nach DIN EN ISO 20344 erfüllt, rot unterlegt: Mindestanforderungen nicht erfüllt; verwendet wurde Eurotile 2.

Daten des Statistischen Bundesamtes und des Produktportfolios der Firma Deichmann<sup>26</sup> ausgewertet und in Tabelle 11 zusammengefasst.

Material	Straßenschuhe Deichmann 2008	Statistisches Bundesamt 2008	Straßenschuhe der Untersuchung
Gummi / synthetisches Gummi	47,5%	95,7%	35,4%
Gummi / TR	45,0%		22,9%
Gummi / EVA	0,0%		4,2%
Latex / Naturgummi	0,0%		6,3%
PU / PE-PU	4,1%	1,9%	8,3%
PVC	0,0%		2,1%
TPU	0,6%		2,1%
Leder	1,3%	1,6%	4,2%
Mehrere / Sonstige Materialien	1,5%	0,8%	14,6%
<b>Gesamt:</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

**Tabelle 11: Marktanteile Laufsohlenmaterialien von Straßenschuhen**

Die Schuhprodukte sind in Materialgruppen eingeteilt. Bei Schuhsohlenmaterialien handelt es sich im Regelfall um Compounds von Basispolymeren mit üblicherweise 15 bis 20 Additiven, wie beispielsweise:

- Füll- und Verstärkungsstoffen (z.B. Ruß, Silikate, Glaskugeln),
- Gebrauchsadditive, zur Beeinflussung der Gebrauchseigenschaften (Beständigkeit, Antistatik, Alterungsbeständigkeit),
- Farbmittel,
- Vernetzungschemikalien,
- Verarbeitungsadditive.

Eine Übersicht über die Eigenschaften typischer Basispolymere für Laufsohlen ist in Anhang 3 dargestellt. Die genauen Rezepturen der Laufsohlen sind nicht bekannt, da Hersteller diese Informationen nicht zur Verfügung stellen und eine chemische Analyse sehr aufwendig wäre. Aus diesen Gründen beschränkt sich die Auswertung auf die Angabe der Basispolymere bzw. Materialgruppen (RÜBEKEIL 2011).

Die ausgewählten Schuhe weisen eine große Spannweite an rutschhemmenden Potentialen auf. Abbildung 19<sup>27</sup> zeigt die Ergebnisse der EG-Baumusterprüfung für

<sup>26</sup> Über die Homepage [www.deichmann.de](http://www.deichmann.de) konnten über Filtern nach Laufsohlenmaterialien die jeweiligen Anteile aus dem gesamten Produktangebot (n = 1161 Schuhprodukte) abgelesen und prozentual berechnet werden. Die Funktion steht derzeit nicht mehr zur Verfügung.

Sicherheitsschuhe (angewendet auf 104 Schuhe). Sicherheitsschuhe weisen unter diesen Prüfbedingungen Reibungskoeffizienten zwischen  $\mu = 0,31$  bis  $\mu = 0,77$ , Straßenschuhe zwischen  $\mu = 0,17$  und  $\mu = 0,57$  und Sonderschuhe zwischen  $\mu = 0,28$  und  $\mu = 0,60$  auf.

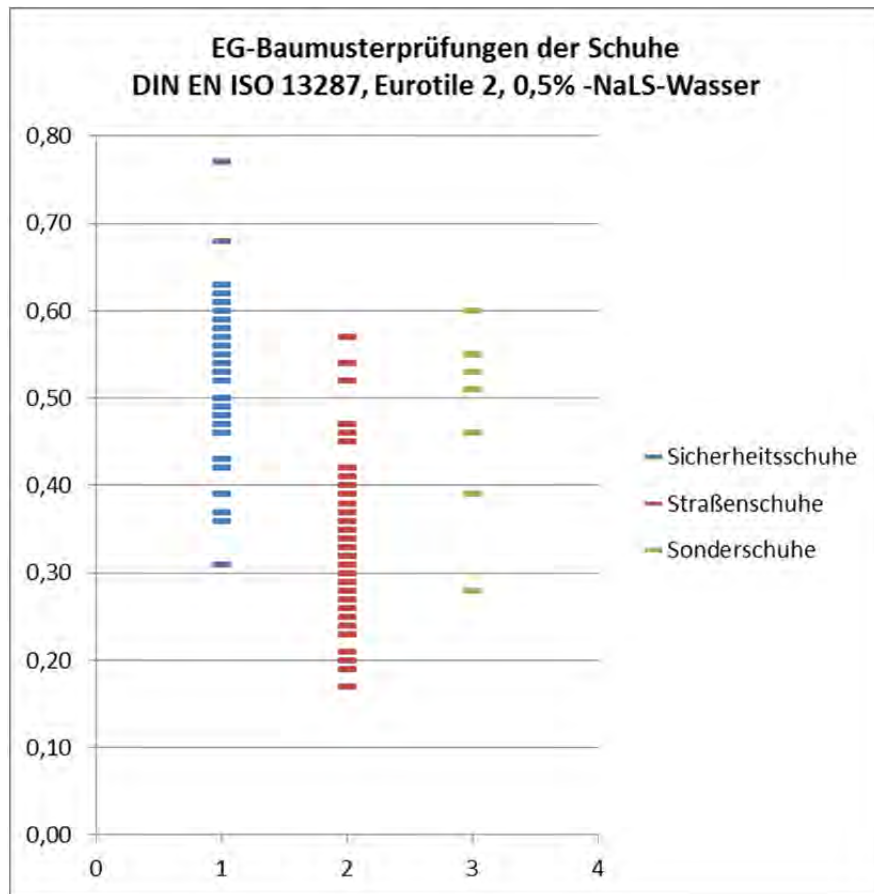


Abbildung 19: Spannweite der rutschhemmenden Eigenschaften der Schuhe

Die Schuhe werden wie folgt vorbereitet:

- Verwendung verschiedener Proben und farbliche Kennzeichnung für unterschiedliche Zwischenmedien, Wasser (blau) und Öl (gelb),
- Codierung: S7xx-A (S = Schuh, 7xx = lfd. Nummer, A=Probennummer),
- Anschliff der Schuhe vor der ersten Messung gem. dem Verfahren der DIN EN ISO 13287 mit Schleifpapier der Körnung SiC 400,
- Adaption für verschiedene Bauformen von Schuhen (vgl. Abbildung 20), für 95% der Schuhe werden „künstliche Füße“ nach den Abmessungen der Norm DIN EN ISO 13287 verwendet.

<sup>27</sup> Unterschiedliche Schuhprodukte haben zum Teil das gleiche Ergebnis, deswegen entspricht die Anzahl der Datenpunkte nicht zwingend der Anzahl der Schuhe.



**Abbildung 20: Beispiele von Adaptern für verschiedene Schuhformen**

Als Sonderschuhe werden Spezialanfertigungen bezeichnet, die nicht als Standard-Schuhe im Handel erhältlich sind. Die Laufsohlen bestehen aus Referenz- und Kalibriermaterialien, die in standardisierten Prüfverfahren für Fußböden und Schuhe eingesetzt werden (vgl. Abbildung 21):

- SBR-Gummi: Standard-Gleitmaterial des Gleitmessgerätes nach DIN 51131 zur Messung von Bodenbelägen, Härte 95 Shore A;
- Slider 96:
  - o Gleitmaterial des Pendelmessgerätes, CEN/TS 16165 und div. Normen zur Messung von Bodenbelägen; Härte IRHD: 96; 48 Shore D,
  - o Standardschuh zur Prüfung von Bodenbelägen mit der Schiefen Ebene und dem Zwischenmedium Wasser nach prEN 15673-1 (zurückgezogen),
  - o Kalibriermaterial zur Überprüfung der Referenzfliese der Schuhprüfung nach DIN EN ISO 13287;
- Slider 55: Gleitmaterial des Pendelmessgerätes, CEN/TS 16165 und div. Normen zur Messung von Bodenbelägen, Härte IRHD: 55; 57 Shore A;
- Prüfschuh Picasso: Referenzschuh zur Prüfung von Bodenbelägen nach DIN 51130 und BGR 181<sup>28</sup>;

<sup>28</sup> Da der Prüfschuh Picasso nicht mehr produziert wird, ist seit 2010 der Prüfschuh Uvex Athletic genormt. Der Prüfschuh Uvex Athletic ist mittlerweile auch nicht mehr im Handel erhältlich. Die aktuelle Version der BGR 181 enthält den Prüfschuh Picasso.

- Prüfschuh Leipzig V73SP<sup>29</sup>: Ersatz für die Prüfschuhe Picasso und Uvex Athletic zur Prüfung von Bodenbelägen, eine neue Version der Norm DIN 51130 befindet sich in Erarbeitung;
- Leipzig V73: Sonderanfertigung in der Sohlenform „Leipzig“ mit der Materialmischung des Prüfschuhs Picasso;
- Autoreifen: Schuhe mit Sohlen aus Sommer- und Winterreifen.



**Abbildung 21: Beispiele für Sonderschuhe**

### 3.1.3 Zwischenmedien

Da in der Praxis eine Vielzahl an flüssigen, gleitfördernden Stoffen auftritt, wurden in Vorversuchen (GUNKEL 2010, HAUSMANN 2011) je ein wässriges und ein öliges Zwischenmedium eruiert. Abbildung 22 zeigt die Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen von je neun wässrigen und viskosen Zwischenmedien. Jeder Wert basiert auf dem Mittelwert von 40 Fußboden-Schuh-Kombinationen.

Als wässriges Zwischenmedium wird 0,1% NaLS-Wasser ausgewählt. Im Vergleich zu anderen wässrigen Zwischenmedien liegt das NaLS-Wasser auf gleichem Niveau, dies bedeutet, dass von einer ähnlichen Gefährdung ausgegangen werden kann. Lediglich höhere Konzentrationen von Seifenzusätzen, die in praktischen Situationen temporär und i.d.R. erkennbar auftreten, zeigen ein höheres Gefährdungspotential. Die geringere Konzentration spiegelt Situationen wider, bei denen sich Nässe mit Resten von

<sup>29</sup> „V73“ steht für Vulka73, Name der Materialmischung, gleiche Rezeptur wie die Laufsohle des Prüfschuhs Picasso; „SP“ steht für Sonderprofil durch Nachbearbeitung der Standardsohlenform „Leipzig“.

Reinigungsmitteln verbindet. Messtechnische Vorteile ergeben sich durch die entspannende Wirkung des NaLS, was zu einem gleichmäßigen Flüssigkeitsfilm während der Prüfung führt.

Als viskoses Zwischenmedium wird Motoröl SAE 10W-30<sup>30</sup> gewählt. Dies stellt im Vergleich mit anderen viskosen und fettigen gleitfördernden Stoffe die kritische Situation dar. Sind Schuhe und Fußböden auf eine solche kritische Situation ausgelegt, kann davon ausgegangen werden, dass die Auswahl auch für andere viskose Stoffe ausreichend ist. Die Verwendung von Glycerin als Alternative wird verworfen, da dessen hygroskopische Wirkung eine erhöhte Messunsicherheit zur Folge hätte. (SEBALD 2007)

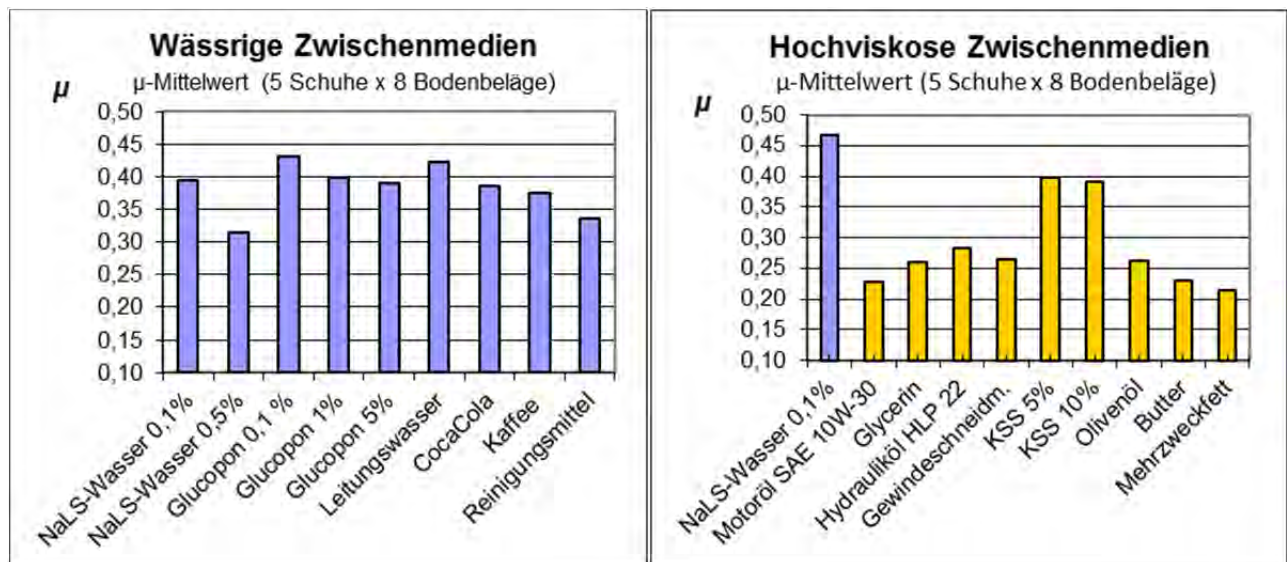


Abbildung 22: Vergleiche von Zwischenmedien [GUNKEL 2010, HAUSMANN 2011]

Im Rahmen der normativen Prüfverfahren kommen die festgelegten Zwischenmedien zum Einsatz (NaLS-Wasser 0,5% und Glycerin gem. DIN EN ISO 13287, sowie Leitungswasser bei Messungen mit dem Pendelmessgerät gem. CEN/TS 16165).

### 3.1.4 Umgebungsbedingungen

Die Untersuchungen werden bei einer Raumtemperatur von  $23 \pm 2$  °C durchgeführt. Temperatureinflüsse durch sehr warme oder kalte Arbeitsbereiche werden in den Untersuchungen nicht betrachtet.

<sup>30</sup> Genormtes Prüfmedium der DIN 51130 und CEN/TS 16165.

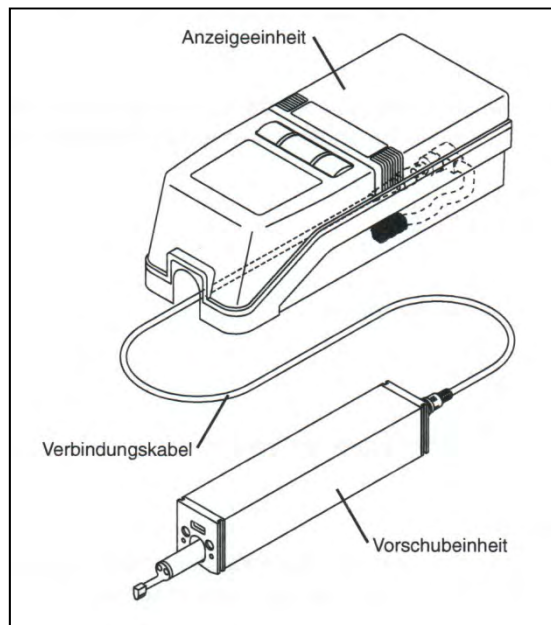
## 3.2 Auswahl von Messtechnik und Festlegung von Prüfabläufen

### 3.2.1 Messung produktbezogener Parameter der Fußböden

Neben der Materialart der untersuchten Fußböden werden weitere Messungen von produktbezogenen Parametern durchgeführt, die im Zusammenhang mit dem rutschhemmenden Potential von Fußböden stehen.

#### Oberflächenrauheit

Die Mikrostruktur der Bodenbeläge wird mit dem Tastschnittgerät Mitutoyo SJ-201 ermittelt (vgl. Abbildung 23). Eine Nadel mit kegelförmiger Diamantspitze (Durchmesser = 5  $\mu\text{m}$ ) wird über das Prüfobjekt gezogen und nimmt die Höhenunterschiede im Mikrometerbereich auf.



**Abbildung 23: Rauheitsmessgerät  
Mitutoyo SJ-201 [MITUTOYO 2007]**

Die untersuchten Fußböden weisen eine hohe Bandbreite an Oberflächenrauheiten auf, die nach normativen Empfehlungen mit unterschiedlichen Tastspitzen, Geräteeinstellungen und Filtern gemessen werden sollten. In der Konsequenz wären die Messergebnisse nicht vergleichbar. Aus diesem Grund werden die folgenden Einstellungen verwendet, die zwar einen Kompromiss darstellen, aber die Vergleichbarkeit der Produkte gewährleisten:

- Tastspitze mit dem Radius 5  $\mu\text{m}$  und einem Kegelwinkel von 90°,
- Einzelmessstrecke und Grenzwellenlänge  $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$ ,



- Gesamtmessstrecke als 5-fache Einzelmessstrecke, folglich 4 mm,
- Profilter gem. DIN EN ISO 11562 für die Kenngrößen nach DIN EN ISO 4287,
- Profilter gem. DIN EN ISO 13565-1 für die Kenngrößen nach DIN EN ISO 13565-2.

Die Ermittlung<sup>31</sup> der insgesamt 22 Kenngrößen des Primär- und Rauheitsprofils nach DIN EN ISO 4287 und DIN EN ISO 13565-2 erfolgt an zehn Messstellen in zwei Prüfrichtungen und durch Mittelung der Einzelmesswerte. Eine Übersicht der Kennwerte ist in Anhang 4 dargestellt. Ein Teil der untersuchten Bodenbeläge weist eine Strukturierung oder Profilierung auf, die eine Messung der Oberflächenrauheit mit dem Tastschnittverfahren nicht ermöglichen. Eine Aussage über die Oberflächenstruktur kann hier alternativ durch die Messung der Ausflusszeit erfolgen.

### Ausflusszeit

Das Ausflussmessgerät<sup>32</sup> (vgl. Abbildung 24) nach DIN EN 13036-3 ist eine zylindrische Röhre, die mit einer kalibrierten Gummilippe auf den Bodenbelag gestellt wird. Die Röhre wird mit Wasser gefüllt und die Zeit in Sekunden (s) gestoppt, die das Wasser benötigt, um aus der Röhre auszulaufen (Höhenverlust zwischen zwei Markierungen). Die Ausflusszeit hängt von der Mikro- und Makrorauheit des Fußbodens ab. Je niedriger die Ausflusszeit, desto höher ist die Oberflächenrauheit oder Strukturierung des Bodens.



**Abbildung 24:**  
**Ausflussmessgerät**

### Reibung

Den produktbezogenen Parametern von Fußböden zu zuordnen sind auch die Ergebnisse der normativen Prüfungen des rutschhemmenden Potentials nach den beschriebenen Normen und Prüfverfahren. Tabelle 12 enthält eine Übersicht über die durchgeführten normativen Prüfungen mit den entsprechenden Parametern. Zusätzlich zu den normativen Gleitern wurden weitere Gleitermaterialien verwendet, die im Laufe der Untersuchungen als potentielle Referenzmaterialien für die Fußbodenprüfung ermittelt wurden.

<sup>31</sup> Ein Teil der Kenngrößen wird durch die Auswerteeinheit des Messgerätes ermittelt, der zweite Teil durch Berechnung aus den aufgenommenen Rohdaten.

<sup>32</sup> Wird auch als „Ausflussmesser nach Moore“ bezeichnet.

Prüfverfahren	Begehungsverfahren Schiefe Ebene				Gleitmessgerät			Pendelmessgerät	
Kurzzeichen	SE_Norm_51130	SE_Wasser_S96	SE_Wasser_SBR	SE_Wasser_StarLP	GMG_SBR	GMG_Wasser_StarLP	GMG_Öl_V73	Pendel_S55	Pendel_S96
Prüfgegenstand	Fußböden (alle Arten)	Fußböden (alle Arten)	Fußböden (alle Arten)	Fußböden (alle Arten)	Fußböden (eingeschränkt bei starken Profilierungen)	Fußböden (eingeschränkt bei starken Profilierungen)	Fußböden (eingeschränkt bei starken Profilierungen)	Fußböden (eingeschränkt bei starken Profilierungen)	Fußböden (eingeschränkt bei starken Profilierungen)
Norm	DIN 51130	prEN 15673-1 (zurückgezogen)	-	-	DIN 51131	in Anlehnung an DIN 51131	in Anlehnung an DIN 51131	DIN CEN/TS 16165	DIN CEN/TS 16165
Prüfgröße	Akzeptanzwinkel (Grenze des sicheren Gehens)	Akzeptanzwinkel* (Grenze des sicheren Gehens)	Akzeptanzwinkel* (Grenze des sicheren Gehens)	Akzeptanzwinkel* (Grenze des sicheren Gehens)	Gleitreibungskoeffizient	Gleitreibungskoeffizient	Gleitreibungskoeffizient	SRV* (Gleitreibung)	SRV* (Gleitreibung)
Zwischenmedium	Motorenöl SAE 10W-30	0,1% NaLS-Wasser	0,1% NaLS-Wasser	0,1% NaLS-Wasser	0,1% NaLS-Wasser	0,1% NaLS-Wasser	Motorenöl SAE 10W-30	Trinkwasser	Trinkwasser
Schuh/ Gleitermaterial	Schuhe "Picasso"	Schuhe mit Sohle Slider96	Schuhe mit Sohle SBR-Gummi	Schuhe mit Sohle StarLP	SBR-Gummi	StarLP	Vulka 73	Slider 55	Slider 96
Härte Sohle / Gleiter	73 Shore A	96 Shore A	95 Shore A	80 Shore A	95 Shore A	80 Shore A	73 Shore A	55 Shore A	96 Shore A
Flächendruck	≈ 10 bis 20 N/cm <sup>2</sup>	≈ 5 bis 10 N/cm <sup>2</sup>	≈ 5 bis 10 N/cm <sup>2</sup>	≈ 4 bis 8 N/cm <sup>2</sup>	(9 ± 1) N/cm <sup>2</sup>	(9 ± 1) N/cm <sup>2</sup>	(9 ± 1) N/cm <sup>2</sup>	≈ 10 bis 30 N/cm <sup>2</sup>	≈ 10 bis 30 N/cm <sup>2</sup>
Gleitgeschwindigkeit	-	-	-	-	0,2 bis 0,25 m/s	0,2 bis 0,25 m/s	0,2 bis 0,25 m/s	2,8 m/s	2,8 m/s
Anzahl Messungen	2 Prüfpersonen x 3 Messungen	2 Prüfpersonen x 3 Messungen	2 Prüfpersonen x 3 Messungen	2 Prüfpersonen x 3 Messungen	3 Messreihen x 5 Messungen	3 Messreihen x 5 Messungen	3 Messreihen x 5 Messungen	4 Messreihen x 10 Messungen	4 Messreihen x 10 Messungen

\* Messergebnisse in Gleitreibungskoeffizienten umgerechnet

**Tabelle 12: Übersicht der produktbezogenen Reibungsprüfungen von Fußböden**

### 3.2.2 Messung produktbezogener Parameter der Schuhe

Neben der Bestimmung der Materialart der untersuchten Schuhe werden Messungen produktbezogener Parameter durchgeführt, die im Zusammenhang mit dem rutschhemmenden Potential stehen.

#### Oberflächenrauheit

Die Ermittlung der Rauheitskennwerte von Schuhsohlen erfolgt analog zu den Rauheitsmessungen der Fußböden.

#### Profiltiefe

Die maximale Profiltiefe in mm der Laufsohle wird mit einem Messschieber ermittelt.

#### Kontaktfläche

Die Kontaktfläche zwischen Schuhsohle und Bodenbelag ist abhängig von der Profilierung. Durch EDV-Auswertung von Sohlenabdrücken wird die Kontaktfläche prozentual in Abhängigkeit von der Fläche der vollständigen Sohle ermittelt. Zusätzlich wird durch Sohlenabdrücke die Kontaktfläche während der Messung mit dem Fußboden- und Schuhtester ermittelt.

## Härte

Die Eindruckhärte der Laufsohlen wird mit einem Durometer gem. DIN EN ISO 868 gemessen und als Shore A bzw. Shore D-Härte angegeben.

## Reibung

Das rutschhemmende Potential der Schuhe wird gem. der EG-Baumusterprüfung für Sicherheitsschuhe nach DIN EN ISO 13287 gemessen. Tabelle 13 zeigt die Übersicht über die durchgeführten Prüfungen. Als Referenzmaterialien kommen die Keramikfliesen nach der aktuellen (02/2013) und vorherigen Normversion zum Einsatz (Eurotile 1 und 2).

Prüfverfahren	Maschinelle Schuhprüfmaschine / Fußboden- und Schuhtester					
Kurzzeichen	ISO_13287_E1_0	ISO_13287_E1_7	ISO_13287_E2_0	ISO_13287_E2_7	ISO_13287_St_0	ISO_13287_St_7
Prüfgegenstand	Schuhe					
Norm	DIN EN ISO 13287					
Prüfgröße	Gleitreibungskoeffizient					
Zwischenmedium	0,5% NaLS-Wasser				Glycerin	
Referenzboden	Keramikfliese Eurotile 1	Keramikfliese Eurotile 1	Keramikfliese Eurotile 2	Keramikfliese Eurotile 2	Stahlboden	Stahlboden
Winkelstellung	0° - flach	+7° - Ferse	0° - flach	+7° - Ferse	0° - flach	+7° - Ferse
Vorbereiten der Sohle / Gleiter	Schleifpapier SiC400					
Last	500 ( $\pm 25$ ) N					
Gleitgeschwindigkeit	0,3 m/s					
Gleitstrecke	ca. 0,3 m					
Kalibrierung	Slider 96				Rauheitsmessung	
Vorbereitung Prüfgegenstand	Reinigung mit 50/50% Ethanol-Wasser-Lösung					
Anzahl Messungen	1 Messreihe x 5 Messungen					

**Tabelle 13: Übersicht über die produktbezogenen Reibungsmessungen von Schuhen**

### 3.2.3 Kombinierte Fußboden-Schuh-Messung

Kern der Untersuchungen sind Messungen der Reibungskoeffizienten von Fußboden-Zwischenmedien-Schuh-Kombinationen, die ein messtechnisches Abbild von der Vielfalt der in Praxissituationen auftretenden Situationen liefern. Durch Messung der ausgewählten Produkte (vgl. Kapitel 3.1) werden insgesamt 17734 Messwerte<sup>33</sup> ermittelt.

#### 3.2.3.1 Auswahl der Messtechnik

Voraussetzung für aussagekräftige Ergebnisse ist ein objektives, reliables und valides Messverfahren. Die Reibungsmessungen werden zum Großteil mit dem Fußboden- und Schuhtester durchgeführt:

<sup>33</sup> Zwischenmedium Wasser: 83 Fußböden x 104 Schuhe (Schuhtester) + 6 Fußböden x 31 Schuhe (Schiefe Ebene), gesamt 8818 Kombinationen | Zwischenmedium Öl: 84 Fußböden x 104 Schuhe (Schuhtester) + 6 Fußböden x 30 Schuhe (Schiefe Ebene), gesamt 8916 Kombinationen | insgesamt 17734 Kombinationen

- Die Objektivität des Messverfahrens ist dadurch gegeben, dass Messung und Auswertung maschinell und automatisiert ablaufen. Einflüsse des Bedieners sind unter der Voraussetzung ausgeschlossen, dass die Proben korrekt installiert werden und das Zwischenmedium in vergleichbarer Menge und Verteilung aufgebracht wird.
- Die Reliabilität des Fußboden- und Schuhtesters wird durch Vergleichsmessungen mit einer externen Präzisions-Kraftmessplattform gewährleistet. Analysen im Zuge der Konstruktion und Inbetriebnahme des FST im „Labor Wuppertal“<sup>34</sup> haben eine hohe Übereinstimmung gezeigt. Es ist daher davon auszugehen, dass die Prüfmaschine präzise misst.<sup>35</sup>
- Vollständige Validität kann mit keinem derzeit verfügbaren Reibungsmessgerät zur Messung von Fußböden und Schuhen erreicht werden. Fraglich ist zudem, ob dies prinzipiell möglich ist. Das Begehungsverfahren der Schiefen Ebene ist insofern valide, als dass eine Prüfperson direkt eine praktische Prüfkombination testet. Die kurzen Schritte der Gangart während der Messung weichen von anderen menschlichen Gangarten (z.B. dem ebenen Geradeausgang) ab. Denkbar wäre auch ein personenbezogenes Verfahren, bei dem eine gehende Person mit der zu testenden Prüfkombination auf einer Kraftmessplattform ein Ausgleiten erzwingen muss. Neben mangelnder Objektivität weist diesen Verfahren den Nachteil auf, dass der Anforderungsquotient in Abhängigkeit des Reibungssystems erhöht sein muss, um die maximale Reibung zu ermitteln. Bewusst erzeugte hohe Anforderungsquotienten können nur durch vom Normalen abweichende Gangarten erreicht werden und stellen damit die Validität in Frage.

Der Fußboden- und Schuhtester mit den Prüfparameter der entsprechenden Norm DIN EN ISO 13287 verwendet komplette Schuhe und Fußböden, die Gewichtskraft und somit die Flächenpressung<sup>36</sup> sind mit  $F_G = 500\text{N}$  dem menschlichen Gang ähnlich und die Gleitgeschwindigkeit von  $v = 0,3\text{ m/s}$  entspricht der

---

<sup>34</sup> Labor für Tribologie des Fachgebietes Sicherheitstechnik / Arbeitssicherheit der Bergischen Universität Wuppertal

<sup>35</sup> Die Wiederholbarkeit von Messungen gleicher Proben ist nicht gewährleistet. Dieser Sachverhalt ist nicht auf die Präzision und Reliabilität der Prüfmaschine zurückzuführen, sondern auf Veränderungen der Produktproben, insbesondere Verschleißerscheinungen während der Messung, so dass nach Ende einer Messung ein anderer Ausgangszustand für eine Wiederholungsmessung gegeben ist.

<sup>36</sup> Nach FISCHER 2005 beträgt die durchschnittliche Vertikalkraft bei  $F_V = 400\text{N}$  und liegt in einem Bereich von  $F_{V\min} = 350\text{N}$  bis  $F_{V\max} = 600\text{N}$  (kann bei leichten oder schweren Personen variieren)

Aufsetzgeschwindigkeit des Fußes<sup>37</sup>. Gewählt wird die Prüfstellung 0° bzw. „ebenes Vorwärtsgleiten der Sohle“, was zudem den Einfluss von Laufsohlenprofilen berücksichtigt. In Hinblick auf die Bewertung der Ergebnisse bezüglich der Gefährdung durch Ausgleiten – also den Vergleich von Reibungswerten des Reibungssystems mit Grenzwerten, die aus dem menschlichen Gang abgeleitet sind – ist der FST als valides Messsystem anzusehen.

Des Weiteren spricht die Dauer einer Messung für den FST. Im Vergleich zum Begehungsverfahren der Schiefen Ebene dauert die Messung einer Kombination mit dem FST nur ca. 15% der Zeit.

Der FST ist nicht für alle Bodenbelagsarten geeignet. Stark profilierte oder strukturierte Fußböden<sup>38</sup> könnten prinzipiell gemessen werden, zerstören aber sichtbar die Laufsohlen der Schuhe. Sechs Fußböden der Untersuchung (1 x R10, 2 x R12, 3 x R13) werden deshalb ersatzweise mit der Schiefen Ebene in Kombination mit einer Auswahl von 30 Sicherheits- und Straßenschuhen gemessen.

### **3.2.3.2 Festlegung von Prüfabläufen**

Die Messung einer Fußboden-Schuh-Kombination wird nach DIN EN ISO 13287 durchgeführt und als Mittelwert von fünf Einzelmessungen angegeben. Weisen die fünf Einzelmessungen ein systematisches Änderungsmuster oder eine erhöhte Standardabweichung auf, wird die Messung wiederholt und der niedrigere Wert verwendet.

Eine Messreihe erfolgt mit einem Fußboden, auf dem alle Schuhe nacheinander geprüft werden. Den schematischen Ablauf einer Messreihe zeigt Abbildung 25<sup>39</sup>. Zu Beginn und zwischen den Schuhwechseln werden Messungen nach der HML-Methode<sup>40</sup> von SEBALD durchgeführt. Dies sind Kontrollmessungen mit vier Schuhen, die hohe, mittlere und niedrige rutschhemmende Eigenschaften aufweisen und insgesamt sieben Mal, verteilt über die Messreihe, erfolgen. Verschleißerscheinungen des Fußbodens werden

---

<sup>37</sup> Nach Untersuchungen von FISCHER 2005 werden zwei Gangtypen unterschieden. Gangtyp A (73% der untersuchten Gruppe) weist ein Häufigkeitsmaximum bei einer Aufsetzgeschwindigkeit von  $v = 20 \dots 30$  cm/s auf. Gangtyp B (27% der untersuchten Gruppe) weist ein Häufigkeitsmaximum bei einer Aufsetzgeschwindigkeit von  $v = 70$  cm/s auf. Die ermittelten Standardabweichungen liegen zwischen 40% und 200%. Eine verwertbare Gleitreibung kommt erst ab einer Geschwindigkeit von  $v \approx 15$  cm/s zu Stande. FISCHER schließt daraus, dass eine erhöhte Prüfgeschwindigkeit bei erhöhten Anforderungen wie schnellem Gehen verwendet werden sollte.

<sup>38</sup> Beispiele sind Gitterroste mit gezahnten Oberflächen, Asphalt, scharfkantige Einstreuungen

<sup>39</sup> Abbildung 25 zeigt die Prüfung von 100 Schuhen, die 4 HML-Schuhe werden in die Auswertung einbezogen, so dass die Gesamtanzahl der Schuhe 104 beträgt.

<sup>40</sup> H = high, M = middle, L = low

dokumentiert und die Messunsicherheit einer Messreihe quantifiziert. Die Reihenfolge der Schuhe ist innerhalb jeder Messreihe identisch. Um Produkte aufgrund ihrer Position in der Prüfreihefolge nicht zu begünstigen oder zu benachteiligen, wird auf Basis der HML-Messungen eine rechnerische Korrektur auf einen mittleren Verschleißzustand vorgenommen (vgl. Kapitel 4.2.3). Der Fußboden wird nach der Messung von 10 – 14 Schuhen gereinigt und das Zwischenmedium erneuert, damit ggf. Abrieb von Schuhen entfernt und eine Aufkonzentration des Zwischenmediums vermieden wird.

Es ist damit zu rechnen, dass sich die Oberflächen der Schuhe durch die Messungen verändern. Die Reihenfolge der Fußböden ist so festgelegt, dass die Bodenbeläge bezüglich der Oberflächen, Rauheit, Struktur und Materialart alternierend auftreten. Diese Folge reduziert kontinuierliche Aufrau- oder Poliereffekte der Schuhsohlen und repräsentiert in der Gesamtsicht einen realistischen Prüfablauf, da auch in Praxissituationen nacheinander verschiedene Bodenbeläge begangen werden.

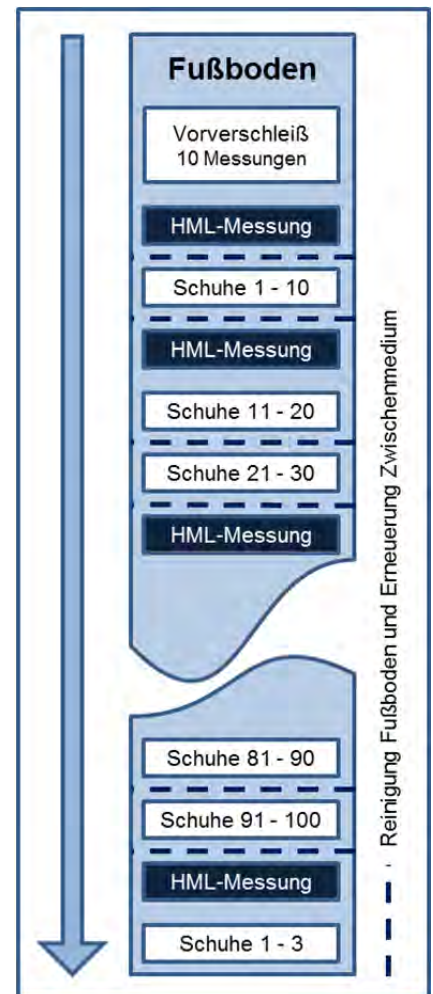


Abbildung 25: Ablauf Messreihe

### 3.3 Messunsicherheit

#### 3.3.1 Arten von Messunsicherheiten

Die verwendeten Reibungsprüfverfahren und die durchgeführten Messungen weisen Messunsicherheiten auf, für die verschiedene Komponenten ursächlich sein können:

- verfahrensinhärente Messunsicherheiten, die aus den technischen Systemen wie beispielsweise den Kraftaufnehmern, mechanischen Reibungsverlusten, Filterung und Berechnung der Daten entstehen können.

Bei richtigem Gebrauch und regelmäßiger Überprüfung der Messsysteme ist diese Messunsicherheit vernachlässigbar gering.

- benutzerbedingte Messunsicherheiten, die aus falschen Einstellungen, Justierungen und falscher Bedienung der Messsysteme resultieren können. Als

Beispiele sind die Justierung des Aufsetzwinkels beim FST, die Einstellung der Reibstrecke beim Pendelmessgerät und falsches oder unterschiedliches Anschleifen von Gleitermaterialien zu nennen.

Die Messungen im „Labor Wuppertal“ werden – soweit vorhanden – nach normativen Vorgaben durchgeführt und, falls diese nicht vorhanden oder nicht ausreichend spezifiziert sind, nach Labor-internen Regelungen durchgeführt.

- umgebungsbedingte Messunsicherheiten, die durch unterschiedliche klimatische Bedingungen entstehen können, bspw. Temperatur- oder Luftfeuchtigkeitschwankungen.

Die Untersuchungen wurden bei konstanten Umgebungsbedingungen durchgeführt.

- referenzmaterialbedingte Messunsicherheit, die im Rahmen von normativen Produktprüfungen auf Schwankungen der Referenzböden oder Referenzschuhe und -gleiter rückführbar sind.

Die Referenzmaterialien wurden mit den entsprechenden normativen Kalibriermaterialien überprüft und ggf. erneuert.

- produktbedingte Messunsicherheit, die von Schwankungen der rutschhemmenden Eigenschaften innerhalb oder zwischen Produktionschargen herrührt.
- systematische Messunsicherheit, die auf Verschleißerscheinungen bzw. Änderungen der untersuchten Proben – bedingt durch die Messung selbst – zurückzuführen ist.

### **3.3.2 Konzept zur Ermittlung der Messunsicherheit**

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf produktbedingter und systematischer Messunsicherheit. Die anderen Einflussfaktoren zur Messunsicherheit wurden, wie oben beschrieben, möglichst gering gehalten. Die Ergebnisse der Ermittlung von Messunsicherheiten werden in Kapitel 4.2 dargestellt.

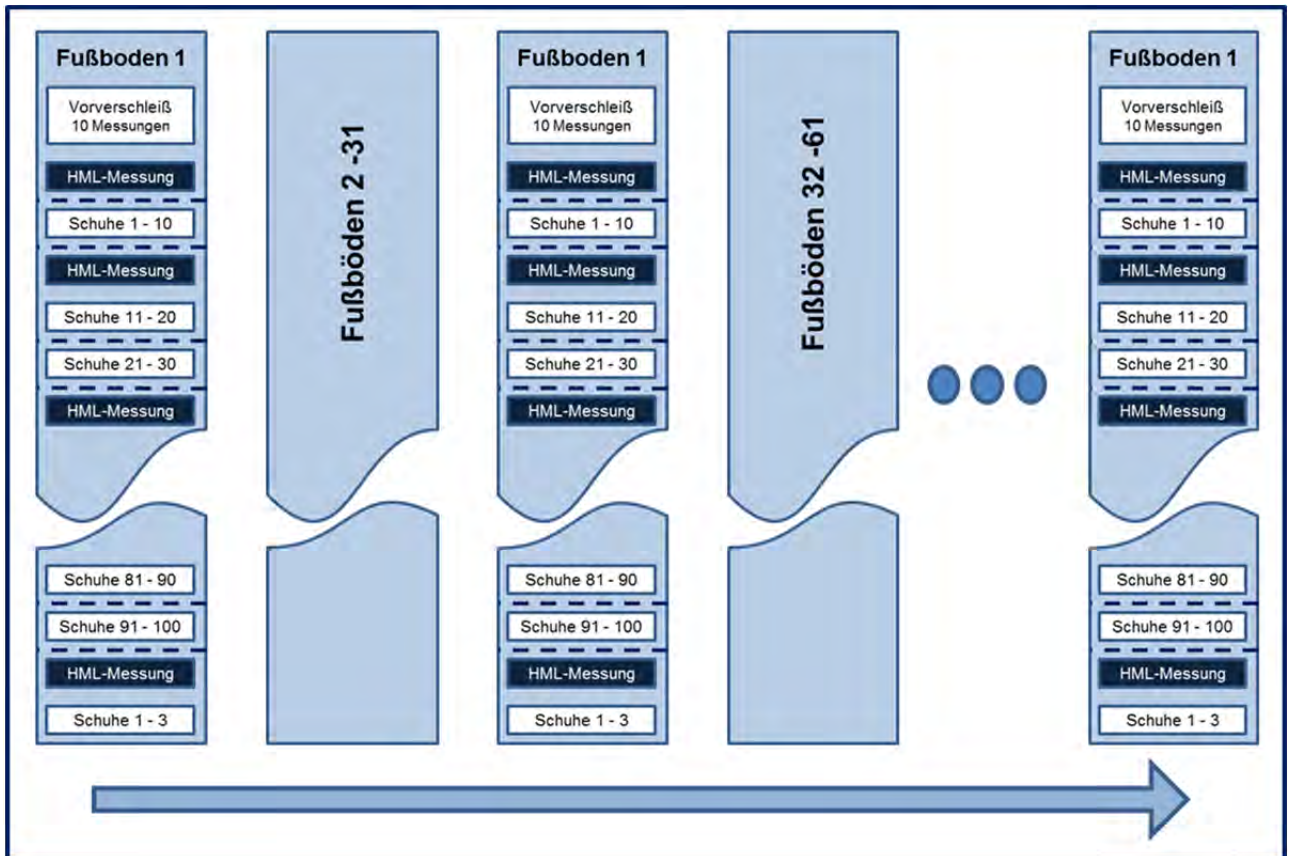
#### Ermittlung von Produktschwankungen

Die Prüfung der unterschiedlichen Proben eines Fußbodens erfolgt mit dem GMG unter den Bedingungen der zugehörigen Norm DIN 51131.

Die Schuhproben werden mit dem FST nach DIN EN ISO 13287 geprüft. Die Schuhe unterschiedlicher Paare werden direkt nacheinander gemessen, um Veränderungen des Referenzbodens weitestgehend auszuschließen.

### Ermittlung von systematischen Veränderungen durch die Messung

Sowohl Fußböden als auch Schuhe verändern sich nicht nur im praktischen Gebrauch, sondern auch durch die Reibungsmessung. Die Veränderung eines Fußbodens während einer Messreihe wird mit der beschriebenen HML-Methode ermittelt.



**Abbildung 26: Reihenfolge der Messreihen und Kontrollmessungen der Schuhe**

Die Veränderung der Schuhe wird zum einen durch die Reihenfolge der Fußböden (Messreihen) möglichst gering gehalten, zum anderen dadurch dokumentiert, dass nach ca. 30 untersuchten Fußböden die erste Messreihe wiederholt wird (vgl. Abbildung 26). Dies ermöglicht, die systematische Veränderung der Schuhe durch die Messreihen zu dokumentieren. Dabei ist zu beachten, dass sich die Verschleißerscheinungen von Fußböden und Schuhen überlagern.



## 4 Bewertung und Auswertung der Ergebnisse

Dieses Kapitel beinhaltet die Bewertung und Auswertung der empirisch gewonnenen Daten. Es werden Aussagen über die Gefährdung des Ausgleitens (exposition) in praktischen Situationen sowie über die praxisgerechte Bewertung des Gefährdungspotentials (hazard) von Fußboden- und Schuhprodukten getroffen. Zuvor werden die verwendeten statistischen Analysemethoden erläutert und die Messunsicherheit der Ergebnisse betrachtet.

### 4.1 Statistische Grundlagen zur Auswertung

#### 4.1.1 Deskriptive Statistik

Umfangreiche Messdaten lassen sich durch deskriptive Statistik zusammenfassen und charakterisieren. Insbesondere finden als Lagemaße das arithmetische Mittel (auch Mittelwert, durchschnittlicher Wert) und die Standardabweichung Anwendung.

Arithmetisches Mittel

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{F. 8})$$

Standardabweichung

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{F. 9})$$

(HARTUNG 1998)

#### 4.1.2 Univariate Korrelations- und Regressionsrechnung

Die Korrelations- und Regressionsrechnung dient dem Zweck, qualitative und quantitative Zusammenhänge zwischen verschiedenen Merkmalen zu beschreiben. Univariat bedeutet, dass der Zusammenhang eines Merkmales mit *einem* anderen Merkmal analysiert wird. Diese Modelle werden insbesondere zur Analyse linearer Zusammenhänge unterschiedlicher Messreihen und Rangfolgen verwendet.

Der Grad der Abhängigkeit bzw. der lineare Zusammenhang einer Messreihe X mit den Ausprägungen  $x_1 \dots x_n$  und einer Messreihe Y mit den Ausprägungen  $y_1 \dots y_n$  kann mit dem Pearsonschen Korrelationskoeffizienten  $r_{xy}$  geschätzt werden. Dieser nimmt Werte

zwischen  $r_{xy} = -1$  (vollständige negative Korrelation) und  $r_{xy} = 1$  (vollständige positive Korrelation) an. Ist  $r_{xy} = 0$ , besteht kein Zusammenhang zwischen den Messreihen.

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2)}} \quad (\text{F. 10})$$

Mit einem Korrelationstest auf Basis der t-Verteilung wird unter Berücksichtigung der Anzahl der korrelierten Werte ( $n$ ) und der Irrtumswahrscheinlichkeit ( $\beta$ ) die Signifikanz des Korrelationskoeffizienten bestimmt.

$$\left| \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} \right| \geq t_{n-2; 1-\frac{\beta}{2}} \quad (\text{F. 11})$$

Die Regressionsanalyse stellt den quantitativen Zusammenhang zwischen den Werten zweier Messreihen  $x_k$  und  $y_k$  in einem Modell dar. Einen linearen Zusammenhang beschreibt bei der univariaten Regressionsrechnung eine Regressionsgerade mit der Geradengleichung

$$y(x) = a + bx \quad (\text{F. 12})$$

unter Berücksichtigung der Signifikanz. Die Auswertungen gebrauchem das von SEBALD umgesetzte Umrechnungsmodell zur Berechnung und Darstellung der Regressionsgeraden, Konfidenz- und Prognoseintervallen:

„Schätzwert für die Steigung der Regressionsgeraden ( $b$ ):

$$b = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (\text{F. 13})$$

Schätzwert für den y-Achsenabschnitt der Regressionsgeraden:

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (\text{F. 14})$$

Standardabweichung  $s_{xy}$  der Werte von der Regressionsgeraden:

$$s_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{k=1}^n (y_k - a - b \cdot x_k)^2} \quad (\text{F. 15})$$

Der untere und obere Konfidenzstreifen (K.-Streifen)  $[a + b \cdot x_0 - C; a + b \cdot x_0 + C]$  geben unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit  $P(1 - \beta)$  den Vertrauensbereich für die ‚wahre‘ Regression an:

$$C = s_{xy} \cdot t_{n-2; 1-\frac{\beta}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}} \quad (\text{F. 16})$$

Der untere und obere Prognosestreifen (P.-Streifen)  $[a + b \cdot x_0 - D; a + b \cdot x_0 + D]$  geben unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit  $P(1 - \beta)$  den Bereich an, in dem an der Stelle  $x_0$  der y-Wert zu erwarten ist.

$$D = s_{xy} \cdot t_{n-2; 1-\frac{\beta}{2}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}} \quad (\text{F. 17})$$

Der Prognosestreifen verbreitert sich mit der Annäherung des Korrelationskoeffizienten an 0 bzw. bei einer hohen Standardabweichung der Werte von der Regressionsgeraden.“ [SEBALD 2007] Ein Beispiel für das Umrechnungsmodell ist in Abbildung 27 dargestellt.

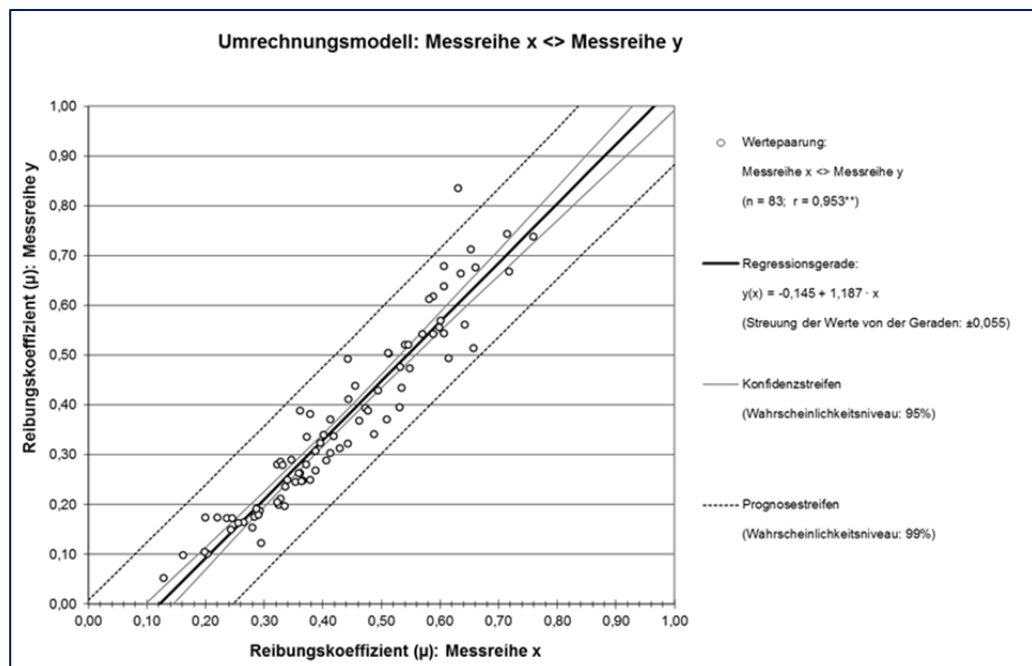


Abbildung 27: Beispiel Umrechnungsmodell (nach SEBALD 2007)

### 4.1.3 Multivariate Korrelations- und Regressionsrechnung

Mittels multivariater Korrelations- und Regressionsrechnung werden quantitative und qualitative funktionale Zusammenhänge eruiert und Abhängigkeiten eines Merkmals von *mehreren* anderen Merkmalen ermittelt. Zur Anwendung kommt diese statistische Methode, um lineare Anhängigkeiten des Reibungssystems von mehreren Einflussfaktoren, insbesondere dem Gefährdungspotential von Fußböden und Schuhen, zu ermitteln, zu quantifizieren und zu prognostizieren. Unter der Berücksichtigung der Literatur von HARTUNG (HARTUNG 1998 und HARTUNG 1999) wird die Vorgehensweise nach BACKHAUS ET.AL. 2011 gewählt und im Folgenden vorgestellt. Die Regressionsanalyse gliedert sich in fünf Ablaufschritte (vgl. Abbildung 28). Die Berechnungen zur multivariaten Regressionsanalyse werden mit der Software IBM SPSS Statistics<sup>41</sup> durchgeführt.



Abbildung 28: Ablaufschritte der multivariaten Regressionsanalyse [nach BACKHAUS ET.AL. 2011]

#### 4.1.3.1 Modellformulierung

Im ersten Schritt wird aufgrund von fachlichen Überlegungen ein Regressionsmodell entworfen. Aussagekraft erhält ein beschreibendes Modell erst, wenn die untersuchten Größen auch einen inhaltlichen Ursache-Wirkung-Zusammenhang vermuten lassen. Andernfalls erhält man eine Nonsens-Korrelation<sup>42</sup>, die zwar statistisch berechenbar ist, aber keine Interpretation zulässt.

<sup>41</sup> IBM SPSS Statistics in den Versionen 19, 20 und 21

<sup>42</sup> Beispiel für eine Nonsens-Korrelation: Nicht gegebener Zusammenhang zwischen der Storchpopulation und der Geburtenrate von Menschen, trotz vorhandener Korrelation beider Größen (HARTUNG 1998).

Das Modell sollte die Zusammenhänge möglichst vollständig beschreiben. Die relevanten Einflussgrößen, von denen eine Abhängigkeit der Zielgröße vermutet wird, sollten in das Modell aufgenommen werden.

#### 4.1.3.2 Die Schätzung der Regressionsfunktion

Die univariate Regressionsrechnung beschreibt die lineare Abhängigkeit des Merkmals Y vom Merkmal X durch eine lineare Funktion resp. eine Geradengleichung. Ist eine Zielgröße von mehreren unabhängigen Variablen bzw. Merkmalen  $X_j$  linear abhängig, wird der Ansatz der Geradengleichung um die entsprechende Zahl an Variablen mit zugehörigem Koeffizienten erweitert (vgl. Formel (F. 18)). Daraus folgt die Schätzfunktion für die multiple Regression. Die Verwendung von zwei unabhängigen Variablen kann als Ebene im Raum visualisiert werden. Weitere unabhängige Variablen lassen sich grafisch nicht mehr anschaulich darstellen.

$$\hat{Y} = b_t + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_jx_j + b_jx_j \quad (\text{F. 18})$$

Die Ermittlung der Regressionskoeffizienten  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_j$  erfolgt aus empirisch ermittelten Beobachtungen, für die jeweils die Ausprägungen der unabhängigen Variablen  $x_1, x_2, \dots, x_j$  und der zugehörige y-Wert bekannt sein müssen. Mittels der „Methode der kleinsten Quadrate“ wird die Zielfunktion (vgl. Formel (F. 19)) so gewählt, dass die Summe der quadratischen Abweichungen, auch Residuen oder Residualgröße  $e_k$  genannt, zwischen den Beobachtungswerten und den errechneten Regressionswerten gering wird. Dies ist durch das Lösen rechenaufwendiger, linearer Gleichungssysteme möglich.

$$\sum_{k=1}^K e_k^2 = \sum_{k=1}^K [y_k - (b_0 + b_1x_{1k} + b_2x_{2k} + \dots + b_jx_{jk} + \dots + b_jx_{jk})]^2 \rightarrow \min \quad (\text{F. 19})$$

mit

$e_k$	=	Werte der Residualgröße ( $k = 1, 2, \dots, K$ )
$y_k$	=	Werte der abhängigen Variablen ( $k = 1, 2, \dots, K$ )
$b_0$	=	konstantes Glied
$b_j$	=	Regressionskoeffizienten ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
$x_{jk}$	=	Werte der unabhängigen Variablen ( $j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K$ )
$J$	=	Zahl der unabhängigen Variablen
$K$	=	Zahl der Beobachtungen

Die Regressionskoeffizienten geben an, inwieweit die Zielgröße von der jeweiligen Variable abhängig ist. Dies lässt sich wiederum inhaltlich zur Interpretation des Modells nutzen. Allerdings lassen sich die Regressionskoeffizienten nicht direkt miteinander vergleichen, da die Variablen unterschiedliche Niveaus<sup>43</sup> besitzen. Gewichtung und Einfluss können deshalb erst analysiert werden, wenn die Regressionskoeffizienten auf die Grundgesamtheit standardisiert werden (vgl. Formel (F. 20))

$$\hat{b}_j = b_j \cdot \frac{\text{Standardabweichung von } X_j}{\text{Standardabweichung von } Y} \quad (\text{F. 20})$$

Die Schätzfunktion  $\hat{Y}$  kann in eine wahre Funktion  $Y$  überführt werden, die neben den als bekannt geschätzten Einflüssen der Variablen  $X_j$  die stochastische Störgröße  $u$  enthält, die nicht beobachtbar ist, aber in den Residuen zum Ausdruck kommt.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_j X_j + \dots + \beta_J X_J + u \quad (\text{F. 21})$$

mit

$Y$	=	Abhängige Variable
$\beta_0$	=	Konstantes Glied der Regressionsfunktion
$\beta_j$	=	Regressionskoeffizient ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
$X_j$	=	Unabhängige Variable ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
$u$	=	Störgröße

Da die Störgröße  $u$  stochastisch ist, kann die Funktion als Zufallsvariable betrachtet und damit mittels F-Statistik getestet werden.

#### 4.1.3.3 Prüfung der Regressionsfunktion

Zur Prüfung der Regressionsfunktion dienen die globalen Gütemaße:

- Bestimmtheitsmaß  $R^2$
- F-Statistik
- Standardfehler

<sup>43</sup> Beispiel: Es soll der Einfluss auf den Reibungswert (abhängige Variable) untersucht werden. Die unabhängigen Variablen sind ein produktbezogener Reibungswert von Schuhen auf dem Messniveau 0 bis 1 und die gemittelte Rautiefe  $R_z$  des Fußbodens auf dem Messniveau 2 bis 60. Die Zielgröße liegt ebenfalls zwischen 0 und 1. Bei angenommenem gleichem Einfluss beider Parameter muss der Regressionskoeffizient der Fußboden-Rauheit deshalb deutlich niedriger liegen, da das Messniveau bzw. der Skalenbereich höher liegt.

Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$ , also die Güte, inwieweit das Modell die Beobachtungen beschreibt, ergibt sich aus dem Verhältnis von „erklärter Streuung“ zur „Gesamtstreuung“<sup>44</sup>. Es ist ein normierter Wert zwischen 0 und 1, wobei 0 bedeutet, dass die Beobachtungen nicht durch das Modell beschrieben werden und 1 bedeutet, dass die Beobachtungen vollständig durch das Modell beschreibbar sind. Es ist zudem das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten<sup>45</sup>, auf dessen Darstellung aus Gründen der Komplexität verzichtet wird.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^K e_k^2}{\sum_{k=1}^K (y_k - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\text{nicht erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}} \quad (\text{F. 22})$$

Mittels F-Statistik wird getestet, ob einer der Regressionskoeffizienten den Wert 0 annehmen kann und damit die zugehörige Variable nicht signifikant wäre. Unter Berücksichtigung der Anzahl der unabhängigen Variablen, der Anzahl der Beobachtungen und einer Vertrauenswahrscheinlichkeit wird ein empirischer F-Wert ( $F_{emp}$ ) berechnet und mit einem tabellierten F-Wert ( $F_{tab}$ ) verglichen. Ist  $F_{emp} > F_{tab}$ , kann davon ausgegangen werden, dass die Regressionskoeffizienten nicht den Wert 0 annehmen und folglich signifikant sind.

$$F_{emp} = \frac{R^2 / J}{(1 - R^2) / (K - J - 1)} > F_{tab; K-J-1; J} \quad (\text{F. 23})$$

Der Standardfehler des Modells berechnet sich aus den Residuen und der Anzahl der Freiheitsgrade:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_k e_k^2}{K - J - 1}} \quad (\text{F. 24})$$

#### 4.1.3.4 Prüfung der Regressionskoeffizienten

Der F-Test des Modells betrachtet das Gesamtmodell. Mit der t-Statistik werden die Regressionskoeffizienten analog zur F-Statistik dahingehend einzeln getestet, ob diese den Wert 0 annehmen.

<sup>44</sup> Einfacher zu berechnen ist das von 1 verminderte Verhältnis von „nicht erklärter Streuung“ zur „Gesamtstreuung“.

<sup>45</sup> Aus diesem Grund ist auch die Bezeichnung  $R^2$  gewählt

$$t_{emp} = \frac{b_j}{s_{b_j}} > F_{tab; K-J-1; J} \quad (\text{F. 25})$$

Unter Berücksichtigung einer Vertrauenswahrscheinlichkeit kann mittels t-Statistik ein Konfidenzintervall für jeden Regressionskoeffizienten ermittelt werden, das den Bereich kennzeichnet, in dem der wahre Regressionskoeffizient liegt.

$$b_j - t \cdot s_{b_j} \leq \beta_j \leq b_j + t \cdot s_{b_j} \quad (\text{F. 26})$$

mit

$\beta_j$	=	wahrer Regressionskoeffizient (unbekannt)
$b_j$	=	geschätzter Regressionskoeffizient
$t$	=	t-Wert aus der Student-Verteilung
$s_{b_j}$	=	Standardfehler des Regressionskoeffizienten

#### 4.1.3.5 Prüfung der Modellprämissen

Die Prüfung der Güte der Anpassung (Bestimmtheitsmaß) und die statistischen Tests basieren auf der Annahme, dass es sich – durch die eingeführte Störgröße  $u$  – um eine stochastische Verteilung handelt, die nicht vollständig die Beobachtungen erklären kann. Messfehler sowie unberücksichtigte oder unbekannte Einflussgrößen bewirken Änderungen in der Störgröße. Die Richtigkeit des Modells kann nur angenommen werden, wenn die erforderlichen Annahmen für ein lineares stochastisches Regressionsmodell erfüllt sind.

##### Annahme 1

Das Modell ist richtig spezifiziert, wenn die einzelnen Parameter linear sind, es die relevanten erklärenden Variablen enthält und eine ausreichende Anzahl von Beobachtungen vorliegt.

##### Annahme 2

Die Störgrößen haben den Erwartungswert  $E(X) = 0$ . Dies bedeutet, dass die Beobachtungswerte sowohl positiv als auch negativ von den Modellwerten abweichen und sich die Streuungen gegenseitig aufheben. Ein Erwartungswert ungleich 0 würde einen systematischen Fehler in den Beobachtungen vermuten lassen.



### Annahme 3

Es besteht keine Korrelation zwischen den erklärenden Variablen und der Störgröße. Bestünde eine Korrelation, bedeutete dies, dass ein konstanter Messfehler vorliegt.

### Annahme 4

Die Störgrößen haben eine konstante Varianz  $\sigma$  (*Homoskedastizität*), was bedeutet, dass die Streuungen über alle Beobachtungen konstant sein müssen. Ändert sich mit fortlaufenden Beobachtungen die Varianz (*Heteroskedastizität*), lässt dies Messfehler vermuten, die die Konfidenzintervalle der Regressionskoeffizienten und den Standardfehler beeinflussen.

### Annahme 5

Die Störgrößen sind unkorreliert (keine Autokorrelation). Autokorrelation tritt bei der Analyse von Zeitreihen auf, bei denen sich die Störgrößen in Abhängigkeit der Beobachtungen ändern.<sup>46</sup>

### Annahme 6

Zwischen den erklärenden Variablen  $X_j$  besteht keine lineare Abhängigkeit (*keine perfekte Multikollinearität*). Multikollinearität liegt vor, wenn sich eine unabhängige Variable durch eine lineare Funktion aus anderen verwendeten, unabhängigen Variablen darstellen lässt. Dies führt zu erhöhten Standardfehlern und die eindeutige Abhängigkeit von einer Variablen kann schlechter identifiziert und interpretiert werden.

### Annahme 7

Die Störgrößen sind *normalverteilt*. Wäre dies nicht der Fall, hätten die statistischen Tests keine Gültigkeit und die Signifikanz des Modells könnte nicht nachgewiesen werden.

## **4.1.4 Künstliche Neuronale Netze**

Die vorgestellte multivariate Regressionsrechnung setzt voraus, dass der Anwender die Einflussgrößen selbst bestimmt. Das Modell erklärt, inwieweit sich die Zielgröße durch die unabhängigen Variablen erklären lässt. Allerdings wird dabei nicht betrachtet, ob sich die unabhängigen Variablen untereinander beeinflussen bzw. sich gegenseitig bedingen. Die Reibung zwischen Fußboden und Schuh hängt von einer Vielzahl von material- und oberflächenspezifischen Faktoren ab, die sich zum Teil gegenseitig bedingen können. Beispielsweise könnte die Rauheit eines Fußbodens einen signifikanteren Einfluss haben,

---

<sup>46</sup> Für die Analysen in dieser Arbeit nicht relevant

wenn es sich um einen Keramik-Boden handelt. Zudem ist nicht bekannt, wie die Einflussfaktoren resp. Produktparameter qualitativ und quantitativ mit der Reibung zusammenhängen.

Solche komplexen Systeme können statistisch mit Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) analysiert werden, da sie aus einer Vielzahl von Einflussfaktoren die einzelnen qualitativen und quantitativen Zusammenhänge selbstständig bestimmen. KNN sind der Funktionsweise des Nervensystems von Menschen und Tieren nachempfunden und versuchen diese mathematisch zu modellieren. Der prinzipielle Aufbau von KNN ist durch drei Schichten (Layer) aus Neuronen bestimmt. Die Eingabeschicht (Input-Layer) enthält die Neuronen der unabhängigen Variablen bzw. der Eingangsgrößen, die Ausgabeschicht (Output-Layer) die Zielgröße. In der dazwischen liegenden „verdeckten Schicht“ (hidden-layer) sind die Neuronen angesiedelt, die die Berechnung durchführen. Dazu werden die Signale der Eingangsgrößen an einem Neuron durch eine Propagierungsfunktion verknüpft. Erreicht diese einen bestimmten Wert oder nimmt einen bestimmten Zustand ein, ändert sich die Aktivierungsfunktion, die einen Ausgabezustand auf die Neuronen der nächsten Schicht sendet.

Künstliche Neuronale Netze lernen selbstständig. Für das Training eines KNN wird eine Vielzahl von Beobachtungen benötigt. Die Anpassungen der Propagierungs- und Aktivierungsfunktionen erfolgt iterativ anhand vorhandener Daten, so dass die Eingabegrößen möglichst passend die Zielgröße ergeben.

Im Prognosemodus lässt sich eine Zielgröße auf Grundlage des trainierten Netzes in Abhängigkeit der Eingangsgrößen berechnen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Software-Lösung NeuroBayes<sup>©47</sup> verwendet.

---

<sup>47</sup> Diese Software zur Berechnung KNN wurde von Prof. Dr. Michael Feindt, Karlsruher Institut für Technologie, entwickelt, um Beobachtungen aus Versuchen der Teilchenphysik zu analysieren und zu bewerten. In den letzten Jahren wurde dieser Algorithmus zur Prognose von Entwicklungen an Finanzmärkten und zur Optimierung von Lagerhaltung verwendet. Für Forschungszwecke wird die Software kostengünstig zur Verfügung gestellt. Die Nutzung erfolgte in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Wolfgang Wagner, Fachgruppe Physik im Fachbereich D - Mathematik und Naturwissenschaften der Bergischen Universität Wuppertal.

## 4.2 Messunsicherheit

### 4.2.1 Produktbedingte Messunsicherheit

Die Fragestellung, ob die unterschiedlichen Proben produktionsbedingten Schwankungen unterliegen, wird durch die Vergleichsmessungen der Fußböden und Schuhe im Neuzustand beantwortet. Durchschnittlich weisen die Fußbodenprodukte eine Spannweite von  $R_{\text{Mittel, Fußböden}} = 0,025$  und eine Standardabweichung von  $s_{\text{Fußböden}} = 0,015$  und die Schuhproben eine Spannweite von  $R_{\text{Mittel, Schuhe}} = 0,018$  mit einer Standardabweichung von  $s_{\text{Schuhe}} = 0,019$  auf. Die Abweichungen werden als gering bewertet, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die verschiedenen Proben eines Produktes weitestgehend ähnliche Eigenschaften aufweisen. Es ist nicht näher zu spezifizieren, ob die Abweichungen durch produktionsbedingte Schwankungen, verfahrens- oder benutzerbedingte Messunsicherheiten zu erklären sind.

### 4.2.2 Systematische Messunsicherheit

#### 4.2.2.1 *Veränderung von Schuhen*

Die mehrmaligen Kontrollmessungen aller Schuhe auf dem ersten Fußboden gemäß dem Konzept zur Ermittlung der Messunsicherheit zeigen schuhabhängig ein unterschiedliches Verhalten. Die Reibungskoeffizienten können im Verlauf der Messungen größer oder kleiner werden oder konstant bleiben. Die Tendenz ist für den einzelnen Schuh nicht einheitlich, das heißt, dass ein Schuh bei der ersten Kontrollmessung niedrigere und bei der zweiten Kontrollmessung höhere Werte als im Ausgangszustand haben kann. Dies ist durch Aufrau-, Polier- und Abnutzungseffekte zu erklären, die nicht näher spezifiziert werden können. Im Mittel ist eine Zunahme des Reibungskoeffizienten von  $\Delta\mu = 0,029$  zu verzeichnen, woraus sich schließen lässt, dass Schuhe im Gebrauchszustand tendenziell höhere Reibungskoeffizienten und damit ein niedriges Gefährdungspotential haben.

#### 4.2.2.2 *Veränderung von Fußböden*

Für die Messreihen mit Wasser ergibt sich eine mittlere Messunsicherheit nach HML-Methode von  $U_{\text{Mittel, Fußböden, Wasser}} = \pm 0,06$  mit einer Spannweite von  $\pm 0,02$  bis  $\pm 0,12$ . Für die Messreihen mit dem Zwischenmedium Öl ergibt sich eine mittlere Messunsicherheit von  $U_{\text{Mittel, Fußböden, Öl}} = \pm 0,02$  (Spannweite von  $\pm 0,00$  bis  $\pm 0,04$ ). Durch die Eigenschaften des HML-Verfahrens geben diese Zahlen den Einfluss des Bodens und die allgemeine Unsicherheit des verwendeten Verfahrens wieder. Die Messunsicherheit der Messreihen mit Wasser ist deutlich höher als bei den Messreihen mit dem Zwischenmedium Motoröl.

Ursächlich für die erhöhten Messunsicherheiten ist die Veränderung des Bodenbelags durch Verschleißerscheinungen. Abbildung 29 zeigt für vier verschiedene Fußböden die Ergebnisse mit dem Zwischenmedium Wasser der HML-Messungen in der Prüfreihefolge, sowie den Mittelwert der HML-Messungen und eine darauf bezogene Trendlinie. Es wird deutlich, dass insbesondere zu Beginn der Messreihen deutliche Verschleißerscheinungen auftreten, obwohl zuvor mit 50 Einzelmessungen ein Verschleiß erzeugt wurde (vgl. auch Kapitel 4.5). Verschleißerscheinungen bedeuten nicht zwingend, dass die Reibungswerte geringer werden. Im Falle des Fußbodens F707 - Parkett Eiche erhöht sich das rutschhemmende Potential des Fußbodens im Verlauf der Messungen. Der Glasfußboden F759 weist nur sehr geringe Abweichungen auf.

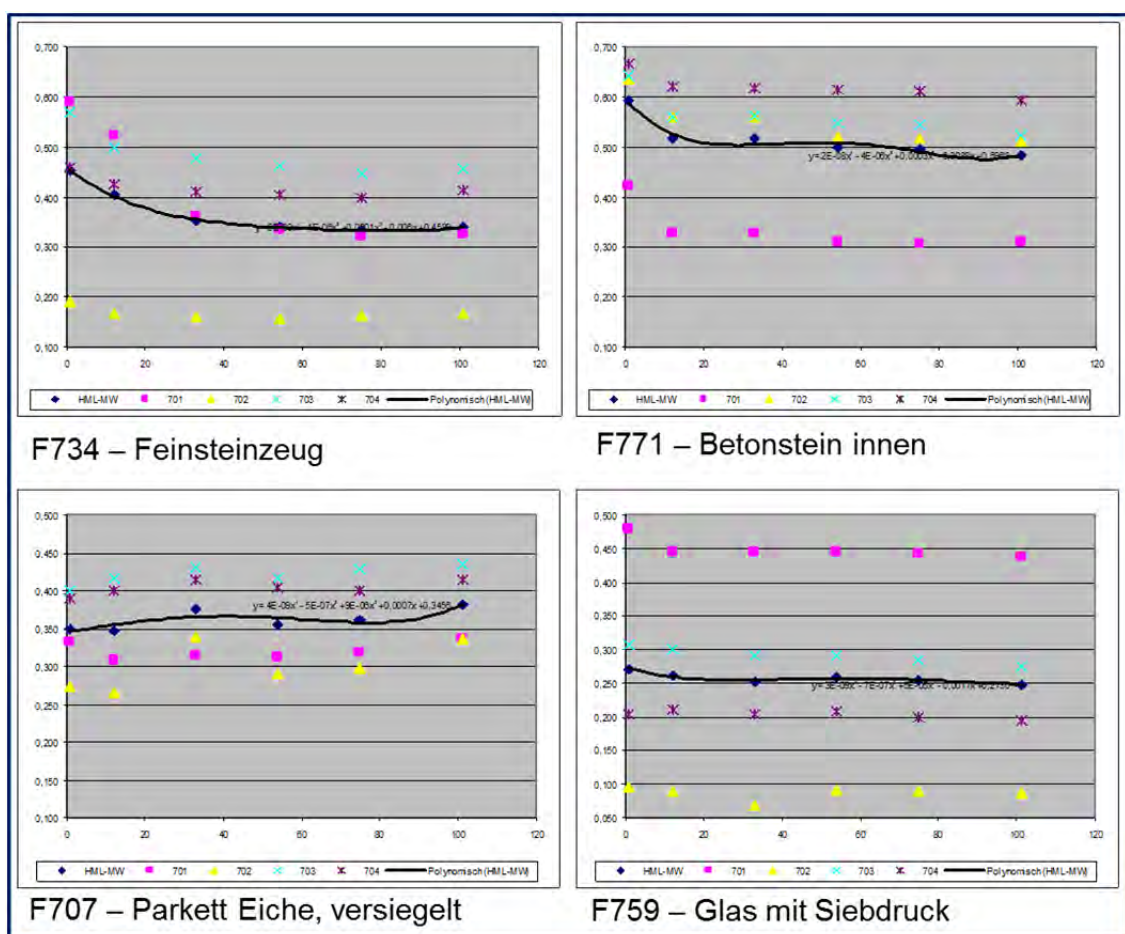


Abbildung 29: Beispiele für Veränderungen von Fußböden

Durch die Verschleißerscheinungen der Fußböden hängt die Bewertung der Schuhe von der Position in der Prüfreihefolge ab. Dieser systematische Fehler kann Schuhprodukte bei der Bewertung bevorzugen oder benachteiligen. Eine Vergleichbarkeit des rutschhemmenden Potentials von Schuhen ist dadurch nicht gegeben und würde zu

falschen Interpretationen führen. Dies wird zum Anlass genommen, eine rechnerische Korrektur vorzunehmen.

### 4.2.3 Korrekturrechnung

Das Verfahren zur Korrekturrechnung basiert auf den HML-Messungen. Es wird der Mittelwert der vier Kontrollschuhe herangezogen, um aus diesen Werten eine Funktion abzuleiten<sup>48</sup> (vgl. Abbildung 30). Die unabhängige Variable ist die Stelle (Position) der Prüfreihefolge, die abhängige Variable ist der HML-Mittelwert der vier HML-Schuhe an der Stelle in der Prüfreihefolge. Durch die Funktion werden HML-Werte für jede Stelle interpoliert. Als Bezugsgröße für eine rechnerische Korrektur wird der HML-Gesamt-Mittelwert über die ganze Messreihe herangezogen (vgl. die rote Linie in Abbildung 30). Für jede Stelle wird der Funktionswert mit dem HML-Gesamt-Mittelwert ins Verhältnis gesetzt und als Korrekturfaktor für den Messwert verwendet. Im dargestellten Beispiel werden die Messwerte für die ersten 30 Schuhe nach unten und die übrigen Schuhe nach oben korrigiert. Insgesamt werden somit alle Werte auf ein durchschnittliches Verschleißniveau des Fußbodens normiert. Durch die Anwendung der Korrekturrechnung konnte die durchschnittliche Messunsicherheit auf  $U_{\text{Fußböden, Wasser, korrigiert}} = \pm 0,04$  gesenkt werden.

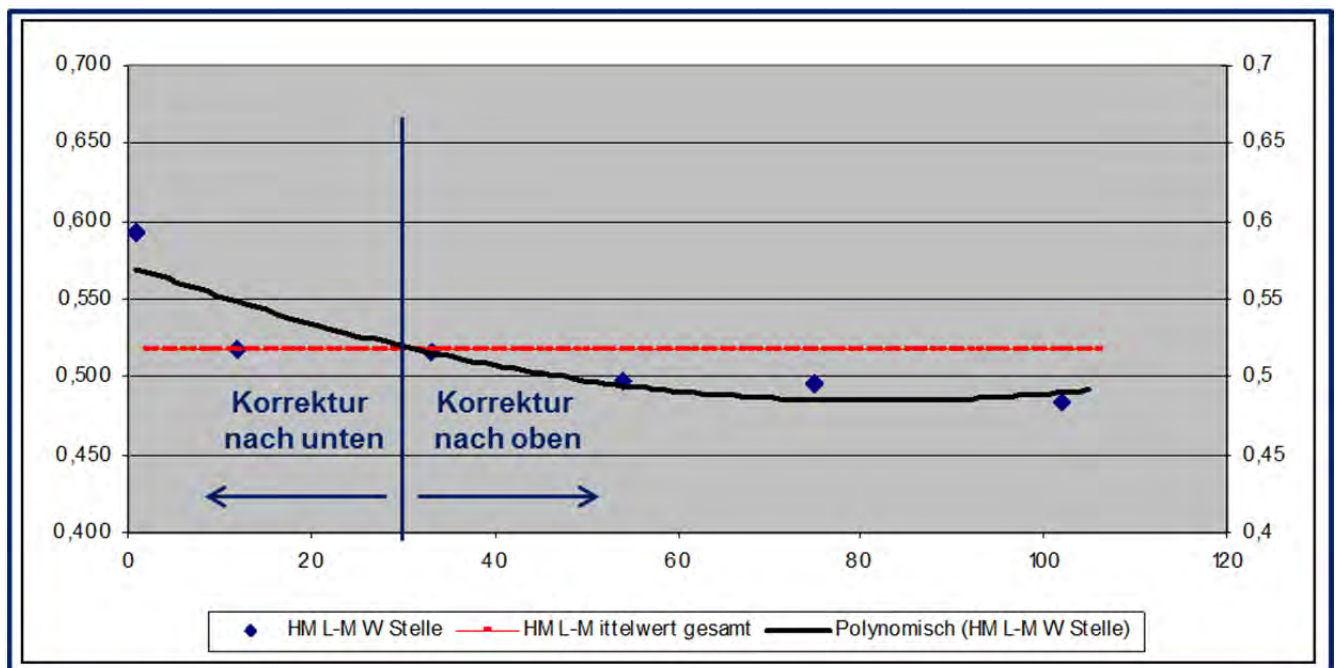


Abbildung 30: Korrekturrechnung

<sup>48</sup> Dies können lineare oder polynomische Funktionen bis zur 3ten Ordnung sein. Die Funktion wird in Abhängigkeit der HML-Werte für jeden Fußboden individuell angepasst.

## 4.3 Bewertung des IST-Zustandes

### 4.3.1 Auswahl eines Bewertungssystems

Die Messergebnisse der kombinierten Fußboden-Schuh-Messungen stellen ein messtechnisches Abbild von Praxissituationen dar, anhand dessen der IST-Zustand in Arbeitsbereichen bewertet werden kann. Dazu ist es notwendig, diese Expositionsdaten zu bewerten. In Kapitel 2.5.2.2 sind die gängigen Konzepte zur Bewertung der Rutschgefährdung beim Gehen dargestellt. Inhaltlich sind diese Konzepte sehr ähnlich und unterscheiden sich zum Teil nur durch die Terminologie. Die festgelegten Bereiche zur Bewertung der Rutschgefährdung sind aus der Biomechanik des menschlichen Ganges abgeleitet und entsprechen damit der Systematik des Arbeitssystems „menschlicher Gang“ und der Sicherheitsbedingung. Die Bewertungsbereiche werden übernommen und finden für die Bewertung der Gefährdung in dieser Arbeit Anwendung. Tabelle 14 zeigt das verwendete Bewertungskonzept. Begrifflich werden die Termini aus den verschiedenen Bewertungskonzepten synonym verwendet. Als farbliche Kennzeichnung der drei Bereiche kommen die Ampelfarben zum Einsatz.

Messwert Gleitreibungskoeffizient unter praxisgerechten Bedingungen	Bewertung der Rutschgefährdung von Fußboden- Zwischenmedien-Schuh-Kombinationen
$\mu < 0,30$	kritisch, unsicher und nicht betriebstauglich, Maßnahmen erforderlich
$0,30 \leq \mu < 0,45$	bedingt sicher, zulässig und betriebstauglich, risikoorientiert ausgewählte Maßnahmen erforderlich
$\mu \geq 0,45$	sicher und uneingeschränkt betriebstauglich

Tabelle 14: Verwendetes Bewertungskonzept

### 4.3.2 Ergebnisse der kombinierten Fußboden-Schuh-Messungen

Die Ergebnisse der kombinierten Fußboden-Schuh-Messung spiegeln praktische Situationen wider, da die ausgewählten Materialien typischen Praxisprodukten entsprechen. Folglich liegt ein messtechnisches Abbild des IST-Zustandes von Praxissituationen vor. Zur Beurteilung der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen wird dieses messtechnische Abbild gemäß Arbeitssystem und Sicherheitsbedingung mit dem gewählten Bewertungskonzept (Kennzeichnung mittels Ampelfarben) verglichen. Abbildung 31 zeigt die bewerteten Messergebnisse für das Zwischenmedium Wasser und

Abbildung 32 für das Zwischenmedium Motoröl. Die Fußböden sind den Spalten, die Schuhe den Zeilen zugeordnet.

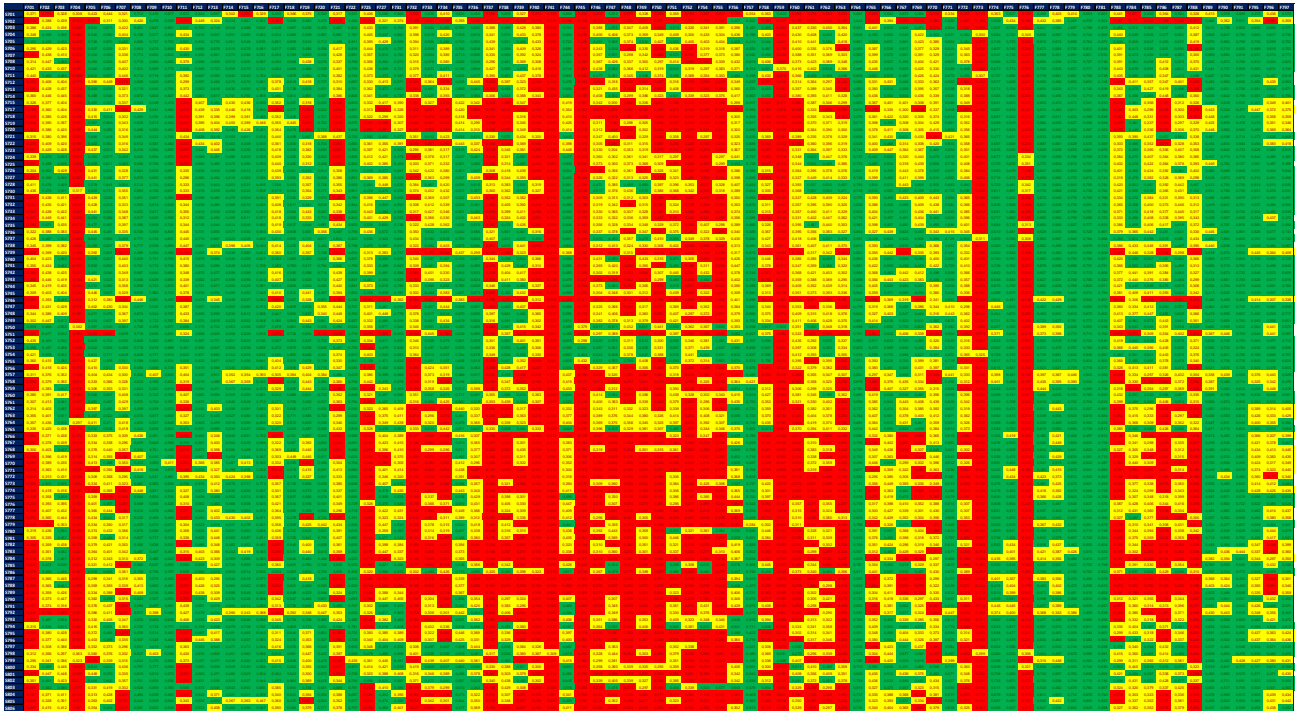


Abbildung 31: Bewertete Messergebnisse - Wasser

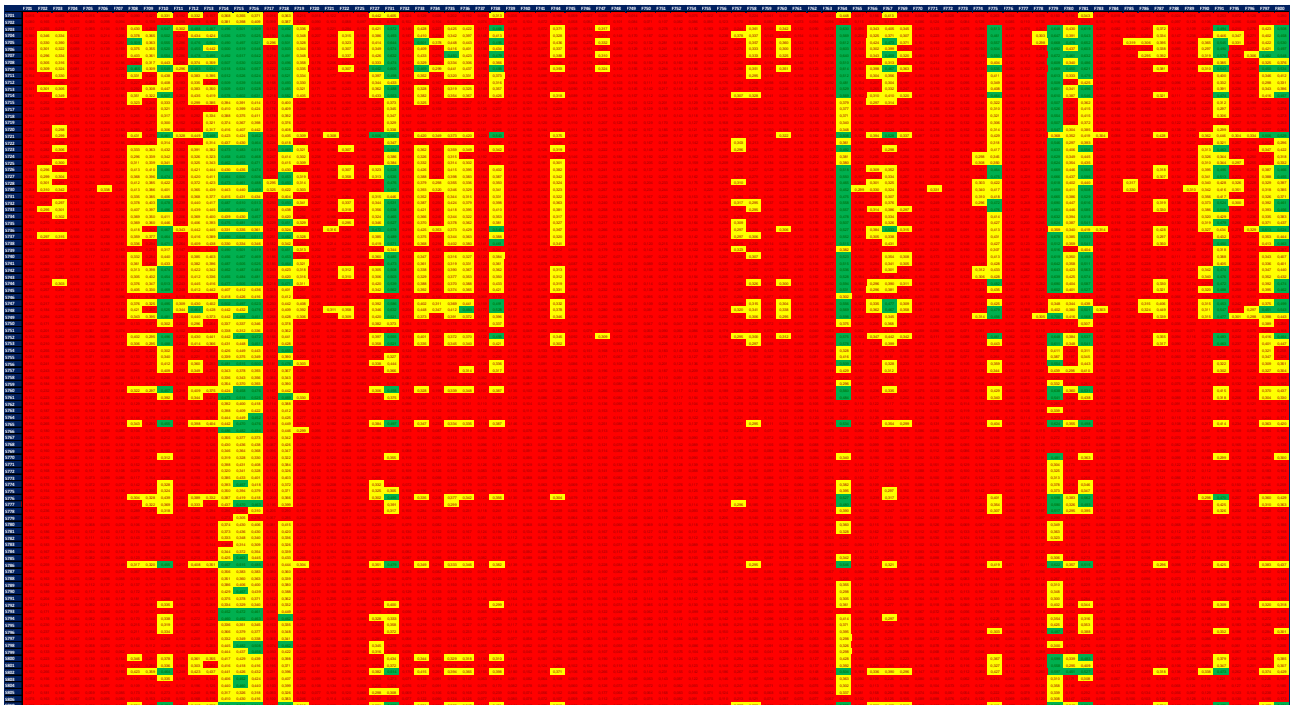


Abbildung 32: Bewertete Messergebnisse - Öl

### 4.3.3 Bewertung der Ergebnisse des IST-Zustandes - Wasser

Von Interesse ist im ersten Schritt der Auswertung eine Häufigkeitsverteilung anhand der drei Bereiche des Bewertungskonzeptes. Die Anteile der untersuchten praktischen Situationen des IST-Zustandes werden für die Bewertung „kritisch und unsicher“, „bedingt sicher“ und „sicher“ prozentual dargestellt. Abbildung 33 beinhaltet eine prozentuale Verteilung der bewerteten Gefährdungssituationen mit dem Zwischenmedium Wasser, gruppiert nach den R-Bewertungsgruppen für Fußböden.

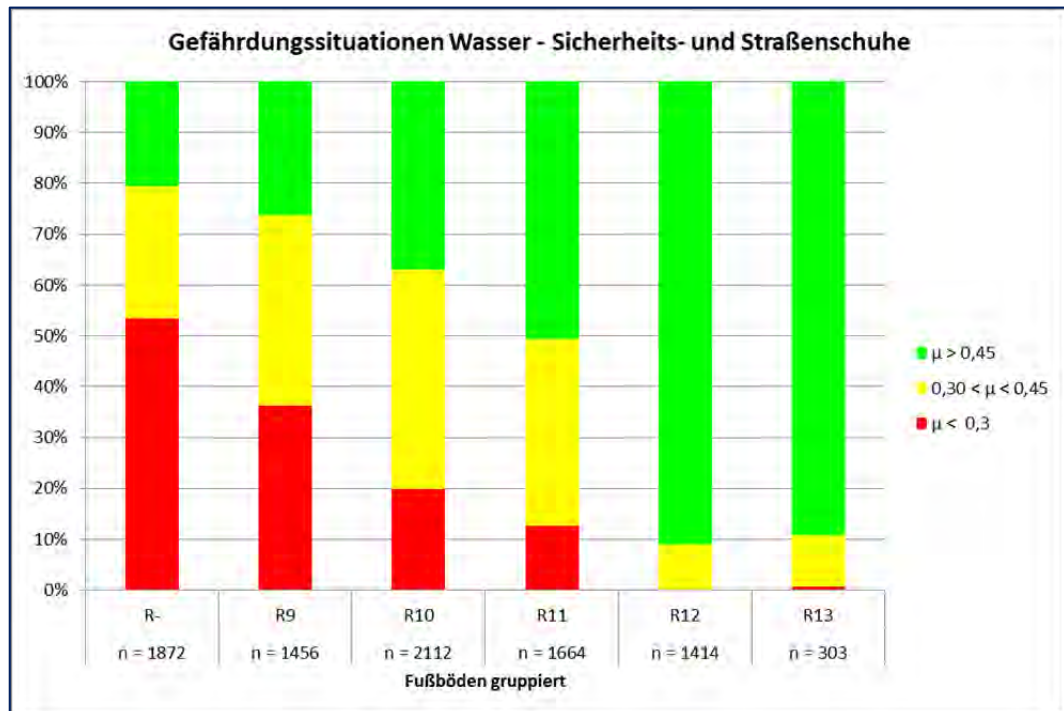


Abbildung 33: Gefährdungssituation Wasser - Sicherheits- und Straßenschuhe

In der Zusammenfassung wird deutlich, dass mit höherer R-Gruppe die kritischen und bedingt sicheren Situationen weniger werden und sichere Situationen überwiegen. Allerdings sind die Einsatzbereiche für Bodenbeläge in die Interpretation der Ergebnisse einzubeziehen. Fußböden der Bewertungsgruppe R 9 sind beispielsweise für Eingangsbereiche oder Verkaufsräume mit Vorkommen von eingetragener Nässe, Fußböden der Gruppe R 10 für Sanitärräume oder Küchen, in denen regelmäßig mit Nässe zu rechnen ist und Fußböden der Gruppe R11 für Außenbereiche in denen insbesondere Nässe durch Regenwasser eine erhöhte Rutschgefährdung darstellt, zugelassen. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass Fußböden für Arbeitsbereiche nach diesem System ausgewählt werden und in den entsprechenden



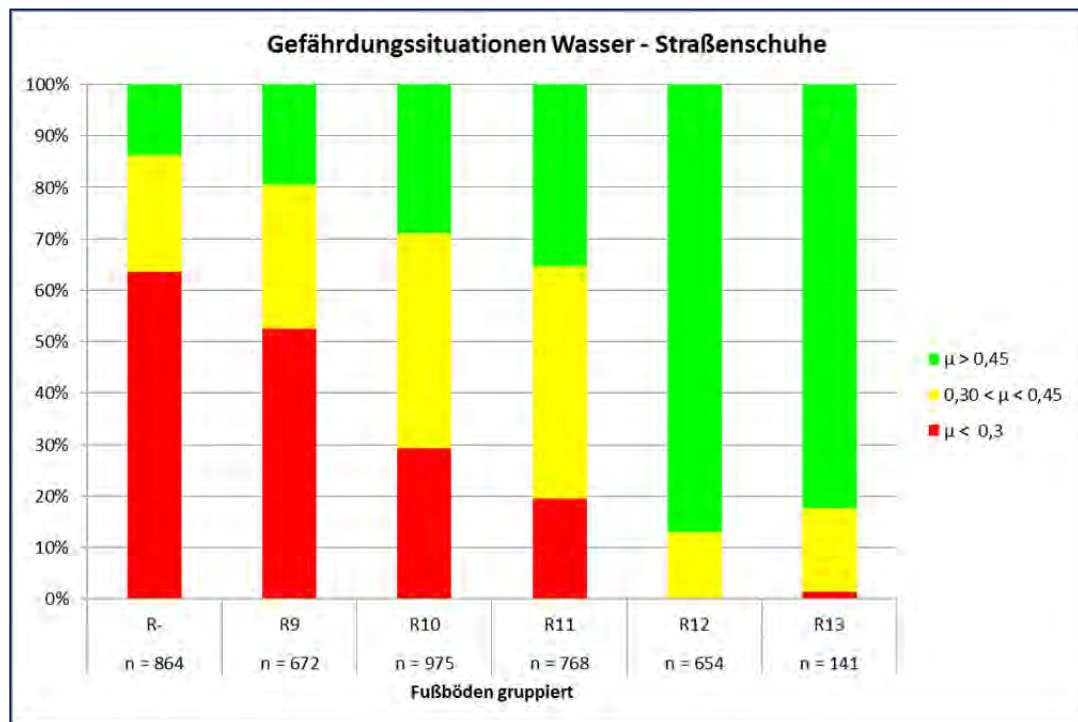
Bereichen verlegt sind<sup>49</sup>. Von den insgesamt 1456 mit Wasser gemessenen R 9-Fußböden-Schuh-Kombinationen<sup>50</sup> sind im Durchschnitt 35% als kritisch und nur ca. 25% als sicher zu bewerten. Für die R 10-Fußböden-Schuh-Kombinationen reduziert sich der Anteil kritischer Situationen auf 20%. Fußböden der Bewertungsgruppen R9 und R10 sind für Arbeitsbereiche mit Nässe empfohlen, weisen aber in Verbindung mit Nässe und Schuhwerk eine deutlich erhöhte Zahl an kritischen Situationen auf. Die prozentualen Anteile lassen nicht darauf schließen, dass 35% bzw. 20% aller auftretenden praktischen Situationen als unsicher zu betrachten sind, da die Verlegeanteile und die Anteile des benutzten Schuhwerks unbekannt sind und aufgrund dessen nicht in der Materialauswahl repräsentiert werden konnten. Auch bedeutet dies nicht, dass jede als kritisch bewertete Situation einen Ausrutschunfall zur Folge hat, da die Anforderungsquotienten des gehenden Menschen niedriger sein können. Dennoch ist der Analogieschluss zulässig, dass eine erhöhte Zahl praktisch auftretender Situationen als kritisch zu bewerten sind und die Auswahl eines Fußbodens nach dem R-Gruppen-System allein nicht als Schutzmaßnahme ausreicht. Zusätzlich muss das getragene Schuhwerk in die Interpretation einbezogen werden. Insbesondere in den Arbeitsbereichen mit R 9 und R 10-Fußböden werden typischerweise Straßenschuhe getragen, die keinen Anforderungen an die Rutschhemmung unterliegen. Dies gilt auch für alle öffentlichen Bereiche, wie beispielsweise für Schulen und Universitäten.

Abbildung 34 zeigt die Gefährdungssituationen mit Wasser und ausschließlich in Verbindung mit Straßenschuhen. Die Gefährdungen erhöhen sich mit Straßenschuhen nochmals erheblich und bestätigen den Schluss, dass einzig die Auswahl eines Fußbodens als Schutzmaßnahme nicht ausreichend ist. Die Unterschiede zwischen Sicherheits- und Straßenschuhen werden im weiteren Verlauf der Arbeit noch spezifisch betrachtet (siehe Kapitel 4.6).

---

<sup>49</sup> Fußböden mit den R-Gruppe 11, 12 und 13 sind meist raue, strukturierte oder profilierte Fußböden, die aus Gründen der Optik und erschwerten Reinigungsfähigkeit nicht in Arbeitsbereichen verlegt werden, für die Fußböden mit den Bewertungsgruppen R9 oder R10 empfohlen werden.

<sup>50</sup> Kombination von Fußböden der Bewertungsgruppe R9 in Verbindung mit Sicherheits- und Straßenschuhen.



**Abbildung 34: Gefährdungssituationen Wasser – Straßenschuhe**

Bisher wurden die Gefährdungssituationen gruppiert nach Fußboden-Bewertungsgruppen betrachtet. Da innerhalb einer Bewertungsgruppe unterschiedliche Materialien und Oberflächen existieren, ist es in einem zweiten Schritt der Bewertung von Interesse, die Häufigkeitsverteilung für einen einzelnen Fußboden zu betrachten. Die folgenden drei Abbildungen beinhalten jeweils die prozentualen Anteile der bewerteten Situationen für jeweils eine Bewertungsgruppe von Fußböden (Abbildung 35 für Fußböden ohne Bewertungsgruppe, Abbildung 36 für Fußböden der Bewertungsgruppe R 9, Abbildung 37 für Fußböden der Bewertungsgruppe R 10). Die Fußböden sind von links nach rechts nach ihrem Akzeptanzwinkel, also dem Messergebnis zur Einstufung in die R-Gruppe, aufsteigend sortiert. Diese Sortierung entspricht dem rutschhemmenden Potential (hazard) der Fußböden, das im Rahmen der nationalen Baumusterprüfung ermittelt wurde. Ein höheres Ergebnis lässt ein besseres rutschhemmendes Potential und damit ein höheres Sicherheitsniveau erwarten.

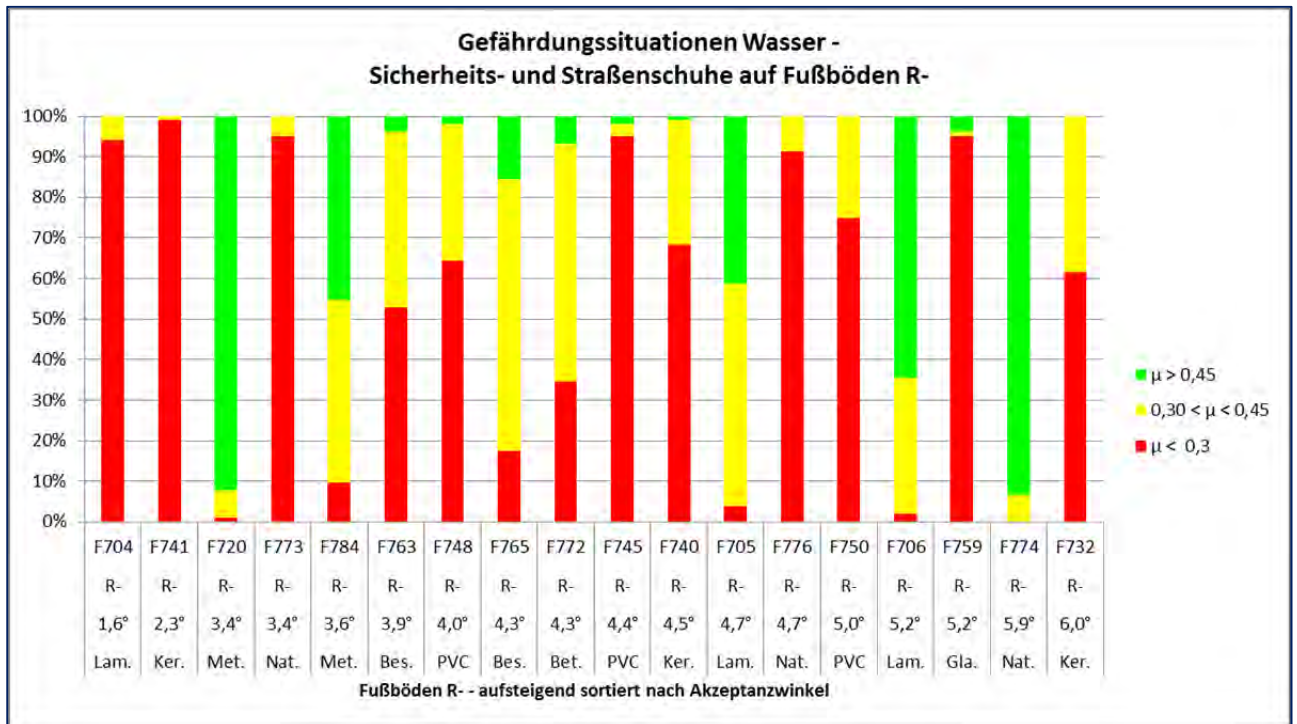


Abbildung 35: Gefährdungssituation Wasser - Sicherheits- und Straßenschuhe auf Fußböden R-

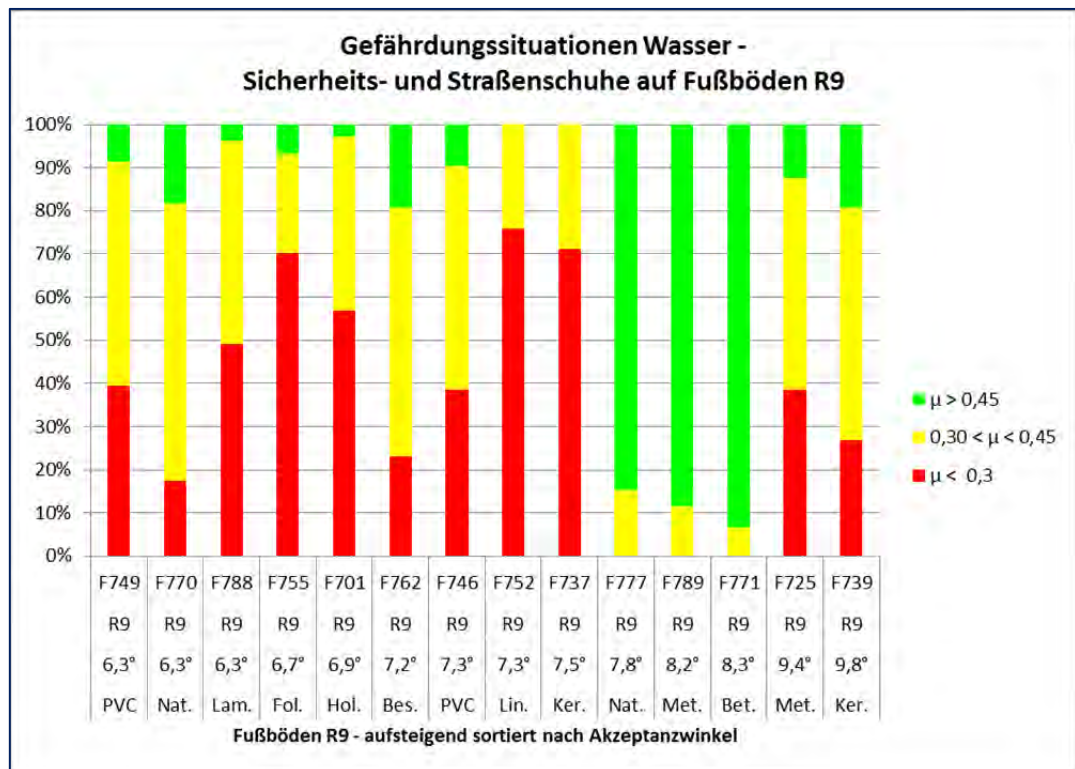


Abbildung 36: Gefährdungssituation Wasser - Sicherheits- und Straßenschuhe auf Fußböden R9

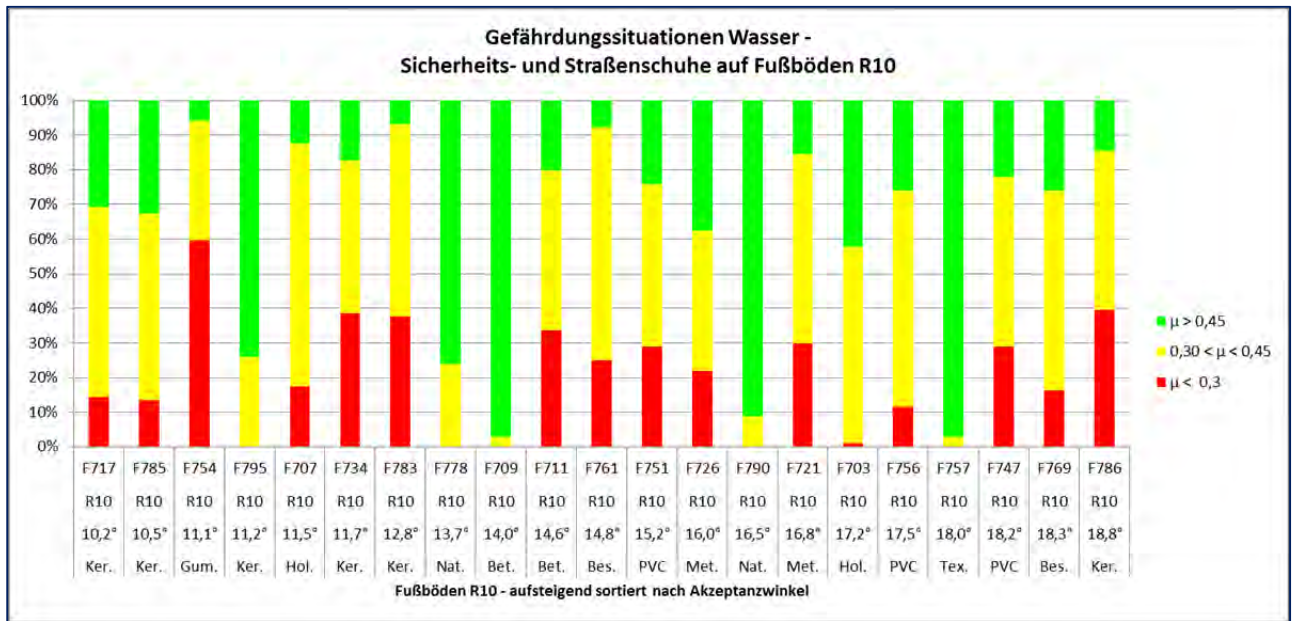


Abbildung 37: Gefährdungssituation Wasser - Sicherheits- und Straßenschuhe auf Fußböden R10

Die Abbildungen machen deutlich, dass sich das rutschhemmende Verhalten in praktischen Situationen von der Bewertung durch die Baumusterprüfung unterscheidet. Fußböden der Bewertungsgruppe R 9 (Abbildung 36) weisen zum Teil 75% kritische Situationen auf (F737, F752), wohingegen andere Fußböden keine kritischen Situationen aufweisen und als überwiegend sicher zu bewerten sind (F771, F777, F789). Zahlreiche weitere Beispiele belegen dies (R10: F754/F795; F757/F747). Bemerkenswert sind zudem die Bodenbeläge F759 und F774, die nach dem R-Gruppen-System nicht in Arbeitsbereichen mit auftretender Nässe verlegt werden dürfen, in einem Fall zu recht, da fast ausschließlich kritische Situationen auftreten, im anderen Fall zu unrecht, da fast ausschließlich sichere Situationen in Verbindung mit Nässe und Schuhwerk entstehen. Ursächlich ist die praxisfremde Messung mit Motoröl im Rahmen der Baumusterprüfung. Deshalb ist die Vermutungswirkung der Baumusterprüfung für Fußböden in Frage zu stellen, da die Schutzziele der EU-Bauproduktenverordnung mit diesem Prüfverfahren nicht nachgewiesen und somit letztlich nicht eingehalten werden können. Gleiches gilt für die Einhaltung der Schutzziele der Arbeitsstättenverordnung. Nicht zuletzt ist es wahrscheinlich, dass die differierende Bewertung die hohe Anzahl an Rutschunfällen mitbegründet.

#### 4.3.4 Bewertung der Ergebnisse des IST-Zustandes - Öl

Analog zu den Ergebnissen mit dem Zwischenmedium Wasser werden die Ergebnisse mit dem Zwischenmedium Öl betrachtet. Abbildung 38 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der

bewerteten Gefährdungen gruppiert nach den R-Gruppen der Bodenbeläge. Es wurden die gleichen Fußboden- und Schuhprodukte wie für das Zwischenmedium Wasser verwendet. Die Anteile kritischer Situationen sind signifikant höher.

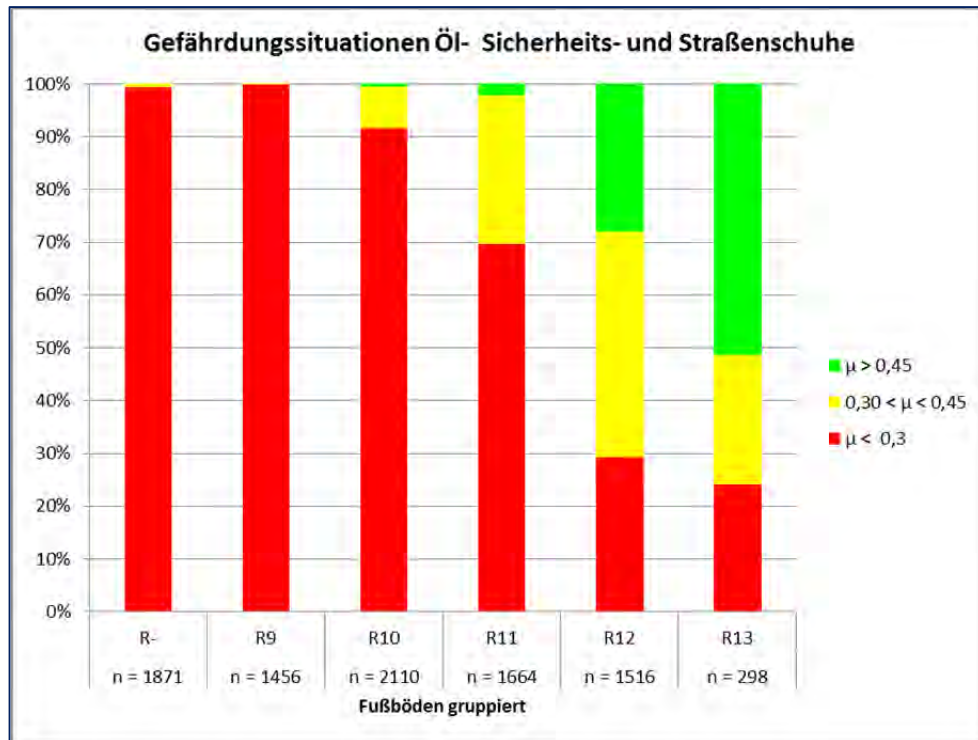


Abbildung 38: Gefährdungssituation Öl - Sicherheits- und Straßenschuhe

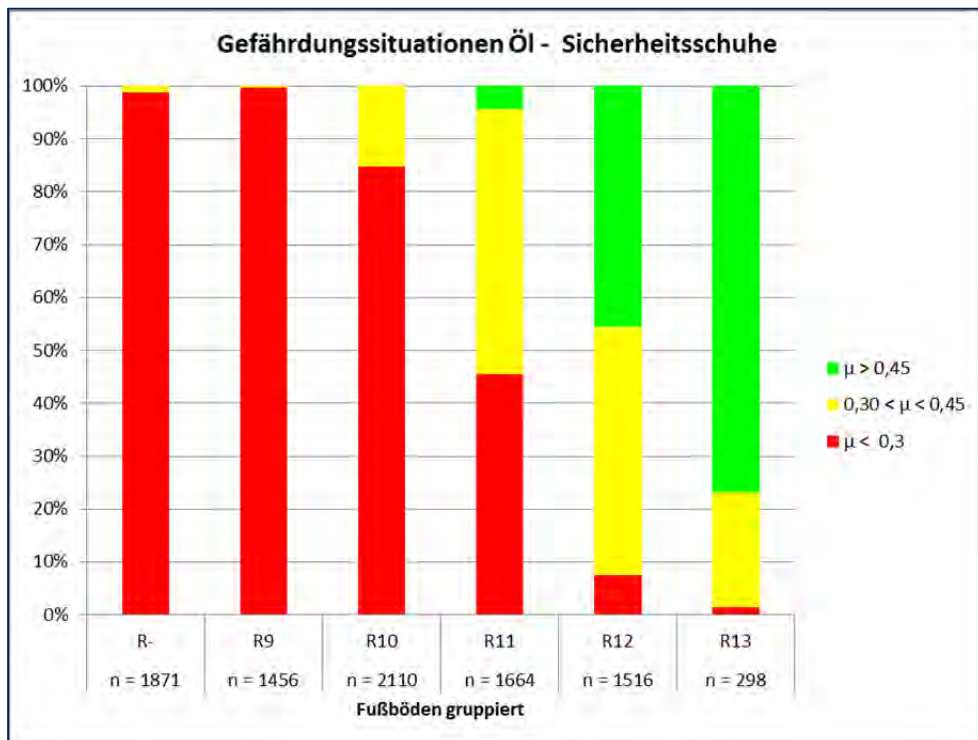


Abbildung 39: Gefährdungssituation Öl - Sicherheitsschuhe

Fußböden in Arbeitsbereichen, in denen Verschmutzungen durch Öl oder ähnlich hochviskose Stoffe auftreten, sollten nach BGR 181 mindestens die Bewertungsgruppe R 11 haben. Zudem ist davon auszugehen, dass in diesen Bereichen in erster Linie Sicherheitsschuhe getragen werden. Abbildung 39 beinhaltet die Verteilung der Gefährdungssituationen in Verbindung mit Sicherheitsschuhen. Die Bewertungsgruppe R 11 weist einen Anteil von 45% kritischer Situationen auf. Dieser Sachverhalt ist aus sicherheitstechnischer Sicht nicht akzeptabel.

Abbildung 40 zeigt die Häufigkeitsverteilung für R 11 Fußböden, Abbildung 41 selbiges für Fußböden der Bewertungsgruppe R 12. Ähnlich signifikante Unterschiede wie beim Zwischenmedium Wasser in der Bewertung zwischen Baumusterprüfung und praktischer Situation sind nicht auszumachen, obwohl Schwankungen im praktischen Verhalten vorhanden sind. Die Baumusterprüfung scheint für praktische Situationen mit Öl deutlich besser geeignet zu sein als für praktische Situationen mit Wasser. Dies ist durch die Verwendung eines praxisgerechten Zwischenmediums zu erklären.

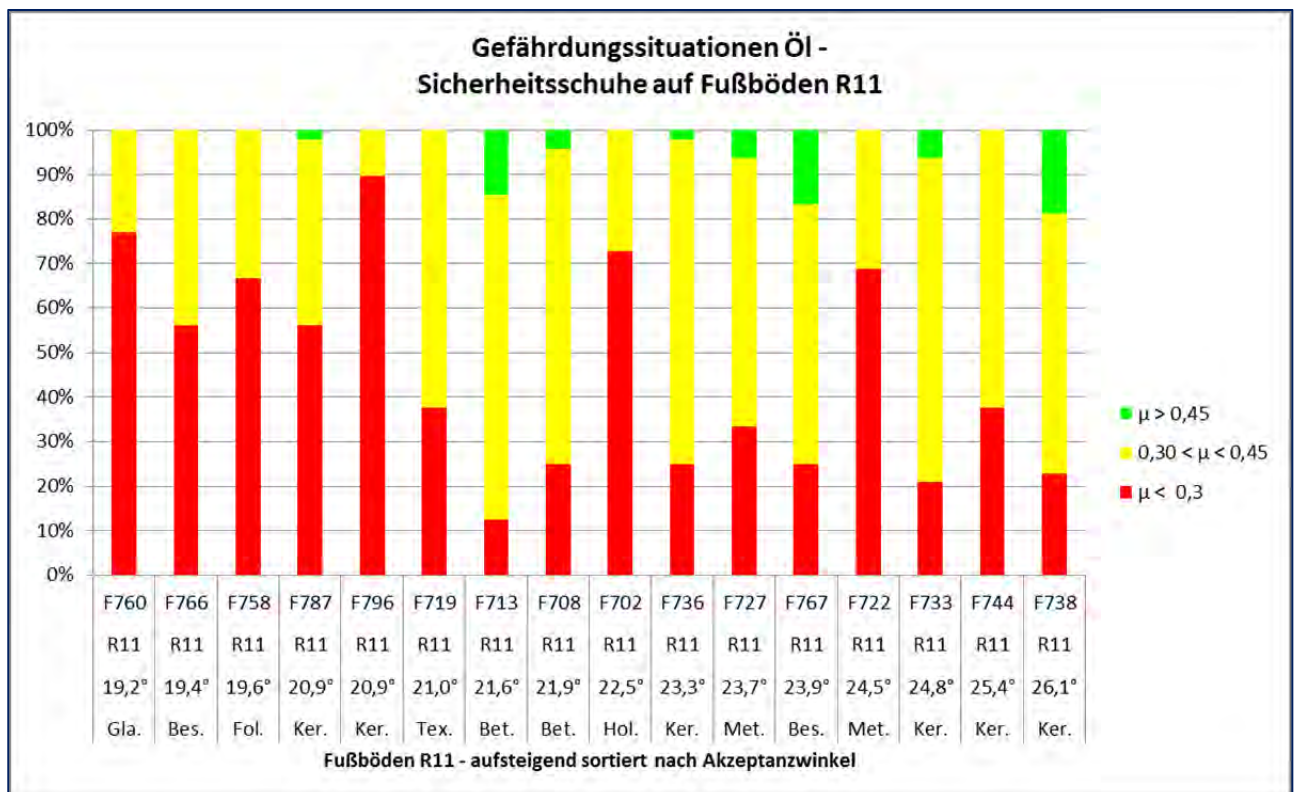
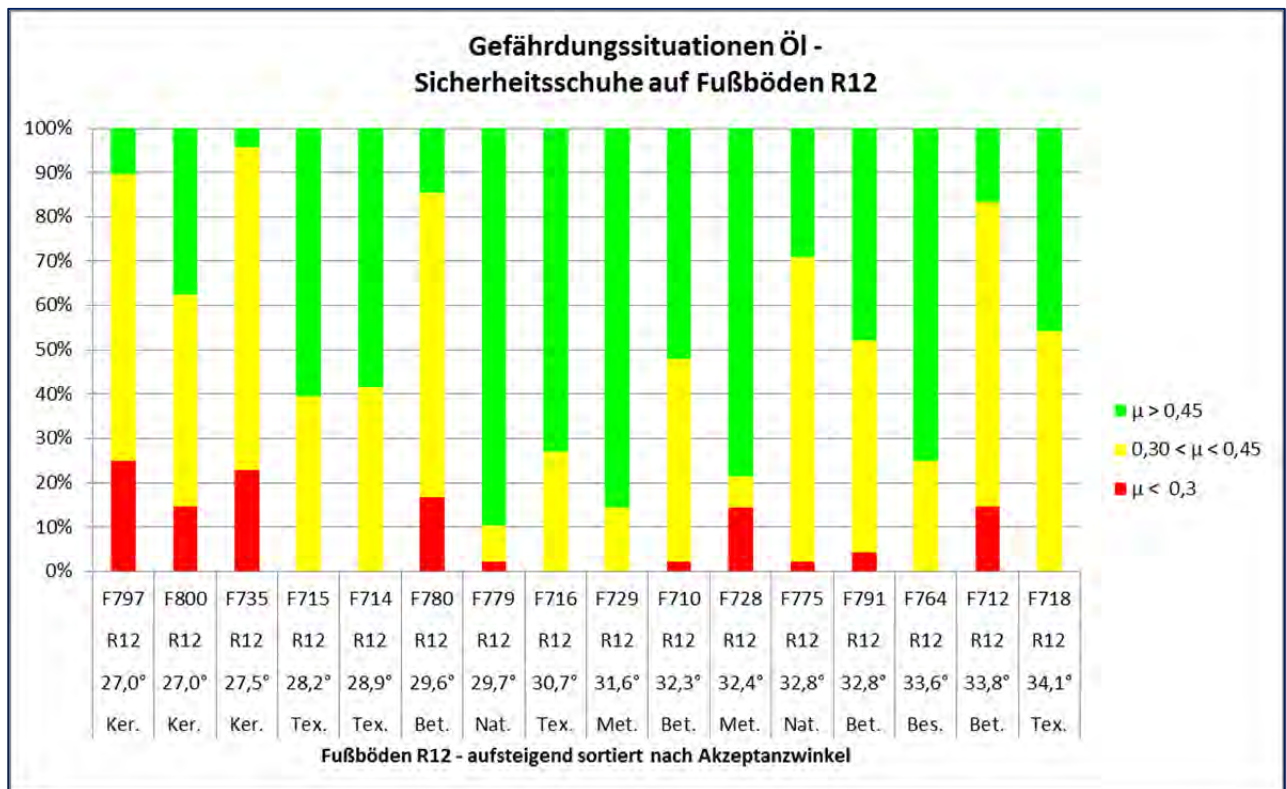


Abbildung 40: Gefährdungssituation Öl - Sicherheitsschuhe auf Fußböden R11



**Abbildung 41: Gefährdungssituation Öl - Sicherheitsschuhe auf Fußböden R12**

Es ist in Frage zu stellen, ob die Bewertungsgruppe R11 für Arbeitsbereiche mit öligen gleitfördernden Stoffen ausreicht. Die Regelsetzer der BGR 181 haben als Prüfschuh einen Schuh mit schlechten rutschhemmenden Eigenschaften gewählt, was zur Auswahl der Sohle „Bottrop“ bzw. „Picasso“ führte. Dies wurde damit begründet, dass „bessere“ Schuhe in Verbindung mit dem Fußboden ein höheres Ergebnis erreichen. Grundlage für die Auswahl war das Ergebnis der Prüfung der Rutschhemmung von Schuhen nach der damals gültigen Norm DIN 4843-100 (zurückgezogen). Die Messung erfolgte mit dem Prüfverfahren der Schiefen Ebene auf einem Stahlboden als Referenzboden und Motoröl als Prüfmedium. Die hohen Anteile kritischer Situationen in Verbindung mit R 11-Fußböden könnten nahelegen, dass sich das rutschhemmende Potential von Schuhen im Laufe der letzten Jahre verschlechtert hat. Dies ist allerdings nicht nachzuweisen, da Vergleichswerte fehlen. Nachzuweisen ist jedoch, dass der Prüfschuh „Picasso“ in der Prüfkombination Stahlboden / Motoröl im Vergleich zu heutigen Schuhen immer noch sehr schlecht abschneidet, aber in Verbindung mit anderen Praxismaterialien im mittleren bis oberen Bereich der rutschhemmenden Qualitäten liegt. Ursächlich dafür ist, dass die Prüfung von Schuhen nach DIN 4843-100 nicht praxismäßig erfolgte (SEBALD 2007)

## 4.4 Bewertung der Baumusterprüfungen von Fußböden und Schuhen

Die Auswertung nach Häufigkeitsverteilungen von Gefährdungssituationen ist auf die Baumusterprüfung von Fußböden nach DIN 51130, BGR 181 und ASR 1.5 bezogen. Zusätzlich ist von Interesse, ob die Ergebnisse weiterer standardisierter Prüfverfahren das rutschhemmende Potential – und somit auch das Gefährdungspotential – von Fußböden und Schuhen in praktischen Situationen darstellen. Das folgende Kapitel beinhaltet eine mathematisch statistische Bewertung der praxisgerechten Eignung gängiger Prüfverfahren. Diese Bewertung erfolgt durch einen Vergleich mittels Regressionsanalyse von Normrangfolgen mit Praxisrangfolgen.

### 4.4.1 Definition von Rangfolgen

#### 4.4.1.1 Normrangfolgen

Als Normrangfolge (NRF) wird die Rangfolge von Produkten (Fußböden oder Schuhe) definiert, der die Ergebnisse einer standardisierten bzw. normierten Prüfung der rutschhemmenden Eigenschaften zu Grunde liegen. Folglich lässt sich für jedes Prüfverfahren mit den zugehörigen Parametern eine spezielle Normrangfolge der untersuchten Produkte bilden. Eine Übersicht der Normrangfolgen für Fußböden und Schuhe ist in Tabelle 15 dargestellt. Die Normrangfolgen für Fußböden entsprechen den Ergebnissen der nationalen und EG-Baumusterprüfungen verschiedener Produktgruppen (vgl. Kapitel 2.2.1.1)<sup>51</sup>. Die Normrangfolgen für Schuhe ergeben sich aus der Baumusterprüfung von Schuhen und den zwei zur Verfügung stehenden Prüfkombinationen.

---

<sup>51</sup> Das Pendelmessgerät wird für verschiedene Produktgruppen als Verfahren zur Baumusterprüfung herangezogen und ist in mehreren Normen beschrieben. An dieser Stelle wird das Pendelprüfverfahren der CEN/TS 16165 herangezogen, da diese Spezifikation eine Entwicklungsstufe zu einer einheitlichen Prüfung der rutschhemmenden Eigenschaften von Fußböden darstellt.



Normrangfolge Abkürzung	Beschreibung
NRF_DIN 51130	Rangfolge von Fußböden entsprechend dem Prüfverfahren nach DIN 51130; Begehungsverfahren Schiefe Ebene, Prüfschuh Picasso, Zwischenmedium Motoröl
NRF_DIN 51131	Rangfolge von Fußböden entsprechend dem Prüfverfahren nach DIN 51131; Gleitmessgerät, Gleiter SBR-Gummi, Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,1%
NRF_TS 16165_S55	Rangfolge von Fußböden entsprechend dem Prüfverfahren nach CEN/TS 16165; Pendelprüfgerät, Gleiter Slider 55, Zwischenmedium Leistungswasser
NRF_TS 16165_S96	Rangfolge von Fußböden entsprechend dem Prüfverfahren nach CEN/TS 16165; Pendelprüfgerät, Gleiter Slider 96, Zwischenmedium Leistungswasser
NRF_prEN 15673-1	Rangfolge von Fußböden entsprechend dem Prüfverfahren nach prEN 15673-1 (zurückgezogen); Begehungsverfahren Schiefe Ebene, Prüfschuh mit Sohle Slider 96, Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,1%
NRF_ISO 13287_E2W	Rangfolge von Schuhen entsprechend dem Prüfverfahren nach DIN EN ISO 13287; Maschineller Fußboden- und Schuhtester, Referenzboden Keramikfliese (Eurotile 2), Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,5%
NRF_ISO 13287_St_G	Rangfolge von Schuhen entsprechend dem Prüfverfahren nach DIN EN ISO 13287; Maschineller Fußboden- und Schuhtester, Referenzboden Stahl, Zwischenmedium Glycerin

Tabelle 15: Übersicht Normrangfolgen

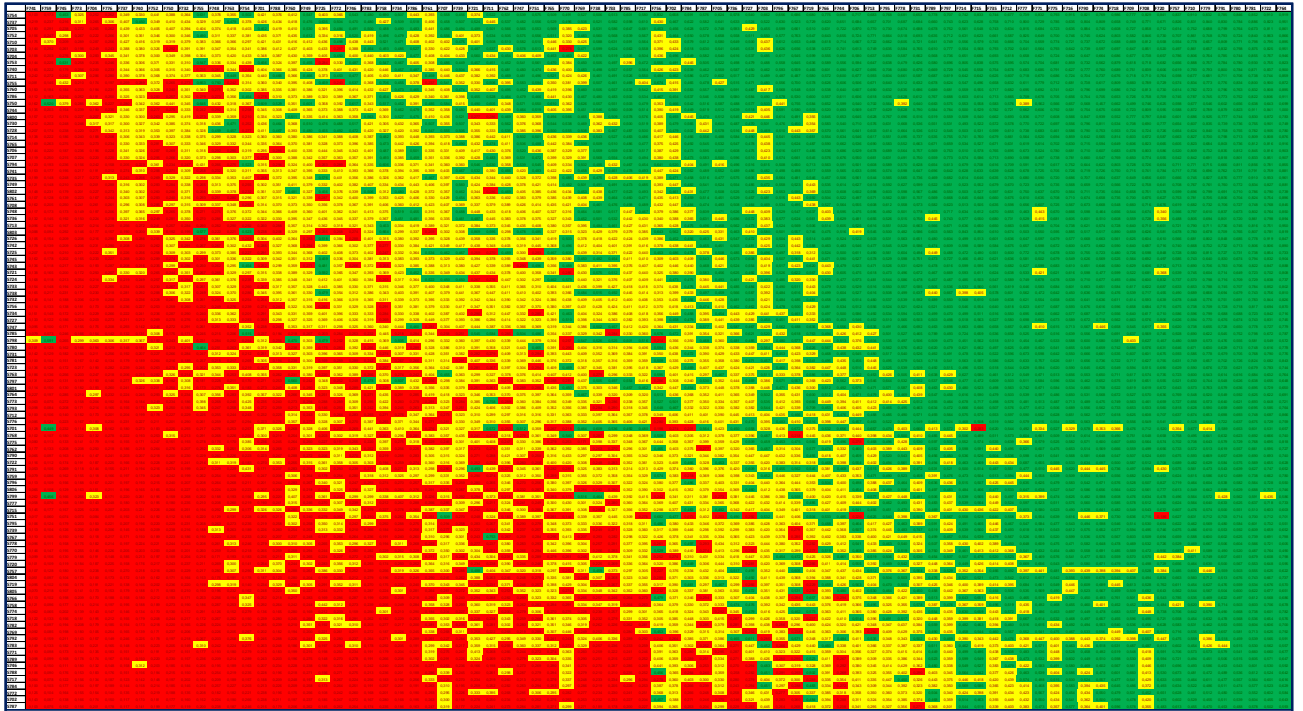
#### 4.4.1.2 Praxisrangfolgen

Die Praxisrangfolge wird definiert als Rangfolge von Produkten (Fußböden oder Schuhe) hinsichtlich des durchschnittlichen rutschhemmenden Potentials der Produkte in praktischen Situationen. Die Praxisrangfolge wird aus den kombinierten Fußboden-Schuh-Messungen berechnet. Das arithmetische Mittel<sup>52</sup> beschreibt als statistisches Lagemaß das durchschnittliche rutschhemmende Potential.

Beispielsweise ist das arithmetische Mittel einer Messreihe von 104 Schuhen auf einem Fußboden ein Kennwert für die rutschhemmenden Eigenschaften dieses Fußbodens in praktischen Situationen. Die Verwendung der gleichen Schuhprodukte erlaubt eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Fußböden und damit das Aufstellen einer Praxisrangfolge. Die Berechnung der Praxisrangfolge für Schuhe erfolgt analog durch Mitteln der Messergebnisse dieses Schuhs in Kombination mit den 85 untersuchten

<sup>52</sup> Die Verwendung anderer statistischer Lagemaße (z.B. Median) wurde geprüft. Die Wahl des Lagemaßes wurde durch eine programmierte Sortierung der Zeilen (Schuhe) und Spalten (Fußböden) der Ergebnismatrix ermittelt. Dabei wurde die Bedingung zugrunde gelegt, dass bei von links nach rechts besser werdenden Fußböden und von unten nach oben besser werdenden Schuhen der Wert in einer Zelle größer ist als in der jeweils linken und der jeweils unteren Zelle. Werden die Fußböden und Schuhe jeweils nach den arithmetischen Mittelwerten der Messreihen sortiert, maximiert sich die erfüllte Bedingung.

Fußböden und stellt damit einen Kennwert des Schuhs dar, der das rutschhemmende Potential in verschiedenen praktischen Situationen widerspiegelt.



**Abbildung 42: Bewertete Ergebnismatrix (Wasser) sortiert nach Praxisrangfolgen**

Abbildung 42 zeigt die Ergebnismatrix, bei der jede Spalte ein Fußbodenprodukt und jede Zeile ein Schuhprodukt repräsentiert. Die Spalten sind von links nach rechts gemäß der Praxisrangfolge der Fußböden (Zwischenmedium Wasser) aufsteigend sortiert. Die Zeilen sind von oben nach unten gemäß der Praxisrangfolge von Schuhen (Zwischenmedium Wasser) absteigend sortiert. Die Abhängigkeit der Gefährdung bzw. des Sicherheitsniveau von „guten“ und „schlechten“ Fußböden und Schuhen ist in dieser Matrix-Darstellung deutlich zu erkennen.

Aus den Messergebnissen für die Zwischenmedien Wasser und Öl wird jeweils eine Praxisrangfolge für Fußböden und Schuhe berechnet. Eine Übersicht der verwendeten Praxisrangfolgen ist in Tabelle 16 dargestellt.

Praxisrangfolge Abkürzung	Beschreibung
PRF_Fußböden_Wasser	Rangfolge von <b>Fußböden</b> entsprechend dem durchschnittlichem rutschhemmenden Potential in Verbindung mit <b>Wasser / Nässe</b> und <b>Schuhen</b> in Praxissituationen
PRF_Fußböden_Öl	Rangfolge von <b>Fußböden</b> entsprechend dem durchschnittlichem rutschhemmenden Potential in Verbindung mit <b>Öl</b> und <b>Schuhen</b> in Praxissituationen
PRF_Schuhe_Wasser	Rangfolge von <b>Schuhen</b> entsprechend dem durchschnittlichem rutschhemmenden Potential in Verbindung mit <b>Wasser / Nässe</b> und <b>Fußböden</b> in Praxissituationen
PRF_Schuhe_Öl	Rangfolge von <b>Schuhen</b> entsprechend dem durchschnittlichem rutschhemmenden Potential in Verbindung mit <b>Öl</b> und <b>Fußböden</b> in Praxissituationen

Tabelle 16: Übersicht Praxisrangfolgen

## 4.4.2 Vergleiche von Norm- und Praxisrangfolgen

### 4.4.2.1 Methodik

Der Vergleich von Norm- und Praxisrangfolgen ermöglicht die Bewertung, inwieweit ein Prüfverfahren der rutschhemmenden Eigenschaften von Fußböden resp. die nationalen und EG-Baumusterprüfungen von Fußböden als praxismäßig einzustufen sind. Ein niedriges Ergebnis in einer Baumusterprüfung sollte „schlechte“ rutschhemmende Eigenschaften, ein hohes Ergebnis wiederum „gute“ rutschhemmende Eigenschaften erwarten lassen.

Mittels bivariater linearer Regressionsanalyse kann der qualitative und quantitative Zusammenhang zwischen zwei Messreihen ermittelt werden. Als Messreihen werden je eine Praxisrangfolge und je eine Normrangfolge betrachtet. Zur Interpretation der Regressionsanalysen werden die Bewertungskriterien Korrelationskoeffizient, die Regressionsgerade bzw. die Steigung der Geraden und die Streuung der Werte von der Geraden<sup>53</sup> herangezogen. Eine optimale Übereinstimmung der Rangfolgen ist gegeben, wenn die Wertepaare auf der Regressionsgeraden liegen und die Streuung somit minimal wird. Exakt gleiche Wertepaare führen zu einer Regressionsgeraden mit der Steigung  $b = 1$  und dem y-Achsenabschnitt  $a = 0$ . Die Praxisrangfolge ist kein Messwert, sondern eine abgeleitete Vergleichsgröße. Von Interesse ist die möglichst gleiche Rangfolge innerhalb der Reihen, auch wenn der Betrag der Wertepaare variiert. Dies hat zur Folge, dass die Steigung der Regressionsgeraden von eins abweichen kann und dennoch eine

<sup>53</sup> Die Streuung der Werte von Geraden entspricht der Standardabweichung der Werte von der Geraden.

gute Übereinstimmung der Rangfolgen gegeben ist. Zu hohe oder zu niedrige Steigungen bedeuten allerdings, dass unter Berücksichtigung der Messunsicherheit nicht auf eine gute Übertragbarkeit der Rangfolgen geschlossen werden kann, weil einem kleinen Werteintervall einer Rangfolge eine große Spannweite an Werten der Vergleichsrangfolge gegenübersteht. Der Korrelationskoeffizient ist ein Maß für die Korrelation der Rangfolgen, liegt zwischen  $r = -1$  und  $r = 1$  und sollte im positiven Bereich möglichst nah an  $r = 1$  liegen. Die Bewertungskriterien werden wie folgt festgelegt:

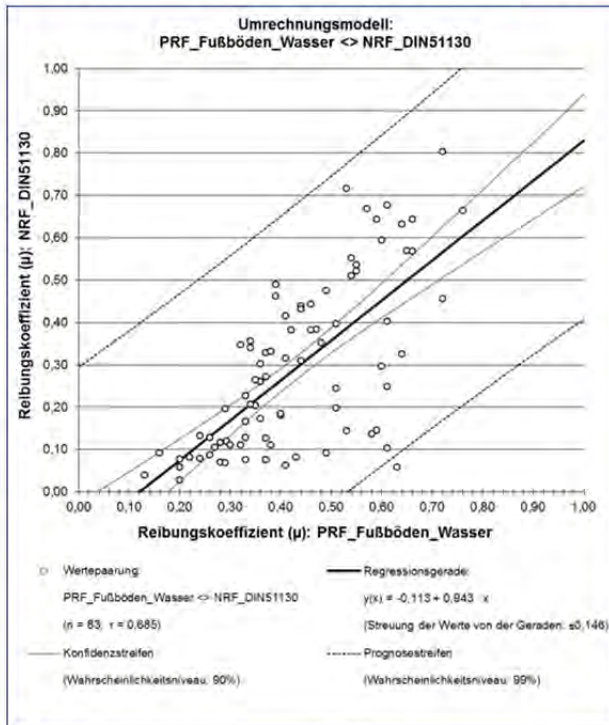
- Korrelationskoeffizient:  $r > 0,8$
- Steigung der Regressionsgeraden:  $0,5 \leq b \leq 2$
- Streuung der Werte von der Regressionsgeraden:  $s \leq 0,08$

#### **4.4.2.2 Vergleiche zur Praxisrangfolge Fußböden Wasser**

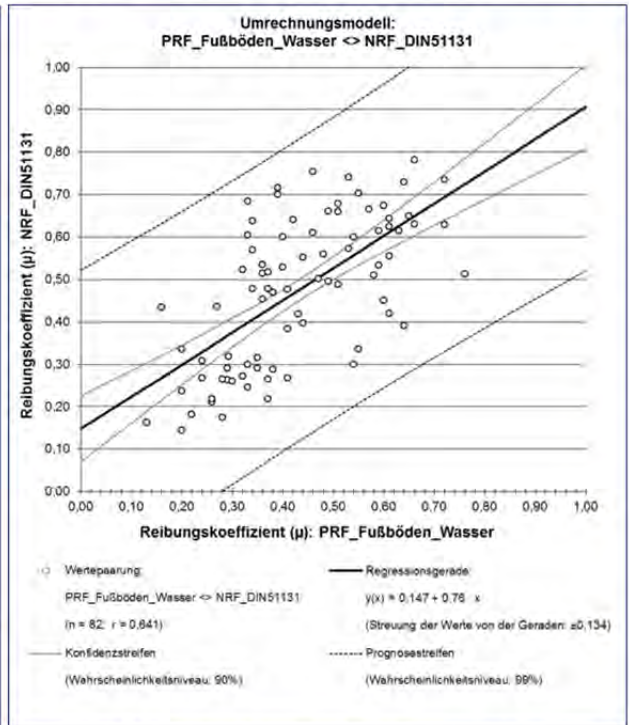
Abbildung 43 beinhaltet die Regressionsrechnungen der Praxisrangfolge von Fußböden bei Nässe im Vergleich zu vier Normrangfolgen von Fußböden. Keine der Regressionsrechnungen erfüllt die Bewertungskriterien. Folglich bedeutet dies, dass keines der normativen Prüfverfahren Fußböden hinsichtlich ihres rutschhemmenden Potentials in praktischen Situationen richtig bewertet.

Aus Teil A der Abbildung 43 ergibt sich der rechnerische Nachweis der Folgerungen aus Kapitel 4.3.2. Das belegt, dass die Prüfung und Bewertung von Fußböden und die damit verbundene Auswahl von Fußböden für Arbeitsbereiche mit Auftreten von Nässe nach DIN 51130, BGR 181 und ASR 1.5 nicht praxisgerecht ist. Fußböden, die in Verbindung mit Nässe als unsicher und kritisch zu bewerten sind, dürfen derzeit in Arbeitsbereichen verlegt werden und führen zu einer erhöhten Gefährdung des Ausgleitens beim Gehen. Ebenso ist der umgekehrte Fall möglich, dass Fußböden, die als sicher zu bewerten sind, nicht die für Nassbereiche erforderliche Bewertungsgruppe gemäß BGR 181 erreichen.

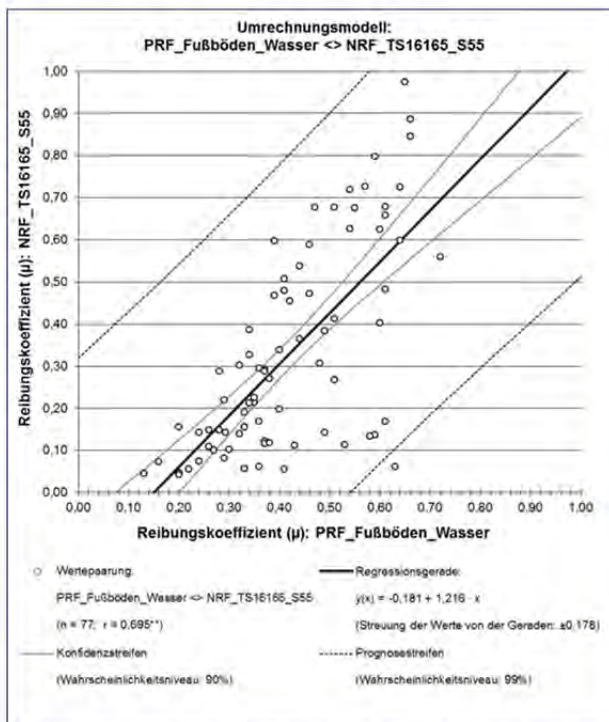
**Regressionsrechnung: Normrangfolgen Fußböden zur Praxisrangfolge Fußböden Wasser**



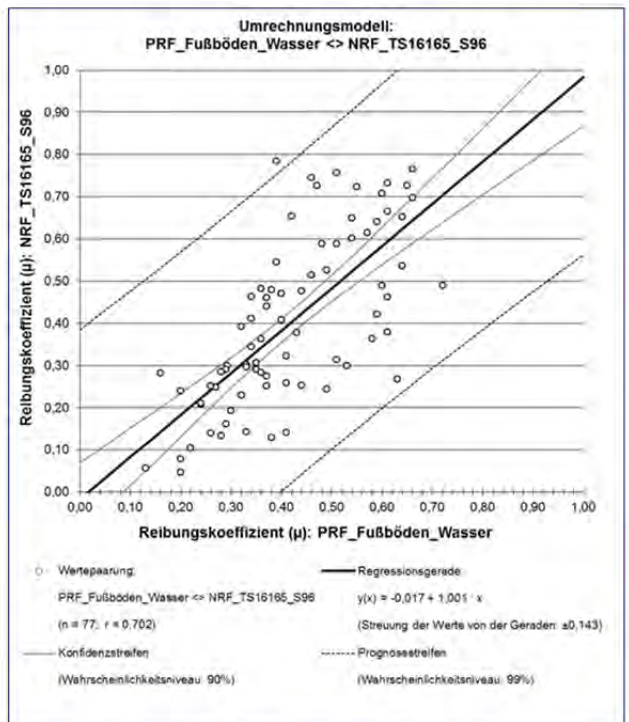
**A: DIN 51130 - SE, Picasso, Öl**



**B: DIN 51131 – GMG, SBR, 0,1% NaLS-Wasser**



**C: TS 16165 – Pendel, Slider55, Wasser**



**D: TS 16165 – Pendel, Slider96, Wasser**

**Abbildung 43: Regressionsrechnung Normrangfolgen Fußböden zur Praxisrangfolge Fußböden Wasser**

Alternative Prüfverfahren, die mit dem Zwischenmedium Wasser messen, sollten eine bessere Übereinstimmung zwischen Norm- und Praxisrangfolgen erwarten lassen. Trotz des praxisgerechteren Prüfmediums weisen auch die normativen Verfahren mit dem Gleitmessgerät nach DIN 51131 und dem Pendelmessgerät (u.a. CEN/TS 16165) keine praxisgerechte Bewertung von Fußböden bei Nässe auf (Teile B bis D der Abbildung 43). Folglich sind neben der Nichteignung als Baumusterprüfverfahren auch die Prüfbedingungen und Bewertungsmethodiken der BGI / GUV-I 8687 „Bewertung der Rutschgefahr unter Betriebsbedingungen“ sowie die Prüfung mit dem Pendelmessgerät in Arbeitsbereichen (z.B. gem. UKSRG) in Frage zu stellen.

#### **4.4.2.3 Vergleiche zur Praxisrangfolge Fußböden Öl**

Abbildung 44 zeigt die Regressionsrechnungen der Praxisrangfolge von Fußböden bei Auftreten von Öl im Vergleich zu vier Normrangfolgen von Fußböden. Die Prüfung und Bewertung nach dem R-Gruppen-Konzept erfüllt die Bewertungskriterien (vgl. Teil A der Abbildung 44) und weist eine hohe Übertragbarkeit zwischen Norm- und Praxisrangfolge auf. Die Interpretation aus Kapitel 4.3.4 wird damit rechnerisch bestätigt. Folglich ist das derzeit in Deutschland angewendete Verfahren als praxistauglich zu bewerten und für die Prüfung, Bewertung und Auswahl von Fußböden für Arbeitsbereiche, in denen hochviskose Zwischenmedien auftreten, geeignet.

Die Ergebnisse des Prüfverfahrens nach DIN 51131 (Gleitmessgerät, SBR-Gleiter, NaLS-Wasser 0,1%; vgl. Teil B der Abbildung 44) weisen keine Übertragbarkeit zu dem rutschhemmenden Potential von Fußböden in praktischen Situationen auf.

Differenzierter zu betrachten sind die Regressionsrechnungen der Praxisrangfolge Fußböden Öl zu den Normrangfolgen, die auf den Ergebnissen mit dem Pendelprüfgerät und den Gleitermaterialien Slider 55 und Slider 96 basieren. Die Korrelationskoeffizienten erfüllen das zugehörige Bewertungskriterium, die Streuungen der Werte von der Regressionsgeraden sind als zu hoch einzustufen. Insgesamt ist es verwunderlich, dass die chemisch-physikalischen Reibungsvorgänge der mit dem Zwischenmedium Öl ermittelten Praxisrangfolge durch ein Prüfverfahren mit dem Zwischenmedium Wasser abgebildet werden, zumal eine Übertragbarkeit bei gleichem Zwischenmedium (Wasser) nicht vorhanden ist. Es ist nicht bekannt, ob der Übertragbarkeit eine physikalisch begründete Systematik zu Grunde liegt oder ob sie auf einem zufälligen Phänomen beruht. Eine mögliche Begründung ist, dass durch die Kombination von hoher

Prüfgeschwindigkeit mit dem Zwischenmedium Wasser ein ähnliches Verhalten wie bei niedriger Prüfgeschwindigkeit mit dem Zwischenmedium Öl auftritt.

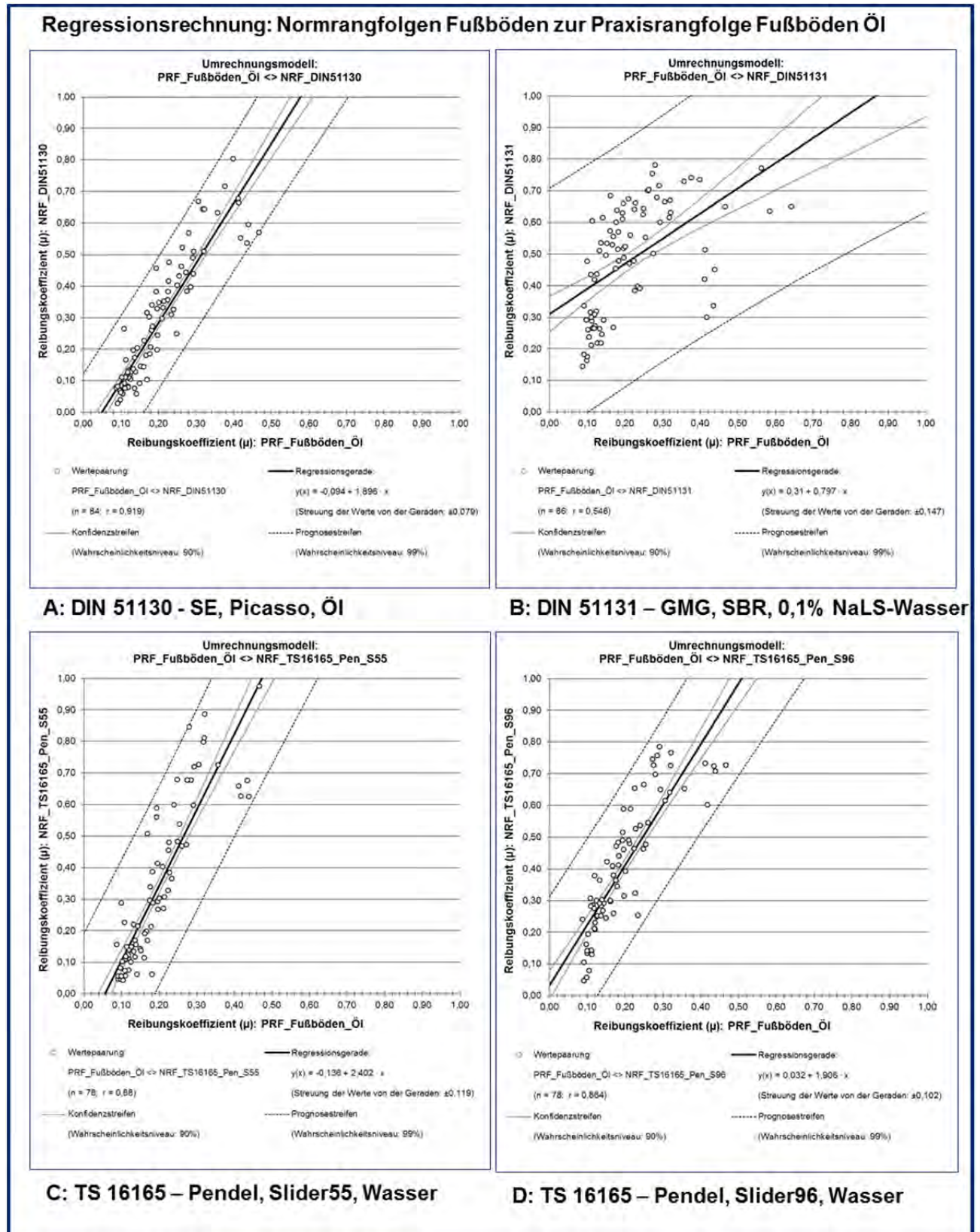


Abbildung 44: Regressionsrechnung Normrangfolgen Fußböden zur Praxisrangfolge Fußböden Öl

Es stellt sich somit die Frage, ob das Pendelprüfverfahren mit Wasser zur Bewertung von Fußböden in öligen Bereichen herangezogen werden kann. Dagegen sprechen die folgenden Argumente:

- Die Pendelprüfverfahren bewerten bei gleichem Zwischenmedium die Fußböden nicht praxistgerecht.
- Die Streuungen der Werte von der Regressionsgeraden sind erhöht.
- Es können mit dem Pendelmessgerät keine profilierten Fußböden gemessen werden, die in Arbeitsbereichen mit Auftreten von Öl verstärkt eingesetzt werden.
- Die Eignung von Slider 96 als Referenzmaterial ist in Frage zu stellen (WETZEL ET.AL. 2010).

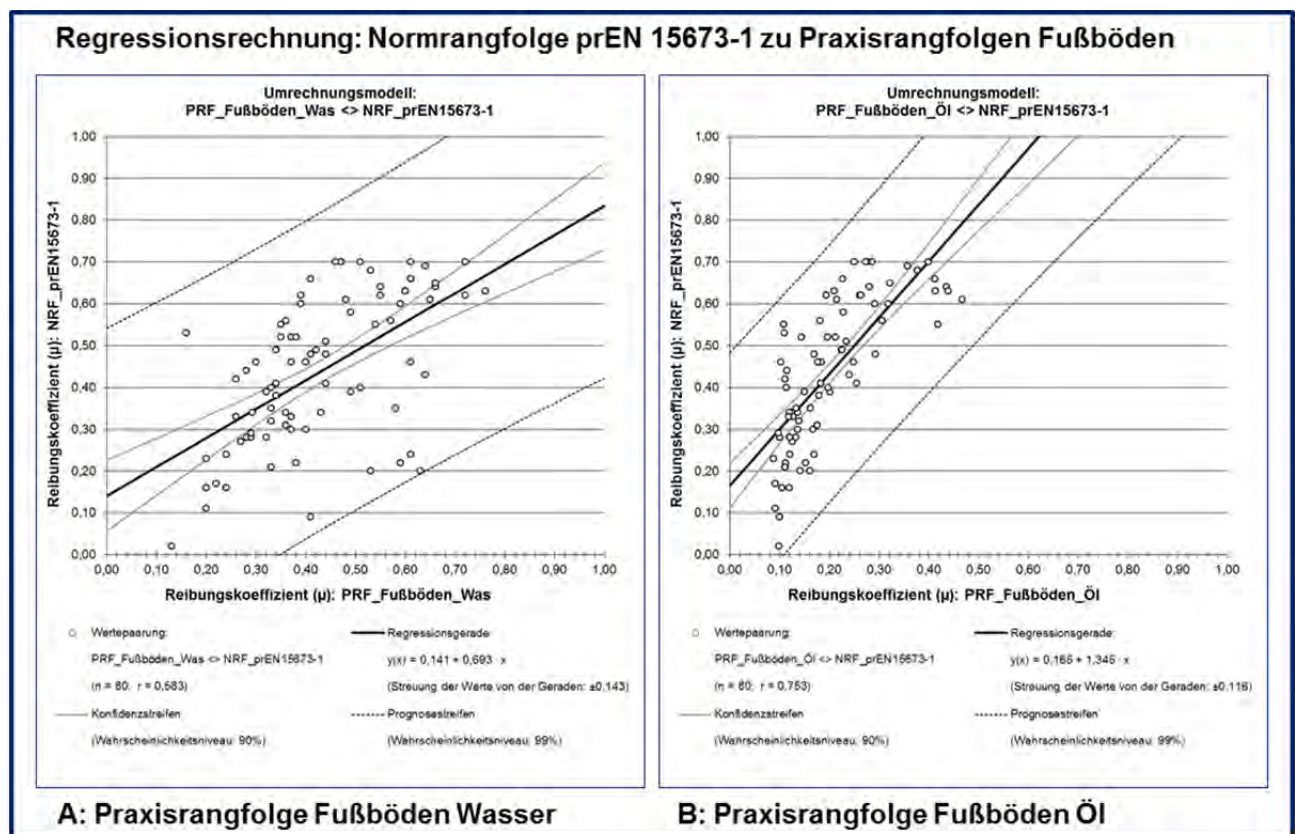


Abbildung 45: Regressionsrechnung: Normrangfolge prEN 15673-1 zu Praxisrangfolgen Fußböden



Das Prüfverfahren nach prEN 15673-1 (zurückgezogen) verwendet zur Prüfung von Fußböden das Begehungsverfahren der Schiefen Ebene, einen Sportschuh mit einer vollflächigen Sohle aus dem Material Slider 96 und das Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,1%. Abbildung 48 zeigt die Regressionsrechnung dieser Normrangfolge zu den Praxisrangfolgen von Fußböden für Wasser und Öl. Eine Übertragbarkeit zwischen beiden Praxisrangfolgen und dieser Normrangfolge ist nicht gegeben. Das Begehungsverfahren der Schiefen Ebene ist praxistgerechter als das Pendelprüfverfahren, da die Kontaktfläche und der Gang der Prüfperson praktischen Situationen entsprechen. Zusammen mit o.g. Argumenten wird daraus geschlossen, dass das Pendelprüfverfahren nach CEN/TS 16165 nicht als Baumusterprüfverfahren von Fußböden für ölige Arbeitsbereiche geeignet ist.

#### Eignung von Slider 96 als Referenzmaterial zur Bewertung von Fußböden

In diesem Zusammenhang bietet sich ein Exkurs an, da Zweifel an der Eignung von Slider 96 als Referenzmaterial bestehen (WETZEL ET.AL. 2010). Diese Untersuchungen bestätigen die Ergebnisse, dass in Abhängigkeit des Fußbodens bzw. des Fußbodenmaterials ein Schuh mit der Sohle aus Slider 96 innerhalb einer Reihe von Schuhen sowohl im obersten, als auch im untersten Bereich der rutschhemmenden Qualitäten von Schuhen liegen kann. Abbildung 46 zeigt Lageparameter von 102 Schuhen in einer Messreihe auf ausgewählten Fußböden mittels Box-Plot-Diagrammen<sup>54</sup>. Der rot markierte Punkt zeigt die Lage des Schuhs mit Slider 96-Sohle. In 11 der 14 ausgewählten Messreihen liegt der Wert dieses Schuhs deutlich außerhalb der Spannweite der Schuhe und bewertet die Fußböden zu hoch. In drei Fällen liegt er im unteren Bereich der Spannweite und führt zu einer schlechten Bewertung der Fußböden. Ein Referenzschuh zur Prüfung von Fußböden sollte innerhalb der Spannweite von Schuhen immer in einem ähnlichen Bereich liegen, damit eine vergleichbare Bewertung gewährleistet ist. Slider 96 ist aufgrund des besonderen und abweichenden Verhaltens nicht zur Verwendung als Referenzmaterial in der Fußbodenprüfung geeignet.

---

<sup>54</sup> Anstatt des Medians wird der Mittelwert verwendet.

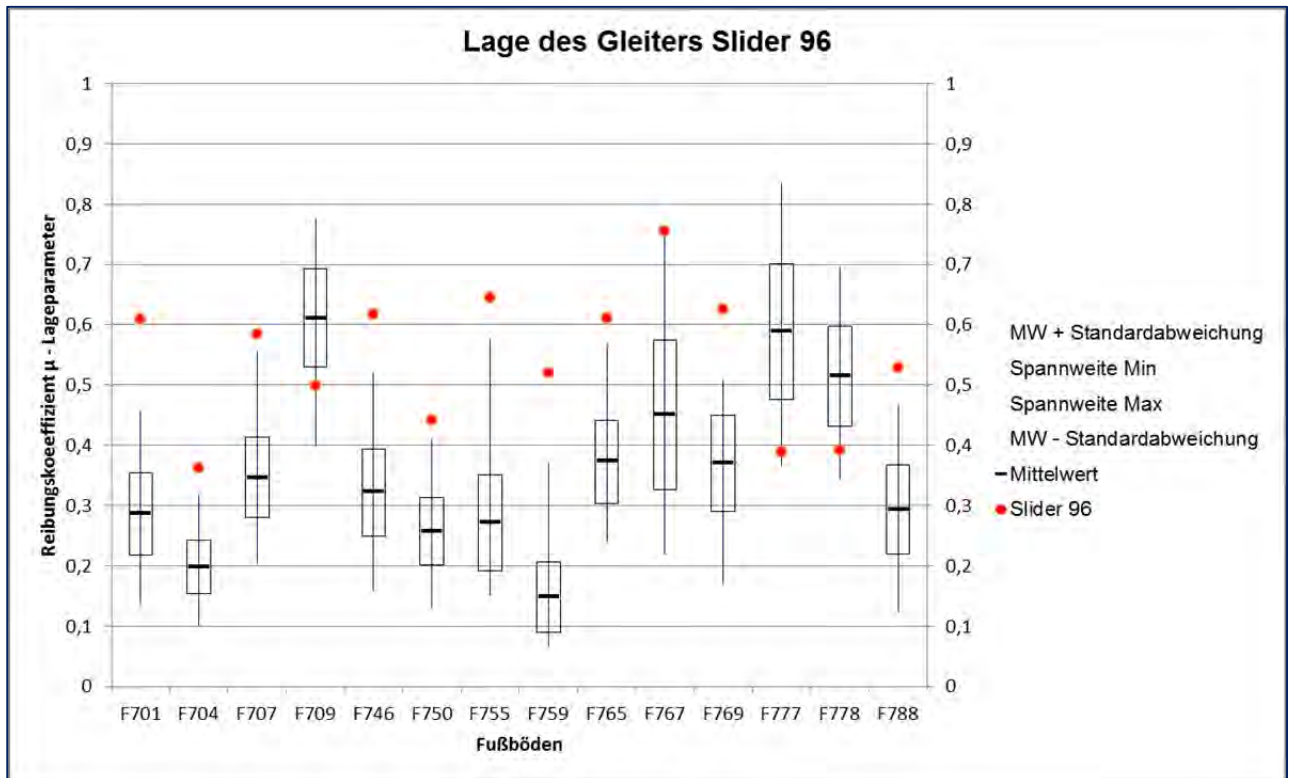


Abbildung 46: Lage des Gleiters Slider 96 innerhalb ausgewählter Messreihen

#### 4.4.2.4 Vergleich von Norm- und Praxisrangfolgen - Schuhe

Die Normrangfolgen von Schuhen ergeben sich aus den Ergebnissen der maschinellen Prüfung von Sicherheitsschuhen nach DIN EN ISO 13287 in den zwei Prüfkombinationen Keramikfliese / NaLS-Wasser 0,5% und Stahlboden / Glycerin. Jede der zu erreichenden Kennzeichnung SRA, SRB und SRC berechtigt zur Bereitstellung des Schuhs auf dem Markt, Empfehlungen für Einsatzbereiche sind aber nicht verfügbar. Folglich kann ein Schuh mit der Kennzeichnung SRB, der ausschließlich die Prüfkombination Stahl / Glycerin bestanden hat, auch in Arbeitsbereichen mit Nässe eingesetzt werden. Aus diesem Grund werden beide Normrangfolgen jeweils mit der Praxisrangfolge von Schuhen für Wasser und Öl verglichen.

Der Vergleich der Normrangfolgen von Schuhen mit der Praxisrangfolge von Schuhen in Verbindung mit Nässe ist in Abbildung 47 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Ergebnisse der Prüfkombination Keramikfliese / Wasser eine gute Übertragbarkeit auf das rutschhemmende Potential in praktischen Situationen aufweisen. Das Prüfverfahren wird somit als praxistgerecht eingestuft. Im Gegensatz dazu ist die Übertragbarkeit mit der Prüfkombination Stahlboden / Glycerin nicht gegeben.

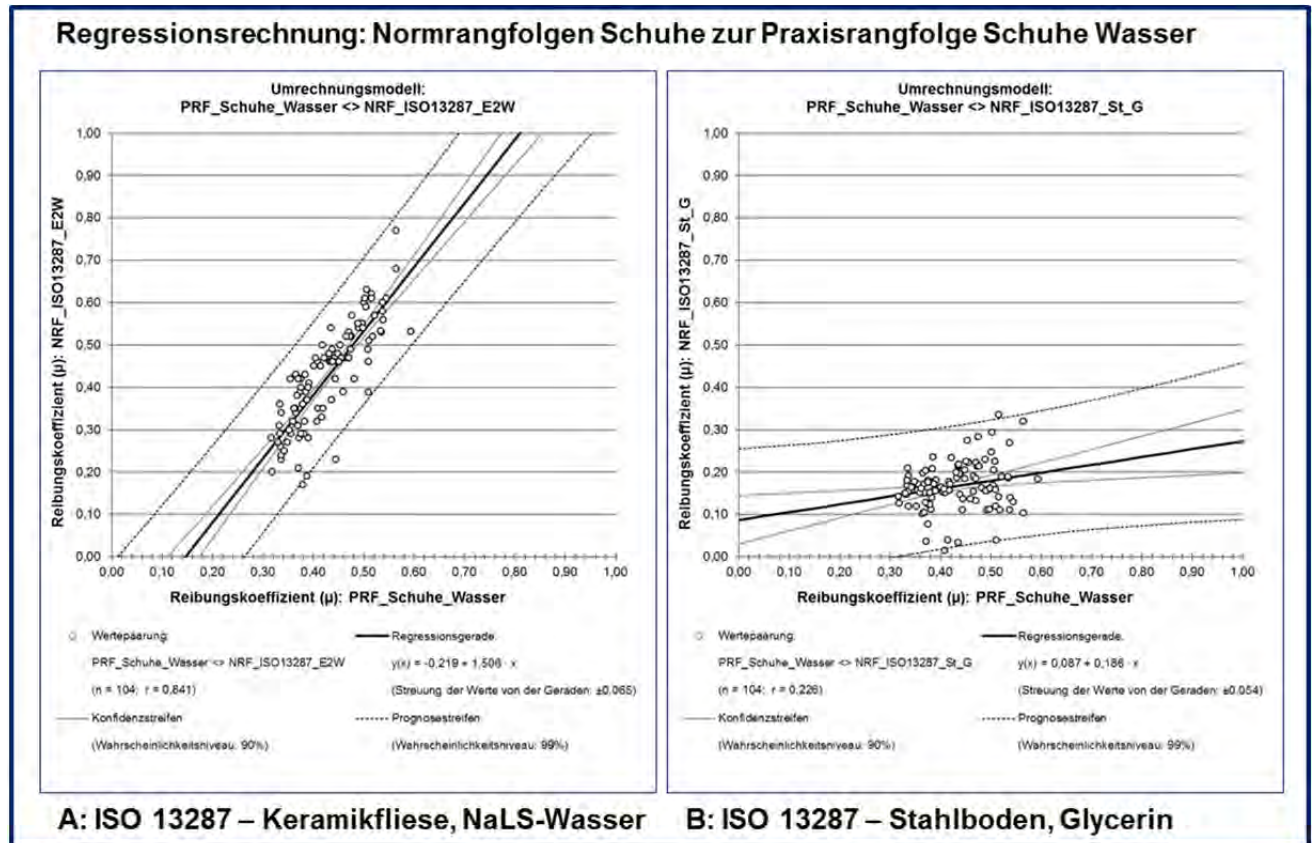


Abbildung 47: Regressionsrechnung Normrangfolgen Schuhe zur Praxisrangfolge Schuhe Wasser

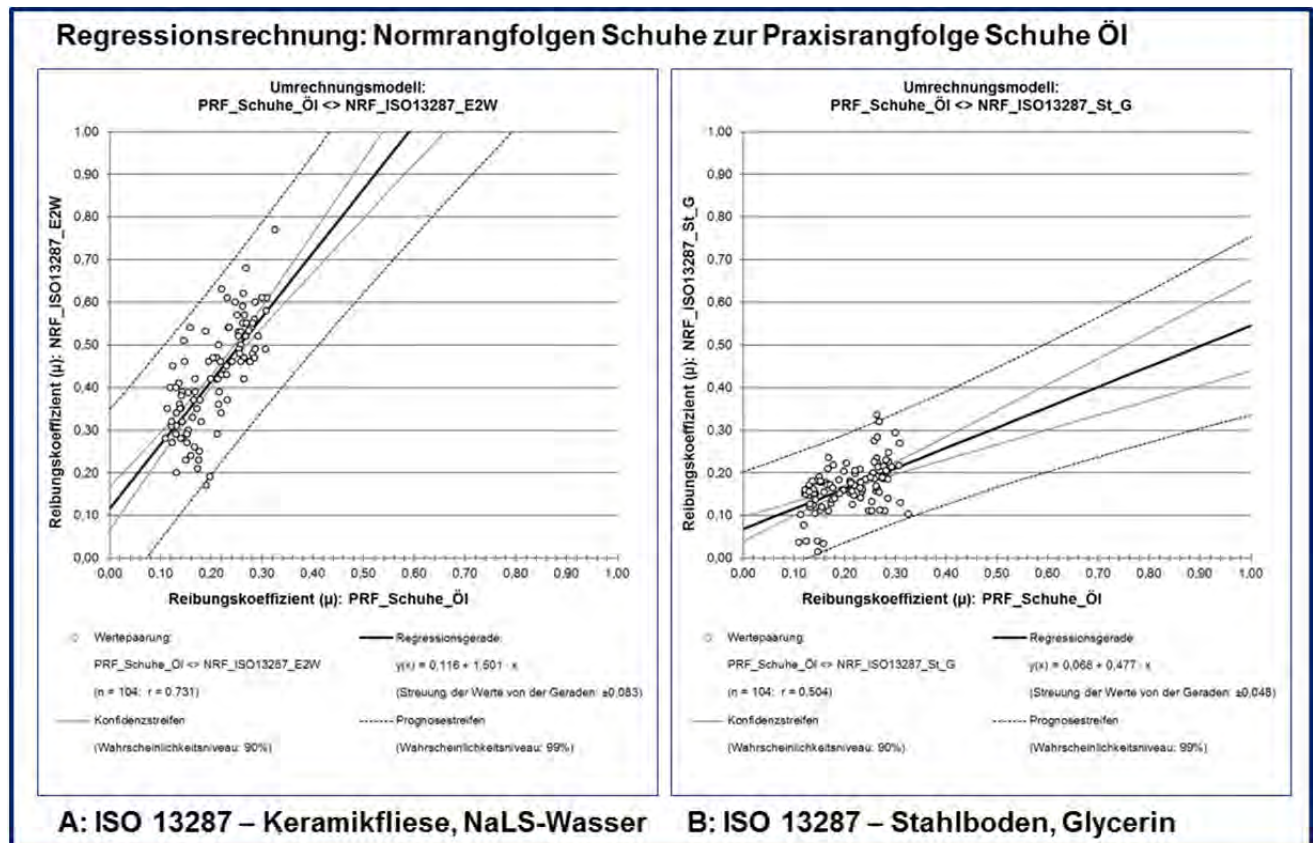


Abbildung 48: Regressionsrechnung Normrangfolgen Schuhe zur Praxisrangfolge Schuhe Öl

Abbildung 48 beinhaltet den Vergleich der Normrangfolgen von Schuhen mit der Praxisrangfolge von Schuhen in Verbindung mit Öl. Beide Regressionsanalysen und somit beide Prüfkombinationen erfüllen nicht die Kriterien für eine gute Übertragbarkeit. Die Prüfkombination Keramikfliese / Wasser zeigt Tendenzen einer Übertragbarkeit. Dies bedeutet, dass Schuhe, die in der Baumusterprüfung mit Wasser ein gutes Ergebnis erzielt haben, tendenziell auch in öligen Situationen ein höheres rutschhemmendes Potential aufweisen.

## 4.5 Verschleiß von Fußböden

Systematische Veränderungen der untersuchten Fußböden durch die Messungen wurden unter der Thematik Messunsicherheit in Kapitel 4.2.2.2 betrachtet. In diesem Abschnitt erfolgt eine qualitative und quantitative Auswertung der Verschleißerscheinungen von Fußböden. Die Berechnungen beziehen sich ausschließlich auf den Vorverschleiß durch 50 Einzelmessungen mit demselben Sicherheitsschuh (Beispiele in Abbildung 49), ein weiterer Verschleiß während der Messreihe mit Schuhen ist in vielen Fällen zusätzlich zu beobachten.

Untersuchungen des Verschleißverhaltens in realen Arbeitsbereichen sind nicht bekannt. Es wird davon ausgegangen, dass die Beanspruchung von Fußböden durch Begehen, „schlurfenden“ Gang, geschobene Gegenstände, Benutzung von Flurförderfahrzeugen und Ähnlichem mit der Beanspruchung durch das Prüfverfahren FST vergleichbar ist. Ähnliche Erscheinungen treten auch bei Messungen mit dem Begehungsverfahren Schiefe Ebene auf.

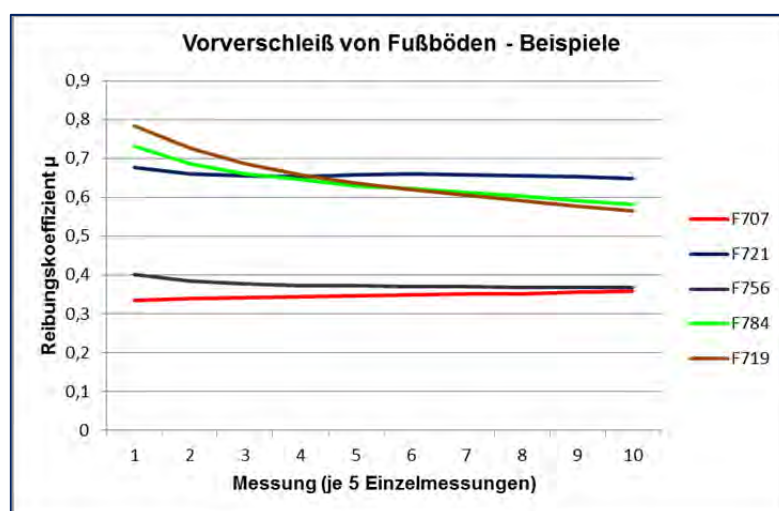


Abbildung 49: Vorverschleiß von Fußböden - Beispiele

Abbildung 50 zeigt eine prozentuale Häufigkeitsverteilung von Verschleißerscheinungen der untersuchten Fußböden. Aufgrund des unterschiedlich rutschhemmenden Potentials wird der Verschleiß prozentual angegeben und nach Kategorien ausgezählt. Etwa 10% der untersuchten Fußböden zeigen eine Erhöhung der Werte, das heißt, dass sich das rutschhemmende Potential im Gebrauch verbessert. Die restlichen 90% weisen eine Verschlechterung der rutschhemmenden Eigenschaften im Vergleich zum Neuzustand auf. Bei ca. der Hälfte aller untersuchten Bodenbeläge ist die Verringerung des rutschhemmenden Potentials größer als 10%.

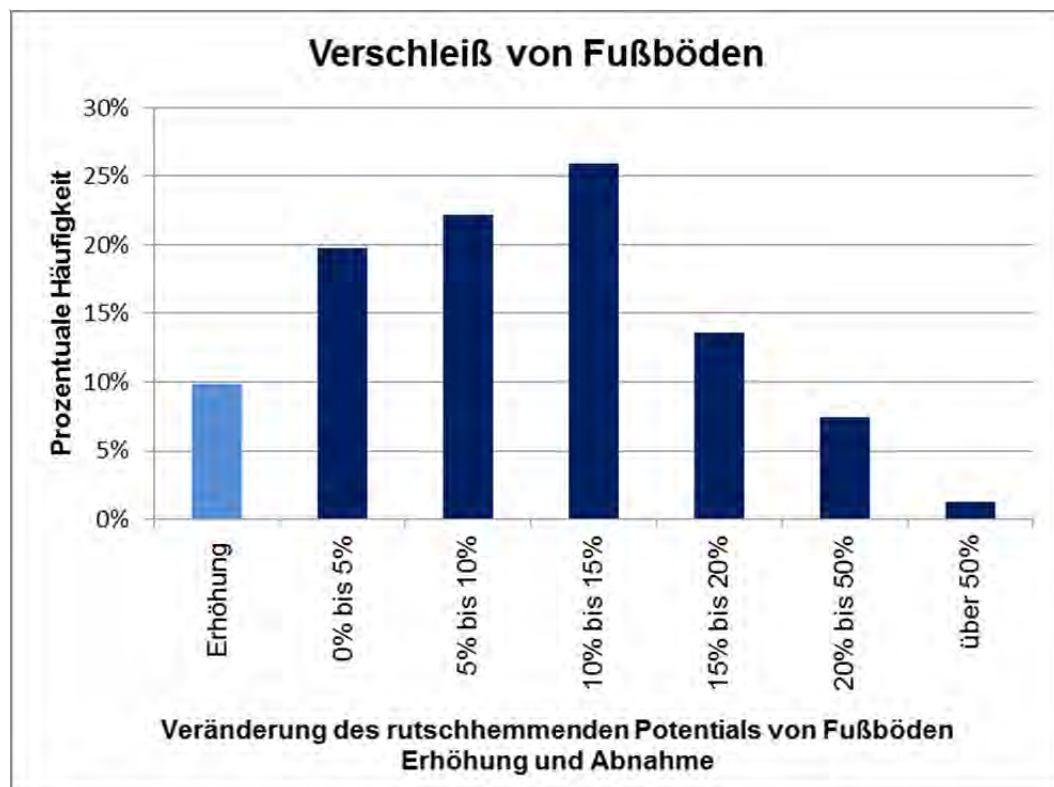


Abbildung 50: Häufigkeiten von Verschleißerscheinungen

Das Verschleißverhalten wird im Rahmen der nationalen und EG-Baumusterprüfungen von Fußböden nicht ausreichend berücksichtigt. Es ist möglich, dass ein Bodenbelag bereits nach kurzer Nutzungsdauer nicht mehr den gewünschten Anforderungen genügt. Es sollten Verfahren zur Herstellung eines definierten Verschleißes in die Baumusterprüfungen aufgenommen werden. Zusätzlich zur Baumusterprüfung ist ein praxisgerechtes mobiles Prüf- und Bewertungsverfahren für Vor-Ort-Messungen notwendig.

### 4.6 Vergleich von Sicherheitsschuhen mit Straßenschuhen

Die Schuhe der Untersuchung umfassen sowohl als PSA auf dem Markt bereitgestellte Sicherheitsschuhe als auch Straßenschuhe. Aufgrund des zu erwartenden differierenden rutschhemmenden Potentials dieser Produktgruppen ist ein Vergleich von Interesse.

In Anhang 5 sind die Mittelwerte und Spannweiten von Sicherheits- und Straßenschuhen für jeden untersuchten Fußboden im Vergleich dargestellt. Die Versuche zeigen, dass im Durchschnitt Sicherheitsschuhe mit dem Zwischenmedium Wasser  $\Delta\mu_{\text{Wasser}} = 0,07$  und mit dem Zwischenmedium Öl  $\Delta\mu_{\text{Öl}} = 0,10$  höhere Reibungswerte erreichen. Sicherheitsschuhe liegen insgesamt auf einem höheren Niveau und die Beträge der Spannweiten sind etwa gleich groß. Die Folgerung, dass ein Sicherheitsschuh immer ein höheres rutschhemmendes Potential aufweist, ist unzulässig. Es gibt Straßenschuhe auf dem Markt, die auf dem Niveau guter Sicherheitsschuhe liegen, ebenso wie Sicherheitsschuhe die unter dem durchschnittlichen Niveau von Straßenschuhen liegen.

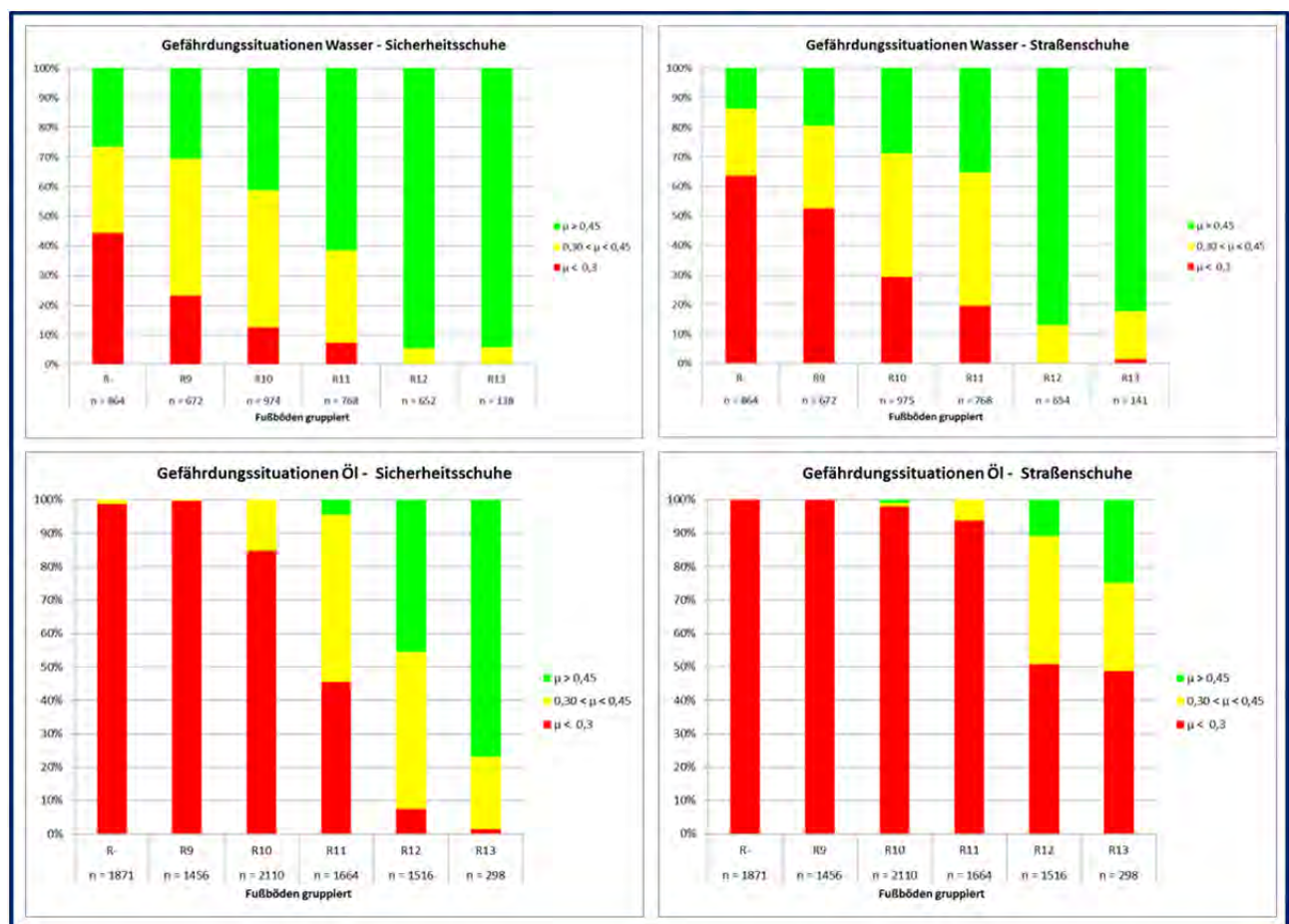


Abbildung 51: Gefährdungssituationen bei der Verwendung von Sicherheits- und Straßenschuhen

Die durchschnittliche Differenz beider Produktgruppen scheint auf den ersten Blick nicht sehr hoch zu sein, insbesondere wenn man die Anstrengungen der Hersteller von Sicherheitsschuhen<sup>55</sup> berücksichtigt. Eine genauere Betrachtung zeigt, dass die durchschnittliche Differenz zum einen etwa ein Drittel bis zur Hälfte des durchschnittlichen Anforderungsquotienten des gehenden Menschen ausmacht und zum anderen bezogen auf das Bewertungskonzept einen deutlichen Schritt zu einem höheren Sicherheitsniveau darstellt. Dies kommt insbesondere in der Häufigkeitsverteilung von Gefährdungssituationen, dargestellt in Abbildung 51, zum Ausdruck. In Arbeitsbereichen treten bei der Verwendung von Sicherheitsschuhen deutlich weniger kritische und unsichere Situationen auf als bei der Verwendung von Straßenschuhen.

Da die Verwendung von Sicherheitsschuhen das Sicherheitsniveau in Bezug auf Ausgleitunfälle erhöht, ließen die gleichen Mindestanforderungen an das rutschhemmende Potential von Straßenschuhen demnach ein höheres Sicherheitsniveau erwarten und sind aus sicherheitstechnischer Sicht angezeigt.

#### 4.7 Übertragbarkeit von Prüfverfahren

Die Übertragbarkeit von Prüfverfahren ist ein stetig diskutiertes Thema in den fachlichen Ausschüssen. Insbesondere soll eine Verbindung von stationären Baumusterprüfverfahren (z.B. Schiefe Ebene, maschinelles Prüfverfahren) zu mobilen Messverfahren für Vor-Ort-Messungen hergestellt werden.

Tabelle 17 und Abbildung 52 beinhalten einen qualitativen (Korrelationskoeffizienten) und quantitativen (absolute Messwerte) Vergleich der Prüfverfahren SE, GMG und FST mit dem Prüfschuh Picasso resp. dem Prüfschuh Leipzig V73SP und dem Zwischenmedium Motoröl. Die Korrelationskoeffizienten sind hoch und weisen auf eine gute Übertragbarkeit. Im absoluten Vergleich fällt auf, dass Fußböden mit höheren Akzeptanzwinkeln von den Prüfverfahren FST und GMG tendenziell etwas schlechter bewertet werden.

Tabelle 18 und Abbildung 53 beinhalten den Vergleich der Messgeräte für das Gleitermaterial „StarLP“ (vgl. auch Kapitel 5.1.2) und dem Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,1%. Tendenzuell werden die Fußböden ähnlich bewertet, allerdings ist die Streuung der Messwerte erhöht. Abweichungen bis zu  $\Delta\mu = 0,2$  haben zur Konsequenz, dass Fußböden mit einem Laborverfahren und einem mobilen Messgerät unterschiedliche bewertet und ggf. klassifiziert werden.

---

<sup>55</sup> Aussagen im persönlichen Gespräch mit Herstellern von Sicherheitsschuhen im Rahmen des Forschungsprojektes „Rutschhemmungsmatrix“ auf Fachmessen und in Normungsgremien.

Übertragbarkeit Prüfverfahren: Picasso / Leipzig / V73, Öl						
	Anzahl	SE_Picasso n = 90	FST_Picasso n = 84	GMG_V73 n = 86	FST_LeipzigSP n = 89	Praxisrangfolge n = 90
SE_Picasso	n = 90	r = 1	r = 0,942	r = 0,926	r = 0,935	r = 0,901
FST_Picasso	n = 84		r = 1	r = 0,918	r = 0,984	r = 0,948
GMG_V73	n = 86			r = 1	r = 0,913	r = 0,867
FST_LeipzigSP	n = 89				r = 1	r = 0,971
Praxisrangfolge	n = 90					r = 1

Tabelle 17: Übertragbarkeit Prüfverfahren (Picasso / Öl) - Korrelation

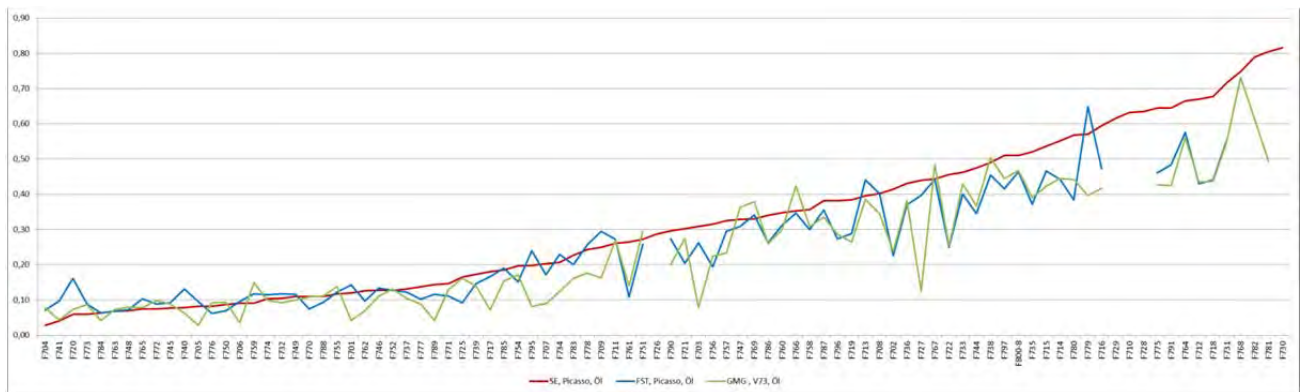


Abbildung 52: Übertragbarkeit Prüfverfahren (Picasso / Öl) – absolut

Übertragbarkeit Prüfverfahren: S&G StarLP333 crepe, 0,1% NaLS-Wasser					
	Anzahl	FST n = 83	Schiefe Ebene n = 86	GMG n = 85	Praxisrangfolge n = 89
FST	n = 83	r = 1	r = 0,9	r = 0,838	r = 0,954
Schiefe Ebene	n = 86		r = 1	r = 0,759	r = 0,895
GMG	n = 85			r = 1	r = 0,907
Praxisrangfolge	n = 89				r = 1

Tabelle 18: Übertragbarkeit Prüfverfahren (StarLP / Wasser) – Korrelation

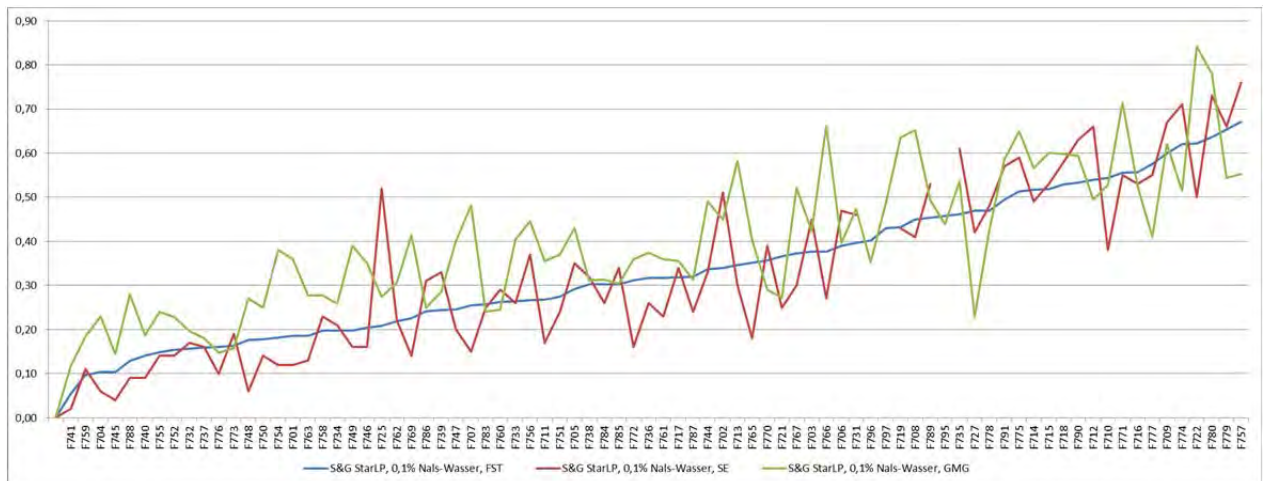


Abbildung 53: Übertragbarkeit Prüfverfahren (StarLP / Wasser) - absolut



## 5 Gestaltung

Die Analyse und Bewertung der IST-Situation haben u.a. die Anteile kritischer praktischer Situationen und Defizite in den Verfahren zur Baumusterprüfung von Fußböden und Schuhen aufgezeigt. Die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen werden im Folgenden dazu genutzt, Gestaltungslösungen zu erarbeiten. Die Zielstellungen sind hierbei, Vorschläge für valide Baumusterprüfverfahren zu erarbeiten, die Abhängigkeit der Gefährdung von den rutschhemmenden Potentialen der Produkte Schuhe und Fußböden zu beschreiben, daraus das Präventionsinstrument „Rutschhemmungsmatrix“ zu entwickeln und abschließend die Zusammenhänge von Reibung mit Produkteigenschaften zu spezifizieren.

### 5.1 Eruiierung valider Baumusterprüfungen

Die Praxisrangfolgen für Fußböden Öl und Schuhe Wasser werden durch die entsprechenden normativen Prüfungen valide abgebildet (vgl. Kapitel 4.4.2). Eine alternative Gestaltungslösung ist für diese Praxisrangfolgen nicht notwendig. Fußbodenprodukte für Arbeitsbereiche mit Nässe und Schuhprodukte für den Einsatz in öligen Bereichen werden derzeit durch die Baumusterprüfungen nicht praxisgerecht bewertet und erfordern eine alternative Prüfung. Ursächlich sind neben der Verwendung praxisfremder Zwischenmedien die jeweiligen Referenzmaterialien (Referenzschuh für die Fußbodenprüfung; Referenzboden für die Schuhprüfung).

#### 5.1.1 Anforderungen an Referenzmaterialien

Ein Referenzmaterial ist ein „Material oder eine Substanz von ausreichender Homogenität, von dem bzw. der ein oder mehrere Merkmalwerte so genau festgelegt sind, dass sie zur [...] Zuweisung von Stoffwerten verwendet werden“ [ISO GUIDE 30]. Ein Referenzmaterial für die Prüfung rutschhemmender Eigenschaften muss technischen und wissenschaftlichen Kriterien genügen, um langfristig eine valide Bewertung von Fußboden- und Schuhprodukten zu gewährleisten. Diese Kriterien sind:

- 1.) Richtigkeit, Validität, hier: Abbildung der Praxisrangfolge,
- 2.) Homogenität
  - a. langfristige Verfügbarkeit,

- b. gleichbleibende Eigenschaften und Beständigkeit gegen Alterung,
- c. Möglichkeit der Überprüfung / Kalibrierung, Definition von Ausschlusskriterien,
- d. Beständigkeit gegen Medien (hier insb. NaLS-Lösung bzw. Motoröl),
- e. Beständigkeit gegen Verschleiß (z.B. Abrieb),
- f. Beschreibbarkeit der erforderlichen Konditionierung,
- g. Nachweis der Eignung in einem Ringversuch,
- h. Nutzung in bzw. Übertragbarkeit zwischen verschiedenen Prüfverfahren,

### 3.) Bezugsquelle, langfristige Verfügbarkeit und Preis

Bei den im Folgenden vorgestellten Vorschlägen für Referenzmaterialien liegt der Fokus auf der Validität. Die weiteren Anforderungen werden bei den Vorschlägen für alternative Referenzmaterialien weitestgehend berücksichtigt, aber im Folgenden nicht ausführlich betrachtet. Prinzipiell schwierig ist die Festlegung von Kalibrierverfahren und Toleranzintervallen für die Referenzmaterialien. Diese Ermittlung und Festlegung sollte in weiteren Untersuchungen und insbesondere durch umfangreichere Ringversuche unter Beteiligung verschiedener Labore erfolgen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde nur ein Ringversuch mit fünf ausgewählten Prüflaboratorien durchgeführt.

#### **5.1.2 Erueierung valider Referenzmaterialien und Prüfverfahren**

Die Methodik zur Erueierung valider Referenzmaterialien ist ähnlich wie die Bewertung der Normrangfolgen aus Kapitel 4.4. Die Praxisrangfolge dient als Bezugsgröße. Diese wird mittels Regressionsrechnung mit den Messreihen der kombinierten Fußboden-Schuh-Messung verglichen. Beispielsweise wird die Praxisrangfolge Schuhe Öl mit den Messreihen auf Fußböden und dem Zwischenmedium Öl verglichen. Die Bodenbeläge, die die Kriterien für eine gute Übertragbarkeit der Rangfolgen erfüllen, kommen als mögliche Referenzböden in Frage und können hinsichtlich der weiteren Kriterien für Referenzmaterialien untersucht werden.

### Referenzmaterial für die Fußbodenprüfung Wasser

Tabelle 19 zeigt eine Auswahl von Schuhen und die Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Praxisrangfolge Fußböden Wasser. Die Ergebnisse der Schuhe mit Laufsohlen aus den genormten Gleitermaterialien SBR-Gummi, Slider 96 und Slider 55 weisen keine gute Übertragbarkeit zur Praxisrangfolge auf.

Schuh-Nr.	Material	Korrelationskoeffizient	Regressionsgerade	Streuung von der Geraden
S701	SBR-Gummi	$r = 0,644$	$y(x) = -0,116 + 0,668x$	$s = 0,116$
S750	Slider 96	$r = 0,649$	$y(x) = 0,273 + 0,557x$	$s = 0,096$
S751	Slider 55	$r = 0,84$	$y(x) = -0,126 + 1,165x$	$s = 0,11$
S804	StarLP	$r = 0,958$	$y(x) = -0,142 + 1,176x$	$s = 0,052$

**Tabelle 19: Eruierung von Referenzmaterialien - Fußbodenprüfung Wasser**

Eine gute Übertragbarkeit zur Praxisrangfolge Fußböden Wasser ist durch den Schuh S804 gegeben (vgl. Abbildung 54). Das Sohlenmaterial ist strukturiertes Gummi mit der Bezeichnung „StarLP“<sup>56</sup> und als Schusterbedarf im Handel als Plattenware erhältlich. Die Wuppertaler Herstellerfirma Schomburg & Graf GmbH & Co KG ist einer der Weltmarktführer in der Entwicklung und Produktion von Gummi-Schuhsohlen, insbesondere für Sicherheitsschuhe. Innerhalb der Spannweite von Schuhen liegt das Material „StarLP“ im unteren Bereich und repräsentiert einen durchschnittlich schlechten Schuh. Dies erlaubt in Verbindung mit dem Zwischenmedium Wasser eine hohe Differenzierung von Fußböden.<sup>57</sup>

Beim Material „StarLP“ ist eine langfristige Verfügbarkeit gewährleistet, auch unabhängig von der Serienproduktion, da ggf. Sonderanfertigungen möglich sind. Abweichungen bei der Überprüfung unterschiedlicher Chargen sind minimal und vernachlässigbar. Insgesamt steht mit dem Sohlenmaterial „StarLP“ ein valides, langfristig verfügbares und gleichbleibendes Referenzmaterial zur Verfügung.

<sup>56</sup> Vollständige Bezeichnung „StarLP333crepe“

<sup>57</sup> Ein Referenzschuh mit hohen rutschhemmenden Eigenschaften hat auf unterschiedlichen Bodenbelägen tendenziell erhöhte Reibungswerte. Da Prüfverfahren zum Teil im oberen Bereich begrenzt sind (beispielsweise Zugkraft des GMG, maximaler Neigungswinkel der Schiefen Ebene), ist bei Fußböden mit hohen rutschhemmenden Eigenschaften mit einem solchen Schuh keine Differenzierung mehr möglich.

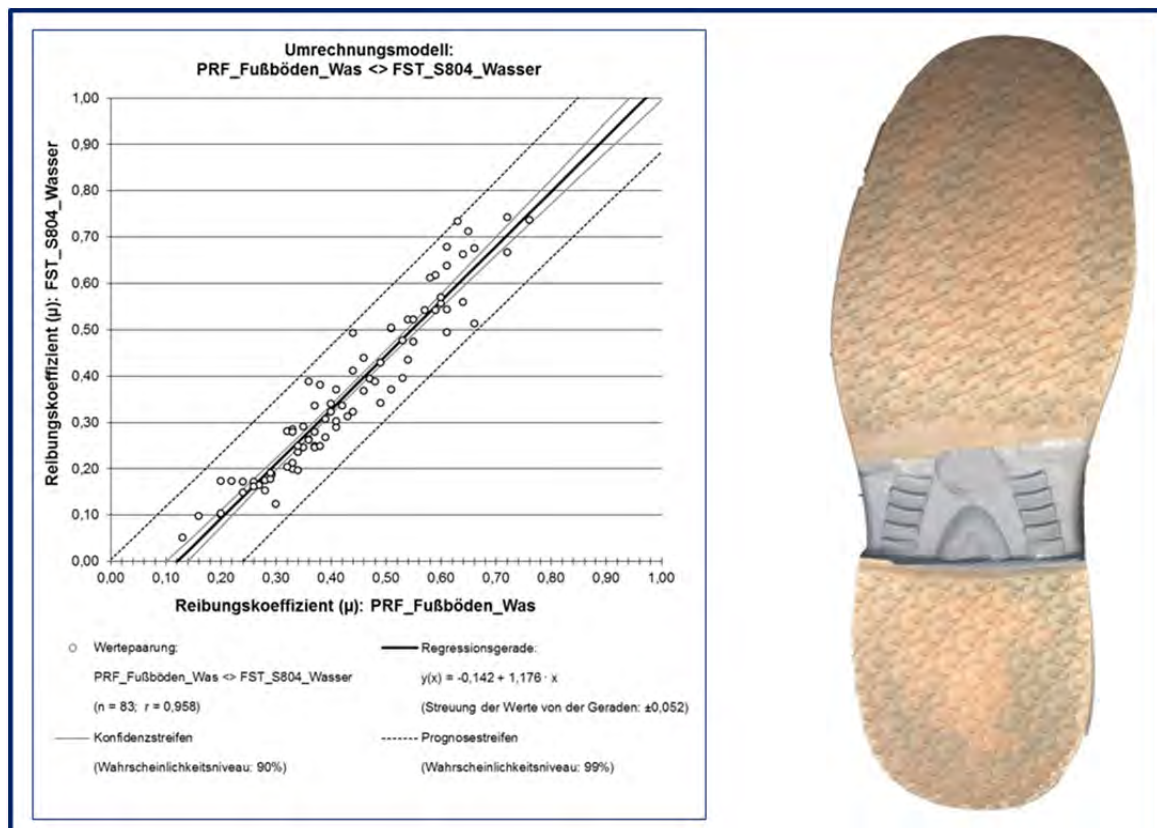


Abbildung 54: Mögliches Referenzmaterial "StarLP"

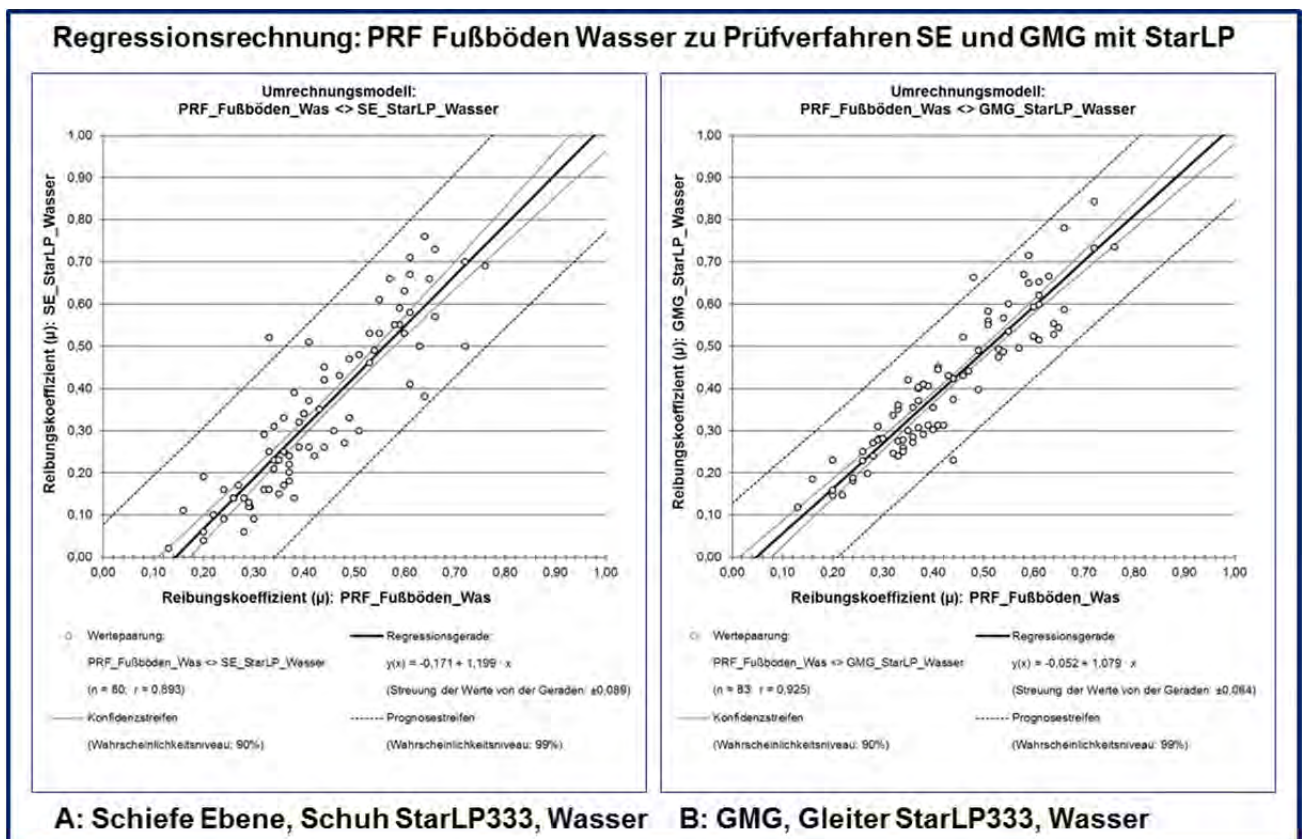
### Prüfverfahren für die Fußbodenprüfung Wasser

Als Prüfverfahren wird der Fußboden- und Schuhtester und das Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,1% verwendet. Es wird als zusätzliche Prüfung von Fußböden für Arbeitsbereiche mit auftretender Nässe zur derzeitigen Prüfung von Fußböden (ASR 1.5, BGR 181, DIN 51130) vorgeschlagen.

Vorteilhaft an der Nutzung des maschinellen Prüfverfahrens ist:

- Verwendung des gleichen Prüfverfahrens für Fußboden- und Schuhprüfung,
- einfachere und schnellere Handhabung,
- keine subjektiven Einflüsse durch Prüfpersonen,
- Möglichkeit der Nutzung von Referenzmaterialien der Schuhprüfung als Kalibriermaterialien in der Fußbodenprüfung und umgekehrt.

Nachteilig ist, dass Fußböden mit scharfkantigen Einstreuungen oder starken Profilierungen nicht mit der Prüfmaschine geprüft werden können. Alternativ können sowohl das Begehungsverfahren Schiefe Ebene und das Gleitmessgerät verwendet werden, da beide Verfahren in Verbindung mit dem Referenzmaterial „StarLP“ und NaLS-Wasser 0,1% eine ähnlich gute Übertragbarkeit zur Praxisrangfolge haben (vgl. Abbildung 55).<sup>58</sup>



**Abbildung 55: Regressionsrechnung PRF-Fußböden-Wasser zu den Prüfverfahren SE und GMG mit dem Gleitermaterial „StarLP“**

### Prüfverfahren und Referenzmaterial für die Schuhprüfung Öl

Für die Prüfung von Schuhen für den Einsatz in öligen Arbeitsbereichen wird weiterhin das maschinelle Prüfverfahren inkl. der Prüfparameter nach DIN EN ISO 13287 empfohlen. Anstelle der Prüfkombination Stahl / Glycerin wird als Prüfmedium Motoröl der Viskosität SAE 10W-30 und einer der beiden alternativ möglichen Referenzböden vorgeschlagen:

- Standardbelag II (St-II): keramische Fliese, wird eingesetzt als Kalibrierboden in der Prüfung von Fußböden nach DIN 51130 (vgl. Abbildung 56);

<sup>58</sup> Bestimmt wird die Übertragbarkeit unterschiedlicher Prüfverfahren mit dem Gleitermaterial „StarLP“ zur Praxisrangfolge und nicht die Übertragbarkeit der Prüfverfahren untereinander.

- Eurotile II: keramische Fliese, Referenzfliese für die Schuhprüfung Wasser, bereits in DIN EN ISO 13287 genormt, Verfügbarkeit<sup>59</sup> (vgl. Abbildung 56).

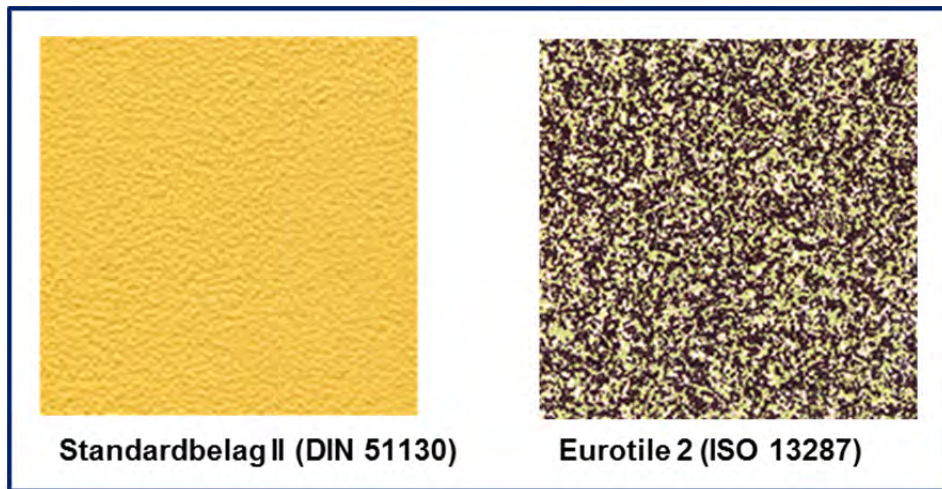


Abbildung 56: Keramikfliesen Standardbelag II und Eurotile 2

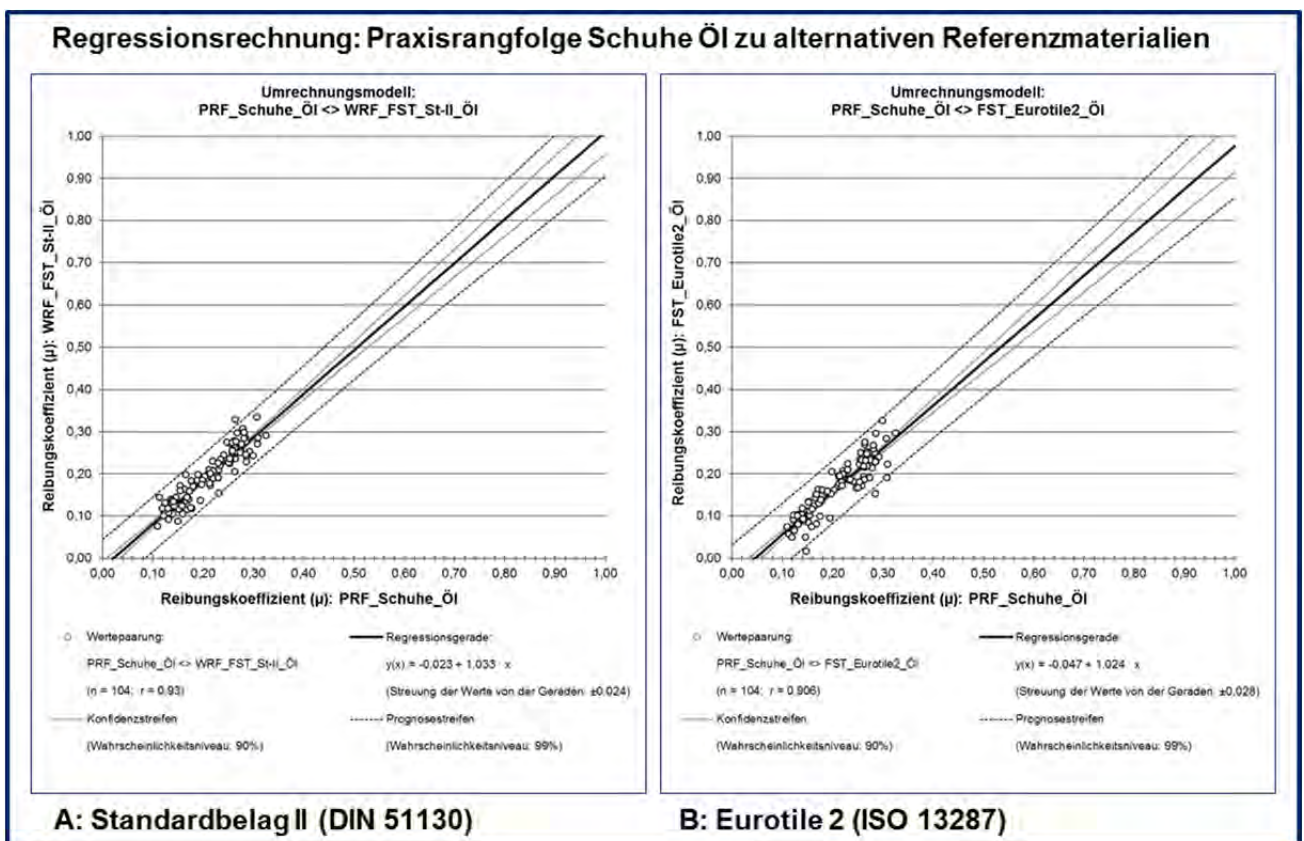


Abbildung 57: Regressionsrechnung Praxisrangfolge Schuhe ÖI zu alternativen Referenzmaterialien

<sup>59</sup> Die Produktion einer neuen Charge wird zur Zeit im zuständigen Normausschuss CEN TC 161 WG3 diskutiert. Eine entsprechende Vergleichsprüfung der Chargen steht noch aus.

Beide Materialien sind bereits normativ festgelegt, werden im Rahmen von Reibungsprüfungen verwendet und weisen eine gute Übertragbarkeit zur Praxisrangfolge Schuhe Öl auf (vgl. Regressionsrechnungen in Abbildung 57).

### 5.1.3 Ringversuch mit alternativen Referenzmaterialien

Im Rahmen eines europäischen Ringversuches mit fünf Prüflaboratorien wurde die Reliabilität der alternativen Prüfverfahren und Referenzmaterialien überprüft<sup>60</sup>. Die Prüfung der rutschhemmenden Eigenschaften eines Produktes sollte in verschiedenen Laboren unter gleichen Bedingungen ablaufen und zu gleichen Ergebnissen und Bewertungen führen. Tatsächlich resultieren Variationen innerhalb eines Referenzmaterials in unterschiedlichen Ergebnissen und Bewertungen von Produkten.

Der Ringversuch wurde gemäß DIN ISO 5725-2 durchgeführt. Als Messverfahren kam das maschinelle Prüfverfahren nach DIN EN ISO 13287 zum Einsatz. Zwei der fünf Laboratorien verwenden eine baugleiche Prüfmaschine, folglich stehen Ergebnisse von vier verschiedenen normgerechten Ausführungen zur Verfügung.

#### Materialien für die Vergleichsmessungen von Fußböden (Wasser):

- Referenzschuh „StarLP“, S820<sup>61</sup>
- Zwischenmedium: NaLS-Wasser 0,1%
- Prüfbodenbeläge:
  - o F801: Keramikfliese, raue Oberflächen
  - o F802: Keramikfliese, glatte Oberfläche
  - o F803: Spaltklinker, raue Oberfläche
  - o F804: PVC-Fußboden, glatte Oberfläche

#### Materialien für die Vergleichsmessungen von Schuhen:

- Referenzboden Eurotile II (gem. DIN EN ISO 13287), F717,
- Zwischenmedium: Motoröl SAE 10W-30,

---

<sup>60</sup> Sollten die Vorschläge dieser Arbeit im Rahmen der Gesetzgebung und Normung Berücksichtigung finden, sind umfangreichere Untersuchungen und Ringversuche notwendig.

<sup>61</sup> Der Schuh S820 entspricht dem Schuh S804. Beide sind mit dem Material „StarLP“ ausgestattet. Der Unterschied liegt in der Produktionscharge des StarLP-Materials begründet.

- Prüfschuhe:
  - o S821: Sicherheitsschuh 1, Gummi-Laufsohle,
  - o S822: Sicherheitsschuh 2, PU-Laufsohle,
  - o S823: Straßenschuh 1, TR-Laufsohle,
  - o S824: Straßenschuh 2, Gummi-Laufsohle.

				Labor i	1	2	3	4	5	Gesamt (alle Labore)		
										Mittelwert	Wiederhol- standardabweichung	Vergleichs- standardabweichung
<b>Fußbodenprüfung / Wasser</b>												
Fußbodenprüfung, Prüfmaschine gem. DIN EN ISO 13287 Schuh StartLP / NaLS-Wasser 0,1%	F801	S820	0,1% NaLS	Mittelwert Labor i	0,45	0,48	0,51	0,52	0,45	<b>0,48</b>	<b>0,026</b>	<b>0,024</b>
	Keramik 1 StarLP			Standardabweichung Labor i	0,035	0,019	0,042	0,007	0,023			
	F802	S820	0,1% NaLS	Mittelwert Labor i	0,18	0,23	0,19	0,18	0,20	<b>0,19</b>	<b>0,011</b>	<b>0,018</b>
	Keramik 2 StarLP			Standardabweichung Labor i	0,007	0,016	0,013	0,000	0,012			
	F803	S820	0,1% NaLS	Mittelwert Labor i	0,42	0,40	0,43	0,41	0,48	<b>0,43</b>	<b>0,006</b>	<b>0,033</b>
	Klinker StarLP			Standardabweichung Labor i	0,007	0,008	0,006	0,007	0,002			
	F804	S820	0,1% NaLS	Mittelwert Labor i	0,22	0,24	0,31	0,20	0,27	<b>0,25</b>	<b>0,015</b>	<b>0,042</b>
	PVC StarLP			Standardabweichung Labor i	0,028	0,006	0,011	0,007	0,009			
<b>Schuhprüfung / Öl</b>												
Schuhprüfung, Prüfmaschine gem. DIN EN ISO 13287 Referenzboden Eurotile II Motoröl SAE 10W-30	F717	S821	SAE 10W-30	Mittelwert Labor i	0,19	0,22	0,17	0,20	0,19	<b>0,19</b>	<b>0,010</b>	<b>0,016</b>
	Eurotile II Sicherheitsschuh 1			Standardabweichung Labor i	0,000	0,003	0,001	0,021	0,004			
	F717	S822	SAE 10W-30	Mittelwert Labor i	0,27	0,29	0,29	0,31	0,29	<b>0,29</b>	<b>0,006</b>	<b>0,014</b>
	Eurotile II Sicherheitsschuh 2			Standardabweichung Labor i	0,007	0,002	0,007	0,007	0,004			
	F717	S823	SAE 10W-30	Mittelwert Labor i	0,12	0,12	0,10	0,11	0,10	<b>0,11</b>	<b>0,005</b>	<b>0,007</b>
	Eurotile II Freizeit 1			Standardabweichung Labor i	0,007	0,006	0,003	0,000	0,008			
	F717	S824	SAE 10W-30	Mittelwert Labor i	0,12	0,13	0,14	0,11	0,11	<b>0,12</b>	<b>0,008</b>	<b>0,011</b>
	Eurotile II Freizeit 2			Standardabweichung Labor i	0,007	0,011	0,001	0,000	0,011			

**Tabelle 20: Ergebnisse des Ringversuches mit alternativen Referenzmaterialien**

Die Ergebnisse des Ringversuches sind in Tabelle 20 zusammengefasst. Für jede Prüfkombination wurden 2 Messreihen mit je 5 Einzelmessungen durchgeführt, Mittelwert und Standardabweichung für jedes Labor sowie Mittelwert, Wiederholstandardabweichung



und Vergleichsstandardabweichung für alle Labore ermittelt. Die Prüfung von Fußböden weist Vergleichsstandardabweichungen zwischen  $s = 0,018$  und  $s = 0,042$  auf. Im Vergleich zu den letzten Ringversuchsergebnissen mit dem maschinellen Prüfverfahren (vgl. DOKUMENT N154) sind die Abweichungen als niedrig einzustufen, wobei eine Verbesserung der Präzision angestrebt werden sollte. Des Weiteren können Verschleißerscheinungen der Fußböden nicht ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse der Schuhprüfung mit Motoröl zeigen eine gute Reliabilität des vorgeschlagenen Prüfverfahrens, eine geringe Spannweite der Ergebnisse und geringe Vergleichsstandardabweichungen.

#### **5.1.4 Definition von Wuppertaler Rangfolgen**

Die weitere Auswertung bezieht sich auf die Ergebnisse mit den vorgeschlagenen alternativen Baumusterprüfverfahren. Zur Vereinfachung wird analog zu der Terminologie der „Normrangfolge“ und „Praxisrangfolge“ der Begriff „Wuppertaler Rangfolge“ (WRF) eingeführt. Da die Praxisrangfolge keine Messgröße, sondern eine rechnerisch statistische Vergleichsgröße ist, wird die „Wuppertaler Rangfolge“ eines Produktes unter Angabe des Zwischenmediums definiert als Spezifikation von Prüfverfahren, Prüfparametern und Referenzmaterialien, deren Ergebnis die Praxisrangfolge des Produktes abbilden. Jeder der vier ermittelten Praxisrangfolgen wird somit eine Wuppertaler Rangfolge zugeordnet, die das jeweilige rutschhemmende Potential in praktischen Situationen valide messbar macht:

- Praxisrangfolge Fußböden Wasser → Wuppertaler Rangfolge Fußböden Wasser,
- Praxisrangfolge Schuhe Wasser → Wuppertaler Rangfolge Schuhe Wasser,
- Praxisrangfolge Fußböden Öl → Wuppertaler Rangfolge Fußböden Öl,
- Praxisrangfolge Schuhe Öl → Wuppertaler Rangfolge Schuhe Öl.

Wuppertaler Rangfolge (WRF) Abkürzung	Beschreibung
WRF_Fußböden_Wasser	Rangfolge von <b>Fußböden</b> in Verbindung mit <b>Wasser / Nässe</b> , ermittelt mit: <ul style="list-style-type: none"> <li>- maschinelles Prüfverfahren gem. DIN EN ISO 13287</li> <li>- Prüfparameter nach DIN EN ISO 13287</li> <li>- Winkelstellung des Schuhs: 0° / ebenes Vorwärtsgleiten</li> <li>- Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,1%</li> <li>- Referenzschuh mit Sohle aus "StarLP"</li> </ul>
WRF_Fußböden_Öl	Rangfolge von <b>Fußböden</b> in Verbindung mit <b>Öl</b> , ermittelt mit: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfverfahren, Prüfparameter und Referenzmaterialien nach DIN 51130, BGR 181 und ASR 1.5</li> <li>- Begehungsverfahren Schiefe Ebene</li> <li>- Zwischenmedium Motoröl SAE 10W-30</li> <li>- Referenzschuh Picasso, Uves Athletic oder LeipzigV73SP</li> </ul>
WRF_Schuhe_Wasser	Rangfolge von <b>Schuhen</b> in Verbindung mit <b>Wasser / Nässe</b> , ermittelt mit: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfverfahren, Prüfparameter und Referenzmaterialien nach DIN EN ISO 13287, Prüfkombination Keramikfliese / Wasser</li> <li>- maschinelles Prüfverfahren</li> <li>- Winkelstellung des Schuhs: 0° / ebenes Vorwärtsgleiten</li> <li>- Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,5%</li> <li>- Referenzboden Eurotile 2</li> </ul>
WRF_Schuhe_Öl	Rangfolge von <b>Schuhen</b> in Verbindung mit <b>Öl</b> , ermittelt mit: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfverfahren und Prüfparameter nach DIN EN ISO 13287,</li> <li>- maschinelles Prüfverfahren</li> <li>- Winkelstellung des Schuhs: 0° / ebenes Vorwärtsgleiten</li> <li>- Zwischenmedium Motoröl SAE 10W-30</li> <li>- Referenzboden St-II oder Eurotile 2</li> </ul>

**Tabelle 21: Übersicht Wuppertaler Rangfolgen**

Die Praxisrangfolgen Fußböden Öl und Schuhe Wasser werden durch die normativen Baumusterprüfungen bereits abgebildet. Die Wuppertaler Rangfolge ist in diesen Fällen gleich der Normrangfolge. Die Wuppertaler Rangfolgen für Fußböden Wasser und Schuhe Öl entsprechen den eruierten alternativen Baumusterprüfungen. Die Wuppertaler Rangfolgen sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

## 5.2 Statistisches Gefährdungsmodell

### 5.2.1 Zielstellung

Die Gefährdung Ausgleiten beim Gehen hängt gemäß dem Arbeitssystem-Modell von dem Gefährdungspotential (hazard) der benutzten Produkte Fußboden und Schuh, den gegebenen Umgebungsbindungen resp. Zwischenmedien und der Exposition durch den gehenden Menschen mit seinem gangbedingten Anforderungsquotienten ab. Eine Erhöhung der Reibung im System aus Fußboden, Schuh und Zwischenmedium kann durch die Auswahl von Fußböden und Schuhen mit hohen rutschhemmenden Eigenschaften als Maßnahme der Substitution bzw. technische Schutzmaßnahme erfolgen. Die Entwicklung der Wuppertaler Rangfolgen ermöglicht die Beurteilung des Gefährdungspotentials (hazard) von Fußböden und Schuhen. Die WRF sind als Ergebnis einer alternativen Baumusterprüfung produktbezogene Kennwerte, die als Eingangsinformation im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung benutzt werden können. Zielstellung ist es, die Abhängigkeit der Gefährdung bzw. der Reibung im Reibungssystem von dem Gefährdungspotential bzw. dem rutschhemmenden Potential von Fußböden und Schuhen statistisch zu analysieren und in einem mathematischen Modell zu beschreiben. Dies ermöglicht zum einen bei vorhandenen Produkten eine Beurteilung der Gefährdung, und zum anderen die Auswahl sicherer Fußboden-Schuh-Kombinationen.

### 5.2.2 Modellentwicklung

Die Modellentwicklung erfolgt mittels der multivariaten Regressionsrechnung (vgl. Kapitel 4.1.3).

#### 5.2.2.1 Bestimmung der Einflussgrößen

Gemäß der Zielstellung soll erreicht werden, dass das statistische Gefährdungsmodell die Abhängigkeit der Reibung von den unabhängigen Variablen der Wuppertaler Rangfolgen für Fußböden und Schuhe beschreibt. Die Voraussetzung für ein multivariates Regressionsmodell ist, dass das Modell möglichst alle beschreibenden Einflussgrößen enthält. Im Rahmen der Untersuchungen wurden produktbezogene Kennwerte und Parameter gemessen, beispielsweise jeweils 22 Kenngrößen für die Oberflächenrauheit von Fußböden und Schuhen, produktbezogene Reibungswerte inkl. der Wuppertaler Rangfolgen, Härte, Profilinformationen und Kontaktflächen. Für das Zwischenmedium Wasser stehen insgesamt 68 Parameter, für das Zwischenmedium Motoröl 60 Parameter zur Verfügung.

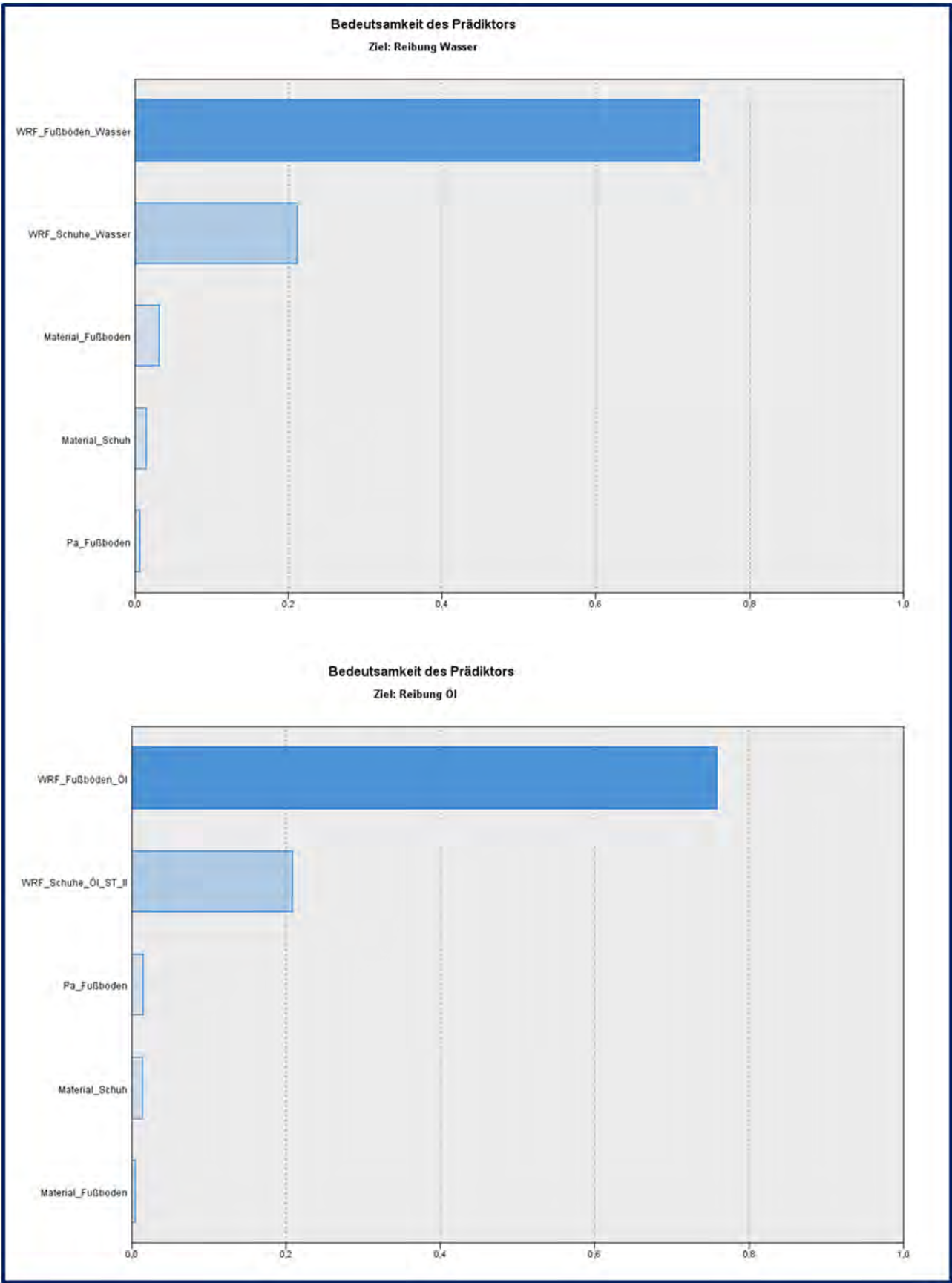


Abbildung 58: Bedeutung der Prädiktoren / Einflussgrößen

Mit der Software SPSS wurde mittels „automatischer linearer Modellierung“ ausgewertet, welche der Parameter einen signifikanten Einfluss im Rahmen eines Regressionsmodells aufweisen. Die jeweils fünf Parameter – für Wasser und Motoröl – mit der größten Relevanz als Einflussgrößen (Prädiktoren) sind in Abbildung 58 dargestellt. Die Grafiken zeigen eindrucksvoll, dass die Reibung für beide Zwischenmedien in hohem Maße von den Parametern der Wuppertaler Rangfolgen für Fußböden und Schuhe abhängig ist. Weitere Einflussfaktoren und Produktparameter, wie Materialgruppen und Oberflächenrauheit, zeigen eine niedrige Relevanz zur Spezifizierung des Regressionsmodells. Diese Aussage lässt unter keinen Umständen die Schlussfolgerung zu, dass diese Parameter keinen physikalischen Einfluss auf das Reibungssystem haben. Vielmehr ist festzustellen, dass die produktbezogenen Reibungsgrößen der Wuppertaler Rangfolgen zur Beschreibung des Modells ausreichen. Die weiteren Größen sind zudem in den Reibungswerten der Wuppertaler Rangfolgen enthalten. Die Einbindung in das Regressionsmodell würde nicht oder nur unwesentlich eine genauere Spezifizierung des Modells bewirken. Zur konkreten Modellspezifizierung werden im Folgenden nur die Wuppertaler Rangfolgen berücksichtigt und die weiteren Parameter vernachlässigt.

### 5.2.2.2 Modell-Spezifizierung

Das Modell enthält als Zielgröße bzw. abhängige Variable den Reibungswert  $\mu_{\text{Reibung}}$  und zwei unabhängige Variablen, die durch die Reibungswerte der Wuppertaler Rangfolgen für Fußböden  $\mu_{\text{WRF-Fußboden}}$  und Schuh  $\mu_{\text{WRF-Schuh}}$  gegeben sind. Sowohl die bisherigen Analysen als die grafische Auswertung in Abbildung 59 (Messergebnisse (Wasser) sortiert nach den Wuppertaler Rangfolgen) lassen eine *lineare* Abhängigkeit des Reibungswertes von den Werten der Wuppertaler Rangfolge vermuten. Der Ansatz für die Schätzung des statistischen Gefährdungsmodells lässt sich somit wie folgt formulieren:

$$\mu_{\text{Reibung\_Wasser}} = \beta_0 + \beta_1 \mu_{\text{WRF\_Fußboden\_Wasser}} + \beta_2 \mu_{\text{WRF\_Schuhe\_Wasser}} + u \quad (\text{F. 27})$$

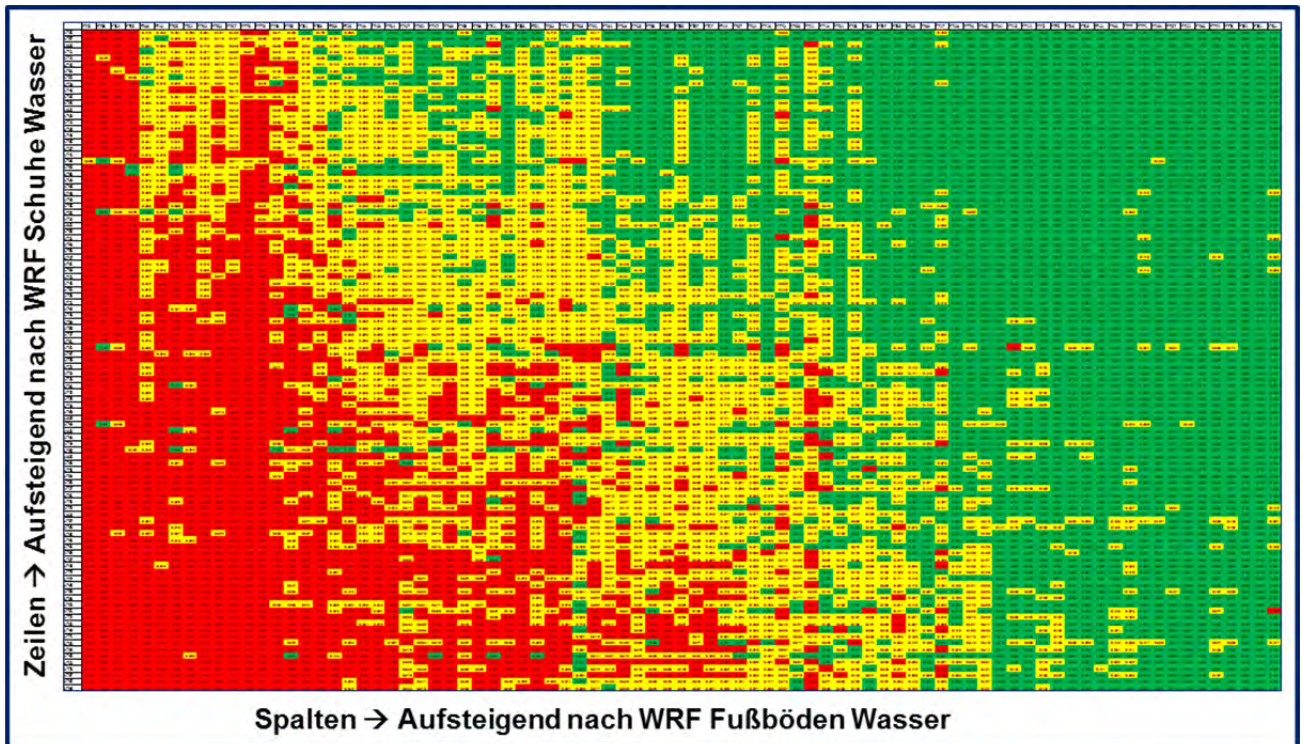


Abbildung 59: Messergebnisse Wasser sortiert nach Wuppertaler Rangfolgen

Aus den Messergebnissen der kombinierten Fußboden-Schuh-Messungen sind für jedes Zwischenmedium ca. 8500 Datensätze<sup>62</sup> vorhanden, aus denen mit der Software SPSS die Regressionskoeffizienten  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  und  $\beta_2$  sowie die Störgröße  $u$  berechnet werden können. Für das Zwischenmedium Wasser ergibt sich das statistische Gefährdungsmodell zu:

$$\mu_{\text{Reibung\_Wasser}} = -0,053 + 0,764 \mu_{\text{WRF\_Fußböden\_Wasser}} + 0,476 \mu_{\text{WRF\_Schuhe\_Wasser}} + u \quad (\text{F. 28})$$

Die Störgröße  $u$  ist normalverteilt mit dem Erwartungswert  $E(X) = 0$  und der Standardabweichung  $s = 0,089$ .

Die Gleichung lässt sich als Regressionsebene im Raum grafisch darstellen (vgl. Abbildung 60). Die berechnete Reibung kann bei kleinen Werten der WRF aufgrund des negativen konstanten Gliedes einen negativen Wert annehmen. Da Reibung nicht negativ sein kann, wird der Definitionsbereich der Modellgleichung auf positive Ergebnisse beschränkt und negative Ergebnisse gleich null gesetzt.

<sup>62</sup> Jeder Datensatz besteht aus dem Wert der Wuppertaler Rangfolge für Fußböden Wasser, dem Wert der Wuppertaler Rangfolge Schuhe Wasser und dem gemessenem Reibungswert der Kombination.

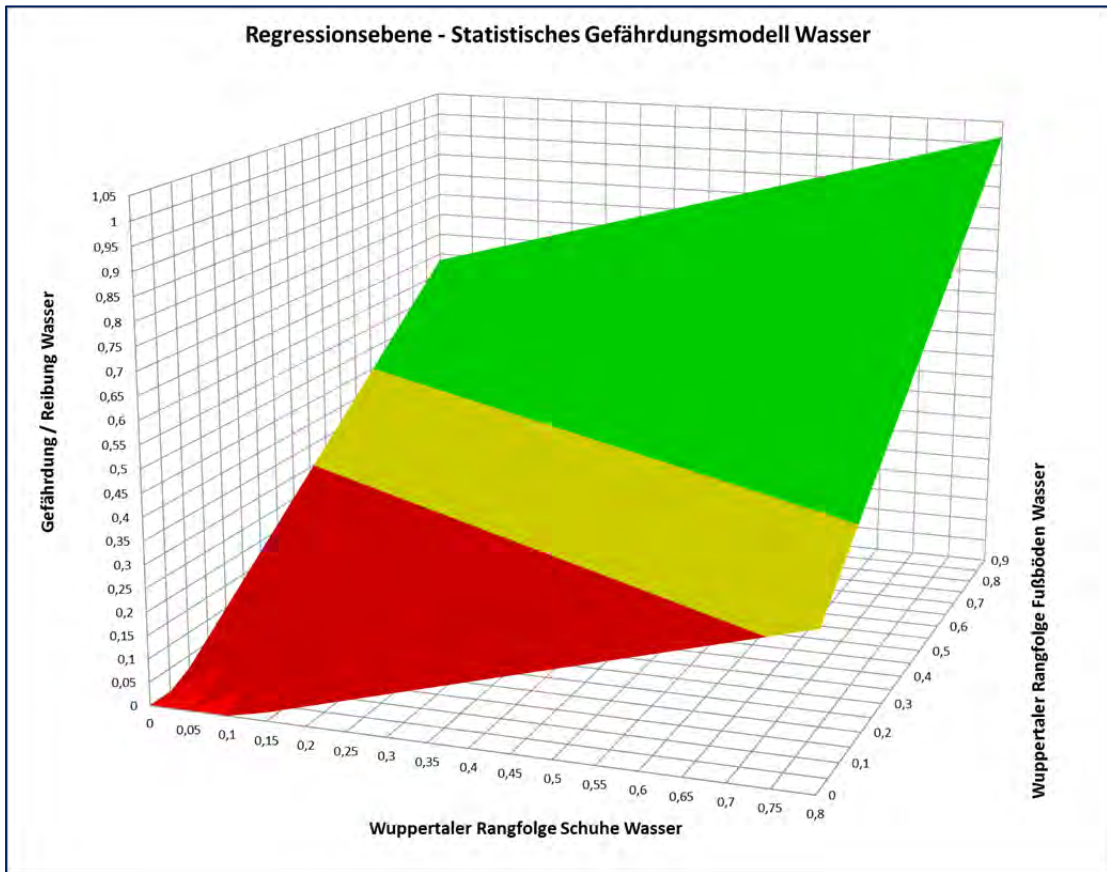


Abbildung 60: Regressionsebene des statistischen Gefährdungsmodells Wasser

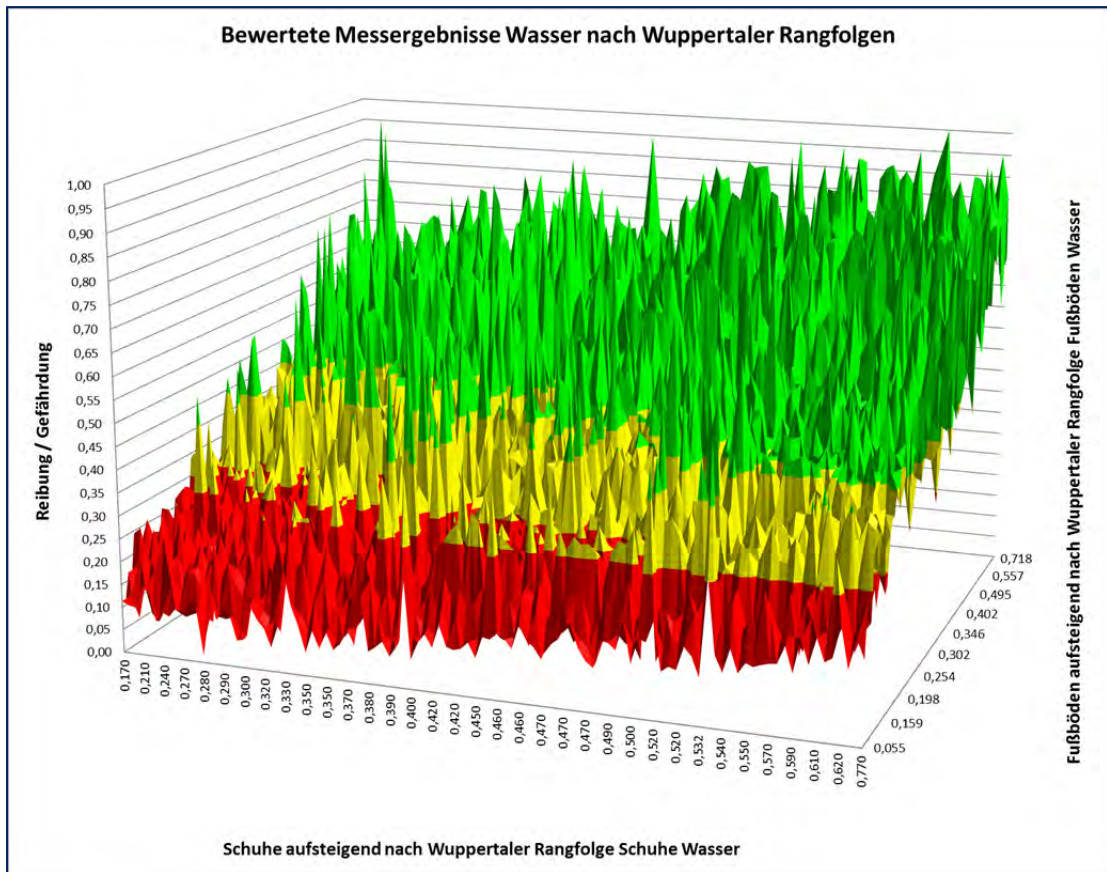


Abbildung 61: Bewertete Messergebnisse Wasser nach Wuppertaler Rangfolgen

Zum Vergleich zur Regressionsebene werden in Abbildung 61<sup>63</sup> die Ergebnisse der Wassermessungen in ähnlicher dreidimensionaler Darstellung gezeigt. Die Regressionsebene ist die Ebene, die durch die Punktwolke der Messergebnisse verläuft und ist so gewählt, dass die Abweichungen zwischen berechnetem und gemessenem Wert minimal werden. Diese Abweichungen sind ein Maß für die Streuung, die nicht durch das Modell erklärt werden können. Ursächlich für diese Abweichungen können neben der Messunsicherheit insbesondere die spezifische Interaktion zwischen Materialien sein. Beispielsweise ist es möglich, dass ein Schuh mit einer Gummi-Laufsohle und ein Schuh mit einer PU-Laufsohle den gleichen Wert der Wuppertaler Rangfolge haben, aber die real auftretende Reibung auf einem Industriefußboden unterschiedlich ist. Festzuhalten ist, dass durch das statistische Gefährdungsmodell eine mathematische Prognose des Reibungswertes möglich ist. Dies bestätigen die statistischen Tests des Regressionsmodells:

- Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,735$
- $F_{\text{emp}} = 11852 \gg 5,3 = F_{\text{tab}}$ , Vertrauenswahrscheinlichkeit 99,5%
- Standardfehler  $s = 0,089$
- Konfidenzintervalle der Regressionskoeffizienten, bei einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von  $\beta = 95\%$ 
  - o des konstanten Gliedes:  $\beta_0 = -0,053 \pm 0,008$
  - o der WRF\_Fußböden\_Wasser:  $\beta_1 = 0,764 \pm 0,016$
  - o der WRF\_Schuhe\_Wasser:  $\beta_2 = 0,476 \pm 0,009$

Mit dem bis hierher entwickelten Modell ist eine Prognose des Reibungswertes in Abhängigkeit von produktbezogenen Kennwerten möglich. Allerdings ist durch die Störgröße  $u$  die Prognose auf ein Intervall beschränkt, dass mit dem Standardfehler von  $s = 0,089$  als groß zu bewerten ist. Von sicherheitstechnischem Interesse ist vor allem die Fragestellung, ob der prognostizierte Wert einer Fußboden-Schuh-Kombination mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit den gewünschten Wert gem. Bewertungskonzept erreicht. Dies wird mathematisch über die Störgröße  $u$  modelliert, die einer Normalverteilung mit dem Erwartungswert  $E(X) = 0$  und der Standardabweichung  $s = 0,089$  genügt. Durch Multiplikation der Standardabweichung mit verschiedenen Quantilen  $Q_\alpha$  der Standardnormalverteilung kann das statistische Modell für verschiedene einseitige

---

<sup>63</sup> Da es sich um die Darstellung von Messwerten handelt, sind die Achsen der WRF nicht skaliert



Vertrauenswahrscheinlichkeiten bzw. Sicherheitsniveaus spezifiziert werden. Sollen beispielsweise 90% der real auftretenden Werte über dem prognostiziertem Wert des Modells liegen, ergibt sich die Störgröße  $u$  zu:

$$u = Q_{1-0,9} \cdot s = -1,282 \cdot 0,089 \quad (\text{F. 29})$$

Es folgt zusammengefasst die Ungleichung des statistischen Gefährdungsmodells:

$$\mu_{\text{Reibung\_Wasser}} (90\%) > -0,167 + 0,764 \mu_{\text{WRF\_Fußböden\_Wasser}} + 0,476 \mu_{\text{WRF\_Schuhe\_Wasser}} \quad (\text{F. 30})$$

Die Ungleichung besagt, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% der reale Reibungswert höher ist als der errechnete Wert. Die Betrachtung verschiedener Sicherheitsniveaus erfolgt in Kapitel 5.2.3.

Grafisch veranschaulicht verschiebt sich die Regressionsebene nach unten (vgl. Abbildung 62).

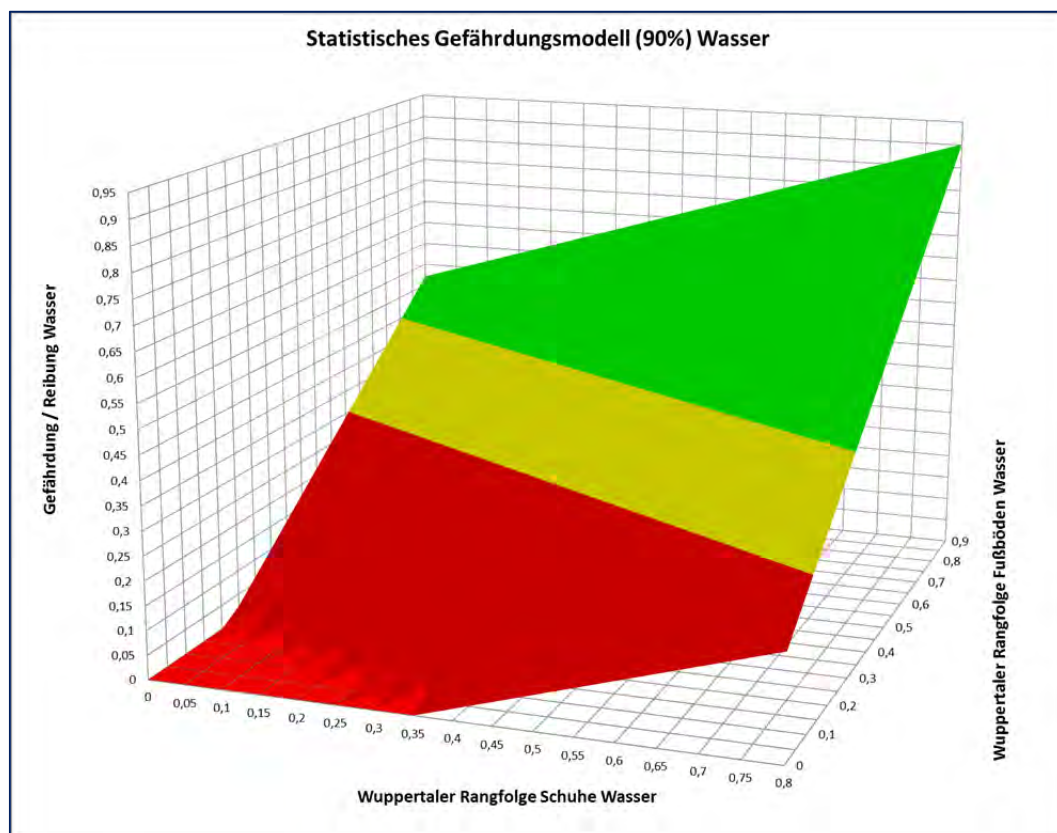


Abbildung 62: Statistisches Gefährdungsmodell (90%) Wasser

Zur praktischen Anwendung werden die Berechnungen als Nomogramm (vgl. Abbildung 63) dargestellt, anhand dessen die Bewertungsgruppen abgelesen werden können.

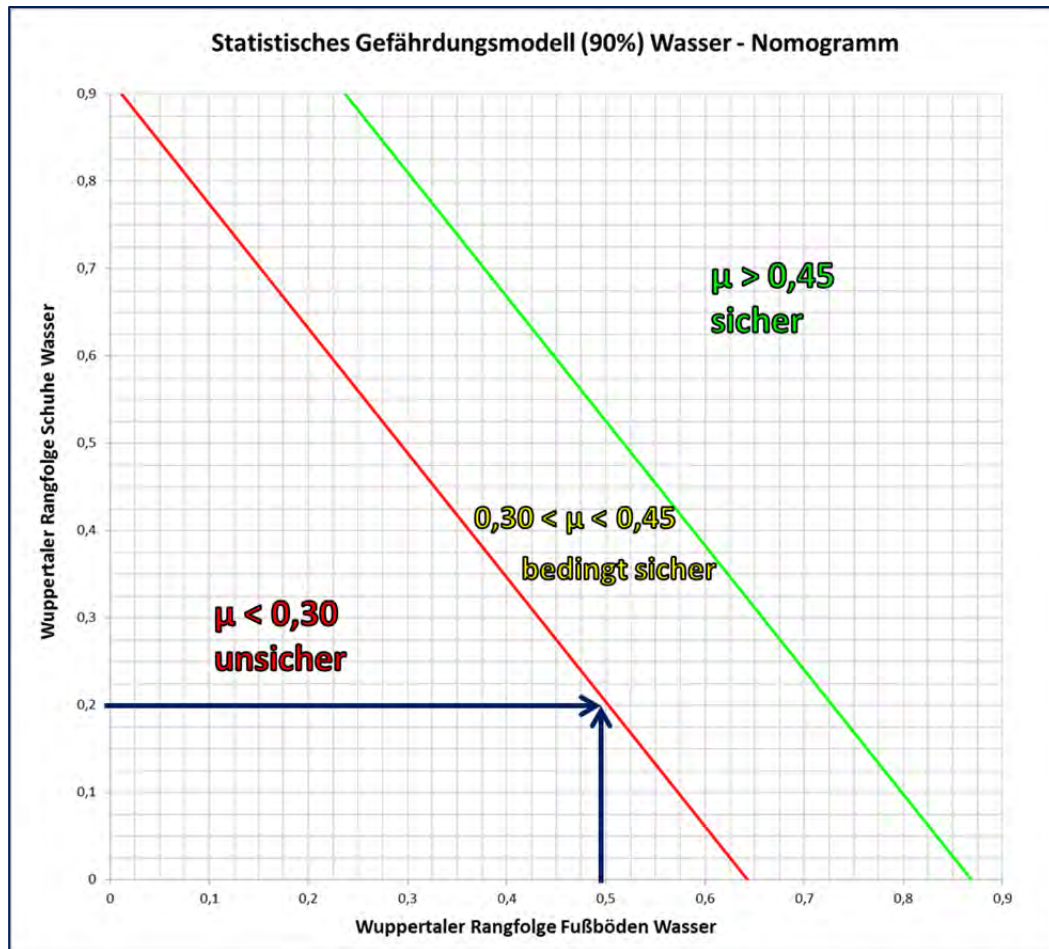


Abbildung 63: Statistisches Gefährdungsmodell (90%) - Nomogramm

Die blauen Pfeile zeigen die Anwendung des Nomogramms: Ein Schuh mit einem Wert der WRF Schuhe Wasser von 0,2 erreicht auf einem Fußboden mit dem Wert der WRF Fußböden Wasser von 0,5 mit 90% Wahrscheinlichkeit einen Reibungswert von  $\mu > 0,30$ . Die Anwendung kann in verschiedenen Richtungen erfolgen. Ist in einem Arbeitsbereich ein Fußboden verlegt, der den Wert von  $\mu_{\text{WRF\_Fußböden\_Wasser}} = 0,5$  kann durch senkrechte Projektion ermittelt werden, dass ein Schuh mit mindestens  $\mu_{\text{WRF\_Schuhe\_Wasser}} > 0,525$  notwendig ist, um mindestens einen Reibungswert von  $\mu = 0,45$  zu erreichen.

### 5.2.3 Berücksichtigung der Messunsicherheit

Die Messungen zur Ermittlung des Wertes der Wuppertaler Rangfolgen und die kombinierten Fußboden-Schuh-Messungen unterliegen Messunsicherheiten (vgl. Kapitel 3.3 und 4.2). In der Entwicklung des statistischen Gefährdungsmodells wird auf die rechnerische Berücksichtigung der Messunsicherheit aus folgenden Gründen verzichtet:

- Die vorhandene Störgröße resultiert u.a. aus der Messunsicherheit.
- Die Störgröße übersteigt im Betrag die Messunsicherheit und wird durch die Modellierung der Störgröße ausreichend berücksichtigt.
- Die Messunsicherheiten genügen einer Normalverteilung. Eine Berücksichtigung in der Berechnung des Modells lassen aufgrund der genügend großen Anzahl an Beobachtungen keine wesentlichen Änderungen der Spezifikation des statistischen Gefährdungsmodells erwarten.

### 5.2.4 Festlegung eines Sicherheitsniveaus

Das statistische Gefährdungsmodell wurde für ein Sicherheitsniveau von 90% berechnet. Durch die Änderung im Faktor des Quantils der Standardnormalverteilung bei der Berücksichtigung der Störgröße kann das Modell für verschiedene Sicherheitsniveaus analog dargestellt werden. Abbildung 64 zeigt eine vergleichende Nomogrammdarstellung fünf verschiedener Sicherheitsniveaus (50%; 80%; 90%; 95%; 97,5%).

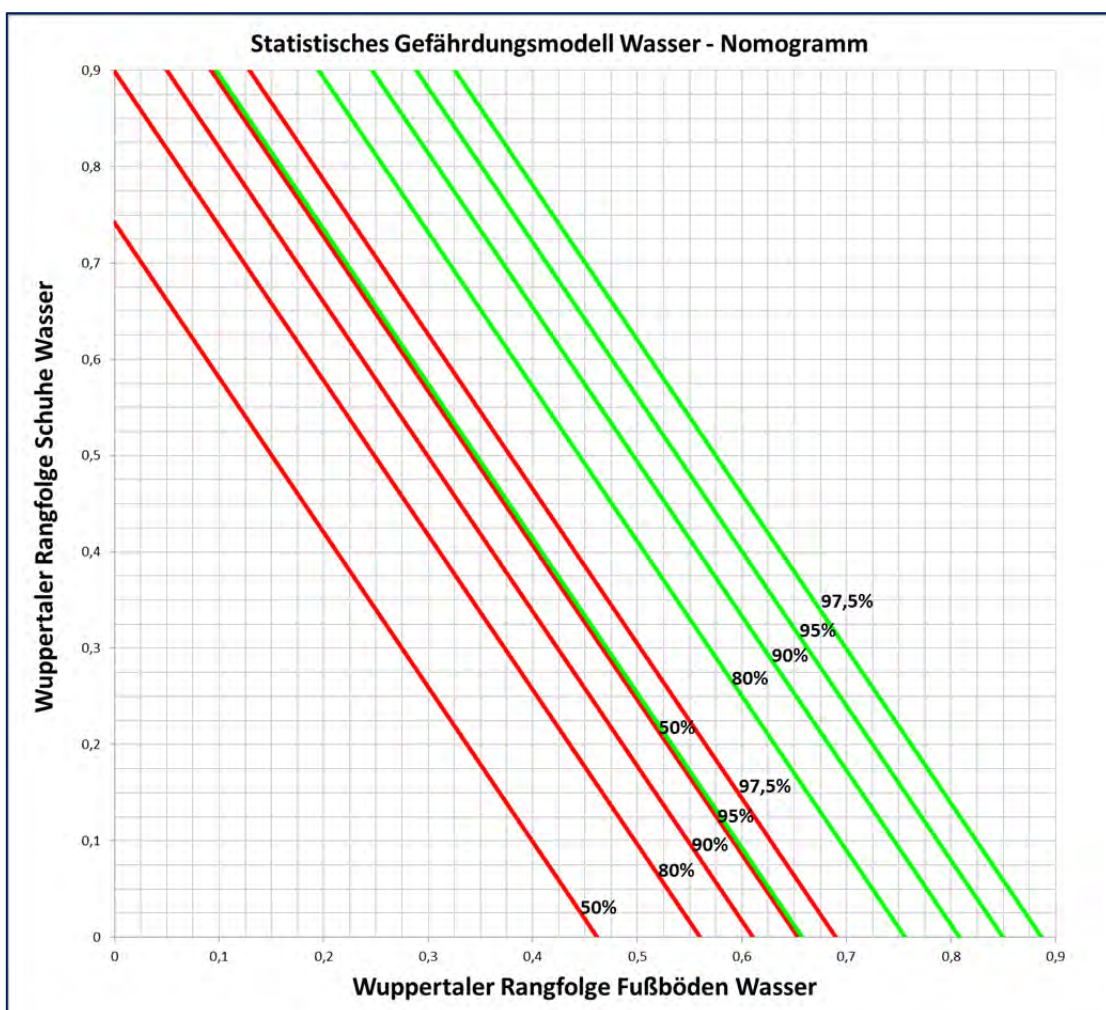


Abbildung 64: Statistisches Gefährdungsmodell Wasser - Nomogramm verschiedener Sicherheitsniveaus

Die nicht erklärbare Streuung der Werte um die Regressionsebene spiegelt sich im Abstand der Linien im Nomogramm wieder. Auffällig ist, dass die rote Linie für das Sicherheitsniveau von 95% nahezu gleich der grünen Linie für ein Sicherheitsniveau von 50% liegt. Wird eine Fußboden-Schuh-Kombination so gewählt, dass sie mit 95%-Wahrscheinlichkeit einen Wert von mindestens  $\mu = 0,30$  erreicht und somit „bedingt sicher“ ist, erreicht diese Kombination zugleich mit 50%-Wahrscheinlichkeit einen Reibungswert größer  $\mu = 0,45$  und wäre folglich als „sicher“ zu bewerten.

Für die weiteren Interpretationen und Berechnungen wird ein Sicherheitsniveau von 90% gewählt. Da die Auswahl von Produkten derart erfolgen sollte, dass die Kombination in den „sicheren“ Bereich fällt, wird zusätzlich ein Grad an Sicherheit berücksichtigt. Zudem sind innerhalb der Festlegungen des Bewertungskonzeptes Sicherheitszuschläge enthalten.

### 5.2.5 Validierung des Modells

Das Modell wurde durch weitere empirische Untersuchungen validiert. Dazu wurden Messergebnisse ( $n = 277$ ) des bis 2007 im Fachgebiet Sicherheitstechnik / Arbeitssicherheit der BUW durchgeführten Forschungsprojektes „Übertragbarkeit der Ergebnisse aus der Prüfung von Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhen nach DIN EN 13287 auf kritische Praxisbedingungen“ genutzt. Für die eingelagerten Produktproben wurden die Werte der Wuppertaler Rangfolgen gemessen, daraus mit dem statistischen Gefährdungsmodell die Reibungswerte prognostiziert und mit den Projekt-Messergebnissen verglichen. Die Differenzen zwischen Mess- und Prognosewert genügen einer Normalverteilung mit dem Erwartungswert  $E(X) = -0,02$  und einer Standardabweichung von  $s = 0,07$ . Dies entspricht in etwa der Verteilung der Störgrößen des statistischen Gefährdungsmodells ( $E(X) = 0$ ,  $s = 0,089$ ). Bei einem Sicherheitsniveau von 90% – das bedeutet, dass bei einem Vergleich 90% der Messwerte über dem Prognosewert liegen sollten – sind 90,4% der Messwerte höher und 9,6% der Messwerte tiefer als der Prognosewert. Folglich haben die weiteren empirischen Untersuchungen die Validität des statistischen Gefährdungsmodells bestätigt.

### 5.2.6 Statistisches Gefährdungsmodell für das Zwischenmedium Öl

Das statistische Gefährdungsmodell für das Zwischenmedium Öl wird analog zu dem Modell für das Zwischenmedium Wasser entwickelt. Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst.

Die Gleichung des statistischen Gefährdungsmodells Öl ergibt sich zu:

$$\mu_{Reibung_{\text{Öl}}} = -0,087 + 0,442 \mu_{WRF\_Fu\beta b\ddot{o}den_{\text{Öl}}} + 0,838 \mu_{WRF\_Schuhe_{\text{Öl}}} + u \quad (\text{F. 31})$$

Die Prüfung der Regressionsfunktion zeigt folgende Ergebnisse:

- Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,728$
- $F_{\text{emp}} = 11410 \gg 5,3 = F_{\text{tab}}$ , Vertrauenswahrscheinlichkeit 99,5%
- Standardfehler  $s = 0,063$
- Konfidenzintervalle der Regressionskoeffizienten, bei einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von  $\beta = 95\%$ 
  - o des konstanten Gliedes:  $\beta_0 = -0,087 \pm 0,005$
  - o der WRF\_Fußböden\_Öl:  $\beta_1 = 0,442 \pm 0,007$
  - o der WRF\_Schuhe\_Öl:  $\beta_2 = 0,838 \pm 0,020$

Über die Betrachtung und Modellierung der Störgröße  $u$ , folgt für ein Sicherheitsniveau von 90% die Ungleichung des statistischen Gefährdungsmodells Öl, grafisch dargestellt in Abbildung 65.

$$\mu_{Reibung_{\text{Öl}}}(90\%) > -0,168 + 0,442 \mu_{WRF\_Fu\beta b\ddot{o}den_{\text{Öl}}} + 0,838 \mu_{WRF\_Schuhe_{\text{Öl}}} \quad (\text{F. 32})$$

Die zugehörigen Messergebnisse und das Nomogramm beinhalten die Abbildungen 66 und 67. Die Ergebnisse zur Validierung des Modells für das Zwischenmedium Öl entsprechen mit geringen Abweichungen den Ergebnissen des statistischen Gefährdungsmodells für Wasser (vgl. Kapitel 5.2.5)

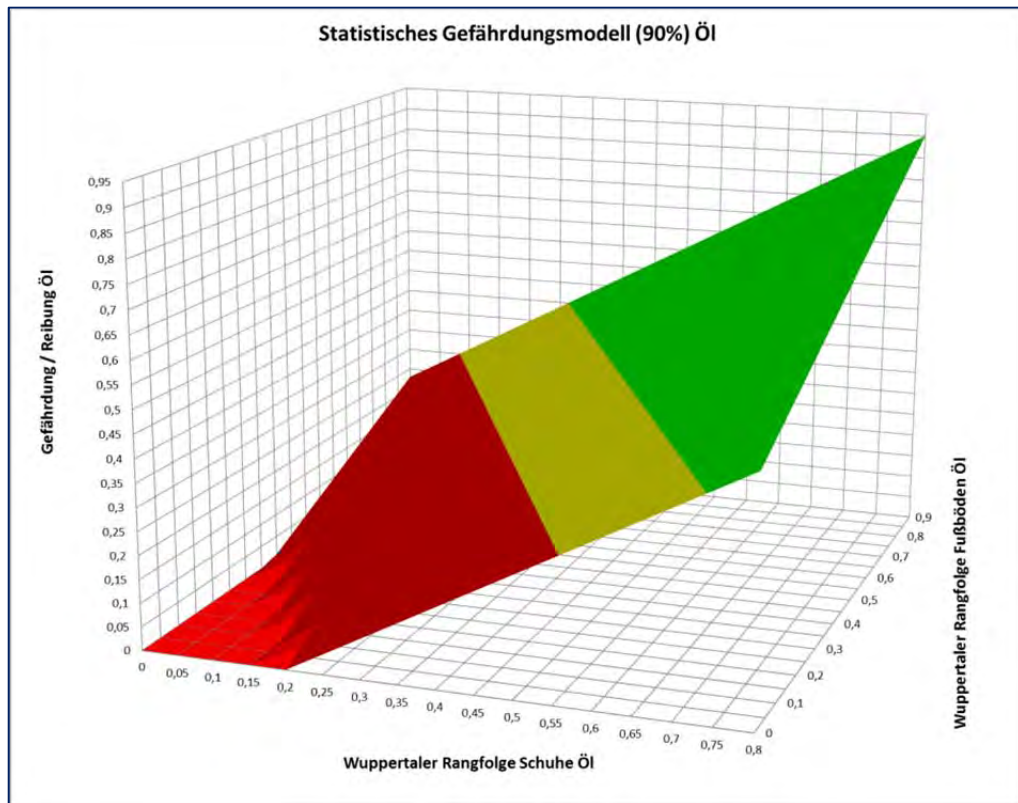


Abbildung 65: Statistisches Gefährdungsmodell (90%) Öl

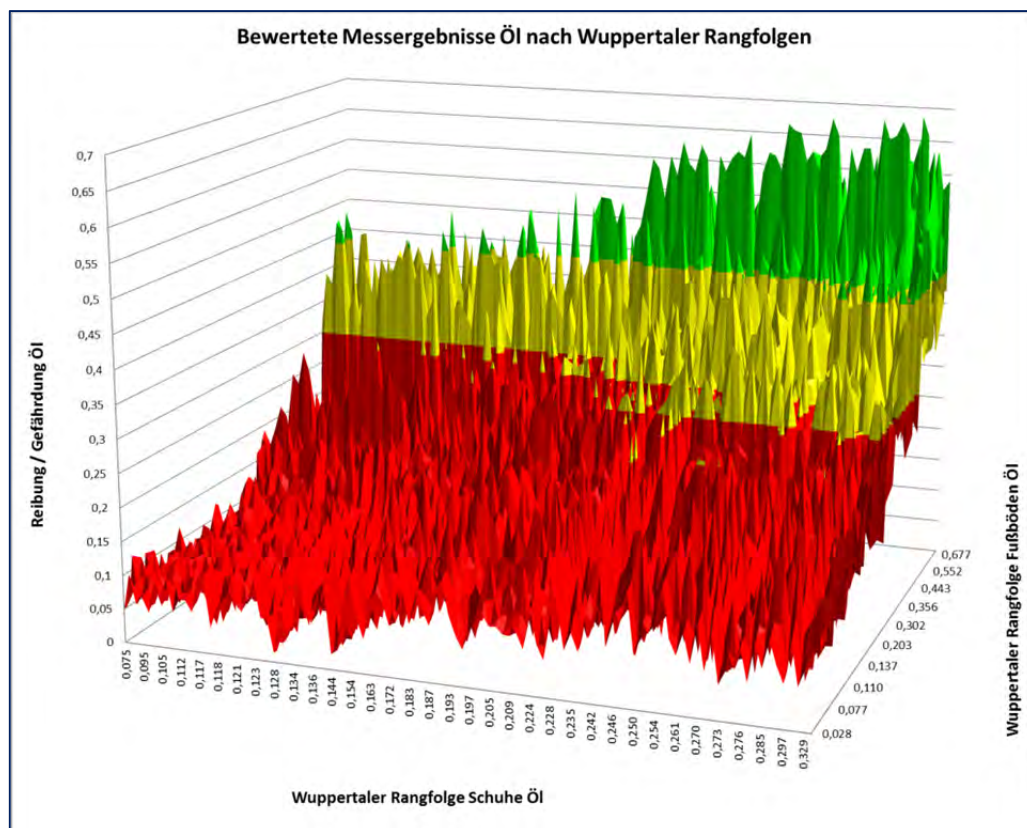


Abbildung 66: Bewertete Messergebnisse Öl nach Wuppertaler Rangfolgen

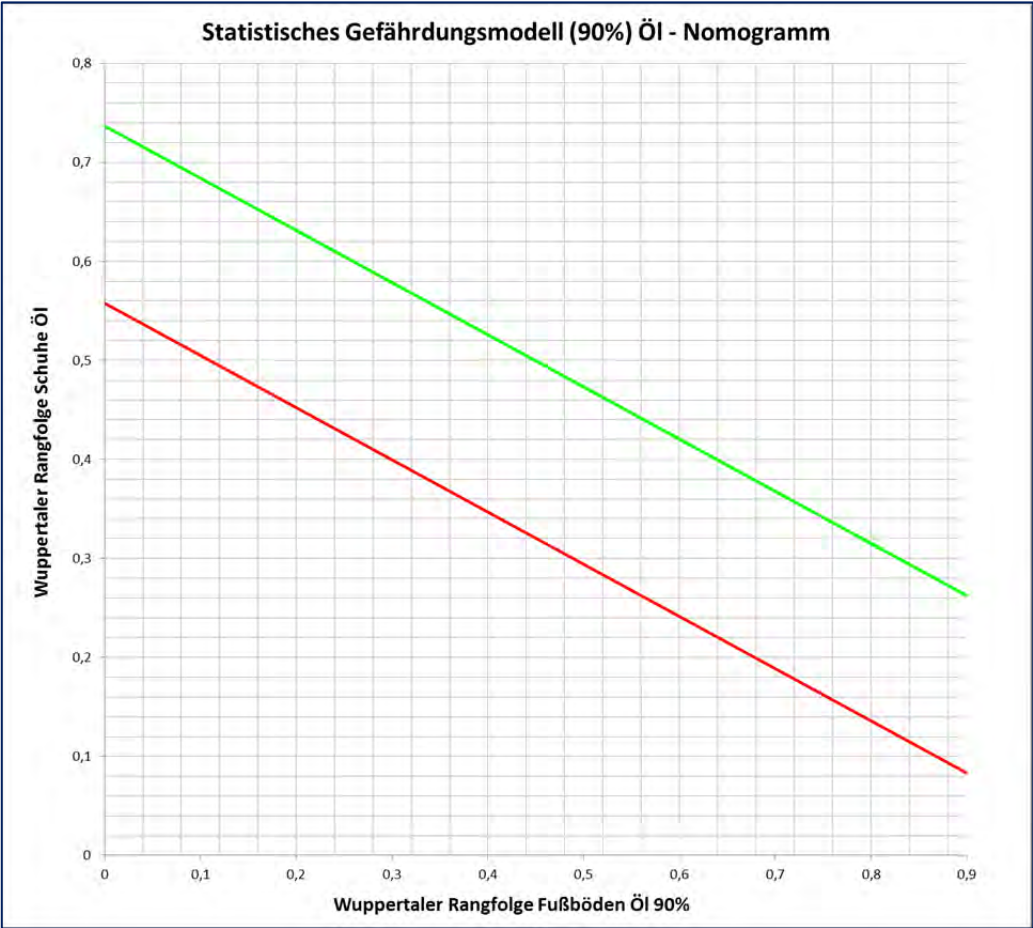


Abbildung 67: Statistisches Gefährdungsmodell Öl (90%) - Nomogramm

## 5.3 Entwicklung der Rutschhemmungsmatrizen

Die Zielstellung ist die Entwicklung einer Handlungshilfe für die Praxis, die von Gebäudeplanern, Gebäudebetreibern und den Akteuren des betrieblichen Arbeitsschutzes als einfach anzuwendendes Präventionsinstrument genutzt werden kann.

Das entwickelte statistische Gefährdungsmodell beschreibt die Abhängigkeit der zu erwartenden Reibung von den Werten der Wuppertaler Rangfolgen. Die Rutschhemmungsmatrix verallgemeinert das Gefährdungsmodell durch Klassifizierung der Wuppertaler Rangfolgen und Bewertung der Klassenschnittpunkte hinsichtlich der Rutschgefährdung. Eine Klassifizierung führt zu einem gewissen Grad an „Unschärfe“, die allerdings für den betrieblichen Einsatz akzeptabel ist, da die Produktauswahl über eine Klassenbildung deutlich erleichtert wird.

Im Folgenden werden die Entwicklungen der Rutschhemmungsmatrizen für die Zwischenmedien Wasser und Öl vorgestellt, die Anwendungsmöglichkeiten erläutert und die Konsequenzen für den Markt von Fußboden- und Schuhprodukten dargestellt.

### 5.3.1 Rutschhemmungsmatrix - Wasser

Die Rutschhemmungsmatrix wird auf Grundlage des statistischen Gefährdungsmodells, der Verteilung der Produkte innerhalb der Wuppertaler Rangfolgen, den Messergebnissen der Fußboden-Schuh-Kombinationen und unter Berücksichtigung vorhandener, praxisgerechter Anforderungen aus dem technischen Regelwerk erarbeitet.

Abbildung 68 beinhaltet das Nomogramm des statistischen Gefährdungsmodells für ein Sicherheitsniveau von 90%. Auf den Achsen sind jeweils die Werte der Wuppertaler Rangfolgen für die untersuchten Produkte markiert und stellen den Wertebereich verfügbarer Produkte dar. Die Einteilung der Fußböden und Schuhe erfolgt in jeweils 4 Klassen:

- Fußböden / Schuhe ohne ausreichende Rutschhemmung,
- Fußböden / Schuhe mit ausreichender Rutschhemmung,
- Fußböden / Schuhe mit erhöhter Rutschhemmung,
- Fußböden / Schuhe mit hoher Rutschhemmung.

Die Klassengrenzen zwischen Produkten ohne und mit ausreichend rutschhemmenden Eigenschaften stellen die Mindestanforderungen dar, die von den Produkten erreicht werden sollten und sind so gewählt, dass der Klassenschnittpunkt als „bedingt sicher“



bewertet wird. Die weiteren Klassen ergeben sich durch Erhöhung der Mindestanforderung um  $\Delta\mu = 0,10$ .

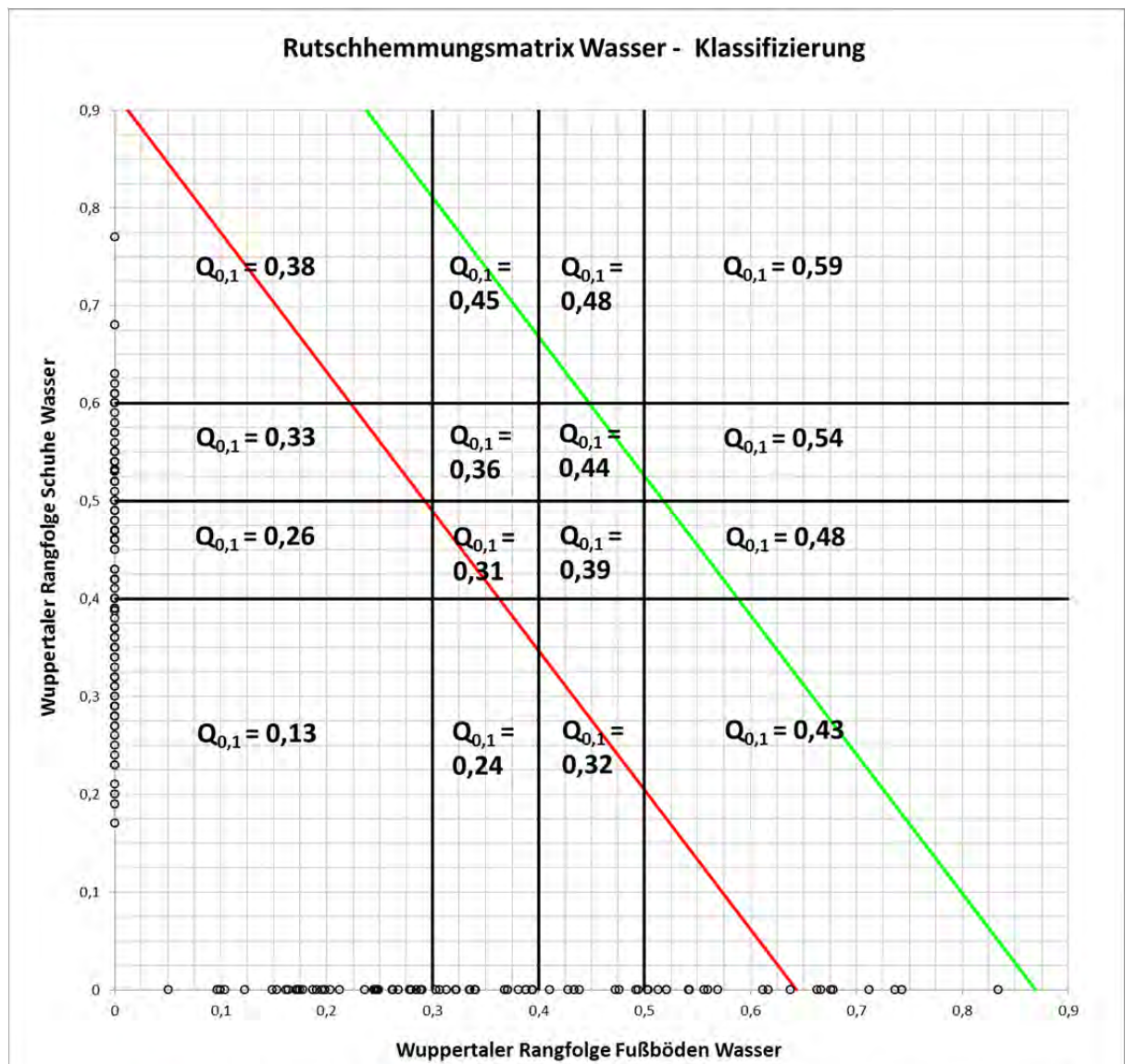


Abbildung 68: Rutschhemmungsmatrix - Klassifizierung

Liegt ein Feld (Schnittpunkt zweier Klassen) vollständig innerhalb eines Bewertungsbereiches, ist die Zuordnung des Feldes eindeutig. Schneiden die Geraden des Nomogramms ein Feld, ist die Zuordnung zu einem Bewertungsbereich nicht eindeutig. Aus diesem Grund werden zusätzlich die Messergebnisse in die Bewertung der Klassenschnittpunkte einbezogen. Die Messwerte innerhalb eines Feldes genügen jeweils einer Normalverteilung. Das  $\alpha$ -Quantil  $Q_\alpha$  gibt den Wert der Verteilungsfunktion an, über dem  $(1 - \alpha)$  Prozent der Werte liegen. Dargestellt sind die 10%-Quantile  $Q_{0,1}$  mit der Bedeutung, dass 90% der Messwerte dieses Feldes über dem angezeigten Wert liegen.

Die Klassifizierung und Bewertung mittels Ampelfarben lassen sich somit als Rutschhemmungsmatrix darstellen (vgl. Abbildung 69). Für den Übergangsbereich der Bewertungen „bedingt sicher“ zu „sicher“ werden Farbverläufe eingesetzt (Kriterium  $Q_{0,1} \geq 0,38$ ).

<b>Klassen der Schuhe</b>	Wuppertaler Rangfolge Schuhe Wasser (ISO13287, Schuhtester, Eurotile 2, 0,5%NaLS-Wasser)	$0,6 \leq \mu$	<b>SW3</b>	Schuhe mit hoher Rutschhemmung				
		$0,5 \leq \mu < 0,6$	<b>SW2</b>	Schuhe mit erhöhter Rutschhemmung				
		$0,4 \leq \mu < 0,5$	<b>SW1</b>	Schuhe mit ausreichender Rutschhemmung				
		$\mu < 0,4$	<b>SW-</b>	Schuhe <b>ohne</b> ausreichende Rutschhemmung				
<b>Matrix der Rutschhemmung - Wasser</b>				Fußböden <b>ohne</b> ausreichende Rutschhemmung	Fußböden mit ausreichender Rutschhemmung	Fußböden mit erhöhter Rutschhemmung	Fußböden mit hoher Rutschhemmung	
				<b>RW -</b>	<b>RW9</b>	<b>RW10</b>	<b>RW11</b>	
				$\mu < 0,3$	$0,3 \leq \mu < 0,4$	$0,4 \leq \mu < 0,5$	$0,5 \leq \mu$	
				Wuppertaler Rangfolge Fußböden Wasser (Schuhtester, StarLP333crepe, 0,1%NaLS-Wasser)				
				<b>Klassen der Böden</b>				

Abbildung 69: Rutschhemmungsmatrix - Wasser

Die Rutschhemmungsklassen für Fußböden / Wasser werden mit „RW“ benannt. Die Bezeichnung und die Nummerierung orientiert sich an den R-Klassen nach ASR 1.5 und BGR 181, da die R-Klassen R 9, R 10 und R 11 (Außenbereiche) für Arbeitsbereiche mit auftretender Nässe festgelegt sind. Diese Bezeichnung erlaubt es – bei einer Umsetzung der Rutschhemmungsmatrix im technischen Regelwerk – die Anforderungen zu übernehmen<sup>64</sup>, bspw. RW 9 statt R 9.

Die Rutschhemmungsklassen für Schuhe / Wasser werden mit „SW + Nummerierung“ benannt. Die Prüfung zur Ermittlung der Wuppertaler Rangfolge Schuhe Wasser ist gleich der EG-Baumusterprüfung für Sicherheitsschuhe. Die Mindestanforderung bei der

<sup>64</sup> Die Übernahme der Anforderungen muss im Rahmen der praktischen Umsetzung geprüft werden.

Bereitstellung auf dem Markt beträgt für diese Prüfkombination (Eurotile 2 und ebenes Vorwärtsgleiten)  $\mu = 0,39$ . Die getroffene Festlegung des Mindestwertes für die Klasse SW1 entspricht mit  $\mu = 0,40$  nahezu den geltenden Regelungen. Für Straßenschuhe werden ähnliche Mindestwerte durch die zuständigen Normungsgremien empfohlen. Die Rutschhemmungsmatrix bestätigt die Aussage, dass verbindliche Mindestanforderungen für Straßenschuhe aus sicherheitstechnischer Sicht sinnvoll sind.

### 5.3.2 Rutschhemmungsmatrix - Öl

Die Entwicklung der Rutschhemmungsmatrix für das Zwischenmedium Öl erfolgt analog zur Rutschhemmungsmatrix für das Zwischenmedium Wasser (vgl. Abbildungen 70 und 71).

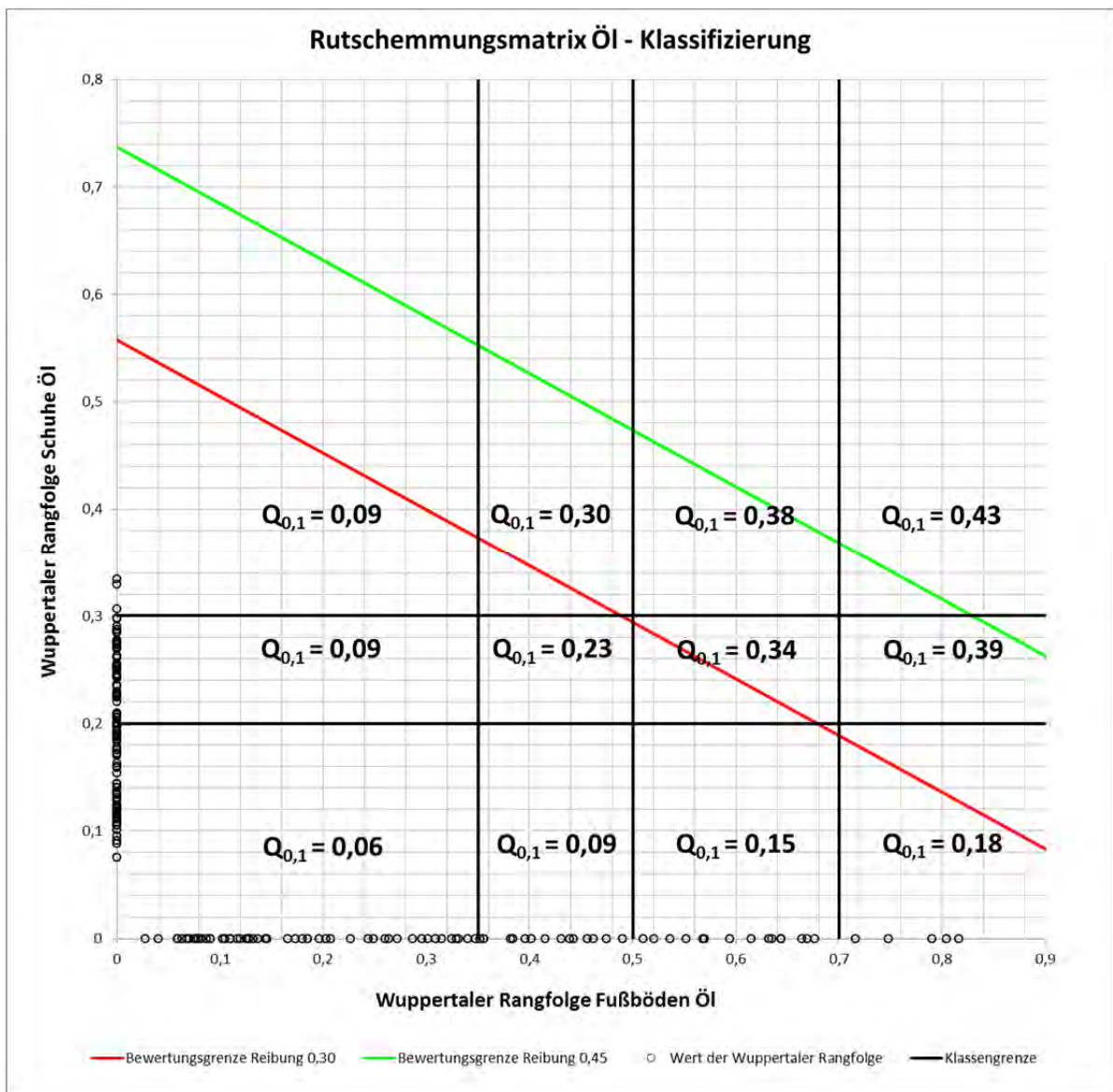


Abbildung 70: Rutschhemmungsmatrix Öl - Klassifizierung

<b>Klassen der Schuhe</b>	<b>Wuppertaler Rangfolge Schuhe Öl</b> (Schuhtester, St-II, Motoröl 10W-30)	$0,3 \leq \mu$	<b>SÖ2</b>	Schuhe mit erhöhter Rutschhemmung				
		$0,2 \leq \mu < 0,3$	<b>SÖ1</b>	Schuhe mit ausreichender Rutschhemmung				
		$\mu < 0,2$	<b>SÖ-</b>	Schuhe <b>ohne</b> ausreichende Rutschhemmung				
<b>Matrix der Rutschhemmung - Öl</b>				Fußböden <b>ohne</b> ausreichende Rutschhemmung	Fußböden mit ausreichender Rutschhemmung	Fußböden mit erhöhter Rutschhemmung	Fußböden mit hoher Rutschhemmung	
				<b>RÖ -</b>	<b>RÖ11</b>	<b>RÖ12</b>	<b>RÖ13</b>	
				$\alpha < 19^\circ$	$19^\circ \leq \alpha < 27^\circ$	$27^\circ \leq \alpha < 35^\circ$	$35^\circ \leq \alpha$	
				Wuppertaler Rangfolge Fußböden Öl (Schiefe Ebene, Leipzig V73-SP, Motoröl 10W-30)				
				<b>Klassen der Böden</b>				

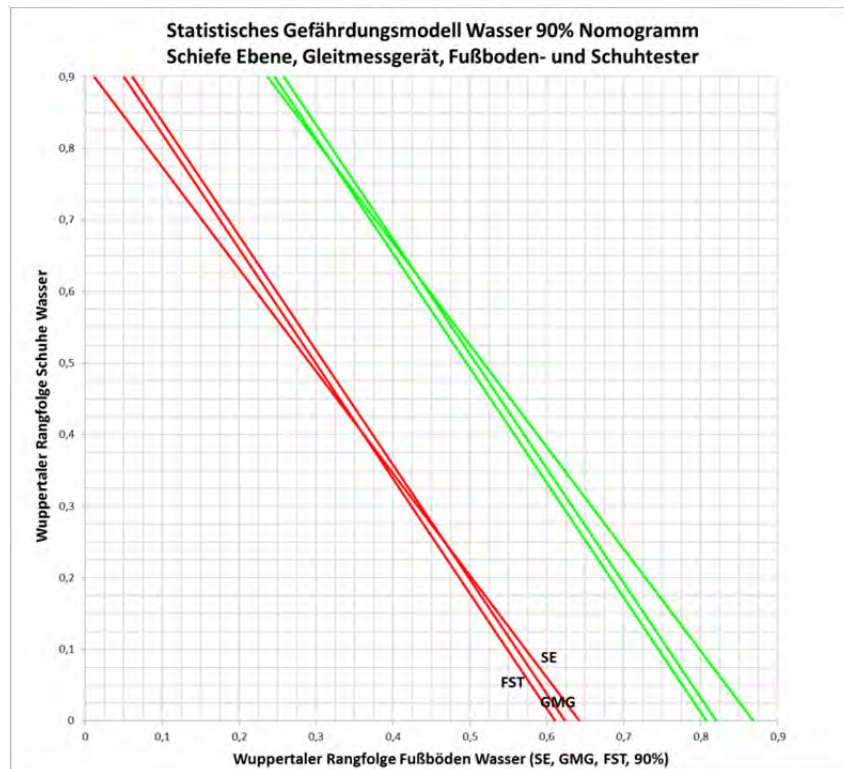
Abbildung 71: Rutschhemmungsmatrix Öl

Als praxisgerechte Klassifizierung der Fußböden für Öl werden die R-Gruppen gem. ASR 1.5 und BGR 181 übernommen. Die R-Klassen R-, R 9 und R 10 werden aufgrund des Einsatzbereiches (Wasser) für die Rutschhemmungsmatrix Öl zur Klasse RÖ-zusammengefasst. Da die Spannweite der Schuhe / Öl niedrig ist, werden für die Schuhe nur drei Rutschhemmungsklassen festgelegt.

Ein Schuh der Klasse SÖ 1 (mit ausreichender Rutschhemmung) sollte auf einem Fußboden der Klasse RÖ 11 (mit ausreichender Rutschhemmung) mindestens als „bedingt sicher“ bewertet werden. Der Klassenschnittpunkt ist allerdings als „kritisch“ bewertet. Etwa 50% der Kombinationen von R 11-Fußböden und Sicherheitsschuhen weisen kritisch zu bewertenden Reibungswerte auf. Wie bereits in Kapitel 4.3.4 erläutert, ist in Frage zu stellen, inwieweit für Arbeitsbereiche mit Auftreten von Öl die Rutschhemmungsklasse R 11 ausreichend ist. Gemäß der Rutschhemmungsmatrix sollten in Arbeitsbereichen mit auftretendem Ölen und Fetten mindestens Schuhe der Klasse SÖ 2 auf R 11-Fußböden getragen oder ein Fußboden der Klasse R 12 / RÖ 12 verwendet werden.

### 5.3.3 Klassifizierung durch mobile Messgeräte

Die entwickelten Rutschhemmungsmatrizen basieren auf der Klassifizierung mit stationären Prüfverfahren (maschinelles Prüfverfahren, Schiefe Ebene). Für den Einsatz der Rutschhemmungsmatrizen als umfassendes Präventionsinstrument ist es wünschenswert, eingebaute Fußböden in ihrem jeweiligen Gebrauchszustand hinsichtlich ihrer rutschhemmenden Eigenschaften mit einem mobilen Messgerät klassifizieren zu können.

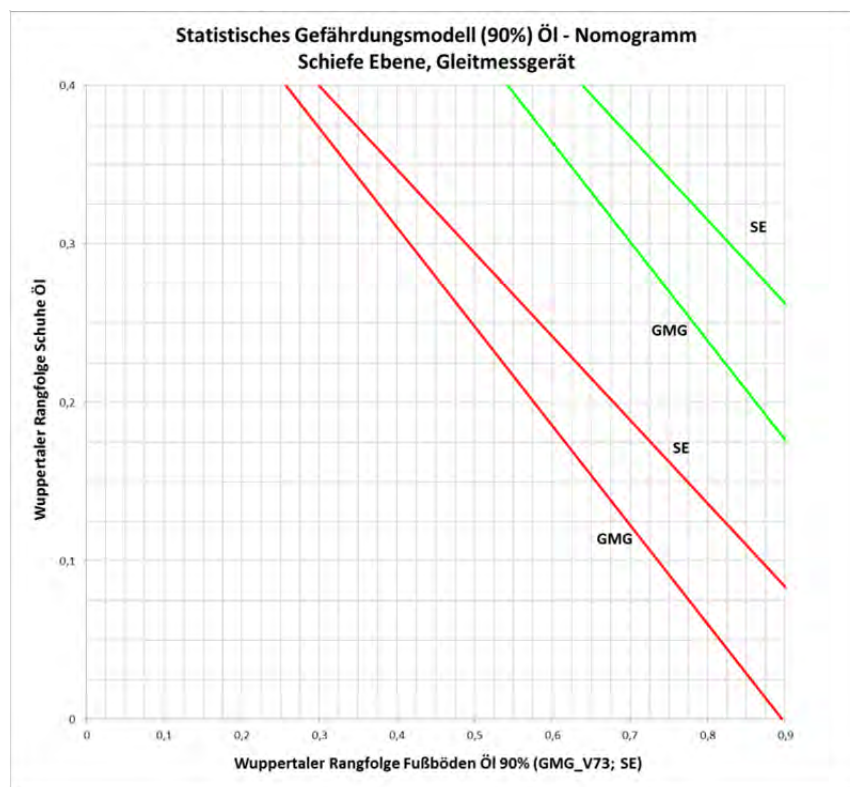


**Abbildung 72: Statisches Gefährdungsmodell Wasser - Vergleich verschiedener Messgeräte**

Die Klassifizierung von Fußböden gemäß der WRF Fußböden wird mit den gleichen Prüfparametern, zusätzlich zum maschinellen Prüfverfahren, mit dem Begehungsverfahren Schiefe Ebene und dem Gleitmessgerät durchgeführt. In analoger Weise werden durch multivariate Regressionsrechnung statistische Gefährdungsmodelle berechnet. Abbildung 72 zeigt ein Nomogramm, in dem die statistischen Gefährdungsmodelle – basierend für die Klassifizierung von Fußböden mit den Prüfverfahren FST, SE und GMG (Prüfparameter gem. WRF Fußböden Wasser) – vergleichend dargestellt sind. Die Geraden der Bewertungsgrenzen verlaufen trotz unterschiedlicher Prüfverfahren und eingeschränkter Übertragbarkeit der Prüfverfahren (vgl. Kapitel 4.7) sehr ähnlich, da alle drei Prüfverfahren in Verbindung mit dem Gleitermaterial „StarLP“ und Wasser die Praxisrangfolge von Fußböden widerspiegeln und

die Streuungen in der Übertragbarkeit durch die berücksichtigten Abweichungen des Modells kompensiert werden. Die Klassifizierung eines eingebauten Fußbodens kann somit in Arbeitsbereichen mit Auftreten von Nässe mit dem Gleitmessgerät<sup>65</sup> erfolgen. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung steht die Möglichkeit offen, den Fußboden zu klassifizieren und mit der Rutschhemmungsmatrix einen Schuh als sicherheitstechnische Gestaltungsmaßnahme auszuwählen.

Die analoge Betrachtung für das Zwischenmedium Öl (vgl. Abbildung 73) führt zu dem Schluss, dass für eine Klassifizierung von Fußböden in Arbeitsbereichen mit Auftreten von Öl mit dem Gleitmessgerät<sup>66</sup> nicht die Klassengrenzen der Rutschhemmungsmatrix Öl verwendet werden können. Mittels weiterer Berechnungen könnte ein statistisches Gefährdungsmodell entwickelt werden, dass eine Klassifizierung mit dem GMG ermöglicht. Der Sachverhalt, dass Fußböden der Klassen R 12 und R 13 im Regelfall sehr raue, strukturierte und profilierte Oberflächen aufweisen, die eine Messung mit dem Gleitmessgerät unmöglich machen, sollte berücksichtigt werden.



**Abbildung 73: Statisches Gefährdungsmodell Öl – Vergleich verschiedener Messgeräte**

<sup>65</sup> Gleitermaterial: StarLP / Zwischenmedium: NaLS-Wasser 0,1%

<sup>66</sup> Gleitermaterial: Vulka73 / Zwischenmedium: Motoröl SAE 10W-30

### 5.3.4 Anwendung der Rutschhemmungsmatrizen

Die Rutschhemmungsmatrizen bieten verschiedene Anwendungsmöglichkeiten. Entsprechend der Systemabgrenzung sind die Rutschhemmungsmatrizen nicht für Bereiche, in denen keine oder feste gleitfördernde Stoffe auftreten, anzuwenden. Das Präventionsinstrument ermöglicht insbesondere die Auswahl von Fußböden und Schuhen in Arbeitsbereichen mit flüssigen gleitfördernden Stoffen, auch wenn diese temporär auftreten. Welche der beiden Rutschhemmungsmatrizen angewendet werden kann, entscheidet eine Analyse der im Arbeitsbereich zu erwartenden bzw. auftretenden Zwischenmedien. Stellen wässrige Zwischenmedien (eingetragene Nässe, Reinigung, etc.) die kritische Situation dar, kann die Rutschhemmungsmatrix für Wasser angewendet werden. Treten viskose Zwischenmedien (Öle, Fette) auf, ist die Rutschhemmungsmatrix Öl zu verwenden. Entsprechend dem Vergleich unterschiedlicher flüssiger Zwischenmedien (vgl. Kapitel 3.1.3) stellen die Prüfmedien, mit denen die Matrizen entwickelt wurden, durchschnittlich kritische Situationen dar, so dass bei anderen gleitfördernden Stoffen ähnlich kritische oder höhere Reibungswerte zu erwarten sind.

Beide Rutschhemmungsmatrizen bieten eine Reihe von Einsatzmöglichkeiten:

- Bei der Neuanlage einer Arbeitsstätte oder der Neugestaltung eines Arbeitsbereiches können den zu erwartenden Zwischenmedien entsprechende Fußböden ausgewählt werden. Den Fußboden-Klassen der Rutschhemmungsmatrizen können zukünftig nach dem Vorbild der BGR 181 eine Liste von Arbeitsbereichen und Mindestanforderungen an den zu verlegenden Fußboden<sup>67</sup> zugeordnet werden, beispielsweise:
  - o Eingangsbereiche RW10
  - o Außenbereiche RW11
  - o Mechanische Bearbeitungsbereiche RÖ12
- Ist das rutschhemmende Potential bzw. die Klasse des Fußbodens gem. der WRF bekannt, können Schuhe ausgewählt werden, mit denen ein sicheres Gehen ermöglicht wird.
- Bei Ausstattung mit Fußböden von Bereichen, die allgemein begangen werden und bei denen davon auszugehen ist, dass die verwendeten Schuhe zum Teil keine

---

<sup>67</sup> Anforderungen an den Verdrängungsraum zur Aufnahme von Zwischenmedien wurden nicht untersucht und sind gesondert zu betrachten.

ausreichende Rutschhemmung aufweisen, können Fußböden so ausgewählt werden, dass kritische Situationen vermieden werden.

- Durch die zusätzliche Vor-Ort-Messung der rutschhemmenden Eigenschaften eines Fußbodens kann der Gebrauchszustand ermittelt werden und eine Klassifizierung erfolgen (die von der Baumusterprüfung der WRF abweichen kann). Auf der Rutschhemmungsmatrix basierend kann eine Entscheidung für einen Schuh getroffen werden, der sicheres Gehen ermöglicht.
- Sind die Klassen der Produkte bekannt, kann auf dieser Informationsgrundlage ohne weitere Messung die Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden.



## 5.4 Quantifizierung des Fußboden- und Schuheinflusses

Die Komponenten Fußboden, Schuh und Zwischenmedium beeinflussen das Reibungssystem unterschiedlich stark. GÖTTE ET.AL. 2003 beziffert den Einfluss des Schuhs bei Auftreten von Zwischenmedien am Reibungssystem mit unter 5% als vernachlässigbar klein und schließen darauf, dass der Fußboden der maßgebliche Einflussfaktor im Reibungssystem ist. SEBALD 2007 widerlegt dies und quantifiziert, bei Auftreten von Motoröl, den Einfluss des Schuhs mit 46% und den Einfluss des Fußbodens mit 54%.

Die Untersuchung dieser Arbeit ermöglicht es, den Einfluss von Fußboden und Schuh für die Zwischenmedien Wasser und Öl auf einer umfangreichen Datenbasis zu quantifizieren. Die Regressionskoeffizienten der multivariate Regressionsrechnung der statistischen Gefährdungsmodelle geben den Einfluss auf das Reibungssystem an. Aufgrund der unterschiedlichen Messniveaus müssen zu einem direkten Vergleich die standardisierten Regressionskoeffizienten herangezogen werden (vgl. Kapitel 4.1.3.2). Tabelle 22 zeigt die standardisierten Regressionskoeffizienten der statistischen Gefährdungsmodelle<sup>68</sup>. Das Verhältnis des Einflusses von Fußboden und Schuh bei Wasser ergibt sich zu 70% / 30% und bei Auftreten von Öl zu 61% / 39%. Insgesamt betrachtet haben bei Auftreten von Zwischenmedien die Komponenten Fußboden und Schuh beide wesentlichen Einfluss. Zur Vermeidung von Ausgleitunfällen ist eine sichere Kombination beider Komponenten auszuwählen.

Wuppertaler Rangfolge und Prüfverfahren, Boden	standardisierter Koeffizient Boden	Wuppertaler Rangfolge und Prüfverfahren, Schuh	standardisierter Koeffizient Schuh	Summe	Anteil Boden	Anteil Schuh
WRF_Boden_W_FST	0,761	WRF_Schuh_W_FST	0,329	1,090	69,8%	30,2%
WRF_Boden_W_SE	0,752	WRF_Schuh_W_FST	0,320	1,072	70,1%	29,9%
WRF_Boden_W_GMG	0,762	WRF_Schuh_W_FST	0,329	1,091	69,8%	30,2%
WRF_Boden_Öl_FST	0,765	WRF_Schuh_Öl_FST	0,450	1,215	63,0%	37,0%
WRF_Boden_Öl_SE	0,725	WRF_Schuh_Öl_FST	0,450	1,175	61,7%	38,3%
WRF_Boden_Öl_GMG	0,664	WRF_Schuh_Öl_FST	0,450	1,114	59,6%	40,4%
				<b>Mittelwert Wasser</b>	<b>69,9%</b>	<b>30,1%</b>
				<b>Mittelwert Öl</b>	<b>61,4%</b>	<b>38,6%</b>
				<b>Mittelwert Gesamt</b>	<b>65,7%</b>	<b>34,3%</b>

**Tabelle 22: Standardisierte Regressionskoeffizienten**

<sup>68</sup> Für jedes Zwischenmedium werden jeweils drei Modelle angegeben, die sich durch das Messverfahren zur Wuppertaler Rangfolge Fußböden unterscheiden. Es wurden jeweils die Verfahren SE, FST und GMG verwendet.

## 5.5 Zusammenhänge von Reibungswerten mit Produktparametern

### 5.5.1 Zielstellung

Die sicherheitstechnischen Maßnahmen mit der umfassendsten Wirksamkeit sind Maßnahmen des konstruktiven und additiven Primärschutzes (vgl. Kapitel 2.5.3). Für das Gestaltungsfeld des additiven Primärschutzes, insbesondere für die Auswahl von Fußböden und Schuhen, wurden mit den Rutschhemmungsmatrizen anwendungsorientierte Instrumente entwickelt. Das Gestaltungsfeld des konstruktiven Primärschutzes beinhaltet die inhärent sichere Konstruktion von Fußboden- und Schuhprodukten. Für die Entwicklung und Optimierung von Produkten ist es für die Hersteller von besonderem Interesse, Zusammenhänge zwischen Produktkenngößen (Material, Oberflächenrauheit und Profileigenschaften) und rutschhemmenden Eigenschaften zu kennen, um ihre Produkte sicherheitsgerecht gestalten zu können.

Es wurden verschiedene Forschungsarbeiten zu der Thematik des Einflusses von Oberflächeneigenschaften durchgeführt (z.B. LIEBS 2009, SCHNELL 2007, SMITH 1993, WIEDER 1988). In den Untersuchungen werden die Parameter in Bezug zu einzelnen (normativen) Reibungsmessverfahren gesetzt und Schlussfolgerungen abgeleitet. Diese Arbeit stellt die Einzelergebnisse nicht in Frage<sup>69</sup>, zweifelt aber die Verallgemeinerung an. Die hohe Anzahl an Messergebnissen wird genutzt, um ggf. verallgemeinernde Hypothesen aufzustellen. Insbesondere steht die Interaktion verschiedener Produktparameter im Fokus dieser Untersuchung. Es werden drei Ansätze verfolgt:

- 1.) **Lineare Korrelation** zwischen einzelnen Produktparametern und der Praxisrangfolge,
- 2.) **Multivariate lineare Regression** zwischen mehreren Produktparametern und der Reibung von Fußboden-Schuh-Kombinationen,
- 3.) **Künstliche Neuronale Netze** zwischen sich ggf. bedingenden Produktparametern und der Reibung von Fußboden-Schuh-Kombinationen.

### 5.5.2 Lineare Korrelation

Mit der Praxisrangfolge wurden Kennwerte für die untersuchten Produkte ermittelt, die das Reibungsverhalten in praktischen Situationen widerspiegeln. Die Praxisrangfolge dient als Vergleichsgröße für die lineare Korrelation mit einzelnen Produktparametern.

---

<sup>69</sup> Die Einzelergebnisse verschiedener Untersuchungen werden nicht anhand der Messdaten dieser Arbeit auf ihre Richtigkeit überprüft.

Beispielsweise kann analysiert werden, ob sich die Reibung erhöht, wenn die Laufsohle weicher ist. Die Auswertung erfolgt über Korrelationsmatrizen (Darstellung in Anhang 6), in denen der Pearsonsche Korrelationskoeffizient für die Parameter untereinander und zur Praxisrangfolge ermittelt wird.

Die Betrachtung aller untersuchten Proben zeigt, dass keine hohen Korrelationen, weder für Fußböden, noch für Schuhe, zwischen Produkteigenschaften und dem rutschhemmenden Potential bestehen. Dass keine hohe Korrelation (Kriterium festgesetzt auf:  $r > 0,7$ ) vorliegt, bedeutet nicht, dass die Oberflächeneigenschaften keinen Einfluss auf die Reibung haben, sondern dass allgemeine Aussagen zu linearen Beziehungen nicht möglich sind, z.B. kann die Aussage „je höher die Rauheit des Fußbodens ist, desto besser sind die rutschhemmenden Eigenschaften“ nicht verifiziert werden. Vielmehr sind die unterschiedlichen Produktparameter in Kombination zu betrachten. Wird die Datenbasis jedoch auf die Auswertung auf eine Materialgruppe reduziert, lassen sich für die Produktgruppen Betonstein, Naturstein und keramische Bodenbeläge bei Auftreten von Öl positive Korrelationen zwischen der Oberflächenrauheit und den rutschhemmenden Eigenschaften (Praxisrangfolge) finden.

### **5.5.3 Multivariate lineare Regression**

Im Rahmen der Ermittlung der Einflussgrößen für das statistische Gefährdungsmodell wurde diese Analyse bereits durchgeführt und dargestellt (vgl. Kapitel 5.2.2.1). Das Ergebnis ist, dass die Produktkennwerte der Wuppertaler Rangfolgen ausreichen die Reibung der Kombination hinreichend zu beschreiben. Für die Hersteller von Fußböden und Schuhen ist dieses Ergebnis hilfreich, da im Rahmen der Produktentwicklung mit den Prüfparametern der Wuppertaler Rangfolgen Instrumente zur Verfügung stehen, Produkte hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit zu entwickeln.

### **5.5.4 Künstliche Neuronale Netze**

Die Berechnung von Künstlichen Neuronalen Netzen (vgl. Kapitel 4.1.4) stellt eine mathematisch komplexe Möglichkeit dar, die Abhängigkeit der Reibung in Fußboden-Schuh-Kombinationen von einer Vielzahl, sich ggf. bedingenden Einflussgrößen zu berechnen. Das Ziel ist, die Reibung anhand eines Satzes von Einflussgrößen zu prognostizieren, beispielsweise soll die Reibung einer harten Gummi-Schuhsohle auf einem glatten keramischen Fußboden bei Auftreten von Wasser vorhergesagt werden. Auf Grundlage eines trainierten Netzes können durch Variation einzelner Parameter Aussagen

für die Produktentwicklung abgeleitet oder Produkte für spezielle Anwendungsgebiete entwickelt werden.

Abbildung 74 zeigt den schematischen Ablauf der Untersuchung. Der erste Schritt besteht darin, das KNN mit bekannten Beobachtungen zu trainieren. Als Eingangsgrößen stehen über 8500 verschiedene Datensätze zur Verfügung, die jeweils aus 68 Produktparametern<sup>70</sup> und dem gemessenen Reibungswert einer Fußboden-Schuh-Kombination bestehen. Die Software prüft die Eingangsgrößen, wählt die relevanten Größen aus und berechnet auf dieser Grundlage das neuronale Netz.

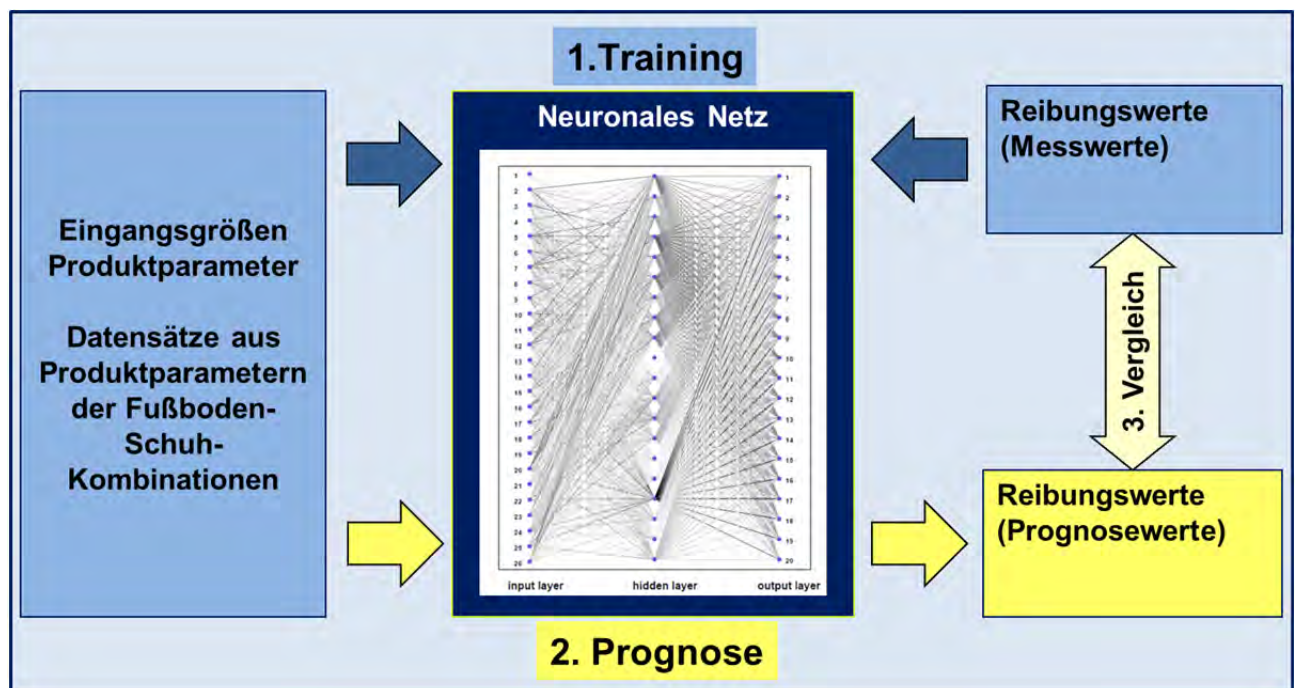


Abbildung 74: Analyse mit Künstlichen Neuronalen Netzen - Ablaufschema

In einem zweiten Schritt wird die Anpassung des trainierten Netzes auf seine Richtigkeit geprüft. Dazu werden die gleichen Datensätze als Eingangsgröße verwendet und durch das Netz der zugehörige Reibungswert berechnet resp. prognostiziert. In einem dritten Schritt werden die prognostizierten Reibungswerte mit den gemessenen Reibungswerten verglichen. Geringe Abweichungen lassen sich als gute Anpassung des KNN interpretieren. Abbildung 75 stellt die Häufigkeitsverteilungen der Differenzen zwischen Mess- und Prognosewert (Residuen  $e_k$ ) für das Zwischenmedium Wasser dar. Etwa 50% der Differenzen weisen eine Abweichung zwischen  $e_k = -0,1$  und  $e_k = 0,1$  auf, die zweiten 50% weisen größere Abweichungen bis  $e_k > 0,3$  auf. Die Standardabweichung der

<sup>70</sup> Rauheitskenngrößen, Ergebnisse standardisierter Reibungsprüfungen, Materialgruppe, Härte, Profileigenschaften

Residuen beträgt  $s_{ek} = 0,131$ . Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Einbindung einer Vielzahl von Produktparametern keine genauere Prognose der Reibung erstellt werden kann, als dies mit dem statistischen Gefährdungsmodell der Fall ist. Die Abweichungen sind deutlich erhöht, was zu einer höheren Unsicherheit des Ergebnisses und somit nicht zu verlässlicheren Aussagen führt.

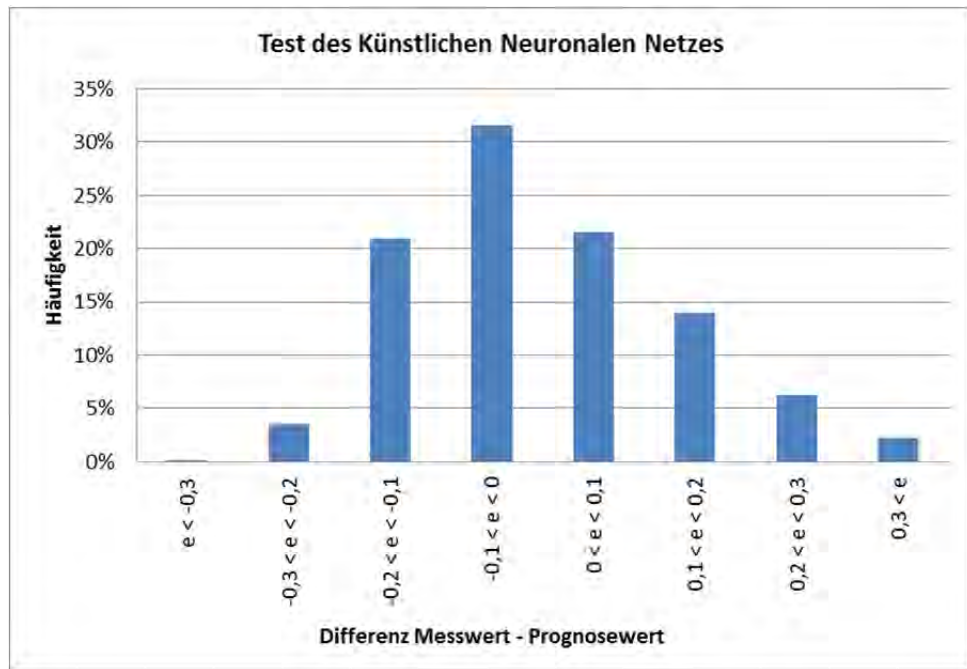


Abbildung 75: Test des Künstlichen Neuronales Netzes - Ergebnis

Die Werte der Wuppertaler Rangfolgen sind Bestandteil der Eingangsgrößen. Aufgrund der festgestellten Wichtigkeit dieser Einflussgrößen und der Beteiligung an der Berechnung des KNN, sollte durch die Einbeziehung weiterer Größen ein genaueres Prognosemodell entstehen. Als mögliche Begründungen für die höhere Ungenauigkeit wird Folgendes vermutet:

- keine ausreichende Anzahl an Beobachtungen, für Variationen von 68 Parametern,
- fehlende Eingangsgrößen (z.B. spezifischere Materialangaben),
- fehlende Werte von Einzelgrößen (z.B. fehlende Rauheitskennwerte, weil Produkte aufgrund ihrer Struktur nicht mit dem verwendeten Verfahren messbar sind),
- Verschleißerscheinungen zwischen Messung der Produktparameter und den Reibungsmessungen,
- Beeinflussung durch Werte der nicht praxisgerechten normativen Reibungsprüfungen.

## 6 Diskussion

Die Zahl der Rutschunfälle ist in den letzten Jahren weitestgehend konstant geblieben und stellt nach wie vor einen Schwerpunkt der Unfallstatistik dar. Damit verbunden sind die Kosten für die Rehabilitation seitens der UVT sowie die betriebswirtschaftlichen Ausfallkosten. Die Relevanz des Themas unterstreichen zahlreiche Veröffentlichungen (vgl. Anhang 8). Im Folgenden werden die Hypothesen dieser Arbeit hinsichtlich der Ergebnisse und der Praxisrelevanz diskutiert.

### 6.1 Diskussion der 1. Hypothese

*Die nationalen und EG-Baumusterprüfungen von Fußböden und Schuhen sind nur eingeschränkt praxisrelevant.*

Zur Beurteilung des rutschhemmenden Potentials von Fußböden werden verschiedene Reibungsprüfverfahren mit unterschiedlichen Referenzmaterialien und Prüfparametern herangezogen und in harmonisierten Normen als EG-Baumusterprüfungen oder in nationalen Normen und Regelungen als nationale Baumusterprüfungen definiert. Diese Normen und Regelungen entstammen verschiedenen, (Normungs-)Gremien, da jeweils autarke Zuständigkeiten für Straßenschuhe, Sicherheitsschuhe, unterschiedliche Fußbodenarten und für nationale Regelungen bestehen. Eine gemeinsame Betrachtung der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen erfolgt nicht. Ebenso werden in der Regelsetzung weder die Vielfalt der Komponenten des Reibungssystems noch die sicherheitstechnische Bewertung in Bezug auf den gehenden Menschen berücksichtigt. In der Folge sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik unterschiedliche Prüf- und Bewertungsmethoden vorhanden, deren Herleitungen und Festlegungen nicht auf ganzheitlichen wissenschaftlichen Untersuchungen, sondern am insbesondere auf subjektiven Erfahrungswerten der Regelsetzer beruhen.

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde erstmals eine umfassende und ganzheitliche Analyse von praktischen Reibungssituationen durchgeführt und mit der Praxisrangfolge einen Produktkennwert hergeleitet, der das rutschhemmende Potential des Produktes in Verbindung mit flüssigen gleitfördernden Stoffen und der Vielfalt der Komponenten des Reibungssystems widerspiegelt. Die vorhandenen standardisierten Beurteilungsmethoden wurden auf ihre Validität bzw. Praxistauglichkeit getestet. Die Hypothese konnte durch die umfassenden Untersuchungen und Auswertungen verifiziert werden. Praxisgerecht und als Baumusterprüfverfahren geeignet sind die nationale Baumusterprüfung von Fußböden

nach DIN 51130 ausschließlich für Fußböden in Arbeitsbereichen mit Auftreten von Öl, sowie die Baumusterprüfung von Schuhen in der Prüfkombination Keramikfliese mit Wasser. Alle anderen untersuchten Verfahren sind mit den derzeitigen Prüfparametern und Referenzmaterialien nicht als Baumusterprüfungen geeignet, da die Produkte nicht praxisgerecht bewertet werden. Die durch die Anwendung harmonisierter Normen ausgelöste Vermutungswirkung ist daher in Frage zu stellen. Die Einhaltung der Schutzziele „Bereitstellung und Verwendung rutschhemmender Produkte“ der EU-BauProdV, der PSA-Richtlinie bzw. der 8.ProdSV und der ASR 1.5 kann durch die Prüfungen nicht gewährleistet werden.

Für Fußböden in Arbeitsbereichen mit Auftreten von Nässe ist keine der Beurteilungsmethoden geeignet. Auch die Prüfverfahren, die mit dem Zwischenmedium Wasser messen (GMG nach DIN 51131, Pendelmessgerät nach CEN/TS 16165), sind aufgrund der Referenzmaterialien Slider 55, Slider 96 und SBR-Gummi nicht geeignet. Die falsche Bewertung von Fußbodenprodukten führt dazu, dass Produkte nach dem Stand der Technik richtig ausgewählt werden, aber nicht das gewünschte Sicherheitsniveau im Arbeitsbereich erreichen. Dieser Sachverhalt ist mitbegründend für die hohen Unfallzahlen, insbesondere in Eingangsbereiche mit eingetragener Nässe. Die erste Hypothese ist somit verifiziert.

Die Bestrebungen des CEN TC 339, die Prüfverfahren für Fußböden zu vereinheitlichen, sind weiterhin zu begrüßen. Die Erkenntnisse dieser Arbeit sollten in der Normungsarbeit berücksichtigt werden.

## **6.2 Diskussion der 2. Hypothese**

*Verbindliche Mindestanforderungen an die Rutschhemmung von Straßenschuhen sind sicherheitstechnisch sinnvoll.*

In vielen Arbeitsbereichen tragen die Beschäftigten ihre privaten Straßenschuhe, üblicherweise wenn die weiteren Schutzfunktionen von Sicherheitsschuhen (Zehenschutz, Durchtrittsicherheit, usw.) nicht benötigt werden. Straßenschuhe unterliegen keinen rechtlich verbindlichen Regelungen an die Rutschhemmung der Laufsohle. Diese Studie untersucht erstmalig eine umfassende Auswahl von Straßenschuhen hinsichtlich ihrer rutschhemmenden Eigenschaften. Die Ergebnisse zeigen, dass Straßenschuhe eine ebenso hohe Spannweite an rutschhemmenden Potentialen wie Sicherheitsschuhe

aufweisen, aber insgesamt auf einem niedrigeren Niveau liegen. Die Konsequenz ist, dass in Verbindung mit Fußböden deutlich mehr kritische Situationen mit Straßenschuhen als mit Sicherheitsschuhen auftreten. Würden die vorhandenen Empfehlungen<sup>71</sup> an die Rutschhemmung der Laufsohlen von Straßenschuhen, die etwa den Anforderungen an Sicherheitsschuhe entsprechen, rechtlich verbindlich verankert werden, kann davon ausgegangen werden, dass weniger kritische Praxissituationen auftreten werden. Die zweite Hypothese dieser Arbeit ist somit verifiziert.

Bis zu einer verbindlichen Einführung von Mindestanforderung an die Rutschhemmung von Straßenschuhen ist eine freiwillige Prüfung und Kennzeichnung seitens der Schuhhersteller wünschenswert. Darüber hinaus sollten die Verbraucher für die Thematik sensibilisiert werden, z.B. durch Publikationen von Verbraucherorganisationen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die UVT ihren Mitgliedunternehmen und Versicherten das generelle Tragen Sicherheitsschuhen oder von geprüften Straßenschuhen empfehlen können. Eine (freiwillige) Kennzeichnung ist notwendig, da das rutschhemmende Potential von den Verbrauchern nicht anhand der Optik des Schuhs resp. der Laufsohle erkennbar ist.

### **6.3 Diskussion der 3. Hypothese**

*Die Erstellung einer Rutschhemmungsmatrix ist möglich.*

Mit den Wuppertaler Rangfolgen wurden Prüfverfahren und Referenzmaterialien eruiert, die eine praxisgerechte Bewertung von Fußboden- und Schuhprodukten ermöglichen. Des Weiteren wurde nachgewiesen, dass die Reibung – und damit auch die Gefährdung des Ausgleitens – einer Fußboden-Schuh-Kombination von den rutschhemmenden Potentialen der Fußboden- und Schuhprodukte abhängig und statistisch prognostizierbar ist. Mit den aus diesem Sachverhalt abgeleiteten Rutschhemmungsmatrizen steht ein einfach anzuwendendes Präventionsinstrument zur Verfügung, das die Gefährdung Ausgleiten beim Gehen ganzheitlich betrachtet. Die Rutschhemmungsmatrix vereint die Produktsicherheit durch die Baumusterprüfung und Klassifizierung von Produkten (Wuppertaler Rangfolgen) mit der Arbeitssicherheit durch die Gefährdungsbeurteilung und die Auswahl von sicheren Fußboden-Schuh-Kombinationen. Die Auswahl von

---

<sup>71</sup> Spezifiziert im DIN-Fachbericht 156 und CEN ISO/TR 20880 (2007)



dauerhaften, kollektiven und willensunabhängigen Schutzmaßnahmen wird somit ermöglicht. Die dritte Hypothese dieser Arbeit ist damit verifiziert.

Die Gefährdung Ausgleiten beim Gehen hängt von den rutschhemmenden Potentialen von Fußböden und Schuhen ab. Die Hersteller und Interessenvertreter beider Produktgruppen sollten nicht die Ursache für das Auftreten kritischer Situationen einzig bei der jeweiligen anderen Produktgruppe suchen. Beide Produktgruppen haben das Potential die rutschhemmenden Eigenschaften zu verbessern. Es werden konkrete Vorschläge für die Klassifizierung von Fußböden und Schuhen unterbreitet. Die Bewertungsgrenzen sind insgesamt diskutabel, wobei bedacht werden muss, dass wenn die Anforderungen an Fußböden gesenkt werden, die Anforderungen an Schuhe erhöht werden müssen und umgekehrt. Die Vorschläge für die Klassengrenzen wurden so gewählt, dass zum einen vorhandene Regelungen weiterhin Bestand haben können und zum anderen, dass die Anforderungen an beide Produktgruppen realistisch und Produkte dieser Klassen am Markt vorhanden sind.

Die Umsetzung der Rutschhemmungsmatrix hat Konsequenzen für die Bewertung der am Markt erhältlichen Fußboden- und Schuhprodukte. Auswertungen der Auswirkungen der vorgeschlagenen Klassifizierung auf die Bewertung von Produkten sind in Anhang 7 dargestellt. Etwa 70% der Produkte der Bewertungsgruppe R 9 und ca. 50% der Bewertungsgruppe R 10 bieten kein ausreichendes rutschhemmendes Potential und dürften demnach nicht in Arbeitsbereichen verlegt werden, in denen Nässe auftritt. Wiederum ca. 30% der Bodenbeläge der Bewertungsgruppe R- haben in praktischen Situationen ein ausreichendes Potential und dürften nach den vorgeschlagenen Regelungen in Arbeitsbereichen mit Nässe angewendet werden. Die untersuchten Straßenschuhe erreichen zu 73% nicht die vorgeschlagenen Mindestanforderungen an Schuhe. Zur Vermeidung von Ausgleitunfällen ist es notwendig, Fußböden und Schuhe mit ausreichendem rutschhemmenden Potentialen zu verwenden. Folglich können nicht alle der bisher verwendeten Produkte weiterhin in Arbeitsbereichen mit flüssigen Zwischenmedien eingesetzt werden.

#### **6.4 Diskussion der 4. Hypothese**

*Die Abhängigkeit der rutschhemmenden Eigenschaften einer Fußboden-Schuh-Kombination von ihren Produkteigenschaften ist beschreibbar.*

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Reibung einer Fußboden-Schuh-Kombination in Abhängigkeit von produktbezogenen Parametern nicht genauer beschrieben werden kann als es mit dem statistischen Gefährdungsmodell der Fall ist. Konkrete Empfehlungen für die Gestaltung einzelner Produktparameter sind somit nach den Ergebnissen dieser Arbeit nicht möglich und die Hypothese ist zu falsifizieren. Es wurden mögliche Ursachen aufgezeigt, insbesondere wurde der Einfluss der Fußboden- und Schuhmaterialien vernachlässigt. Es wurde nur eine Materialgruppe angegeben, da chemische Analysen der Materialien zu aufwendig gewesen wären. Produkte innerhalb einer Materialgruppe zeigen unterschiedliche rutschhemmende Eigenschaften, die vorrangig eine Rückführung auf die chemische Zusammensetzung vermuten lassen und die Adhäsionskomponente im Reibungssystem beeinflussen. Weitere Forschungen mit materialwissenschaftlichem Schwerpunkt versprechen einen Beitrag zur inhärent sicheren Konstruktion von Produkten zu leisten.

Allerdings spiegelt sich der Einfluss der Produktparameter sich in dem Ergebniswerten der Wuppertaler Rangfolgen wider, so dass anhand dieser Prüfungen eine praxisgerechte Produktentwicklung möglich ist. Die Einflussgrößen sind durch die Hersteller selbst zu eruieren.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Reibungssystem aus Fußboden, Zwischenmedium, Schuh und Umgebungsbedingungen ist ein komplexes physikalisches System mit zahlreichen Produktvarianten, möglichen Kombinationen und Wechselwirkungen der einzelnen Komponenten. Die Beurteilung der Gefährdung „Ausgleiten beim Gehen“ stellt die Akteure des betrieblichen Arbeitsschutzes vor große Herausforderungen. Die Gefährdung kann durch eine Kombination von sicherheitstechnischen Maßnahmen wirksam reduziert werden, allerdings sind die bevorzugten Maßnahmen des konstruktiven und additiven Primärschutzes als dauerhafte, kollektive und willensunabhängige Schutzmaßnahmen nur eingeschränkt anwendbar. Instrumente zur praxisgerechten Auswahl von Fußboden-Schuh-Kombinationen sind nur eingeschränkt anwendbar oder nicht vorhanden.

Eine ganzheitliche Prüfung und Bewertung der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen wird im Rahmen der Normung nicht ausreichend berücksichtigt. Die nationalen und EG-Baumusterprüfungen von Fußböden und Schuhen sind nur eingeschränkt praxisrelevant.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit basieren auf der Analyse eines umfassenden messtechnischen Abbildes von praktischen Kombinationen einer breiten Auswahl am Markt verfügbarer Fußboden- und Schuhprodukte.

Dies ermöglicht die Bewertung der gängigen nationalen und EG-Baumusterprüfungen hinsichtlich der praxisgerechten Bewertung mit dem Ergebnis, dass lediglich Fußböden für Arbeitsbereiche mit viskosen Zwischenmedien und Schuhe für die Einsatzbereiche mit auftretender Nässe richtig bewertet werden. Insbesondere die nicht praxisgerechte Bewertung von Fußböden für Arbeitsbereiche mit auftretender Nässe und das Fehlen verbindlicher Mindestanforderungen an die Rutschhemmung von Straßenschuhen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit mitbegründend für die hohe Anzahl von Ausrutschunfällen.

Im Rahmen der Gestaltung setzen diese Forschungsarbeiten bei der Entwicklung von sicherheitstechnischen Maßnahmen des konstruktiven und additiven Primärschutzes an. Mit den Prüfverfahren zur Ermittlung der Wuppertaler Rangfolgen werden konkrete Vorschläge für Referenzmaterialien, Prüfparameter und Mindestanforderungen unterbreitet, die als Baumusterprüfverfahren von Fußböden für Arbeitsbereiche mit Nässe und für Schuhe in Verbindung mit viskosen Zwischenmedien eine praxisgerechte Bewertung ermöglichen. Das statistische Gefährdungsmodell und die Rutschhemmungsmatrix bilden ein ganzheitliches Instrument zur Auswahl von Fußboden-Schuh-Kombinationen. Das rutschhemmende Potential von Fußböden und Schuhen wird

durch die Baumusterprüfungen (Wuppertaler Rangfolgen) ermittelt, klassifiziert und die Gefährdung des Ausgleitens als Verknüpfung der Gefährdungspotentiale von Fußboden und Schuh darstellt.

Eine Umsetzung der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit bietet die Chance, Ausgleitunfälle nachhaltig zu reduzieren.

**Kurzfristig** kann eine Umsetzung durch folgende Maßnahmen und Aktivitäten erfolgen:

- Information und Sensibilisierung der Verbraucher über die rutschhemmenden Potentiale von Sicherheits- und Straßenschuhen. Aus eigenem Interesse sollten Schuhe getragen werden, die Mindestanforderungen an die Rutschhemmung erfüllen.
- Die Unfallversicherungsträger und Unternehmen können eine generelle Empfehlung zum Tragen von Sicherheitsschuhen oder von hinsichtlich der Rutschhemmung geprüften Straßenschuhen aussprechen.
- Die Hersteller von Straßenschuhen sollten ihre Produkte in Bezug auf die Empfehlungen an die Rutschhemmung entwickeln, freiwillig prüfen und kennzeichnen.
- Die Hersteller von Fußböden und Schuhen können die Referenzmaterialien und Prüfparameter der Wuppertaler Rangfolgen zur praxisgerechten Produktentwicklung heranziehen.

**Mittelfristig** sollten die Ergebnisse im Rahmen der Regelsetzung und Normung umgesetzt werden:

- Die Funktionsweise und Anwendungsmöglichkeiten der Rutschhemmungsmatrix sollten im Rahmen einer Handlungshilfe von den Unfallversicherungsträgern beschrieben und beispielsweise als Berufsgenossenschaftliche Information veröffentlicht werden. Dabei ist eine Zusammenarbeit des Sachgebietes „Fußböden, Rampen und Treppen“ mit dem Sachgebiet „Fuß- und Beinschutz“ wünschenswert.
- Das CEN TC 161 sollte in der EN ISO 13287 die Prüfkombination Stahlboden mit Glycerin durch die Prüfkombination St-II mit Motoröl ersetzen.

- Ergänzend zu der Fußbodenprüfung nach DIN 51130, ASR 1.5 und BGR 181 sollte für eine Baumusterprüfung von Fußböden für Arbeitsbereiche mit Nässe eingeführt werden. Konkret wird das Material „StarLP“ als Referenzmaterial, das Zwischenmedium NaLS-Wasser 0,1% und das maschinelle Prüfverfahren vorgeschlagen. Die Mindestanforderung an Bodenbeläge sollte mit diesen Prüfbedingungen bei  $\mu = 0,30$  liegen unter der Voraussetzung, dass die Schuhe den gegenwärtigen Empfehlungen an die Rutschhemmung entsprechen.
- Das CEN TC 339 sollte bei der Weiterentwicklung der CEN / TS 16165 die Erkenntnisse dieser Arbeit berücksichtigen und valide Prüf- und Bewertungsmethoden für Fußböden normativ umsetzen. Konkret werden die Prüfverfahren zur Ermittlung der Wuppertaler Rangfolgen von Fußböden zur Umsetzung vorgeschlagen.
- Nationale und EG-Baumusterprüfungen von Fußböden sollten um definierte Verschleißmechanismen erweitert werden.
- Mindestanforderungen an die Rutschhemmung von Straßenschuhen sollten rechtlich verbindlich eingeführt werden.

**Langfristig** sollten Fußboden- und Schuhprodukte ausschließlich mit validen Prüfverfahren beurteilt werden. Verlegte und nicht praxisgerechte Fußböden sollten sukzessive ausgetauscht werden. Eine engere Zusammenarbeit der zuständigen Normungsgremien als auch der zuständigen Sach- und Arbeitsgebiete der DGUV, eine ganzheitliche Betrachtung der Gefährdung Ausgleiten beim Gehen und die gemeinsame Bearbeitung der Thematik Rutschhemmung sind wünschenswert.

Die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens sollen in Veröffentlichung dargestellt werden. Das Fachgebiet Sicherheitstechnik / Arbeitssicherheit plant konkret mehrere Veröffentlichungen:

- Kurzdarstellung der Ergebnisse im „DGUV-Forum“
- Normungsrelevante Ergebnisse und Änderungsvorschläge im „KAN-Brief“
- Fachartikel über das Forschungsprojekt, ggf. mehrteilig, in einer deutschen Fachzeitschrift (z.B. „Sicherheitsingenieur“, „sicher ist sicher“ oder „Technische Sicherheit“) sowie einen englisch-sprachigen Artikel

- Die Gesamtergebnisse des Forschungsvorhabens werden in ausführlicher Form mit der Dissertation von Herrn Wetzel erfolgen (voraussichtlich im September 2013)

Des Weiteren sind Vorträge zu den Forschungsergebnissen geplant:

- Beteiligung am Call-for-papers der Fachmesse A+A im November 2013
- Anfrage eines Vortrages bei der Veranstaltung „Vom Problem zur Lösung“ im Rahmen des Weltkongress Arbeitssicherheit in 2014
- Vorstellung der Ergebnisse im Rahmen der Präventionsarbeit in den DGUV-Fachbereichen und der Normungsarbeit (Die Vorstellung der Ergebnisse im CEN TC 161 WG3 „Rutschhemmung von Sicherheitsschuhen“ ist bereits im November 2012 erfolgt).

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- 8.PRODSV 2011** Achte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über die Bereitstellung von persönlichen Schutzausrüstungen auf dem Markt) in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. Februar 1997 (BGBl. I S. 316), die zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist
- 89/106/EWG** Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG)
- 89/391/EWG** Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit (89/391/EWG)
- 89/654/EWG** Richtlinie des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten (Erste Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) (89/654/EWG)
- 89/656/EWG** Richtlinie des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen durch Arbeitnehmer bei der Arbeit (Dritte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) (89/656/EWG)
- 89/686/EWG** Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen (89/686/EWG)

- AEUV 2009** Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union; Fassung aufgrund des am 1.12.2009 in Kraft getretenen Vertrages von Lissabon
- ARBSCHG 2009** Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 15 Absatz 89 des Gesetzes vom 5. Februar 2009 (BGBl. I S. 160) geändert worden ist.
- ARBSTÄTTV 2010** Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960) geändert worden ist
- ASR 1.5** Technische Regel für Arbeitsstätten, ASR A1.5/1,2 „Fußböden“, Stand: 02/2013, verwendet wurde der Schlusssentwurf der Arbeitsgruppe mit Stand: 11/2012
- BACKHAUS ET.AL. 2011** Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung; 13.Auflage; Springer Verlag Berlin Heidelberg; 2011
- BASF 2012** Ursachen für Arbeitsunfälle bei BASF, Standort Ludwigshafen; Sichere Chemiearbeit 04/2009; Magazin der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und Chemische Industrie: Heidelberg
- BAUA 2000** Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/Trittsicherheit/Trittsicherheit.html>; Link geprüft: 14.03.2013
- BAUPG 1998** Bauproduktengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. April 1998 (BGBl. I S. 812), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2449) geändert worden ist
- BAYER 2012** BAYER-direkt 4/2012, Magazin für Mitarbeiter



- BGI/GUV-I 8687** Berufsgenossenschaftliche Information BGI/GUV-I 8687, Bewertung der Rutschgefahr unter Betriebsbedingungen; Stand: 01/2011
- BGR 181** Berufsgenossenschaftliche Regel 181, Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr; Oktober 2003; Carl Heymanns Verlag; Köln
- BGR 191** Berufsgenossenschaftliche Regel: Benutzung von Fuß- und Knieschutz; Januar 2007; Carl Heymanns Verlag; Köln
- BÖNIG 1996** Bönig, Stefan: Experimentelle Untersuchungen zur Festlegung von normgerechten Reibzahlgrenzwerten für gleitsicheres Gehen; Dissertation an der Bergischen Universität - Gesamthochschule Wuppertal; 1996
- CEN ISO/TR 20880** Footwear - Performance requirements for components for footwear – Outsoles; Stand 02/2007
- DERLER, S. 1997** Derler, S.; Knausch, F.: Einfluss von Sohlenmaterial und Profil auf die Gleitfestigkeit; 1997
- DGUV-BERICHT 2010** Standke, Willi; Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung; Statistik – Arbeitsunfallgeschehen 2010; 2. Überarbeitete Fassung Juli 2012
- DIN 4843-100** Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhe; Rutschhemmung, Mittelfußschutz, Schnittschutzeinlage und thermische Beanspruchung; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung; Ausgabe: 08/1993; Zurückgezogen: 08/2004
- DIN 51097** Prüfung von Bodenbelägen; Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft; Naßbelastete Barfußbereiche; Begehungsverfahren; Schiefe Ebene; Stand: 11/1992

- 
- DIN 51130** Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft – Arbeitsräume und Arbeitsbereiche mit Rutschgefahr, Begehungsverfahren – Schiefe Ebene; Stand: 10/2010
- DIN 51131** Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft – Verfahren zur Messung des Gleitreibungskoeffizienten; Stand: 08/2008
- DIN CEN/TS 15676** Holzfußböden – Gleitwiderstand – Pendelprüfung, Vornorm; Stand: 02/2008
- DIN CEN/TS 16165** Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden – Ermittlungsverfahren (DIN SPEC 51132); Stand: 07/2012
- DIN EN 12057** Natursteinprodukte – Fliesen – Anforderungen; Stand: 01/2005
- DIN EN 12058** Natursteinprodukte - Bodenplatten und Stufenbeläge – Anforderungen; Stand: 01/2005
- DIN EN 13036-3** Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 3: Messung der horizontalen Entwässerung von Deckschichten; Stand 06/2003
- DIN EN 13036-4** Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest; Stand: 12/2011
- DIN EN 1338 BERICHTIGUNG 1** Pflastersteine aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren, Berichtigung; Stand: 11/2006
- DIN EN 1338** Pflastersteine aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren; Stand: 08/2003
- DIN EN 1339 BERICHTIGUNG 1** Platten aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren, Berichtigung; Stand: 11/2006

- 
- DIN EN 1339** Platten aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren; Stand: 08/2003
- DIN EN 1341 BERICHTIGUNG 1** Platten aus Naturstein für Außenbereiche – Anforderungen und Prüfverfahren, Berichtigung; Stand: 06/2006
- DIN EN 1341** Platten aus Naturstein für Außenbereiche – Anforderungen und Prüfverfahren, Berichtigung; Stand: 04/2002
- DIN EN 13748-1** Terrazzoplatten - Teil 1: Terrazzoplatten für die Verwendung im Innenbereich; Stand 08/2005
- DIN EN 13748-2** Terrazzoplatten - Teil 2: Terrazzoplatten für die Verwendung im Außenbereich; Stand: 03/2005
- DIN EN 13845** Elastische Bodenbeläge - Polyvinylchlorid-Bodenbeläge mit partikelbasiertem erhöhten Gleitwiderstand – Spezifikation; Stand: 10/2005
- DIN EN 13893** Elastische, laminierte und textile Bodenbeläge - Messung des Gleitreibungskoeffizienten von trockenen Bodenbelagsoberflächen; Stand: 02/2003
- DIN EN 14041** Elastische, textile und Laminat-Bodenbeläge – Wesentliche Eigenschaften; Stand: 05/2008
- DIN EN 14231** Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung des Gleitwiderstandes mit Hilfe des Pendelprüfgerätes; Stand: 07/2003
- DIN EN 14342** Parkett und Holzfußböden – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung; Stand: 09/2008
- DIN EN 14411** Keramische Fliesen und Platten – Definitionen, Klassifizierung, Eigenschaften, Konformitätsbewertung und Kennzeichnung; Stand: 09/2012

- DIN EN 14904** Sportböden – Mehrzweck-Sporthallenböden – Anforderungen; Stand: 06/2006
- DIN EN 15090** Schuhe für die Feuerwehr; Stand: 04/2012
- DIN EN 15285** Künstlich hergestellter Stein – Fliesen für Fußbodenbeläge und Stufenbeläge (innen und außen); Stand: 09/2008
- DIN EN ISO 13287:2008** Persönliche Schutzausrüstung – Schuhe – Prüfverfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung; Stand: 01/2008; ersetzt durch DIN EN ISO 13287:2013
- DIN EN ISO 13287:2013** Persönliche Schutzausrüstung – Schuhe – Prüfverfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung; Stand: 02/2013
- DIN EN ISO 13565-1** Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften Teil 1: Filterung und allgemeine Meßbedingungen; Stand: 04/1998
- DIN EN ISO 13565-2** Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften - Teil 2: Beschreibung der Höhe mittels linearer Darstellung der Materialanteilkurve; Stand: 04/1998
- DIN EN ISO 20344** Persönliche Schutzausrüstung – Prüfverfahren für Schuhe; Stand: 03/2012
- DIN EN ISO 20345** Persönliche Schutzausrüstung – Sicherheitsschuhe; Stand: 04/2012
- DIN EN ISO 20346** Persönliche Schutzausrüstung – Schutzschuhe; Stand: 12/2007

- 
- DIN EN ISO 20347** Persönliche Schutzausrüstung – Berufsschuhe; Stand: 05/2012
- DIN EN ISO 4287** Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit; Stand: 07/2010
- DIN EN ISO 4288** Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit; Stand: 04/1998
- DIN EN ISO 868** Kunststoffe und Hartgummi - Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte); Stand: 10/2003
- DIN ISO 5725-2** Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichspräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens; Stand: 12/2002
- DIN V ENV 12633** Verfahren zur Bestimmung des Griffigkeitsbeiwertes vor und nach Polierung; Vornorm; Stand: 04/2003
- DIN-FACHBERICHT 156** Schuhe – Anforderungen an das Gebrauchsverhalten von Schuhbestandteilen; Deutsche Fassung CEN ISO/TR 20572:2007, CEN ISO/TR 20897:2007, CEN ISO/TR 20880:2007, CEN ISO/TR 20881:2007, CEN ISO/TR 20882:2007, CEN ISO/TR 20883:2007, CEN ISO/TR 22648:2007; Stand: 07/2007
- DOKUMENT N154** Dokument des Normausschuss CEN TC 161 WG3, Ergebnisse des Ringversuches zur EN 13287; 2011
- E DIN EN 12057** Natursteinprodukte – Fliesen – Anforderungen; Normentwurf; Stand: 01/2012

- 
- E DIN EN 12058** Natursteinprodukte – Bodenplatten und Stufenbeläge – Anforderungen; Normentwurf; Stand: 01/2012
- E DIN EN 1338** Pflastersteine aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren; Normentwurf; Stand: 08/2010
- E DIN EN 1339** Platten aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren; Normentwurf; Stand: 08/2010
- E DIN EN 1341** Platten aus Naturstein für Außenbereiche – Anforderungen und Prüfverfahren; Normentwurf; Stand: 04/2009
- E DIN EN 14041** Elastische, textile und Laminat-Bodenbeläge – Wesentliche Eigenschaften; Normentwurf; Stand: 05/2011
- E DIN EN 14342** Holzfußböden – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung; Normentwurf; Stand: 09/2011
- E DIN EN ISO 20346** Persönliche Schutzausrüstung – Schutzschuhe, Normentwurf; Stand: 08/2012
- EU-BAUPRODV 2011** VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates
- EU-BERICHT 2009** Europäische Kommission; Ursachen und Begleitumstände von Arbeitsunfällen in der EU; Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften; 2009 – 247 S.

- FBHL 2012** Fachbereich Handel und Logistik der DGUV, Sachgebiet Bauliche Einrichtungen und Handel, Arbeitsgebiet Fußböden, Rampen und Treppen
- FG ARBSI 2012** Fachgebiet Sicherheitstechnik / Arbeitssicherheit, Fachbereich D – Abteilung Sicherheitstechnik der Bergischen Universität Wuppertal; 2012
- FISCHER 2005** Fischer, Hugo: Beurteilung der Rutschsicherheit von Fußböden; BAuA-Schriftenreihe S84; Dortmund/Berlin/Dresden; 2005
- GÖTTE ET.AL. 2003** Götte, Thomas; Mewes, Detlef: Prüfung und Bewertung der Rutschhemmung von Bodenbelägen; Die BG; 08/2003
- GUNKEL 2010** Gunkel, Tobias: Vergleichende Untersuchungen von normativen und praxisnahen wässrigen Zwischenmedien für Rutschhemmungsprüfungen; Bachelor-Thesis an der Bergischen Universität Wuppertal; 2010
- HARTUNG 1998** Hartung, Joachim: Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, von Joachim Hartung, Bärbel Elpelt, Karl-Heinz Klösener – 11. Auflage, R. Oldenbourg Verlag München; 1998
- HARTUNG 1999** Hartung, Joachim: Multivariate Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, von Joachim Hartung und Bärbel Elpelt – 6. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag München; 1999
- HAUSMANN 2012** Hausmann, Christian: Vergleichende Untersuchungen von normativen und praxisnahen fettigen und öligen Zwischenmedien für Rutschhemmungsprüfungen; Bachelor-Thesis an der Bergischen Universität Wuppertal; 2011
- HSL 2012** Health & Safety Laboratory, Steve Thorpe: Footwear – Testing Slip Resistance and Real World Performance,

- Präsentation im Rahmen der Sitzung des CEN TC 161 WG3 am 23.05.2012 in Elda, Spanien
- ISO GUIDE 30** ISO Guide 30; Terms and definitions used in connection with reference materials; Stand: 1992
- JUNG, K. 1994** Jung, K.: Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Laufsohlenmaterialien auf die Rutschhemmung von Schuhen; Schuh-Technik 4/1994
- KAHL 2012** Kahl, Anke: Vorlesungsunterlagen „Arbeitssicherheit“ und „Objektbezogene Arbeitssicherheit“; Bergische Universität Wuppertal; Wintersemester 2012/13
- KAHL ET.AL. 2012** Kahl, Anke, Wetzel, Christoph: Rutschhemmungsmatrix – Arbeitsschutz auf die Füße gestellt, BUW-Output, Forschungsmagazin der Bergischen Universität Wuppertal; [www.buw-output.de](http://www.buw-output.de); Nr.7; 07/2012
- KIRCHBERG 2005** Kirchberg, Siegfried: Einfluss der Prüfgeschwindigkeit auf die Messung des Gleitreibungskoeffizienten zur Beurteilung der Rutschsicherheit beim Gehen; Forschungsbericht 1954 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Dortmund/Berlin/Dresden 2005
- KROMIDAS 2011** Kromidas, Stavros: Validierung in der Analytik; Wiley-VCH; Weinheim; 2011
- LEHDER 2011** Lehder, Günther: Taschenbuch Arbeitssicherheit; 12. Auflage; Erich-Schmidt-Verlag; Berlin; 2011
- LIEBS 2009** Liebs, Alexandra; Waßmann, Ellen; Müller, Hardy: Beurteilung der rutschhemmenden Eigenschaften von Sicherheits- und Berufsschuhen; Technische Überwachung 04/2009; Springer VDI Verlag



- LINDNER 2001** Lindner, Helmut: Physik für Ingenieure, 16.Auflage; Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag; Wien; 2001
- MITUTOYO 2007** Bedienungsanleitung zum Rauheitsmessgerät Mitutoyo SJ-201; 2007
- P&G 2012** Abfrage globale Unfalldatenbank Procter & Gamble über Herr Knut Werbeck, E-Mail vom 05.09.2012
- PARIDON 2005** Paridon, Hiltraut: BGAG-Report 1/05, Entstehung von Stolper-, Rutsch- und Sturzunfällen; Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften; Sankt Augustin; 2005
- PIGORS 1992** Pigors, Oltwig: Werkstoffe in der Tribotechnik: Reibung, Schmierung und Verschleißbeständigkeit von Werkstoffen und Bauteilen; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig; 1992
- PREN 15673-1** Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden - Ermittlungsverfahren - Teil 1: Referenzmethode; Ausgabe: 06/2007; zurückgezogen: 09/2009
- PROD SG 2011** Produktsicherheitsgesetz vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2179; 2012 I S. 131)
- RÜBEKEIL 2011** Rübekeil, Lars: Charakterisierung von Kunststoffmaterialien für Schuhsohlen und Analyse ihrer Einflussfaktoren auf die Rutschhemmung; Master-Thesis an der Bergischen Universität Wuppertal; 2011
- SCHNELL 2007** Schnell, Alexander; Goretzki, Lothar; Weinhold, Wolfgang P.: Oberflächencharakteristik von Bodenbelägen und deren Rutschhemmung; Forschungsbericht 1090; Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; 1.Auflage 2007; Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH; Bremerhaven

- SEBALD 2007** Sebald, Jens: Systemorientierte Konzeption für die Prüfung und Bewertung der Rutschhemmung von Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhen; Pro Business; Berlin; 2007
- SKIBA 1985** Skiba, Reinald: Materialbedingte Gleitsicherheitseigenschaften von Schuhsohlen; Schuh-Technik 10/1985
- SKIBA 1997** Skiba, Reinald: Taschenbuch Arbeitssicherheit; 9., neubearbeitete Auflage; Erich Schmidt Verlag; Bielefeld; 1997
- SKIBA ET.AL. 1987** Skiba, R.; Kuschefski, A.; Cziuk, N.: Entwicklung eines normgerechten Prüfverfahrens zur Ermittlung der Gleitsicherheit von Schuhsohlen; Wirtschaftsverlag NW; Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Fb526; 1987
- SKIBA ET.AL. 1993** Skiba, Reinald; Scheil, Michael; Windhövel, Ulrich: Vergleichsuntersuchungen zur instationären Reibungsmessung auf Fußböden; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Wirtschaftsverlag NW; Bremerhaven
- SMITH 1993** Smith, Alice Elaine: A Predictive Model for Slip Resistance Using Artificial Neural Networks; IIE Transactions; 1993
- VOLK 2005** Volk, Raimund: Rauheitsmessung – Theorie und Praxis; 1.Auflage; Beuth Verlag GmbH; Berlin, Wien, Zürich; 2005
- WETZEL ET.AL. 2010** Wetzel, Christoph; Schotes, Tim; Kahl, Anke; Windhövel, Ulrich: Slip Resistance of Footwear - A practical comparison between outdoor footwear and safety footwear; Health & Safety International; Issue 33; 2010

- WIEDER 1988** Wieder, Ralf: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss der Oberflächenrauheit auf die Gleitsicherheit beim menschlichen Gang; Dissertation an der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal; 1988
- WINDHÖVEL ET.AL. 2009** Windhövel, Ulrich; Wetzel, Christoph: Rutschwiderstand geschliffener Betonflächen im Außenbereich - Untersuchungsergebnisse und Anwendungskonsequenzen; Zeitschrift: BFT international - Betonwerk + Fertigteiltechnik, Nr. 2; 2009
- WINDHÖVEL ET.AL. 2010** Windhövel, Ulrich; Wetzel, Christoph; Ulonska, Dietmar: Rutschwiderstand geschliffener Betonflächen im Außenbereich – Zusammenfassung einer Untersuchung an der Bergischen Universität Wuppertal; Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG) 2010

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Zielstellung Rutschhemmungsmatrix .....	9
Abbildung 2: Methodisches Vorgehen .....	10
Abbildung 3: Arbeitspakete und Zeitplan .....	12
Abbildung 4: Übersicht Rechtsgrundlagen .....	19
Abbildung 5: Reibungskräfte.....	28
Abbildung 6: Komponenten des Reibungssystems (nach BGI/GUV-I 8687, SEBALD 2007, FISCHER 2005, PARIDON 2005, GÖTTE ET.AL. 2003).....	30
Abbildung 7: Prinzipien zur Reibungsmessung [nach LEHDER 2011].....	31
Abbildung 8: Fußboden- und Schuhtester [FG ARBSI 2012] .....	32
Abbildung 9: Fußboden- und Schuhtester, schematische Zeichnung [FG ARBSI 2012] ...	33
Abbildung 10: Ergebnisdiagramm FST .....	34
Abbildung 11: Gleitmessgerät 200 (links) und GMG-Gleiterplatte (rechts) [FG ARBSI] .....	35
Abbildung 12: Aufbau der Schiefen Ebene [DIN 51130].....	36
Abbildung 13: Pendelmessgerät [FG ARBSI 2012] .....	38
Abbildung 14: Arbeitssystemmodell 'menschlicher Gang' (nach KAHL 2012).....	40
Abbildung 15: Stütz- und Schwebphase im Gangzyklus [LEHDER 2011].....	41
Abbildung 16: Kräfteverhältnis beim Aufsetzen des Fußes [SEBALD 2007].....	41
Abbildung 17: Schutzkonzept 'Auslöseschwelle und Grenzwert' [SEBALD 2007] .....	47
Abbildung 18: Methodische Gestaltungskonzeption Ausgleiten (nach KAHL ET.AL. 2012)..	49
Abbildung 19: Spannweite der rutschhemmenden Eigenschaften der Schuhe .....	55
Abbildung 20: Beispiele von Adaptern für verschiedene Schuhformen .....	56
Abbildung 21: Beispiele für Sonderschuhe .....	57
Abbildung 22: Vergleiche von Zwischenmedien [GUNKEL 2010, HAUSMANN 2011].....	58
Abbildung 23: Rauheitsmessgerät Mitutoyo SJ-201 [MITUTOYO 2007].....	59
Abbildung 24: Ausflussmessgerät .....	60
Abbildung 25: Ablauf Messreihe .....	65
Abbildung 26: Reihenfolge der Messreihen und Kontrollmessungen der Schuhe .....	67

---

Abbildung 27: Beispiel Umrechnungsmodell (nach SEBALD 2007) .....	70
Abbildung 28: Ablaufschritte der multivariaten Regressionsanalyse [nach BACKHAUS ET.AL. 2011].....	71
Abbildung 29: Beispiele für Veränderungen von Fußböden .....	79
Abbildung 30: Korrekturrechnung .....	80
Abbildung 31: Bewertete Messergebnisse - Wasser .....	82
Abbildung 32: Bewertete Messergebnisse - Öl.....	82
Abbildung 33: Gefährdungssituation Wasser - Sicherheits- und Straßenschuhe .....	83
Abbildung 34: Gefährdungssituationen Wasser – Straßenschuhe .....	85
Abbildung 35: Gefährdungssituation Wasser - Sicherheits- und Straßenschuhe auf Fußböden R-.....	86
Abbildung 36: Gefährdungssituation Wasser - Sicherheits- und Straßenschuhe auf Fußböden R9.....	86
Abbildung 37: Gefährdungssituation Wasser - Sicherheits- und Straßenschuhe auf Fußböden R10.....	87
Abbildung 38: Gefährdungssituation Öl - Sicherheits- und Straßenschuhe.....	88
Abbildung 39: Gefährdungssituation Öl - Sicherheitsschuhe.....	88
Abbildung 40: Gefährdungssituation Öl - Sicherheitsschuhe auf Fußböden R11 .....	89
Abbildung 41: Gefährdungssituation Öl - Sicherheitsschuhe auf Fußböden R12.....	90
Abbildung 42: Bewertete Ergebnismatrix (Wasser) sortiert nach Praxisrangfolgen.....	93
Abbildung 43: Regressionsrechnung Normrangfolgen Fußböden zur Praxisrangfolge Fußböden Wasser .....	96
Abbildung 44: Regressionsrechnung Normrangfolgen Fußböden zur Praxisrangfolge Fußböden Öl.....	98
Abbildung 45: Regressionsrechnung: Normrangfolge prEN 15673-1 zu Praxisrangfolgen Fußböden .....	99
Abbildung 46: Lage des Gleiters Slider 96 innerhalb ausgewählter Messreihen .....	101
Abbildung 47: Regressionsrechnung Normrangfolgen Schuhe zur Praxisrangfolge Schuhe Wasser.....	102
Abbildung 48: Regressionsrechnung Normrangfolgen Schuhe zur Praxisrangfolge Schuhe Öl.....	102
Abbildung 49: Vorverschleiß von Fußböden - Beispiele .....	103

---

Abbildung 50: Häufigkeiten von Verschleißerscheinungen.....	104
Abbildung 51: Gefährdungssituationen bei der Verwendung von Sicherheits- und Straßenschuhen .....	105
Abbildung 52: Übertragbarkeit Prüfverfahren (Picasso / Öl) – absolut .....	107
Abbildung 53: Übertragbarkeit Prüfverfahren (StarLP / Wasser) - absolut .....	107
Abbildung 56: Mögliches Referenzmaterial "StarLP" .....	111
Abbildung 57: Regressionsrechnung PRF-Fußböden-Wasser zu den Prüfverfahren SE und GMG mit dem Gleitermaterial „StarLP“ .....	112
Abbildung 58: Keramikfliesen Standardbelag II und Eurotile 2 .....	113
Abbildung 57: Regressionsrechnung Praxisrangfolge Schuhe Öl zu alternativen Referenzmaterialien.....	113
Abbildung 58: Bedeutung der Prädiktoren / Einflussgrößen .....	119
Abbildung 59: Messergebnisse Wasser sortiert nach Wuppertaler Rangfolgen .....	121
Abbildung 62: Regressionsebene des statistischen Gefährdungsmodells Wasser .....	122
Abbildung 63: Bewertete Messergebnisse Wasser nach Wuppertaler Rangfolgen .....	122
Abbildung 64: Statistisches Gefährdungsmodell (90%) Wasser.....	124
Abbildung 65: Statistisches Gefährdungsmodell (90%) - Nomogramm .....	125
Abbildung 66: Statistisches Gefährdungsmodell Wasser - Nomogramm verschiedener Sicherheitsniveaus.....	126
Abbildung 67: Statistisches Gefährdungsmodell (90%) Öl .....	129
Abbildung 68: Bewertete Messergebnisse Öl nach Wuppertaler Rangfolgen.....	129
Abbildung 69: Statistisches Gefährdungsmodell Öl (90%) - Nomogramm .....	130
Abbildung 70: Rutschhemmungsmatrix - Klassifizierung .....	132
Abbildung 69: Rutschhemmungsmatrix - Wasser .....	133
Abbildung 72: Rutschhemmungsmatrix Öl - Klassifizierung .....	134
Abbildung 71: Rutschhemmungsmatrix Öl.....	135
Abbildung 74: Statisches Gefährdungsmodell Wasser - Vergleich verschiedener Messgeräte .....	136
Abbildung 75: Statisches Gefährdungsmodell Öl – Vergleich verschiedener Messgeräte .....	137
Abbildung 74: Analyse mit Künstlichen Neuronalen Netzen - Ablaufschema .....	143

---

Abbildung 77: Test des Künstlichen Neuronalen Netzes - Ergebnis.....	144
Abbildung 76: Rauheitskenngrößen [Volk 2005; DIN EN ISO 4287; DIN EN ISO 4288; DIN EN ISO 13565-1; DIN EN ISO 13565-2] .....	180
Abbildung 77: Vergleich von Sicherheits- mit Straßenschuhen, Zwischenmedien Wasser und Öl .....	181
Abbildung 78: Korrelationsmatrix Produktparameter - Fußböden.....	182
Abbildung 79: Korrelationsmatrix Produktparameter – Schuhe .....	182
Abbildung 80: Klassifizierung Fußböden - Konsequenzen .....	183
Abbildung 81: Klassifizierung Schuhe - Konsequenzen .....	183

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Unfallstatistik SRS-Unfälle .....	17
Tabelle 2: Anforderungen an Fußböden bei der Bereitstellung auf dem Markt .....	21
Tabelle 3: Anforderungen an Sicherheitsschuhe gemäß DIN EN ISO 20344.....	23
Tabelle 4: Bewertungsgruppen von Fußböden nach BGR 181 und ASR 1.5 .....	25
Tabelle 5: Bewertungen von Fußböden mit dem Pendelmessgerät [nach UKSRG 2011].	44
Tabelle 6: Vorschläge für biomechanisch-basierte Reibzahlgrenzwerte [BÖNIG 1996].....	46
Tabelle 7: Wuppertaler Grenzwerte (nach SKIBA 1997 und LEHDER 2011).....	46
Tabelle 8: Bewertungskonzept der Rutschgefahr [nach BGI / GUV-I 8687] .....	48
Tabelle 9: Kurzübersicht Bodenbeläge nach Materialien, Anzahlen und R-Gruppen .....	52
Tabelle 10: Kurzübersicht Schuhe nach Laufsohlenmaterialien .....	53
Tabelle 11: Marktanteile Laufsohlenmaterialien von Straßenschuhen .....	54
Tabelle 12: Übersicht der produktbezogenen Reibungsprüfungen von Fußböden.....	61
Tabelle 13: Übersicht über die produktbezogenen Reibungsmessungen von Schuhen....	62
Tabelle 14: Verwendetes Bewertungskonzept.....	81
Tabelle 15: Übersicht Normrangfolgen .....	92
Tabelle 16: Übersicht Praxisrangfolgen .....	94
Tabelle 17: Übertragbarkeit Prüfverfahren (Picasso / Öl) - Korrelation.....	107
Tabelle 18: Übertragbarkeit Prüfverfahren (StarLP / Wasser) – Korrelation.....	107
Tabelle 19: Eruiierung von Referenzmaterialien - Fußbodenprüfung Wasser.....	110
Tabelle 20: Ergebnisse des Ringversuches mit alternativen Referenzmaterialien .....	115
Tabelle 21: Übersicht Wuppertaler Rangfolgen .....	117
Tabelle 22: Standardisierte Regressionskoeffizienten.....	140
Tabelle 23: Übersicht der untersuchten Fußböden - Teil 1.....	173
Tabelle 24: Übersicht der untersuchten Fußböden - Teil 2.....	174
Tabelle 25: Übersicht der untersuchten Sicherheitsschuhe.....	175
Tabelle 26: Übersicht der untersuchten Straßenschuhe.....	176



---

Tabelle 27: Übersicht der untersuchten Sonderschuhe .....	177
Tabelle 28: Basispolymere von Laufsohlenmaterialien [Rübekeil] .....	178

## Anhang 1: Übersicht der untersuchten Fußböden

Nummer	F-Nummer	Bezeichnung	Materialgruppe	DIN 51130 Akzeptanzwinkel	DIN 51130 R-Gruppe	DIN 51131, SBR-Gleiter, Gleitreibungskoeffizient $\mu$	CEN/TS 16165 Pendel Slider96	CEN/TS 16165 Pendel Slider55	Rauheit Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	F701	Parkett Buche	Holz	6,9°	R9	0,32	0,30	0,14	9
2	F702	Holzdielen Douglasie, unbehandelt	Holz	22,5°	R11	0,38	0,32	0,48	14
3	F703	Holzdielen Fichte, unbehandelt	Holz	17,2°	R10	0,40	0,25	0,37	17
4	F704	Laminat Palisander, superglänzend	Laminat	1,6°	R-	0,34	0,05	0,05	1
5	F705	Laminat Buche, strukturiert	Laminat	4,7°	R-	0,42	0,38	0,11	5
6	F706	Laminat Buche	Laminat	5,2°	R-	0,50	0,24	0,14	5
7	F707	Parkett Eiche, versiegelt	Holz	11,5°	R10	0,29	0,29	0,21	19
8	F708	Betonstein geschliffen, versiegelt	Betonstein	21,9°	R11	0,64	0,67	0,48	20
9	F709	Betonstein geschliffen	Betonstein	14,0°	R10	0,63	0,46	0,68	29
10	F710	Betonstein feingestrahlt, versiegelt	Betonstein	32,3°	R12	0,73	0,65	0,73	-
11	F711	Betonstein strukturiert, versiegelt	Betonstein	14,6°	R10	0,52	0,48	0,06	30
12	F712	Betonstein, unbehandelt	Betonstein	33,8°	R12	0,67	0,61	0,73	-
13	F713	Betonstein geschliffen	Betonstein	21,6°	R11	0,68	0,76	0,68	25
14	F714	Polyamid-Teppich Taft Velours	Textile Bodenbeläge	28,9°	R12	0,30	0,60	0,63	-
15	F715	Polyamid-Teppich Taft Schlinge	Textile Bodenbeläge	28,2°	R12	0,34	0,72	0,67	-
16	F716	Polyamid-Teppich Taft Kreuzel-Velours	Textile Bodenbeläge	30,7°	R12	0,45	0,71	0,62	-
17	F717	Referenzfliese ISO13287, Eurotile 2	Referenzböden	10,2°	R10	0,53	0,41	0,20	13
18	F718	Sauberlauf-Matte, Textil	Textile Bodenbeläge	34,1°	R12	0,42	0,73	0,66	-
19	F719	Aluminiumprofilmatte, Nadelfilz	Textile Bodenbeläge	21,0°	R11	0,50	0,73	0,68	-
20	F720	Stahlblech VA glatt	Bleche	3,4°	R-	0,62	0,27	0,06	3
21	F721	Aluminiumblech mit Tränenprägung	Bleche	16,8°	R10	0,45	0,36	0,29	2
22	F722	Stahlblech Riffel (Raute)	Bleche	24,5°	R11	0,63	0,49	0,56	13
23	F725	Stahlgitter-Rost, verzinkt	Roste	9,4°	R9	0,60	-	-	9
24	F726	Stahlgitter-Rost, verdrillt, verzinkt	Roste	16,0°	R10	-	-	-	-
25	F727	Aluminium-Blechprofilrost	Roste	23,7°	R11	-	-	-	-
26	F728	Stahlgitter-Rost, verzinkt, gestanzt	Roste	32,4°	R12	-	-	-	15
27	F729	Stahlgitter-Rost, verzinkt, gestanzt	Roste	31,6°	R12	-	-	-	-
28	F730	GFK Rost	Roste	39,2°	R13	0,65	-	-	17
29	F731	Feinsteinzeug profiliert	Keramik	35,6°	R13	0,74	-	-	26
30	F732	Feinsteinzeug "glatt"	Keramik	6,0°	R-	0,44	0,25	0,10	11
31	F733	Feinsteinzeug unglasiert	Keramik	24,8°	R11	0,70	0,54	0,47	31
32	F734	Feinsteinzeug "glatt"	Keramik	11,7°	R10	0,64	0,34	0,21	16
33	F735	Feinsteinzeug profiliert	Keramik	27,5°	R12	0,70	-	-	19
34	F736	Feinsteinzeug glasiert, feinkörnig	Keramik	23,3°	R11	0,55	0,48	0,54	34
35	F737	Feinsteinzeug glasiert	Keramik	7,5°	R9	0,27	0,21	0,14	10
36	F738	Feinsteinzeug profiliert, unglasiert	Keramik	26,1°	R11	0,72	0,78	0,60	-
37	F739	Feinsteinzeug unglasiert	Keramik	9,8°	R9	0,54	0,28	0,17	15
38	F740	Feinsteinzeug glasiert	Keramik	4,5°	R-	0,31	0,21	0,07	6
39	F741	Feinsteinzeug poliert, glasiert	Keramik	2,3°	R-	0,16	0,06	0,04	1
40	F744	Spaltklinker	Keramik	25,4°	R11	0,66	0,53	0,38	20
41	F745	PVC mit Noppen	Elastische Bodenbeläge	4,4°	R-	0,14	0,24	0,16	5
42	F746	PVC glatt	Elastische Bodenbeläge	7,3°	R9	0,25	0,30	0,16	11
43	F747	PVC mit Einstreuungen	Elastische Bodenbeläge	18,2°	R10	0,52	0,46	0,29	27
44	F748	PVC glatt	Elastische Bodenbeläge	4,0°	R-	0,18	0,13	0,29	4
45	F749	PVC glatt	Elastische Bodenbeläge	6,3°	R9	0,27	0,23	0,14	9
46	F750	PVC glatt	Elastische Bodenbeläge	5,0°	R-	0,21	0,14	0,11	4
47	F751	PVC mit Einstreuungen	Elastische Bodenbeläge	15,2°	R10	0,48	0,44	0,29	23
48	F752	Linoleum	Elastische Bodenbeläge	7,3°	R9	0,22	0,25	0,15	16
49	F754	Arbeitsplatzmatte, PVC	Elastische Bodenbeläge	11,1°	R10	0,26	0,29	0,22	8

Tabelle 23: Übersicht der untersuchten Fußböden - Teil 1

Nummer	F-Nummer	Bezeichnung	Materialgruppe	DIN 51130 Akzeptanzwinkel	DIN 51130 R-Gruppe	DIN 51131, SBR-Gleiter, Gleitreibungskoeffizient $\mu$	CEN/TS 16165 Pendel Slider96	CEN/TS 16165 Pendel Slider55	Rauheit Rz [ $\mu\text{m}$ ]
50	F755	selbstklebende Folie innen	Elastische Bodenbeläge	6,7°	R9	0,27	0,28	0,15	13
51	F756	Kunststoff-Holz-Verbundwerkstoff WPC	Elastische Bodenbeläge	17,5°	R10	0,27	0,26	0,51	27
52	F757	Arbeitsplatzmatte, Gummi	Elastische Bodenbeläge	18,0°	R10	0,39	0,54	0,60	18
53	F758	selbstklebende Folie außen	Elastische Bodenbeläge	19,6°	R11	0,48	0,46	0,33	50
54	F759	begehbare Glas mit Siebdruck	Glas	5,2°	R-	0,44	0,28	0,07	9
55	F760	begehbare Glas geätzt	Glas	19,2°	R11	0,52	0,39	0,30	13
56	F761	Fußboden-Farbe auf Estrich	Beschichtungen	14,8°	R10	0,32	0,31	0,22	14
57	F762	Bodenbeschichtung auf Acrylbasis	Beschichtungen	7,2°	R9	0,27	0,27	0,12	7
58	F763	Flüssiger Kunststoff auf Kunstharzbasis	Beschichtungen	3,9°	R-	0,29	0,16	0,08	4
59	F764	Betonestrich	Betonstein	33,6°	R12	0,51	-	-	-
60	F765	Polyurethanharzsystem, matt	Beschichtungen	4,3°	R-	0,22	0,25	0,12	8
61	F766	Polyurethanharzsystem, matt, Zusatz von Vollglaskugeln	Beschichtungen	19,4°	R11	0,56	0,59	0,31	18
62	F767	Polyurethanharzsystem, strukturiert, Quarzsand-Einstreuungen	Beschichtungen	23,9°	R11	0,75	0,75	0,47	-
63	F768	Beschichtung, Einstreuungen, strukturiert	Beschichtungen	36,8°	R13	0,77	-	-	-
64	F769	PU-Siegel Antislip	Beschichtungen	18,3°	R10	0,47	0,48	0,27	29
65	F770	Marmor, finish Valley White	Naturstein	6,3°	R9	0,29	0,13	0,12	17
66	F771	Betonstein innen	Betonstein	8,3°	R9	0,53	0,42	0,14	8
67	F772	Betonstein innen versiegelt	Betonstein	4,3°	R-	0,30	0,14	0,06	5
68	F773	Granit, poliert	Naturstein	3,4°	R-	0,24	0,08	0,04	4
69	F774	Granit, geschliffen	Naturstein	5,9°	R-	0,56	0,38	0,17	12
70	F775	Granit geflammt	Naturstein	32,8°	R12	0,62	0,64	0,80	30
71	F776	Granit, caress finished	Naturstein	4,7°	R-	0,18	0,11	0,05	6
72	F777	Marmor, gebürstet	Naturstein	7,8°	R9	0,51	0,36	0,13	4
73	F778	Quarzit Schiefer, poliert	Naturstein	13,7°	R10	0,49	0,31	0,27	20
74	F779	Sandstein, geschliffen	Naturstein	29,7°	R12	0,65	0,73	0,98	58
75	F780	Betonstein-Gehwegplatten	Betonstein	29,6°	R12	0,78	0,70	0,85	46
76	F781	Betonstein-Pflaster	Betonstein	38,8°	R13	0,74	-	-	-
77	F782	Asphalt	Asphalt	38,3°	R13	0,64	-	-	-
78	F783	Keramikfliese ISO 13287, Eurotile 1	Referenzböden	12,8°	R10	0,69	0,30	0,19	17
79	F784	Stahlboden ISO 13287	Referenzböden	3,6°	R-	0,48	0,14	0,05	2
80	F785	Standardbelag SI DIN 51130 (2010), Keramik	Kalibrierböden	10,5°	R10	0,60	0,47	0,34	13
81	F786	Standardbelag SII DIN 51130 (2010), Keramik	Kalibrierböden	18,8°	R10	0,57	0,41	0,39	22
82	F787	Standardbelag SIII DIN 51130 (2010), Keramik	Kalibrierböden	20,9°	R11	0,64	0,65	0,45	-
83	F788	Laminat DIN 51131	Kalibrierböden	6,3°	R9	0,26	0,19	0,10	13
84	F789	Stahlboden DIN 51131	Kalibrierböden	8,2°	R9	0,57	0,30	0,11	6
85	F790	Marmor, spaltrau	Naturstein	16,5°	R10	0,67	0,49	0,4	17
86	F791	Waschbeton	Betonstein	32,8°	R12	0,63	0,76	0,89	33
87	F795	Standardbelag St-I DIN 51130 (2011), Keramik	Kalibrierböden	11,2°	R10	0,66	0,59	0,41	17
88	F796	Standardbelag St-II DIN 51130 (2011), Keramik	Kalibrierböden	20,9°	R11	0,61	0,52	0,59	25
89	F797	Standardbelag St-III DIN 51130 (2011), Keramik	Kalibrierböden	27,0°	R12	0,61	0,65	0,72	-
90	F800	Standardbelag St-IIIa DIN 51130 (2012), Keramik	Kalibrierböden	27,0°	R12	0,67	0,73	0,81	36

Tabelle 24: Übersicht der untersuchten Fußböden - Teil 2

## Anhang 2: Übersicht der untersuchten Schuhe

### Sicherheitsschuhe

Nummer	S-Nummer	Schuhart	Material Laufsohle	Härte Shore A	Profiltiefe [mm]	Baumusterprüfung gem. ISO13287 0°, NaLS 0,5%, Eurofile 2, SRA	Baumusterprüfung gem. ISO13287 7°, NaLS 0,5%, Eurofile 2, SRA	Baumusterprüfung gem. ISO13287 0°, Stahlboden, Glycerin, SRB	Baumusterprüfung gem. ISO13287 7°, Stahlboden, Glycerin, SRB
1	S703	Sicherheitsschuh	Gummi	69	4,9	0,56	0,61	0,14	0,14
2	S704	Sicherheitsschuh	Gummi	54	3,6	0,58	0,62	0,27	0,32
3	S705	Sicherheitsschuh	Gummi	65	7,1	0,77	0,56	0,10	0,17
4	S706	Sicherheitsschuh	Gummi / EVA	68	2,8	0,55	0,54	0,16	0,14
5	S707	Sicherheitsschuh	Gummi / EVA	70	3,0	0,54	0,51	0,11	0,10
6	S708	Berufsschuh	Gummi	59	2,6	0,53	0,46	0,13	0,15
7	S710	Sicherheitsschuh	Gummi	67	6,3	0,61	0,60	0,13	0,15
8	S711	Sicherheitsschuh	Gummi	55	4,8	0,62	0,57	0,34	0,30
9	S712	Sicherheitsschuh	Gummi	57	5,0	0,47	0,37	0,15	0,13
10	S713	Sicherheitsschuh	Gummi	59	3,9	0,42	0,43	0,16	0,16
11	S714	Sicherheitsschuh	Gummi	71	6,0	0,55	0,46	0,11	0,10
12	S715	Sicherheitsschuh	TPU	84	3,5	0,42	0,33	0,18	0,12
13	S717	Sicherheitsschuh	TPU	72	3,3	0,36	0,31	0,17	0,12
14	S718	Sicherheitsschuh	TPU	65	3,6	0,42	0,35	0,16	0,12
15	S719	Sicherheitsschuh	TPU	68	4,6	0,39	0,29	0,13	0,12
16	S720	Sicherheitsschuh	TPU	60	3,2	0,43	0,29	0,20	0,10
17	S721	Berufsschuh	PVC	60	3,4	0,49	0,47	0,22	0,15
18	S722	Sicherheitsschuh	TPU	68	3,7	0,43	0,35	0,21	0,15
19	S723	Sicherheitsschuh	PU	62	4,8	0,47	0,42	0,23	0,14
20	S724	Sicherheitsschuh	PU	48	4,0	0,50	0,44	0,28	0,20
21	S725	Sicherheitsschuh	PU	48	4,0	0,52	0,46	0,28	0,21
22	S726	Sicherheitsschuh	PU	55	4,8	0,52	0,44	0,21	0,13
23	S727	Sicherheitsschuh	PU	56	3,3	0,46	0,42	0,19	0,09
24	S728	Sicherheitsschuh	PU	57	4,8	0,60	0,49	0,25	0,21
25	S730	Sicherheitsschuh	PU	53	3,7	0,61	0,56	0,29	0,27
26	S731	Sicherheitsschuh	PU	60	3,8	0,46	0,40	0,22	0,16
27	S732	Sicherheitsschuh	PU	60	6,0	0,47	0,45	0,20	0,16
28	S733	Sicherheitsschuh	PU	57	5,6	0,48	0,46	0,21	0,13
29	S734	Sicherheitsschuh	PU	71	4,3	0,49	0,43	0,20	0,11
30	S735	Sicherheitsschuh	PU	53	6,2	0,49	0,47	0,23	0,18
31	S736	Berufsschuh	PVC	53	2,4	0,47	0,48	0,19	0,16
32	S737	Berufsschuh	Gummi	60	3,4	0,68	0,59	0,32	0,07
33	S738	Sicherheitsschuh	PU	54	3,7	0,46	0,43	0,18	0,12
34	S739	Sicherheitsschuh	TPU	73	5,2	0,37	0,28	0,18	0,11
35	S740	Sicherheitsschuh	Gummi	65	5,2	0,61	0,57	0,14	0,18
36	S741	Sicherheitsschuh	Gummi/PU	68	3,8	0,54	0,49	0,16	0,14
37	S742	Sicherheitsschuh	PU	52	4,0	0,47	0,42	0,22	0,13
38	S743	Sicherheitsschuh	PU	55	4,3	0,46	0,42	0,23	0,15
39	S744	Sicherheitsschuh	Gummi	67	5,8	0,59	0,52	0,17	0,10
40	S745	Sicherheitsschuh	PU	68	4,3	0,47	0,41	0,19	0,13
41	S746	Berufsschuh	Sonstige	64	3,0	0,31	0,22	0,15	0,14
42	S747	Sicherheitsschuh	Gummi	57	19,4	0,48	0,43	0,20	0,11
43	S748	Sicherheitsschuh	PVC	65	13,6	0,52	0,49	0,15	0,13
44	S749	Berufsschuh	Gummi	61	2,3	0,55	0,46	0,23	0,19
45	S756	Sicherheitsschuh	Gummi	57	6,1	0,46	0,40	0,15	0,14
46	S800	Sicherheitsschuh	PU	58	4,4	0,63	0,44	0,21	0,15
47	S801	Sicherheitsschuh	PU	66	4,4	0,50	0,39	0,16	0,13
48	S802	Sicherheitsschuh	PU	59	5,2	0,57	0,50	0,21	0,15

Tabelle 25: Übersicht der untersuchten Sicherheitsschuhe

## Straßenschuhe

Nummer	S-Nummer	Schuhart	Material Laufsohle	Härte Shore A	Profiltiefe [mm]	Baumusterprüfung gem. ISO13287 0°, NaLS 0,5%, Eurotile 2, SRA	Baumusterprüfung gem. ISO13287 7°, NaLS 0,5%, Eurotile 2, SRA	Baumusterprüfung gem. ISO13287 0°, Stahlboden, Glycerin, SRB	Baumusterprüfung gem. ISO13287 7°, Stahlboden, Glycerin, SRB
1	S702	HML-Schuh	Gummi	60	2,7	0,23	0,18	0,19	0,10
2	S757	Straßenschuh (Sandale)	Sonstige	54	3,0	0,34	0,31	0,17	0,15
3	S758	Straßenschuh (Sandale)	Sonstige	38	2,7	0,29	0,27	0,11	0,13
4	S759	Straßenschuh (sonstige)	Gummi / TR	53	1,6	0,36	0,27	0,12	0,08
5	S760	Straßenschuh (Wander/Winterschuh)	Gummi	69	6,7	0,57	0,78	0,19	0,11
6	S761	Straßenschuh (Wander/Winterschuh)	Gummi	64	5,9	0,47	0,78	0,22	0,17
7	S762	Straßenschuh (Wander/Winterschuh)	Gummi	64	5,2	0,28	0,25	0,18	0,12
8	S763	Straßenschuh (Wander/Winterschuh)	Gummi	61	5,1	0,37	0,25	0,22	0,11
9	S764	Straßenschuh (Wander/Winterschuh)	Gummi	50	6,3	0,33	0,28	0,18	0,15
10	S765	Straßenschuh (Wander/Winterschuh)	Gummi	71	5,7	0,54	0,52	0,16	0,07
11	S766	Straßenschuh (Sportschuh)	Gummi	70	7,5	0,29	0,26	0,17	0,15
12	S767	Straßenschuh (Damenschuh)	Gummi	55	2,2	0,31	0,25	0,15	0,08
13	S768	Straßenschuh (Herrenschuh)	Latex	41	2,5	0,41	0,45	0,18	0,22
14	S769	Straßenschuh (Damenschuh)	Latex	36	1,0	0,32	0,29	0,15	0,08
15	S770	Straßenschuh (Herrenschuh)	PU	58	1,6	0,21	0,13	0,13	0,12
16	S771	Straßenschuh (Damenschuh)	Gummi	60	1,6	0,26	0,25	0,21	0,14
17	S772	Straßenschuh (Damenschuh)	Latex	61	1,3	0,28	0,15	0,14	0,06
18	S773	Straßenschuh (Damenschuh)	Gummi / TR	63	1,9	0,35	0,22	0,15	0,06
19	S774	Straßenschuh (Damenschuh)	Gummi / TR	79	0,9	0,30	0,25	0,12	0,05
20	S775	Straßenschuh (Damenschuh)	Gummi / TR	80	0,1	0,37	0,19	0,17	0,04
21	S776	Straßenschuh (Damenschuh)	PE-PU	67	0,6	0,45	0,39	0,17	0,08
22	S777	Straßenschuh (Damenschuh)	PE-PU	67	1,7	0,29	0,33	0,18	0,07
23	S778	Straßenschuh (Damenschuh)	TPU	78	0,2	0,42	0,24	0,20	0,09
24	S779	Straßenschuh (Damenschuh)	PVC	89	0,1	0,35	0,15	0,10	0,00
25	S780	Straßenschuh (Damenschuh)	Gummi / TR	69	0,1	0,42	0,20	0,11	0,03
26	S781	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi	63	2,5	0,35	0,30	0,17	0,12
27	S782	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi / TR	71	2,6	0,27	0,29	0,18	0,12
28	S783	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi	67	1,3	0,34	0,31	0,12	0,11
29	S784	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi	71	2,0	0,24	0,24	0,15	0,13
30	S785	Straßenschuh (Herrenschuh)	TRR	64	2,5	0,23	0,23	0,14	0,12
31	S786	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi / TR	64	4,5	0,52	0,50	0,11	0,15
32	S787	Straßenschuh (Sportschuh)	Gummi	67	4,2	0,20	0,15	0,13	0,07
33	S788	Straßenschuh (Sportschuh)		65	4,4	0,27	0,25	0,15	0,10
34	S789	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi	60	3,7	0,29	0,24	0,18	0,14
35	S790	Straßenschuh (Sandale)	PU	63	4,3	0,39	0,30	0,24	0,11
36	S791	Straßenschuh (Sandale)	Gummi / EVA	47	0,0	0,32	0,30	0,14	0,12
37	S792	Straßenschuh (Sandale)	Gummi / EVA	68	2,7	0,25	0,32	0,17	0,14
38	S793	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi / TR	60	4,2	0,32	0,19	0,16	0,03
39	S794	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi / TR	70	1,7	0,46	0,37	0,16	0,10
40	S795	Straßenschuh (Herrenschuh)	Gummi/PU	52	3,9	0,19	0,18	0,16	0,13
41	S796	Straßenschuh (Herrenschuh)		48	1,2	0,17	0,12	0,15	0,15
42	S797	Straßenschuh (Herrenschuh)		36	0,9	0,45	0,32	0,04	0,02
43	S798	Straßenschuh (Herrenschuh)	Leder	95	0,1	0,54	0,30	0,03	0,01
44	S799	Straßenschuh (Herrenschuh)	Leder	93	0,2	0,40	0,37	0,08	0,12
45	S803	Straßenschuh (Damenschuh)	Gummi / TR	64	0,6	0,39	0,24	0,14	0,05
46	S804	Straßenschuh (Schustermaterial)	Gummi / TR	67	0,7	0,35	0,30	0,16	0,11
47	S805	Straßenschuh (Schustermaterial)	Gummi	87	0,0	0,38	0,33	0,11	0,12
48	S806	Straßenschuh (Schustermaterial)	Gummi	67	0,9	0,40	0,35	0,16	0,11

Tabelle 26: Übersicht der untersuchten Straßenschuhe

## Sonderschuhe

Nummer	S-Nummer	Schuhart	Material Laufsohle ggf. genormt	Härte Shore A	Profiltiefe [mm]	Baumusterprüfung gem. ISO13287 0°, NaLS 0,5%, Eurofile 2, SRA	Baumusterprüfung gem. ISO13287 7°, NaLS 0,5%, Eurofile 2, SRA	Baumusterprüfung gem. ISO13287 0°, Stahlboden, Glycerin, SRB	Baumusterprüfung gem. ISO13287 7°, Stahlboden, Glycerin, SRB
1	<b>S701</b>	Schuh SBR-Gummi	DIN 51131	95	0,0	0,46	0,37	0,02	0,01
2	<b>S750</b>	Schuh Slider96	CEN/TS 16165	91	0,0	0,51	0,39	0,04	0,01
3	<b>S751</b>	Schuh Slider96	CEN/TS 16165	58	0,0	0,28	0,09	0,04	0,01
4	<b>S752</b>	Schuh Picasso	DIN 51130	78	4,4	0,60	0,48	0,11	0,18
5	<b>S753</b>	Schuh Leipzig V73		73	3,1	0,53	0,48	0,19	0,13
6	<b>S754</b>	Schuh Autoreifen	Winterreifen	62	6,7	0,53	0,47	0,18	0,23
7	<b>S755</b>	Schuh Autoreifen	Sommerreifen	69	7,1	0,39	0,38	0,12	0,10
8	<b>S810</b>	Schuh Leipzig V73SP	DIN 51130	72	3,1	0,55	0,49	0,20	0,15

Tabelle 27: Übersicht der untersuchten Sonderschuhe

## Anhang 3: Basispolymere für Laufsohlen

Material	Härte	Dichte	Verschleiß	Alterungs- beständigkeit	Beständigkeit ggü. Mineralöl	typ. Polyblends mit	typ. Verstärkungs- stoff	typ. Weichmacher	Vernetzung erforderlich	Thermo- plast	Auf- schäumen	Bemerkungen
NR	weich - hart	groß	mittel - sehr gut	gering- mittel	schlecht	NBR, SBR, PVC	mineralisch (Kieselsäuren); Ruß	geeignete Mineralöle	x	-	-	gute mechanische Eigenschaften
SBR	weich - hart	groß	mittel - gut	mittel - gut	schlecht	NBR, NR	mineralisch (Kieselsäuren); Ruß	geeignete Mineralöle	x	-	-	in Reinform kaum für Schuhe verwendet
NBR	weich - hart	groß	sehr gut	mittel - gut	gut	SBR, PVC	mineralisch (Kieselsäuren); Ruß	geeignete Mineralöle	x	-	-	Eigenschaften abhängig vom Nitrilgehalt
PVC	weich - mittel	mittel - groß	schlecht - mittel	schlecht - gut	gut	NBR	mineralisch	diverse (Phthalate, Ester)	-	x	x	Eigenschaften abhängig von der Temperatur, insb. in Kälte eher schlecht
PUR	weich - sehr hart	gering - groß	mittel - sehr gut	gut	gut	PVC	diverse	diverse	- (x)	-	x	sehr große Vielfalt; Eigenschaften abhängig vom Compound; teilweise gummähnliche Vernetzung möglich
TPU	weich - hart	mittel - groß	sehr gut	gut	gut	Copolymer aus PUR und Thermoplast	diverse	diverse	-	x	x	sehr große Vielfalt; Eigenschaften abhängig vom Compound; Eigenschaften ähnlich denen von PUR
TPS (TR)	weich - hart	mittel - groß	mittel - gut	mittel - gut	schlecht	SBR	mineralisch (Kieselsäuren); Ruß	geeignete Mineralöle	-	x	x	Blockcopolymer aus Styrol- und Butadienblöcken; Eigenschaften ähnlich denen von SBR
EVA	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gut - sehr gut	gut	SBR, PE			(x)	-	x	Eigenschaften wie ein TPE oder Kautschuk in Abhängigkeit vom Vinylacetatgehalt

Alle Angaben für übliche Compounds, Eigenschaften der reinen Stoffe können deutlich abweichen.  
Die Eigenschaften können teilweise erheblich vom konkreten Compound abhängen.

Tabelle 28: Basispolymere von Laufsohlenmaterialien [Rübekeil]

## Anhang 4: Rauheitskenngrößen

<b>Rauheitskenngrößen</b>		
<p>Die Rauheitskenngrößen werden nach DIN EN ISO 4287 und DIN EN ISO 13565-2 für das Primärprofil (Px) und das gefilterte Rauheitsprofil (Rx) ermittelt.</p>		
<b>Ra, Pa</b>	<b>arithmetischer Mittenrauwert</b>	
<b>Rq, Pq</b>	<b>quadratischer Mittenrauwert</b>	
<b>Rz, Pz</b>	<b>gemittelte Höhe des Profils</b>	
<b>Rt, Pt</b>	<b>Gesamthöhe des Profils</b>	
<b>Rp, Pp</b>	<b>mittlere Höhe der Profilspitze</b>	
<b>Rv, Pv</b>	<b>mittlere Tiefe der Profiltäler</b>	
<b>Rsk, Psk</b>	<b>Schiefe des Profil</b>	
<b>Rsm</b>	<b>mittlere Rillenbreite</b>	
<b>Rs</b>	<b>Abstand der Profilspitzen</b> - Die vertikale Zählschwelle für die Spitzenzählung wird nach Normempfehlung auf 10 % von Rz eingestellt	<p><small>l = Einzelmessstrecke</small></p>



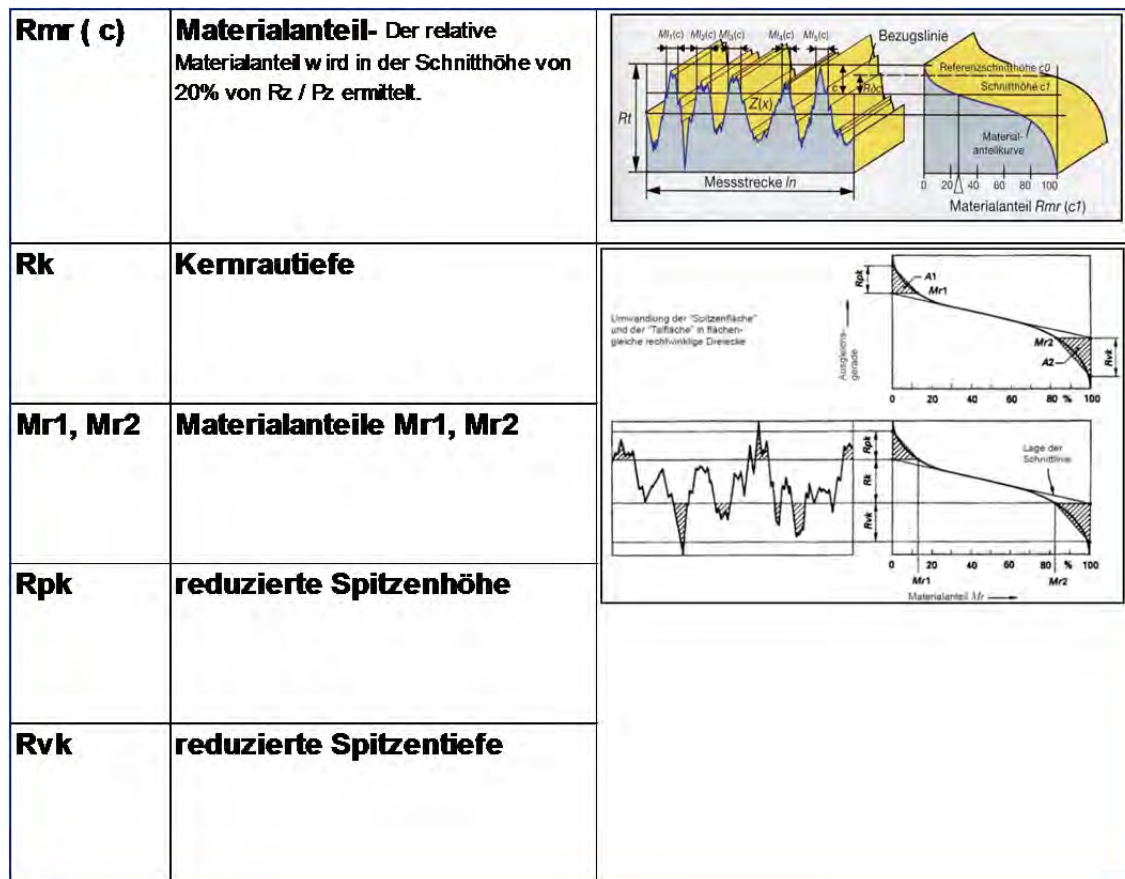


Abbildung 76: Rauheitskenngrößen [Volk 2005; DIN EN ISO 4287; DIN EN ISO 4288; DIN EN ISO 13565-1; DIN EN ISO 13565-2]

## Anhang 5: Vergleich von Sicherheitsschuhen mit Straßenschuhen

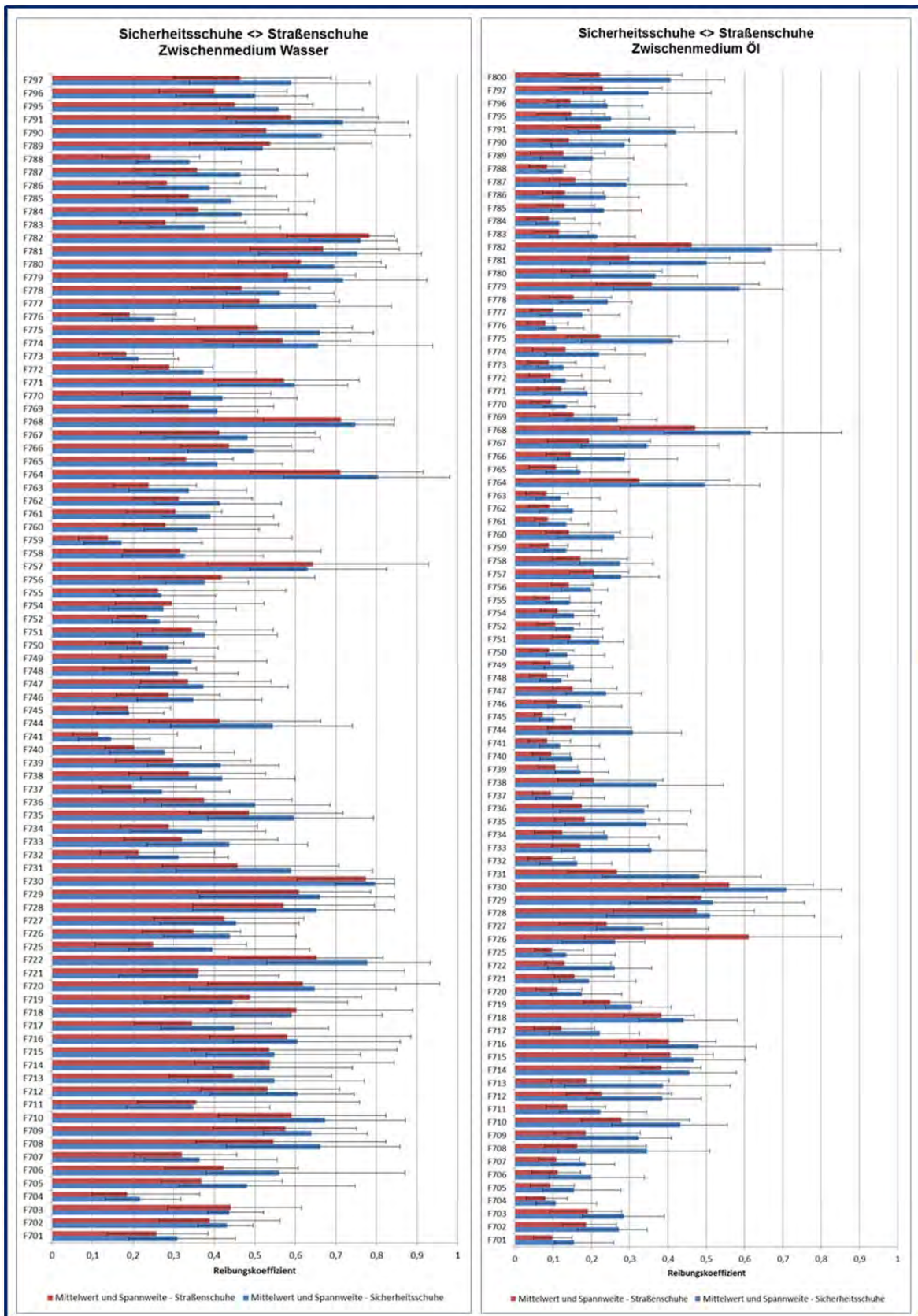


Abbildung 77: Vergleich von Sicherheits- mit Straßenschuhen, Zwischenmedien Wasser und Öl

## Anhang 6: Korrelationsmatrizen Produktparameter

Korrelationsmatrix Fußböden																											
Material Fußboden	Oberflächenkennwerte																										
	Ra [µm]	Rz [µm]	Rq [µm]	Rt [µm]	Rp [µm]	Rmr (20%) [%]	RS [µm]	Rpk [µm]	Rvk [µm]	Rk [µm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rsk [-]	Pa [µm]	Pq [µm]	Pz [µm]	Pt [µm]	Pp [µm]	Pv [µm]	Psk [-]	Ausflusszeit [s]	PRF_Fußböden_Wasser	PRF_Fußböden_Öl				
Material Fußboden	-0,12	-0,05	-0,11	-0,06	-0,14	0,35	0,01	-0,16	-0,02	-0,15	-0,12	-0,45	-0,30	0,03	0,02	-0,06	-0,02	-0,11	0,00	-0,29	0,04	0,09	0,05				
Ra [µm]		0,98	1,00	0,94	0,98	-0,14	0,58	0,86	0,86	0,98	0,13	-0,07	0,14	0,74	0,76	0,92	0,88	0,90	0,91	0,14	-0,24	0,35	0,53				
Rz [µm]			0,99	0,98	0,96	-0,11	0,57	0,82	0,86	0,94	0,07	-0,11	0,10	0,64	0,67	0,87	0,84	0,81	0,88	0,10	-0,21	0,42	0,61				
Rq [µm]				0,96	0,98	-0,13	0,58	0,86	0,88	0,97	0,13	-0,09	0,12	0,74	0,76	0,92	0,88	0,89	0,91	0,13	-0,24	0,37	0,54				
Rt [µm]					0,93	-0,15	0,52	0,88	0,90	0,88	0,20	-0,08	0,21	0,69	0,71	0,86	0,85	0,84	0,84	0,25	-0,34	0,31	0,53				
Rp [µm]						-0,24	0,62	0,90	0,80	0,96	0,21	0,02	0,25	0,70	0,72	0,89	0,84	0,89	0,85	0,24	-0,27	0,36	0,57				
Rmr (20%) [%]							-0,37	-0,27	0,04	-0,20	-0,34	-0,54	-0,81	-0,13	-0,13	-0,13	-0,11	-0,22	-0,04	-0,71	0,16	0,19	-0,11				
RS [µm]								0,50	0,46	0,59	0,17	0,13	0,26	0,32	0,34	0,49	0,45	0,48	0,47	0,29	-0,30	-0,10	0,21				
Rpk [µm]									0,73	0,82	0,40	-0,02	0,35	0,69	0,70	0,81	0,80	0,85	0,73	0,34	-0,20	0,23	0,45				
Rvk [µm]										0,76	0,06	-0,37	-0,10	0,66	0,69	0,81	0,85	0,72	0,87	-0,14	-0,22	0,40	0,49				
Rk [µm]											0,08	0,05	0,20	0,76	0,77	0,92	0,86	0,91	0,89	0,23	-0,26	0,30	0,49				
Mr1 [%]												0,19	0,29	0,16	0,17	0,13	0,15	0,23	0,02	0,32	0,07	-0,28	-0,07				
Mr2 [%]													0,42	-0,10	-0,12	-0,08	-0,17	0,03	-0,19	0,59	0,02	-0,21	-0,08				
Rsk [-]															0,14	0,14	0,14	0,10	0,24	0,02	0,73	-0,12	-0,10	0,10			
Pa [µm]																1,00	0,93	0,93	0,93	0,89	0,25	-0,37	0,16	0,29			
Pq [µm]																	0,94	0,95	0,94	0,91	0,23	-0,37	0,18	0,31			
Pz [µm]																		0,98	0,98	0,98	0,20	-0,34	0,29	0,44			
Pt [µm]																			0,95	0,97	0,15	-0,35	0,29	0,44			
Pp [µm]																				0,92	0,32	-0,33	0,22	0,40			
Pv [µm]																					0,07	-0,33	0,35	0,47			
Psk [-]																						-0,06	-0,26	0,01			
Ausflusszeit [s]																							-0,40	-0,61			
PRF_Fußböden_Wasser																								0,76			
PRF_Fußböden_Öl																											

Abbildung 78: Korrelationsmatrix Produktparameter - Fußböden

Korrelationsmatrix Schuhe																											
Material Schuh	Oberflächenkennwerte																										
	Ra [µm]	Rz [µm]	Rq [µm]	Rt [µm]	Rp [µm]	Rmr (20%) [%]	RS [µm]	Rpk [µm]	Rvk [µm]	Rk [µm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rsk [-]	Pa [µm]	Pq [µm]	Pz [µm]	Pt [µm]	Pp [µm]	Pv [µm]	Psk [-]	Profiltiefe Schuh	Kontaktfläche Schuhe [%]	Härte, Shore A	PRF_Schuhe_Wasser	PRF_Schuhe_Öl		
Material Schuh	0,05	0,05	0,04	0,10	0,02	0,12	0,00	0,00	0,03	0,06	-0,03	-0,09	-0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	-0,07	-0,31	0,04	-0,09	-0,38	-0,38			
Ra [µm]		0,99	1,00	0,97	0,96	0,45	0,72	0,74	0,90	0,96	-0,23	-0,41	-0,10	0,85	0,86	0,94	0,92	0,92	0,95	-0,05	0,08	-0,07	-0,34	0,04	0,33		
Rz [µm]			0,99	0,99	0,97	0,43	0,68	0,75	0,89	0,96	-0,24	-0,39	-0,11	0,81	0,83	0,92	0,90	0,90	0,92	-0,08	0,13	-0,12	-0,37	0,05	0,36		
Rq [µm]				0,98	0,96	0,46	0,71	0,75	0,91	0,96	-0,23	-0,41	-0,11	0,85	0,86	0,94	0,92	0,92	0,95	-0,06	0,08	-0,08	-0,35	0,05	0,34		
Rt [µm]					0,95	0,41	0,71	0,79	0,89	0,94	-0,19	-0,34	-0,15	0,80	0,82	0,91	0,89	0,89	0,91	-0,04	0,08	-0,22	-0,33	0,02	0,30		
Rp [µm]						0,25	0,67	0,86	0,81	0,98	-0,10	-0,22	0,05	0,79	0,80	0,89	0,87	0,91	0,86	0,04	0,12	-0,07	-0,39	0,06	0,36		
Rmr (20%) [%]							0,17	-0,02	0,60	0,28	-0,49	-0,75	-0,75	0,41	0,41	0,44	0,44	0,33	0,54	-0,34	-0,08	-0,08	-0,06	-0,04	0,11		
RS [µm]								0,60	0,62	0,71	-0,24	-0,02	0,08	0,59	0,60	0,68	0,63	0,67	0,66	0,13	0,31	-0,23	-0,15	-0,12	0,08		
Rpk [µm]									0,66	0,84	0,25	0,05	0,23	0,70	0,72	0,76	0,76	0,83	0,68	0,17	0,18	-0,10	-0,40	0,08	0,33		
Rvk [µm]										0,82	-0,26	-0,58	-0,37	0,79	0,80	0,87	0,86	0,82	0,91	-0,20	0,02	-0,07	-0,31	0,08	0,34		
Rk [µm]											-0,15	-0,24	0,03	0,83	0,84	0,92	0,89	0,93	0,89	0,03	0,09	-0,07	-0,38	0,04	0,36		
Mr1 [%]												0,52	0,51	-0,09	-0,09	-0,15	-0,13	-0,05	-0,23	0,45	0,10	-0,02	-0,14	-0,01	-0,09		
Mr2 [%]													0,68	-0,42	-0,41	-0,43	-0,42	-0,32	-0,51	0,43	0,10	-0,06	-0,04	-0,07	-0,06		
Rsk [-]														-0,05	-0,05	-0,09	-0,10	0,02	-0,18	0,61	0,08	-0,03	-0,01	-0,11	-0,14		
Pa [µm]																1,00	0,97	0,97	0,97	0,96	0,03	0,08	-0,16	-0,28	0,05	0,32	
Pq [µm]																	0,98	0,98	0,97	0,96	0,02	0,09	-0,16	-0,28	0,05	0,32	
Pz [µm]																		0,99	0,99	0,99	-0,01	0,09	-0,14	-0,32	0,05	0,35	
Pt [µm]																			0,98	0,98	-0,02	0,10	-0,14	-0,32	0,05	0,35	
Pp [µm]																				0,95	0,07	0,11	-0,14	-0,35	0,06	0,35	
Pv [µm]																					0,08	0,07	-0,13	-0,28	0,04	0,34	
Psk [-]																					0,28	-0,34	-0,20	-0,11	0,02		
Profiltiefe Schuh																						-0,27	-0,18	0,37	0,46		
Kontaktfläche Schuhe [%]																							0,16	0,09	-0,11		
Härte, Shore A																								-0,05	-0,17		
PRF_Schuhe_Wasser																									0,73		
PRF_Schuhe_Öl																											

Abbildung 79: Korrelationsmatrix Produktparameter – Schuhe

## Anhang 7: Konsequenzen für Fußboden- und Schuhprodukte

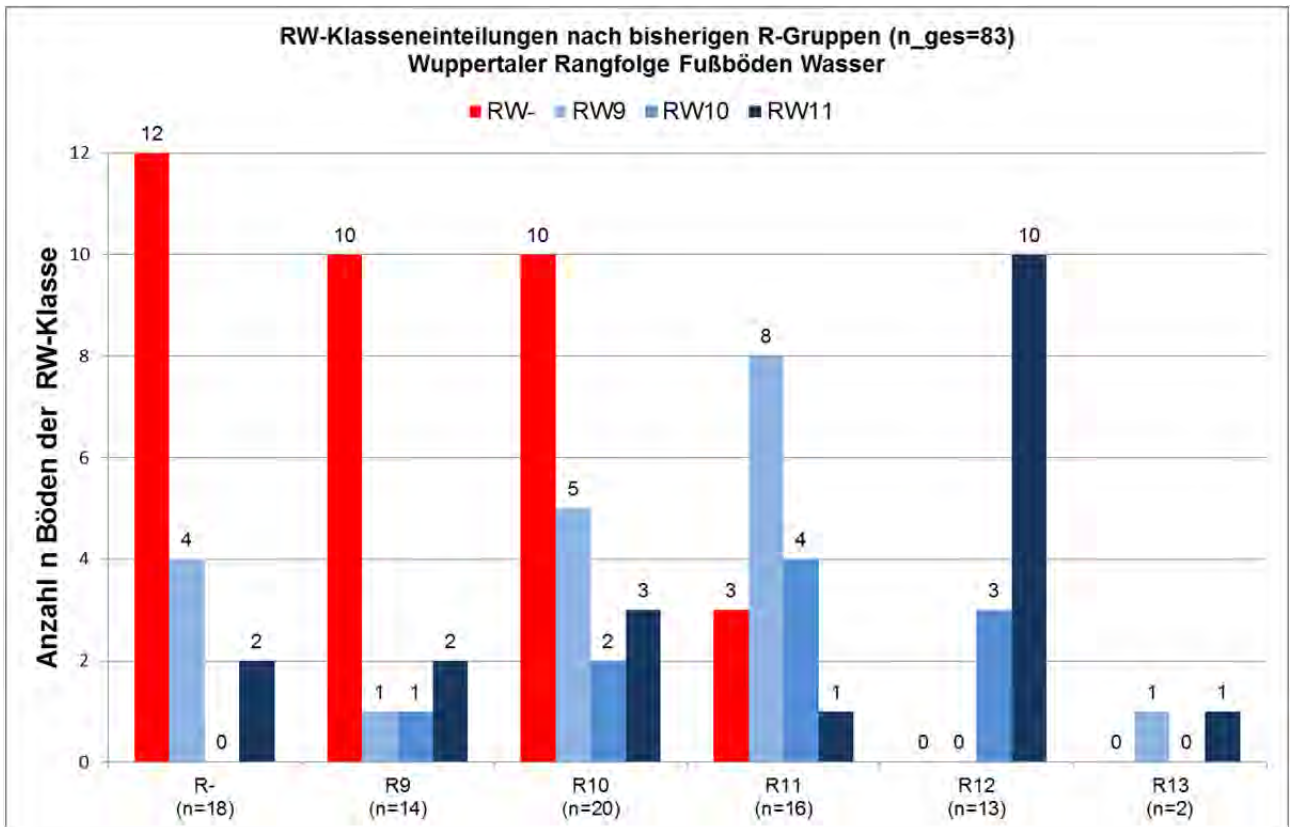


Abbildung 80: Klassifizierung Fußböden - Konsequenzen

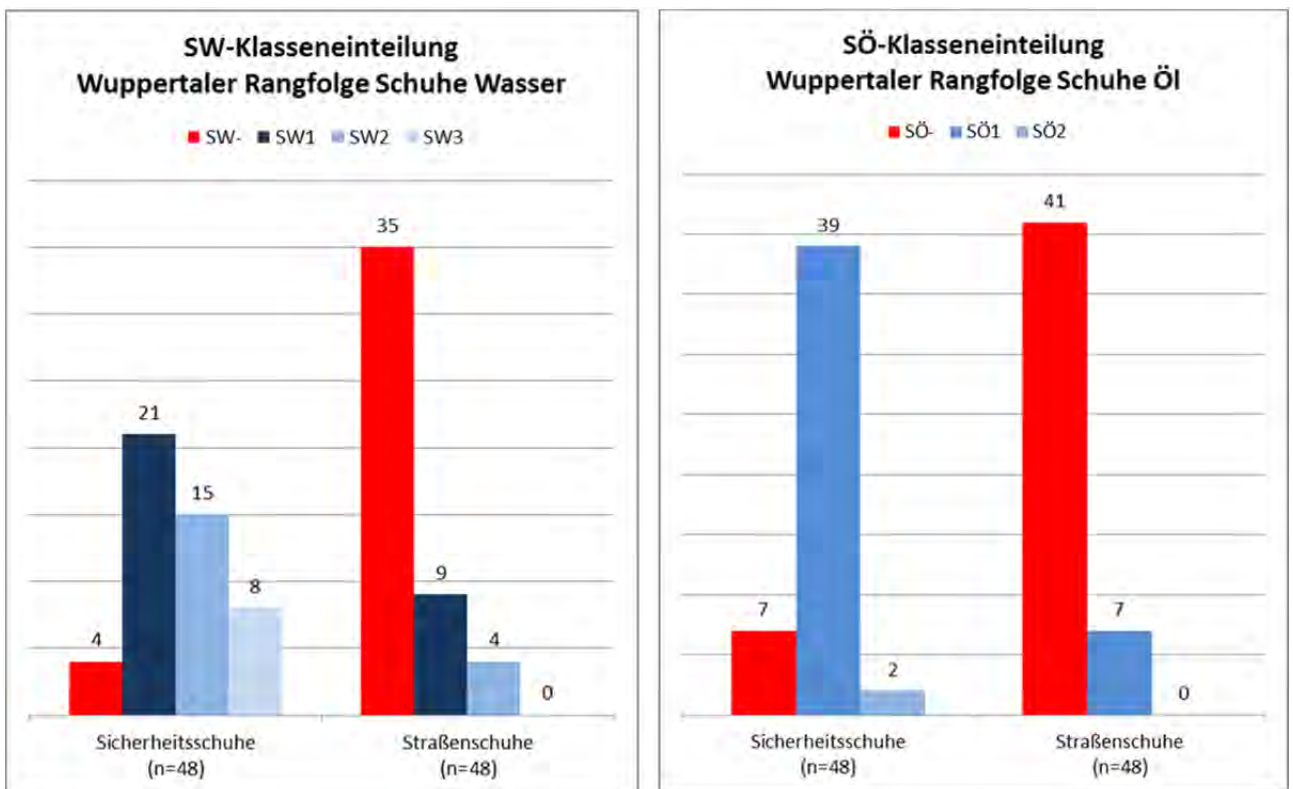


Abbildung 81: Klassifizierung Schuhe - Konsequenzen

## Anhang 8: Ergebnisse und Publikationen Dritter

### Publikationen:

- Alexandra Liebs, Ellen Waßmann, Hardy Müller: Beurteilung der rutschhemmenden Eigenschaften von Sicherheits- und Berufsschuhen; Technische Überwachung 04/2009; Springer VDI Verlag
- Richard Bowman: Slip resistance testing – zones of uncertainty; Paper accepted for Qualicer 2010, Castellon, 02/2010
- 30 % mehr Wegeunfälle - DGUV –  
<http://www.dguv.de/inhalt/presse/2010/Q3/halbjahreszahlen/index.jsp>
- Aufs Glatteis gefallen - Dr. Klaus Ruff - Sicherheitsprofi 8.10
- Best Foot Forward - Safety, Protective and occupational footwear in Europe Dr. Markus Scherer - Health and safety International July 2010
- Slips, Trips and Falls - Responses and caution must be heightened in the workplace - Neal Etchells - Health & Safety International November 2010
- Sturzunfälle vermeiden - "Na, wie geht et?" - "Och, jans jut!"; H. J. Joka; Sicherheitsingenieur 03/2011
- Sicherheitsschuhe und deren Einfluss auf den Stütz- und Bewegungsapparat - eine Literatur-studie; U. Noll et. al.; Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin 04/2011
- Einfluss von Schuhsohlenmaterialien auf die Rutschhemmung; L. Rübekeil, Sicherheitsingenieur 07/2011
- BGW: Stürzen, Stolpern und Ausrutschen sind die Hauptursachen; sicher ist sicher 7-8/2011
- Forschungsprojekt Ursachen von SRS-Unfällen bei Feuerwehreinsatzkräften, A. Korten et. al.; Brandschutz 12/2011
- Ursachen und Präventionsansätze für SRS-Unfälle bei Feuerwehrangehörigen; A. Kibele; Brandschutz 02/2012
- Unfallbrennpunkt: Schnee und Eisglätte – Unterweisung; BG RCI;  
[http://www.stbg.de/html/unfallbrennpunkt/schnee\\_unterweisung.pdf](http://www.stbg.de/html/unfallbrennpunkt/schnee_unterweisung.pdf)
- Aus der Arbeit des Fachbereiches Persönliche Schutzausrüstungen (PSA): Aktuelles aus dem Sachgebiet Fußschutz: Untersuchung von Präparaten zur Erhöhung der Rutschhemmung; Andreas Vogt; Dr. Detlef Mewes; Orhan Ceylan; sicher ist sicher; 01/2013