

bfu-Grundlagen

# Antirutschbehandlungen für elastische Bodenbeläge

EMPA-Prüfbericht Nr. 201036

Autoren:  
Siegfried Derler, Freddy Kausch, Roman Huber

St. Gallen, Bern 2001



# Impressum

Herausgeberin	bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung Postfach 8236 CH-3001 Bern Tel. +41 31 390 22 22 Fax +41 31 390 22 30 info@bfu.ch www.bfu.ch Bezug auf <a href="http://www.bfu.ch/bestellen">www.bfu.ch/bestellen</a> , Art.-Nr. 2.238
Autoren	Siegfried Derler, Technischer Berater, EMPA Freddy Kausch, EMPA Roman Huber, Prüfleiter, EMPA
© bfu 2001	Alle Rechte vorbehalten; Reproduktion (z. B. Fotokopie), Speicherung, Verarbeitung und Verbreitung sind mit Quellenangabe (s. Zitationsvorschlag) gestattet.
Zitationsvorschlag	Derler S, Kausch F, Huber R. <i>Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit von Antirutschbehandlungen für elastische Bodenbeläge</i> . EMPA-Prüfbericht Nr. 201036. St. Gallen, Bern: EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung; 2001. bfu-Grundlagen.

## **Inhalt**

### Zusammenfassung/Kurzfassung

#### 1. Einführung

#### 2. Untersuchte Produkte (28 Muster)

#### 4. Durchführung des Langzeitversuchs

##### 4.1. Versuchsablauf

##### 4.2. Messung von Gleitreibungskoeffizienten

##### 4.3. Überblick über die durchgeführten Messreihen

#### 5. Resultate zur Gleitfestigkeit

##### 5.0. Durchgeführte Auswertungen

##### 5.1. Entwicklung der mittleren Gleitreibungskoeffizienten

- Aufhängen an der bereits vorhandenen Grafik
- Einfluss der Gleitermaterialien
- Problem der Gleiterwechsel

##### 5.2. Entwicklung der Gleitreibungskoeffizienten für die einzelnen Produkte

- Bildanhang mit den 56 einzelnen Messreihen
- Referenzmessungen und EMPA-Linoleum
- Unbehandelte Bodenbeläge
- Schutzbehandlungen
- Antirutschbeschichtungen
- Anstriche
- Klebebänder

##### 5.3. Abnutzungseffekte bei den verschiedenen Kategorien von Produkten

- Beschränkung auf die ersten 14 Messreihen

##### 5.4. Vergleiche zwischen den verschiedenen Bodenbelägen

##### 5.5. Resultate zur Messgenauigkeit

#### 6. Beurteilung der abgenutzten Oberflächen

##### 6.1. Visuelle Beurteilung

##### 6.2. REM-Untersuchungen

- Oberflächenveränderungen
- Verschmutzungen

#### 7. Diskussion und Schlussfolgerungen

### Anhänge

#### A. Beschreibung der untersuchten Produkte und Belagmuster, inkl. Bilder

#### B. Details zu den Versuchsbedingungen

#### C. Gemessene Gleitreibungskoeffizienten

#### D. Sonstige Messdaten

#### E. REM-Daten/Bilder ?

## Zusammenfassung

Um die Gleitfestigkeit von Bodenbelägen nachträglich zu verbessern, werden in der Praxis unterschiedliche Beschichtungen, Anstriche und Gleitschutzklebestreifen als Antirutschbehandlungen angewandt. Im Rahmen eines Langzeitversuchs wurde die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit solcher Behandlungen und Produkte untersucht, die hauptsächlich auf elastischen Bodenbelägen wie PVC, CV, Linoleum und Gummi eingesetzt werden. Präparierte Bodenbelagmuster wurden zusammen mit unbehandelten Referenzmustern in einem Korridor verlegt, den pro Tag rund 1000 Fussgänger passieren.

Monatlich wurde die Gleitfestigkeit der insgesamt 31 verschiedenen Oberflächen ermittelt. Dazu wurde ein tragbares Gerät verwendet, mit welchem Reibungskoeffizienten zwischen Gleitkörpern aus Schuhsohlenmaterialien und Bodenbelägen gemessen werden können.

Nach gut einem Jahr und rund 300'000 Fussgängerbegehungen waren bei den untersuchten Antirutschbehandlungen deutliche Abnutzungseffekte erkennbar. Die Gleitfestigkeit von unbehandelten Bodenbelägen nahm im Schnitt mit der Zeit leicht zu, wahrscheinlich auf Grund zunehmender Verkratzung und Aufrauung der mehrheitlich glatten Belagoberflächen. Für Beläge, die einer Schutzbehandlung unterzogen worden waren, ergab sich eine ähnliche Tendenz auf niedrigerem Niveau. Schutzbehandlungen, die einen Bodenbelag vor schneller Anschmutzung und mechanischer Alterung schützen sollen, wirkten sich zunächst signifikant negativ auf die Gleitfestigkeit aus. Da die entsprechenden Oberflächen im Lauf der Abnutzung aufgeraut und abgerieben wurden, nahm die Gleitfestigkeit zwar wieder zu, ohne aber das Niveau der unbehandelten Beläge zu erreichen.

Von den untersuchten Antirutschbehandlungen erwiesen sich raue Antirutsch-Anstriche mit Aluminiumoxideinstreuung als die wirksamsten und dauerhaftesten. Trotz abnehmender Tendenzen in den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten konnte ihre Gleitfestigkeit auch am Ende der Versuche noch als sehr sicher eingestuft werden. Für Gleitschutzklebestreifen aus Kunststoff wurde eine empfindliche Abhängigkeit der gemessenen Gleitreibungskoeffizienten vom verwendeten Gleitermaterial festgestellt. Auf denselben Oberflächen, bei denen mit Gummigleitern durchgehend sehr sichere Werte registriert wurden, ergaben sich mit Kunststoffgleitern unsichere Werte. Ein Klebestreifen mit Mineralkörnung erwies sich in dieser Hinsicht als weniger problematisch.

Die untersuchten Antirutschbeschichtungen mit rauer Oberfläche erhöhten die Gleitfestigkeit von Bodenbelägen ebenfalls markant, nutzten sich jedoch verhältnismässig rasch ab. Die durchschnittlichen Gleitreibungskoeffizienten fielen vom sicheren in den bedingt sicheren Bereich ab und näherten sich denjenigen der unbehandelten Beläge mehr und mehr an. Nach einem Jahr Gebrauch unterschritten die für Antirutschbeschichtungen gefundenen Resultate teilweise sogar die der unbehandelten Beläge. Neben der geringen Dauerhaftigkeit fiel auf, dass die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten ähnlich wie im Fall der Gleitschutzklebebander stark vom verwendeten Gleitermaterial abhingen.

Nach dem Dauerversuch zur Gleitfestigkeit wurden die abgenutzten Belagmuster mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops auf Oberflächenveränderungen und Beschädigungen hin untersucht. Anhand der vorgefundenen Oberflächenzustände liessen sich die meisten festgestellten Tendenzen von Gleitreibungskoeffizienten nachvollziehen und zusätzliche Anhaltspunkte über die Abnutzungsmechanismen bei den verschiedenen Antirutschprodukten gewinnen.

An den Messdaten wurden ferner verschiedene statistische Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde einerseits die Genauigkeit der Reibungsmessungen analysiert und andererseits die relative Wichtigkeit zufälliger und systematischer Einflussfaktoren auf die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten untersucht (z.B. Gleiterabnutzung, Gleiteraustausch, Reinigungen und Verschmutzungen).

# 1 Einleitung

Das Problem, dass ein Bodenbelag ungenügende Gleitfestigkeit aufweist, wird oft erst nach dem Verlegen oder im Lauf der Benutzung deutlich. Zur nachträglichen Verbesserung der Gleitfestigkeit gibt es aber je nach Bodenbelag und örtlichen Gegebenheiten verschiedene Massnahmen und Möglichkeiten, die vom Verlegen von Rosten und Matten über chemische Behandlungen, mechanische Methoden wie Schleifen und Strahlen, Flämmen und Laserbehandlungen bis hin zu Versiegelungen, Beschichtungen und dem Aufkleben von Folien reichen [8].

In einem früheren Projekt über Pflegebehandlungen [4] wurden an einer Reihe von Bodenbelägen die Auswirkungen zweier unterschiedlicher Arten von Behandlungen zur Verbesserung der Gleitfestigkeit untersucht. Bei der einen Kategorie handelte es sich um spezielle, trittsichere Schutzbeschichtungen, bei der anderen um Antirutschbehandlungen, welche die Gleitfestigkeit mit Hilfe einer strukturbildenden Beschichtung erhöhen. Die trittsicheren Schutzbehandlungen zeigten im Allgemeinen keinen grossen Einfluss auf die Gleitfestigkeit. Während sich auf trockenen Böden im Schnitt leichte Verbesserungen ergaben, wurde die Gleitfestigkeit unter nassen Bedingungen vielfach reduziert. Im Unterschied dazu führten strukturbildende Beschichtungen und Behandlungen auch im nassen Zustand zu signifikanten Verbesserungen der Gleitfestigkeit. Die Oberflächen von Antirutschbeschichtungen zeigten nach den durchgeführten Reibungsversuchen zum Teil Abnutzungsspuren, und es stellte sich die Frage nach der Dauerhaftigkeit solcher Behandlungen.

Skiba [8] vermutete, dass sich Beschichtungen aus Antirutschmitteln leicht abnutzen und abgelöste Partikel gefährliche Rollreibung verursachen könnten. Bislang existieren zu dieser Problematik jedoch keine systematischen Untersuchungen.

Im Rahmen dieses Projekts wurde die Gleitfestigkeit verschiedener Antirutschbehandlungen über einen längeren Zeitraum untersucht, um deren Wirksamkeit, Dauerhaftigkeit und Abnutzungsverhalten unter Praxisbedingungen zu erforschen. Die Versuche bezogen sich auf elastische Bodenbeläge, die in privaten, öffentlichen und Arbeitsbereichen weit verbreitet sind, für die aber nur begrenzte Möglichkeiten zur nachträglichen Verbesserung der Gleitfestigkeit zur Verfügung stehen (verschiedene chemische, mechanische und thermische Methoden entfallen).

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der bfu (Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern) und der Suva (Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern) an der EMPA St. Gallen durchgeführt. Die Firma Slipstop (Altendorf) beteiligte sich durch die Herstellung von acht antirutschbeschichteten Bodenbelagmustern, und die Firma Henkel (MuttENZ) stellte Produkte zur Schutzbeschichtung von vier Belagmustern zur Verfügung.

## 2 Untersuchte Antirutschbehandlungen und Produkte

Die Untersuchungen beschränkten sich auf Antirutschbehandlungen, die im Zusammenhang mit elastischen Bodenbelägen Verwendung finden. Bei der Auswahl der Produkte wurden typische Vertreter der folgenden Kategorien von Behandlungen berücksichtigt:

- Antirutschbeschichtungen mit Strukturpulver (raue, halbtransparente Beschichtung)
- Antirutsch-Anstriche mit Aluminiumoxideinstreuung (sehr raue, deckende Beschichtung)
- Gleitschutzklebebänder mit Kunststoffgranulatschicht oder Mineralkörnung
- Schutzbehandlung (Versiegelung mit glatter Oberfläche)
- Unbehandelte Bodenbeläge für Vergleichszwecke

Die untersuchten Produkte wurden auf einem oder mehreren der vier elastischen Bodenbeläge PVC, Novilon, Linoleum und Gumminoppenbelag appliziert. Referenzbeläge eingeschlossen, wurden insgesamt 31 Muster untersucht - siehe Tabelle 2.1. Details und Bilder zu den einzelnen Produkten, deren Applikation und den verwendeten Bodenbelägen sind in den Anhängen A und B zu finden.

Durch seine strukturierte Oberfläche stellt der Gumminoppenbelag einen Sonderfall dar. Die meisten der untersuchten Produkte können auch auf diesem Belag angewendet werden, Antirutschbeschichtungen sind jedoch nicht dafür geeignet. Bei den SLIP-STOP-behandelten Gumminoppenmustern 4 und 8 handelt es sich um experimentelle Muster; auf dem Markt werden solche Beschichtungen nicht angeboten.

Obwohl sich die untersuchte Schutzbehandlung eigentlich nicht für die Anwendung auf Novilon eignet, wurde ein entsprechendes Muster hergestellt und in die Untersuchungen eingeschlossen.

**Tabelle 2.1:** Überblick über die untersuchten Antirutschbehandlungen, Produkte und Muster.

Kategorie	Muster-bez.	Bodenbelag	Produkt	Oberflächenbehandlung
Unbehandelte Oberflächen	A	Novilon	0	Keine Behandlung (Beläge im Anlieferungszustand verwendet)
	B	PVC		
	C	Linoleum		
	D	Gumminoppen		
Antirutschbeschichtungen	1	Novilon	2a	SLIP-STOP-Behandlung mit normaler Menge Strukturpulver
	2	PVC		
	3	Linoleum		
	4	Gumminoppen		
	5	PVC	2aa	SLIP-STOP-Behandlung mit erhöhter Menge Strukturpulver
	6	PVC	2b	SLIP-STOP-Behandlung mit Zweikomponenten- Strukturlack
	7	PVC		
	8	Gumminoppen		
Antirutsch-Anstriche	9	Novilon	3a	Anstrich mit grauer Einkomponentenmasse (Produkt SETON)
	10	PVC		
	11	Linoleum		
	12	Gumminoppen		
	13	Novilon	3b	Anstrich mit ziegelroter Zweikomponentenmasse (Produkt SETON)
	14	PVC		
15	Linoleum			
Schutzbehandlungen	16	Novilon	1	Schutzbehandlung/Versiegelung (Pflegemittelprodukte von HENKEL)
	17	PVC		
	18	Linoleum		
	19	Gumminoppen		
Gleitschutzklebebänder	20a	PVC	4c	Schwarzes Klebeband mit grober Oberfläche (3-M-Produkt Safety-Walk Comfortable)
	20b	PVC	4b	Graues Klebeband mittlerer Oberflächenrauigkeit (3-M-Produkt Safety-Walk Resilent, mittel)
	20c	PVC	4a	Weisses Klebeband mit feiner Oberfläche (3-M-Produkt Safety-Walk Resilent, fein)
	21a	Gumminoppen	4c	Schwarzes Klebeband mit grober Oberfläche (3-M-Produkt Safety-Walk Comfortable)
	21b	Gumminoppen	4a	Transparentes Klebeband mit feiner Oberfläche (3-M-Produkt Safety-Walk Resilent, fein)
Referenzmessungen	22	EMPA-Linoleum	0a	Linoleumbelag der EMPA St. Gallen, zu Beginn der Versuche 3½ Jahre im Gebrauch
	23	EMPA-Linoleum	0a	
	0	Standard-PVC	Ref	Standardbelag gemäss bfu-Reglement R 9215

### 3 Durchführung der Versuche

#### 3.1 Versuchsablauf

Der Praxisversuch zur Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit von Antirutschbehandlungen erstreckte sich über mehr als ein Jahr. Die präparierten Muster (vgl. Tabelle 2.1) waren zusammen mit Mustern unbehandelter Bodenbeläge in der Passerelle der EMPA St. Gallen verlegt, die den Labortrakt mit dem Verwaltungsgebäude verbindet, siehe Abbildung 3.1. Der Fussgängerverkehr im Korridor wurde mit Hilfe einer Lichtschranke überwacht, welche durchschnittlich knapp 1000 Passagen pro Tag registrierte.

Die Gleitfestigkeit der Antirutschbehandlungen wurde monatlich bestimmt (zu Beginn der Versuche häufiger), nachdem die Muster zuvor jeweils nach einem festgelegten Verfahren gereinigt worden waren. Nach Abschluss der insgesamt 17 Messreihen zur Gleitfestigkeit wurden die abgenutzten Muster eingehend auf Oberflächenveränderungen und Beschädigungen hin untersucht.



**Abbildung 3.1:** Langzeitversuch zur Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit von Antirutschbehandlungen.

#### 3.2 Probenvorbereitung

Aus den verfügbaren Bodenbelagsmaterialien wurden Stücke mit den Abmessungen 100 cm x 58 cm herausgeschnitten und auf 3 mm dicke Aluminiumbleche verklebt. Die Behandlung dieser Belagmuster mit den verschiedenen Antirutschprodukten erfolgte entweder gemäss Herstellerangaben durch die EMPA oder vom Vertreiber des Produkts selbst, vgl. Tabelle A.1 im Anhang A. Vor dem Auslegen wurden die präparierten Muster mindestens 96 Stunden gelagert, um eine genügende Aushärtung aller aufgetragenen Produkte sicherzustellen.

#### 3.3 Pflegebehandlungen

Neben Abnutzungen und Verschmutzungen erfuhren die ausgelegten Muster im Lauf der Versuche Pflegebehandlungen, die gemäss den normalen, hausinternen Massstäben durchgeführt wurden.



### 3.3.1 Periodische Reinigungen

Alle Bodenbeläge ausser den Antirutsch-Anstrichen wurden vom EMPA-Hausdienst durchschnittlich einmal pro Woche mit einer Scheuersaugmaschine (Wetrok, Typ Duomatic 430B, mit rotem, d.h. feinerem Pad) gereinigt. Dabei wurde das Reinigungsmittel Wetrok Redur, Konzentration 2%, verwendet. Vor jeder Messreihe wurde eine zusätzliche Reinigung eingeschaltet, um für die Bestimmung der Gleitfestigkeit jeweils einheitliche Ausgangsbedingungen zu schaffen.

Bei den Antirutsch-Anstrichen war die Reinigung mit der Scheuersaugmaschine wegen der rauen Oberflächen nicht möglich. Diese Muster wurden stattdessen regelmässig mit einem Staubsauger gereinigt.

### 3.3.2 Ausserordentliche Reinigungen

Zusätzlich zu den periodischen Reinigungen erfolgten die folgenden Pflegebehandlungen:

- Am 10.04.2000 (vor der Messreihe 10) wurden sämtliche unbehandelten und schutzbehandelten Belagmuster sowie die Gleitschutzklebebänder einer gründlichen manuellen Reinigung mittels feinem Pad (weiss) und dem Mittel Wetrok Redur (Konzentration 2%) unterzogen. Durch diese Reinigung liessen sich sichtbare Schmutzspuren (wie z.B. Striche von Gummisohlen) weitestgehend entfernen.
- Am 10.04. und 22.06.2000 (vor den Messreihen 10 und 13) wurden die Antirutsch-Anstriche unter Verwendung des Reinigungsmittels Wetrok Redur (Konzentration 2%) von Hand mit einer starken Bürste gereinigt.
- Am 10.04. und 24.11.2000 (vor den Messreihen 10 und 17) wurden die Muster mit SLIP-STOP-Behandlungen durch den Vertreiber gereinigt (zum Verfahren siehe Abschnitt A.2 in Anhang A).

## 3.4 Messung von Gleitreibungskoeffizienten

Die Messungen zur Gleitfestigkeit erfolgten mit dem mobilen Messgerät FSC 2000, mit welchem Reibungskoeffizienten zwischen Gleitkörpern aus Sohlenmaterialien und Bodenbelägen bestimmt werden können. Das Gerät wurde im Rahmen von Vergleichsmessungen von Skiba et al. [6] untersucht und beschrieben.

Als Messstrecke wurden 30 cm festgelegt. Mit Ausnahme der Klebebänder liessen sich damit auf allen Belagmustern Reibungsversuche längs und quer zum Korridor durchführen. Auf jedem Muster wurden längs und quer drei getrennte Messspuren gewählt, in denen je zwei Messungen in entgegengesetzte Richtungen vorgenommen wurden. Im Fall der quer zum Korridor verlegten Gleitschutzklebebänder wurden entlang derselben Spur jeweils drei Messungen in entgegengesetzte Richtungen durchgeführt.

Bei den Versuchen wurden Gleiter aus Gummi und Kunststoff verwendet (Originalgleiter des Geräteherstellers). Für die Messreihe auf einem bestimmten Muster wurde ein Gleiter jeweils mit 320-er Schleifpapier gesäubert und angeschliffen (einheitliche Präparation). Mit dem mit Zwischenmedium benetzten Gleiter wurde dann zunächst eine Nullmessung ausgeführt, bevor mit den eigentlichen Messungen angefangen wurde.

Als Zwischenmedium wurde entionisiertes Wasser mit 0.5% Netzmittel (Natriumlaurylsulfat) eingesetzt. An den Messspuren wurde ein geschlossener Flüssigkeitsfilm auf die Oberflächen der Muster aufgebracht. Abgesehen von den Messungen auf Antirutsch-Anstrichen konnte zusätzlich das im Gerät eingesetzte, mit Zwischenmedium getränkte Schwämmchen verwendet werden. Abbildung 3.2 illustriert das Vorgehen bei den Experimenten zur Gleitfestigkeit.

Vor der Durchführung einer Messreihe wurden die 28 ausgelegten Muster jeweils nach den im Kapitel 3.3 beschriebenen Verfahren gereinigt. Die Untersuchung der Muster erfolgte immer in derselben Reihenfolge, wobei die glatten Oberflächen vor den rauen berücksichtigt wurden. Für Vergleichszwecke wurden zwei Messstellen auf dem in der Passerelle verlegten Linoleumbelag in die Untersuchungen einbezogen. Um eventuelle Veränderungen in den Messwerten der Gleiter feststellen zu können, wurden zudem vor und nach jeder Messreihe

Referenzmessungen auf einem PVC-Standardbelag gemäss bfu-Reglement R 9215 [1] durchgeführt.



**Abbildung 3.2:** Messung von Gleitreibungskoeffizienten mit dem Gerät FSC 2000. Die Oberfläche eines Musters wird an mehreren Stellen und im nassen Zustand untersucht.

Mehrere der verwendeten Gleiter nutzten sich im Lauf der Versuche vollständig ab (Abrieb durch Präparation und Messungen) und mussten durch neue ersetzt werden. Mit der Abnutzung bzw. der begrenzten Lebensdauer von Gleitern sind in langen Versuchsreihen zweierlei Probleme verbunden:

1. An der EMPA St. Gallen laufende Untersuchungen zur Messgenauigkeit des FSC 2000 [5] zeigen, dass sich die Auflagefläche eines Gleiters wegen seiner leicht gerundeten Form durch Abrieb kontinuierlich vergrößert. Die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten scheinen dadurch mit der Zeit abzunehmen.

2. Als Folge davon sowie auf Grund von Materialunterschieden können die Messwerte eines neuen Ersatzgleiters verschieden von denen eines stark abgenutzten Gleiters ausfallen.

Um Anhaltspunkte über die Abnutzung von Gummi- bzw. Kunststoffgleitern zu sammeln, wurden die Gewichtsverluste der verwendeten Gleiter über 13 Messreihen hinweg mitverfolgt, vgl. Tabelle 3.2.

Zur Beurteilung von gemessenen Gleitreibungskoeffizienten (und daraus berechneten Mittelwerten) können die Wuppertaler Sicherheitsgrenzwerte [3, 7] herangezogen werden, siehe Tabelle 3.1.

**Tabelle 3.1:** Wuppertaler Sicherheitsgrenzwerte für Gleitreibungskoeffizienten.

Gleitreibungskoeffizient	Interpretation
$\mu < 0.30$	unsicher
$0.30 \leq \mu < 0.45$	bedingt sicher
$0.45 \leq \mu < 0.60$	sicher
$0.60 \leq \mu$	sehr sicher

### 3.5 Überblick über die Experimente zur Gleitfestigkeit

Die Tabelle 3.2 gibt einen Überblick über die zur Gleitfestigkeit von Antirutschbehandlungen durchgeführten Messreihen. Neben dem zeitlichen Ablauf der Experimente gehen daraus die gezählten Fussgängerpassagen, die während der Messungen herrschenden Temperaturen sowie Resultate über die Gewichtsverluste bei den Gleitern hervor.

**Tabelle 3.2:** Zeitlicher Ablauf der Messungen und Angaben zu den gezählten Fussgängerpassagen, gemessenen Temperaturen und den mit dem Gerät FSC 2000 verwendeten Gleitern.

Messreihe	Datum	Zeit [Tage]	Anzahl Begehungen	Temperatur [°C]	Gleiter	Gewichtsverlust der Gleiter [g]	
1	02.09.1999	0	0	20-25	G2, K2	Gummi	Kunstst.
2	14.09.1999	12	1800	25-32	G2, K2	-	-
3	24.09.1999	22	9000	25-32	G2, K2	0.2180	0.1740
4	05.10.1999	33	16000	12-20	G2, K4	0.1005	0.0727
5	02.11.1999	61	34200	12-20	G4, K4	0.1148	0.0341
6	02.12.1999	91	59200	12-20	G4, K4	0.0748	0.0285
7	07.01.2000	127	80600	17-25	G4, K4	0.0609	0.0236
8	18.02.2000	169	110700	18-20	G4, K4	0.0473	0.0202
9	17.03.2000	197	131300	18-20	G4, K4	0.0120	0.0192
10	11.04.2000	222	148300	18-20	G4, K4	0.0616	0.0198
11	12.05.2000	253	168100	22	G4, K4	0.0556	0.0180
12	09.06.2000	281	186600	20-30	G4, K4	0.0700	0.0380
13	14.07.2000	316	211200	20-25	G4, K4	0.0581	0.0213
14	11.08.2000	344	224800	20-28	G4, K4	0.0535	0.0164
15	15.09.2000	379	251000	20-25	G5, K4	0.1146	0.0429
16	23.11.2000	448	297100	20-25	G6, K4	-	-
17	24.11.2000	449	300000	-	G6, K4	-	-

### 3.6 Oberflächenanalysen

Nach Abschluss der Messungen zur Gleitfestigkeit wurden die abgenutzten Oberflächen auf Beschädigungen bzw. Intaktheit untersucht. Neben der visuellen Beurteilung der Muster wurden Oberflächenproben mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops (REM) aufgenommen und analysiert.

Für die REM-Aufnahmen wurde ein Gerät des Typs Amray Scanning Electron Microscope 3200C ECO-SEM verwendet. Die Probenoberfläche wird mit einem Elektronenstrahl (20kV) im Niedervakuum bei 150 mTorr abgetastet (unter diesen Bedingungen können Kunststoffproben von der Art der Belagmuster ohne Vorbehandlung untersucht werden). Ein Detektor misst die durch inelastische Streuung erzeugten Sekundärelektronen, während die Signale gleichzeitig in ein Bild umgewandelt werden. Im vorliegenden Fall wurde ein Bildausschnitt von rund 3 mm x 2 mm gewählt.

Bei der Bestrahlung der Probenoberfläche mit Elektronen entsteht auch Röntgenstrahlung. Die energiedispersive Röntgenmikroanalytik (EDX) ermöglicht aufgrund dessen gewisse Elementaranalysen. Analysatoren eines Zusatzgeräts (Link ISIS 300, Oxford Instruments) trennen die über einen Halbkristall detektierte Röntgenstrahlung nach deren Quantenenergie auf. Da die Quantenenergie sowie der im Detektor erzeugte Ladungsstoss charakteristisch für jedes Atom sind, lässt sich daraus die Atomsorte bestimmen. Mit der verfügbaren Analyse-methode können halbquantitative Informationen über die Gewichtsanteile der an der Oberfläche vorkommenden Elemente gewonnen werden, deren Atomgewicht grösser als das von Beryllium ist.

## 4 Resultate zur Gleitfestigkeit

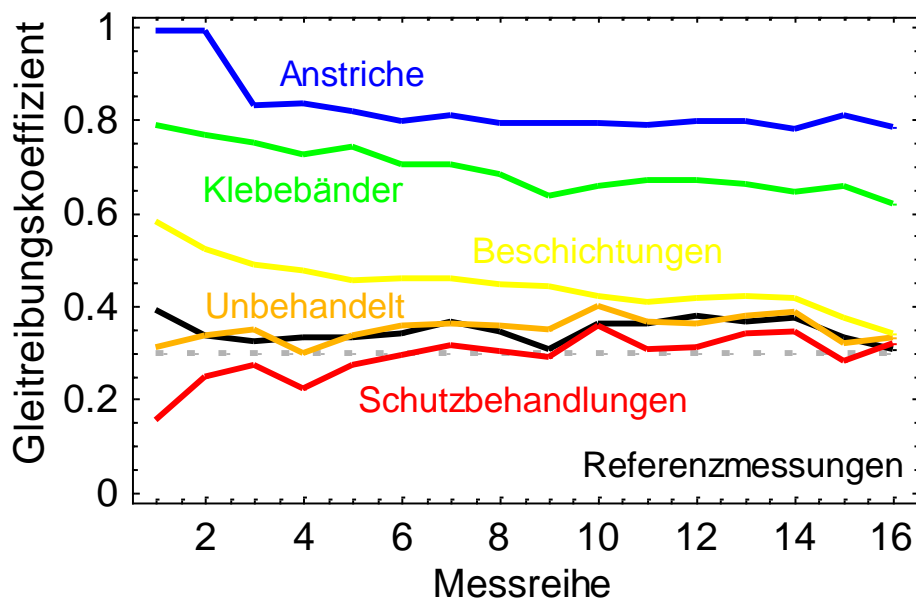
Sämtliche Messdaten zur Gleitfestigkeit sind im Anhang C zusammengestellt. Neben den tabellierten Messwerten der zwei Gleiter finden sich dort auch grafische Darstellungen, die die zeitliche Entwicklung und den Streubereich der gemessenen Gleitreibungskoeffizienten veranschaulichen.

### 4.1 Entwicklung der mittleren Gleitreibungskoeffizienten

Im Verlauf der Experimente zeichneten sich in den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten zum Teil deutliche Tendenzen ab. Abbildung 4.1 zeigt eine Übersicht über die nach verschiedenen Kategorien von Antirutschbehandlungen gemittelten Messresultate.

Die Mittelwerte der unbehandelten Bodenbeläge (orange Kurve) liegen zwischen 0.30 und 0.40 und zeigen bis zur Messreihe 14 eine leicht aufsteigende Tendenz. Die Resultate aus den Referenzmessungen (schwarz) decken sich weitgehend mit denen der unbehandelten Beläge. Für die Schutzbehandlungen (rot) steigen die gemittelten Gleitreibungskoeffizienten von 0.15 auf über 0.30 an und entwickeln sich damit von unsicheren zu bedingt sicheren Werten. Die Resultate verlaufen auffallend parallel zu denen der unbehandelten Bodenbeläge.

Für Antirutschbeschichtungen fallen die gemittelten Gleitreibungskoeffizienten von knapp 0.60 auf rund 0.40 ab (gelbe Kurve). Während der ersten paar Messreihen überschreiten die Mittelwerte diejenigen der unbehandelten Bodenbeläge sehr deutlich (ca. 0.2), nähern sich diesen Werten dann aber mehr und mehr an. Im Fall der Gleitschutzklebebänder (grün) nehmen die durchschnittlichen Gleitreibungskoeffizienten ebenfalls kontinuierlich ab (von ca. 0.80 auf 0.65), liegen aber für sämtliche Messreihen im sehr sicheren Bereich. Dies gilt auch für die Resultate der Anstriche (blau). In den ersten beiden Messreihen überschritten zahlreiche einzelne Gleitreibungskoeffizienten den Messbereich des Geräts FSC 2000 (0 bis 1). Danach zeigen die Resultate einen relativ konstanten, leicht abfallenden Verlauf im Größenbereich von 0.80.



**Abbildung 4.1:** Entwicklung der mittleren Gleitreibungskoeffizienten für verschiedene Kategorien von Antirutschbehandlungen in 16 Messreihen (Mittelwerte aus sämtlichen, pro Kategorie verfügbaren Messungen, d.h. Messungen aller Muster und jeweils beider Gleiter). Der Grenzwert 0.3, welcher unsichere Gleitreibungskoeffizienten von bedingt sicheren trennt, ist in Form einer gestrichelten Linie dargestellt. Besondere Pflegebehandlungen fanden vor den Messreihen 10 und 13, Gleiterwechsel vor den Messreihen 4 (Kunststoffgleiter), 5, 15 und 16 (Gummigleiter) statt, vgl. Text.

In den in der Abbildung 4.1 dargestellten mittleren Gleitreibungskoeffizienten zeigen sich nicht nur systematische Tendenzen, sondern auch zufällige Streuungen und sprunghafte Veränderungen. Letztere sind teilweise auf das Umsteigen von abgenutzten auf neue Gleiter zurückzuführen. Für die Messreihe 4 wurde der Kunststoffgleiter, für die Messreihen 5, 15 und 16 der Gummigleiter ausgetauscht.

Auch besondere Pflegebehandlungen haben in den Messdaten Spuren hinterlassen. So führte die vor der Messreihe 10 durchgeführte gründliche Reinigung für die unbehandelten Bodenbeläge und Schutzbehandlungen zu einem signifikanten Anwachsen der gemittelten Gleitreibungskoeffizienten (um 0.05 bzw. 0.07) und für die Gleitschutzklebebänder zu einer leichten Zunahme (um 0.02). Bei den Antirutschbeschichtungen reduzierten die speziellen Reinigungen vor den Messreihen 10 und 17 die Gleitreibungskoeffizienten durchschnittlich um 0.02, wirkten sich also eher negativ aus. In den gemittelten Gleitreibungskoeffizienten der Antirutsch-Anstriche lässt sich überhaupt kein Einfluss der Pflegebehandlungen feststellen.

In den folgenden Abschnitten werden die Messresultate für die einzelnen Produkte im Detail analysiert. Neben den Vergleichen zur Wirksamkeit verschiedener Antirutschbehandlungen ist dabei insbesondere die Frage nach den aus den Messdaten ablesbaren systematischen Abnutzungseffekten bzw. nach der Dauerhaftigkeit der untersuchten Produkte interessant.

#### **4.2 Zeitliche Entwicklung der Gleitreibungskoeffizienten für die einzelnen Produkte**

Aus den im Anhang C gesammelten grafischen Darstellungen ist ersichtlich, dass die Resultate aus Messreihen, die dasselbe Antirutsch-Produkt betreffen, teilweise gut übereinstimmen. Die Daten solcher Messreihen können daher für die im Folgenden beschriebenen Auswertungen zusammengefasst werden, bei denen es um die Frage geht, wie sich die Gleitfestigkeit der untersuchten Produkte mit der Zeit entwickelt.

Um die Tendenzen in den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten deutlich zu machen und quantitativ zu analysieren, werden die Messresultate durch die empirische Formel  $\mu(t) = a + b\sqrt{t} + c \cdot t$  angepasst (Fit). Die Variablen  $\mu$  und  $t$  bedeuten dabei den Gleitreibungskoeffizienten bzw. die in Tagen gemessene Zeit,  $a$ ,  $b$  und  $c$  die nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmten Parameter.

Viele der gefundenen Zeitreihen von Gleitreibungskoeffizienten zeichnen sich durch einen gekrümmten Verlauf mit relativ starken Veränderungen zu Beginn der Experimente aus, an den sich ein eher flacher Verlauf anschließt. Diesem Verhalten wird durch die oben angegebene Formel besser Rechnung getragen als beispielsweise mit quadratischen Funktionen. Im Unterschied zum Kunststoffgleiter wurde der Gummigleiter für die Versuchsreihen 15 und 16 zweimal gewechselt, vgl. Kapitel 4.1. Dies führte insbesondere bei den glatten Belagmustern zu auffälligen Abweichungen von den mit dem vorangehenden Gummigleiter gefundenen Resultaten. Die entsprechenden Daten (Messreihen 15 bis 17) wurden deshalb bei den Analysen zum zeitlichen Verlauf der Gleitreibungskoeffizienten nicht berücksichtigt. Auf der anderen Seite konnten sämtliche Messungen der Anfangsphase in die Auswertungen miteinbezogen werden, obwohl sowohl der Kunststoffgleiter (nach 3 Messreihen) als auch der Gummigleiter (nach 4 Messreihen) einmal ausgetauscht wurden. Diese Gleiterwechsel sind nur bei einzelnen Mustern erkennbar; in der Mehrheit der Fälle ergeben die Messdaten trotz unterschiedlicher Gleiter ein einheitliches, plausibles Bild.

Für Vergleichszwecke wurden die längsten der jeweils mit demselben Gleiterexemplar gemessenen Abschnitte der Messdaten zusätzlich durch lineare Funktionen angepasst (Messungen 4 bis 17 im Fall des Kunststoffgleiters K4 bzw. Messungen 5 bis 15 im Fall des Gummigleiters G4, vgl. Tabelle 3.2). Die Unterschiede zwischen linearen und gekrümmten Anpassungen sind in den betreffenden Bereichen im Allgemeinen gering.

#### 4.2.1 Referenzmessungen

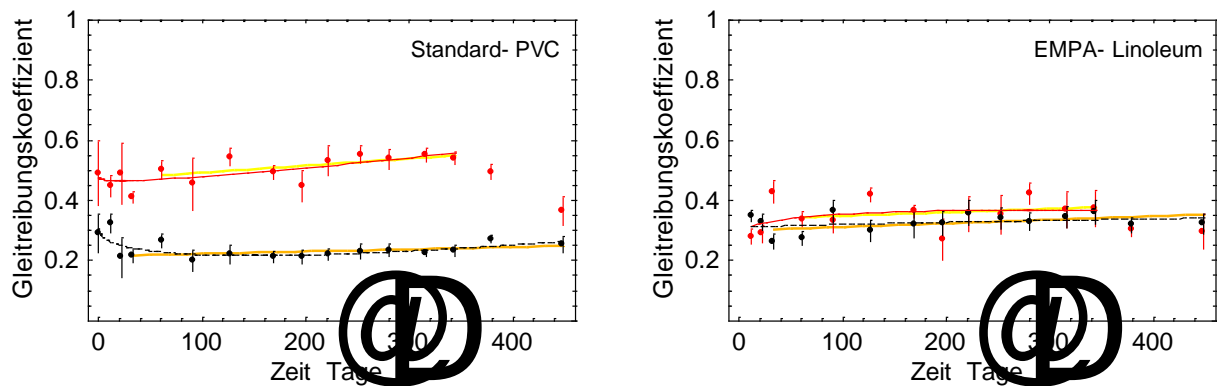
Im Rahmen von Referenzmessungen auf einem Standardbelag sollten im Grunde konstante Gleitreibungskoeffizienten vorgefunden werden. Auf dem verwendeten PVC-Standardbelag wurden mit Kunststoffgleitern zwar ab der dritten Messreihe relativ konstante Werte gemessen, mit Gummigleitern nahmen die Gleitreibungskoeffizienten jedoch kontinuierlich zu (bis auf die letzten zwei Messpunkte), siehe Abbildung 4.2.

Der an zwei Messstellen untersuchte EMPA-Linoleumbelag war zu Beginn der Experimente 3½ Jahre im Gebrauch. Es konnte angenommen werden, dass seine Oberfläche durch Abnutzung und Pflegebehandlungen bereits einen Zustand erreicht hatte, in dem sich die Gleitfestigkeit durch weiteren Gebrauch nicht mehr drastisch verändern würde. Mit beiden Gleitmaterialien zeigten sich aber leicht aufsteigende Tendenzen in den gemittelten Gleitreibungskoeffizienten.

Lineare Regression der mit demselben Gummigleiter gemessenen Datenabschnitte ergibt auf Standard-PVC eine Zunahme von 0.071 und auf EMPA-Linoleum eine Zunahme von 0.035 im Gleitreibungskoeffizienten (Vergleich zwischen dem 365. und 60. Tag). Die analoge Auswertung für die mit gleichem Kunststoffgleiter gemessenen Daten ergibt eine Zunahme von 0.024 auf Standard-PVC bzw. von 0.036 auf EMPA-Linoleum. Auf beiden Belägen ist die Streuung der Messwerte für Gummigleiter grösser als für Kunststoffgleiter.

Von den beobachteten Tendenzen ist die des Gummigleiters auf Standard-PVC die signifikanteste, diejenige des Gummigleiters auf dem EMPA-Linoleumbelag die am wenigsten signifikante, vgl. dazu Tabelle 4.2. Im Fall des Kunststoffgleiters heben sich unter Berücksichtigung der Standardfehler beide Tendenzen von null ab, während aber die 95%-Vertrauensbereiche auch den Nullpunkt enthalten.

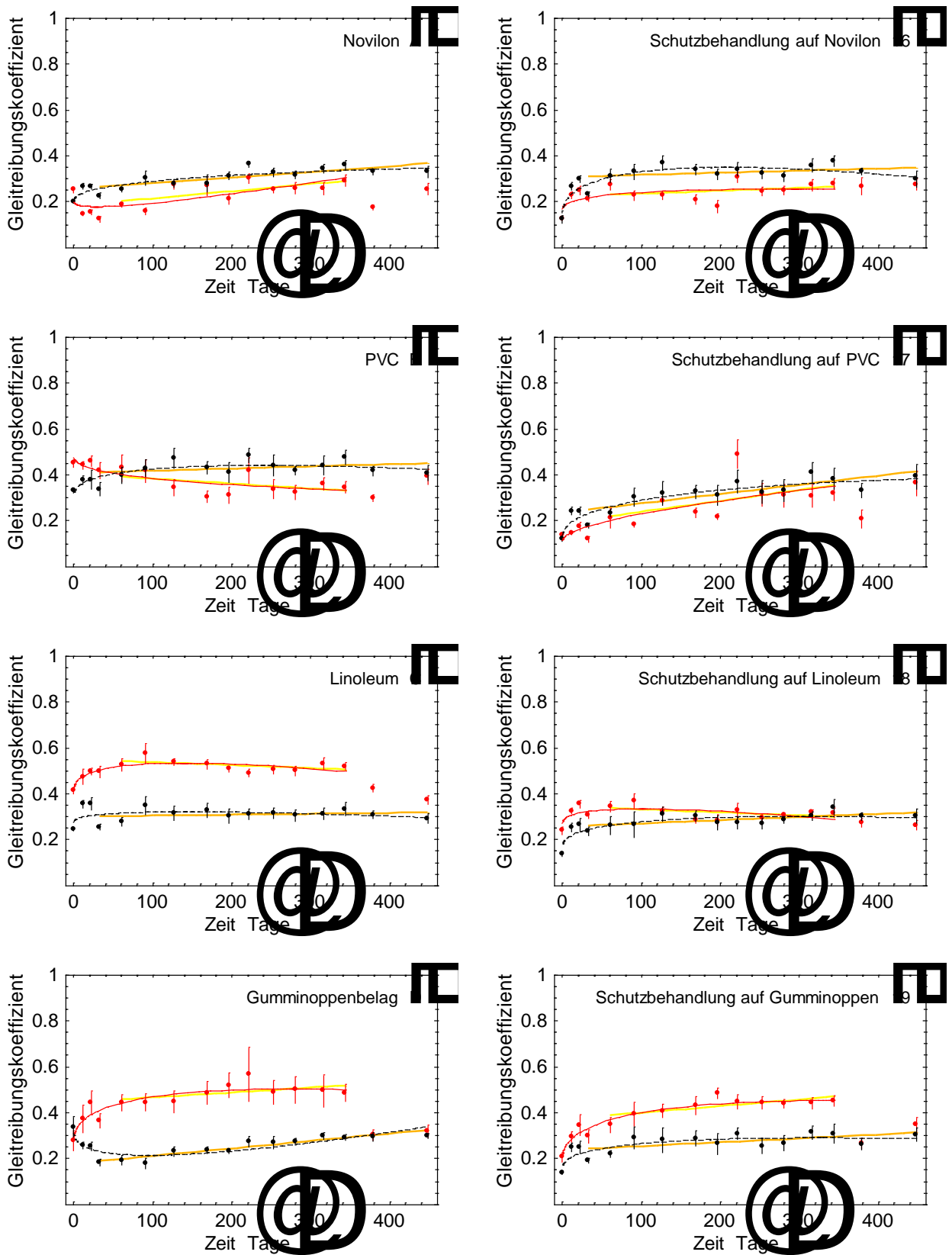
Unter der Annahme, dass die Oberflächen der Referenzbodenbeläge über die Dauer der Versuche hinweg gleich geblieben sind, können also leichte systematische Einflüsse auf die Messresultate, bedingt durch langzeitliche Veränderungen der Gleiter, nicht ausgeschlossen werden.



**Abbildung 4.2:** Zeitliche Entwicklung und Anpassung der auf Standard-PVC und EMPA-Linoleum gemessenen Gleitreibungskoeffizienten. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für Gummigleiter sind rot, diejenigen für Kunststoffgleiter schwarz dargestellt. Bei den Fits mit gekrümmten Funktionen wurden für Gummigleiter nur die ersten 14 Messreihen berücksichtigt. Die mit demselben Gleiterexemplar erhaltenen Messdaten wurden jeweils zusätzlich durch lineare Funktionen angepasst (gelbe und orange Linien).

#### 4.2.2 Unbehandelte Bodenbeläge

In der linken Hälfte von Abbildung 4.3 sind die für die vier unbehandelten Bodenbeläge Novilon, PVC, Linoleum und Gumminoppenbelag erhaltenen Messresultate grafisch dargestellt. Die Messwerte von Gummi- und Kunststoffgleitern zeigen ähnliche Tendenzen auf Novilon (aufsteigend), Linoleum (flach) und dem Gumminoppenbelag (aufsteigend). Auf PVC steigen die Gleitreibungskoeffizienten der Kunststoffgleiter an, während sie für Gummigleiter abfallen.



**Abbildung 4.3:** Zeitliche Entwicklung und Anpassung der auf den unbehandelten (links) bzw. schutzbehandelten Bodenbelägen (rechts) gemessenen Gleitreibungskoeffizienten. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für Gummigleiter sind rot, diejenigen für Kunststoffgleiter schwarz dargestellt. Bei den Fits mit gekrümmten Funktionen wurden für Gummigleiter nur die ersten 14 Messreihen berücksichtigt. Die mit demselben Gleiterexemplar erhaltenen Messdaten wurden jeweils zusätzlich durch lineare Funktionen angepasst (gelbe und orange Linien).

Am stärksten ausgeprägt sind die für Novilon und die mit dem Kunststoffgleiter K4 auf dem Gumminoppenbelag festgestellten aufsteigenden Tendenzen. Bei den anderen Messreihen liegen die durch lineare Regression ermittelten Änderungen im Gleitreibungskoeffizienten in derselben Größenordnung wie bei den Referenzmessungen, vgl. Tabelle 4.2.

In der Anfangsphase der Abnutzung dürften sich die Oberflächen vieler Bodenbeläge am schnellsten verändern. Tatsächlich zeigen sich bei einigen Messreihen (PVC, Linoleum, Gumminoppenbelag) zu Beginn der Experimente die auffälligsten Veränderungen in den Messdaten.

Da die untersuchten elastischen Bodenbeläge im Neuzustand am glattesten sein dürften und an der Oberfläche teilweise noch Produktionsrückstände aufweisen könnten (z.B. der Gumminoppenbelag), ist zu Beginn der Experimente generell eher mit einem Ansteigen der gemessenen Gleitreibungskoeffizienten zu rechnen. Nicht alle Messungen auf PVC (Gummigleiter) und dem Gumminoppenbelag (Kunststoffgleiter) stimmen mit dieser Annahme überein.

Mit fortschreitender mechanischer Beanspruchung und zunehmender Verkratzung und Aufrauung der Belagoberflächen dürfte auch längerfristig ein Anstieg der Gleitreibungskoeffizienten verbunden sein. Pflegemittel- und Schmutzablagerungen könnten allerdings einen gegenteiligen Effekt verursachen. Bei den untersuchten Bodenbelägen entwickelte sich die Gleitfestigkeit nach keinem einheitlichen Muster.

Die vor der Messreihe 10 durchgeführte ausserordentliche Reinigung (vgl. Kapitel 3.3.2) schlug sich bei Novilon, PVC und dem Gumminoppenbelag deutlich auf die Messresultate nieder (siehe die Messpunkte für 220 Tage in Abbildung 4.3). Für den Linoleumbelag lässt sich dagegen kein Einfluss feststellen. Im Durchschnitt (acht Messreihen) beträgt der Anstieg in den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten  $+0.050 \pm 0.041$ . Wie der weitere Verlauf der Messdaten zeigt, sind die positiven Auswirkungen der gründlichen Reinigung nur von kurzer Dauer und bereits eine Messreihe später wieder verloren gegangen.

#### 4.2.3 Schutzbehandlungen

Die rechte Hälfte von Abbildung 4.3 zeigt die Messresultate für Schutzbehandlungen, die insgesamt einheitlicher wirken als die der vier unbehandelten Bodenbeläge. Trotz der gleichen Beschichtung bleiben die Resultate der verschiedenen Muster aber unterscheidbar. Die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten hängen also nicht allein von der aufgetragenen Schutzbeschichtung, sondern auch von den Eigenschaften der Unterlage ab.

Im Fall von beschichtetem Novilon und PVC scheinen sich die Gleitreibungskoeffizienten von vergleichbaren niedrigen Anfangswerten aus auf Niveaus zu entwickeln, die den Messwerten für die jeweiligen unbehandelten Beläge entsprechen. Auf PVC, wo die Schutzbeschichtung eine grössere Reduktion der Gleitfestigkeit bewirkte, wachsen die Gleitreibungskoeffizienten steiler an.

Auf Linoleum und dem Gumminoppenbelag finden sich nach der Schutzbeschichtung ähnliche Ausgangsbedingungen wie bei den anderen beiden Belägen. Die mit Kunststoffgleitern gemessenen Gleitreibungskoeffizienten entwickeln sich ebenfalls den Größenbereichen entgegen, die bei den entsprechenden unbehandelten Belägen gefunden werden. Die Messdaten der Gummigleiter zeigen keine solche Annäherungstendenz. Sie verlaufen - auf niedrigerem Niveau - qualitativ ähnlich wie die der unbehandelten Muster.

Die mit einer Ausnahme (Messreihe mit Gummigleitern auf beschichtetem Linoleum) gefundenen aufsteigenden Tendenzen von Gleitreibungskoeffizienten sind mit denen der unbehandelten Bodenbeläge vergleichbar, vgl. Tabelle 4.2. Bei der Abnutzung der Oberflächen scheinen Abrieb und Verkratzungen im Vordergrund zu stehen.

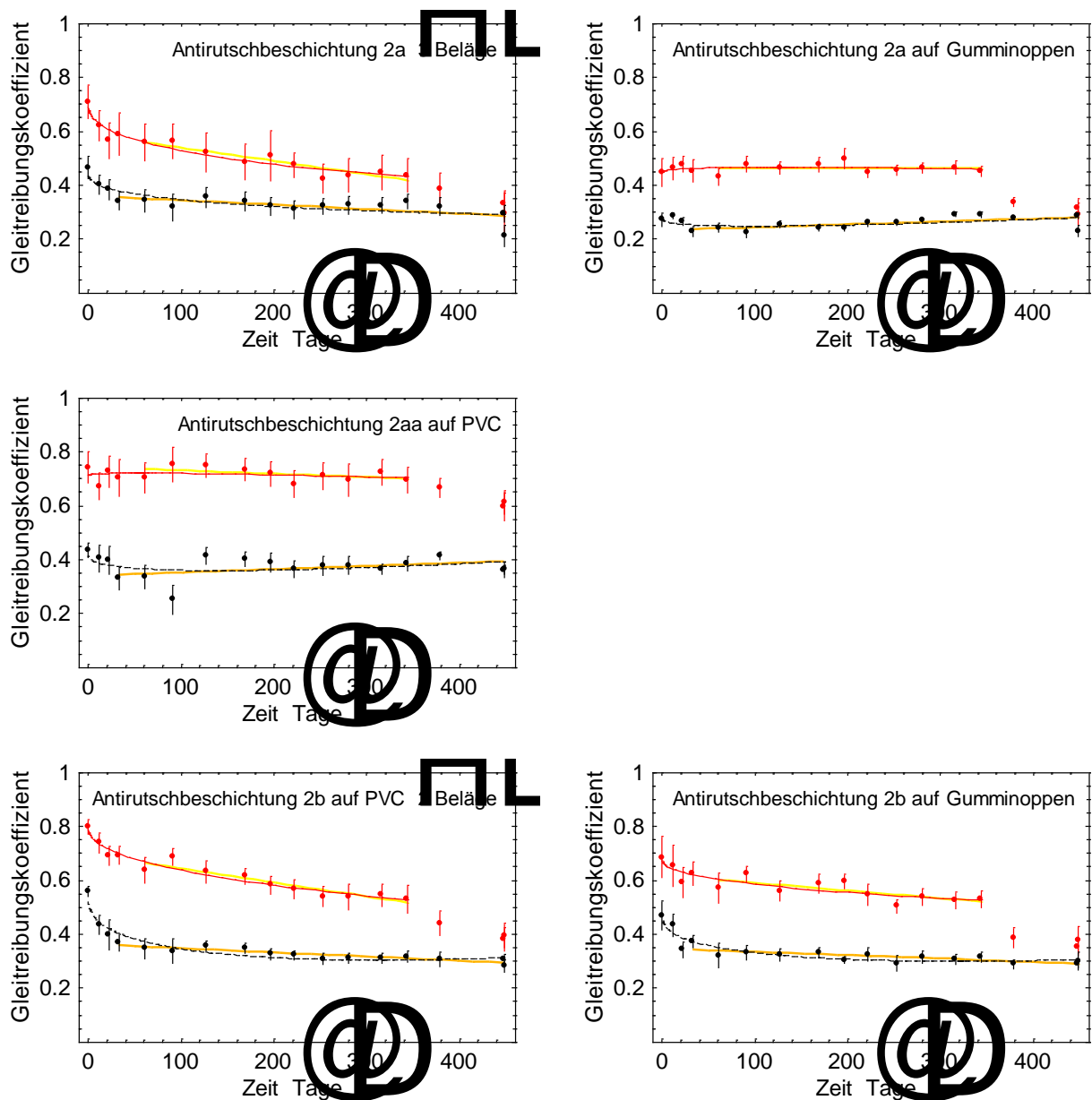
Die gründliche Reinigung der Muster vor der Messreihe 10 führte bei Schutzbehandlungen im Schnitt zu einem Anstieg von  $+0.066 \pm 0.096$  in den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten (siehe die Messpunkte für 220 Tage in Abbildung 4.3). Bei der Schutzbehandlung auf PVC ist für den Gummigleiter ein extremer Anstieg von rund 0.27 zu beobachten. Ähnlich wie im Fall der unbehandelten Belagmuster verschwindet der Einfluss der gründlichen Reinigung auch für Schutzbehandlungen von einer zur nächsten Messreihe wieder.



#### 4.2.4 Antirutschbeschichtungen

Die Antirutschbeschichtung des Typs 2a für Novilon, PVC und Linoleum zu vergleichbaren Resultaten (siehe Abbildung C.5 im Anhang C), so dass die entsprechenden Messdaten zusammengefasst werden können, siehe Abbildung 4.4, oben links. Durch die raue Beschichtung wird die Gleitfestigkeit gegenüber den unbehandelten Bodenbelägen zunächst signifikant erhöht, doch während des Gebrauchs nehmen die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten dann kontinuierlich ab. Besonders gross ist der Effekt für den Gummigleiter, bei dem die Gleitreibungskoeffizienten in den ersten 60 Tagen von 0.69 auf 0.56 und in den folgenden 305 Tagen weiter auf 0.43 abfallen (Werte aus Tabelle 4.2).

Auf dem Gumminoppenbelag hatte die Antirutschbehandlung 2a (experimentelles Muster) nicht dieselben Auswirkungen wie bei den anderen drei Belägen. Die Messwerte beider Gleiter verlaufen flach und entsprechen weitgehend denen des unbehandelten Gumminoppenbelags, siehe Abbildung 4.4, oben rechts.



**Abbildung 4.4:** Zeitliche Entwicklung und Anpassung der auf Antirutschbeschichtungen gemessenen Gleitreibungskoeffizienten. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für Gummigleiter sind rot, diejenigen für Kunststoffgleiter schwarz dargestellt. Bei den Fits mit gekrümmten Funktionen wurden für Gummigleiter nur die ersten 14 Messreihen berücksichtigt. Die mit demselben Gleiterexemplar erhaltenen Messdaten wurden jeweils zusätzlich durch lineare Funktionen angepasst (gelbe und orange Linien).

Die Antirutschbehandlung 2aa mit erhöhter Menge Strukturpulver führt auf dem PVC-Belag zu einem vergleichbaren Ausgangszustand wie die Beschichtung 2a. Die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten fallen dann aber nicht ab, sondern bleiben auf relativ hohem Niveau stabil, siehe Abbildung 4.4, in der Mitte. Der grössere Anteil Strukturpulver scheint also die Antirutschbeschichtung dauerhafter zu machen.

Für die auf zwei PVC-Mustern untersuchte Antirutschbeschichtung 2b ergibt sich bei etwas höheren Gleitreibungskoeffizienten ein ähnliches Bild wie bei der Behandlung 2a, siehe Abbildung 4.4, unten links. Für beide Gleiter sind die abfallenden Tendenzen markant. Auch wenn die Beschichtung 2b auf dem Gumminoppenbelag appliziert wird (experimentelles Muster), ergeben sich abfallende Tendenzen in den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten, siehe Abbildung 4.4, unten rechts.

Die auf mehreren Belagmustern untersuchten Antirutschbeschichtungen 2a und 2b nutzen sich in den ersten zwei Monaten des Gebrauchs am stärksten ab. Die Abnutzung, durch welche die Oberflächenrauheiten glatt geschliffen und abgetragen werden dürften, setzt sich danach aber kontinuierlich fort, und die Gleitfestigkeit nähert sich mehr und mehr dem für die unbehandelten Bodenbeläge vorgefundenen Grössenbereich an. Nach einem Jahr liegen die Durchschnittswerte des Gummigleiters auf 2a und 2b noch bei 0.43 bzw. 0.52 und diejenigen des Kunststoffgleiters noch bei 0.30 bzw. 0.31 (vgl. Werte in der dritten Datenspalte von Tabelle 4.2). Bei den abgenutzten unbehandelten Bodenbelägen Novilon, PVC und Linoleum liegen die Werte am Ende zum Teil höher, nämlich zwischen 0.32 und 0.49 (Gummigleiter) bzw. zwischen 0.31 und 0.43 (Kunststoffgleiter).

Sämtliche SLIP-STOP-behandelten Muster erfuhren unmittelbar vor den Messreihen 10 und 17 eine ausserordentliche Reinigung (vgl. Kapitel 3.3.2). Diese Reinigungen setzen die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten im Schnitt um  $-0.021 \pm 0.032$  herab, wirken sich also eher negativ aus.

#### 4.2.5 Antirutsch-Anstriche

Die beiden Antirutsch-Anstriche 3a und 3b liefern sehr raue Oberflächen, deren Reibungseigenschaften kaum mehr von den darunter liegenden Bodenbelägen abhängen (vgl. Abbildung C.6 im Anhang C). Es ist daher möglich, die auf den verschiedenen Belagmustern erhaltenen Resultate zusammenzufassen, siehe Abbildung 4.5, oben.

Für beide Anstriche liegen die mittleren Gleitreibungskoeffizienten auf sehr hohem Niveau. In den ersten zwei Versuchsreihen überschritten die Messwerte teilweise sogar den Messbereich. Danach zeigen sich für Gummigleiter leicht abfallende Tendenzen und für Kunststoffgleiter relativ stabile Gleitreibungskoeffizienten (im Fall von 3b ein leicht ansteigender Verlauf).

Offensichtlich erfahren die untersuchten Antirutsch-Anstriche zu Beginn des Gebrauchs die stärkste Abnutzung. Durch fortschreitende mechanische Beanspruchung scheinen die Oberflächen in der Folge aber nicht glatter und glatter geschliffen zu werden, sondern eine bestimmte Rauigkeit zu bewahren.

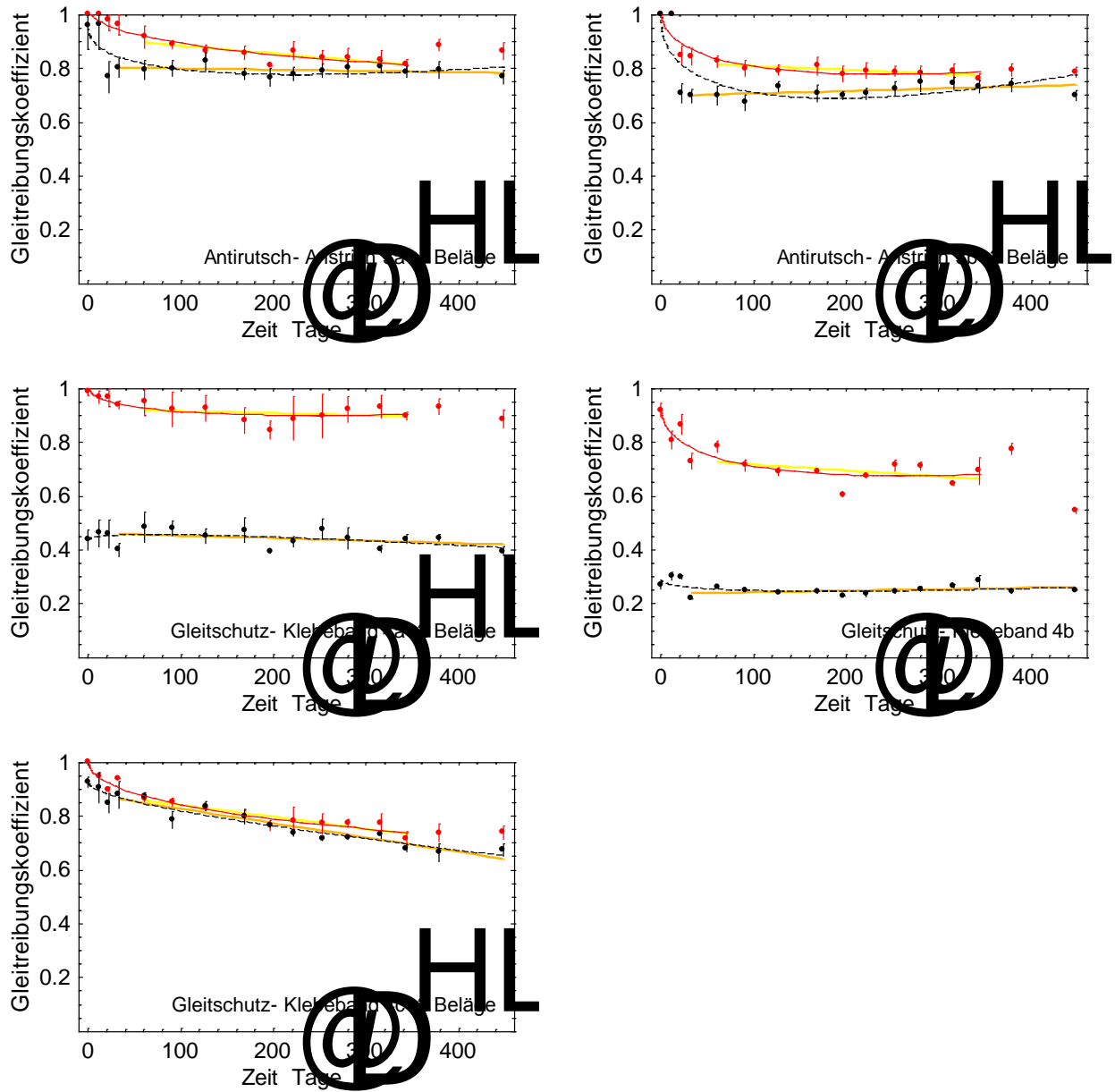
Die durchgeführten speziellen Reinigungen (vgl. Kapitel 3.3.2) beeinflussten die für Antirutsch-Anstriche gemessenen Gleitreibungskoeffizienten kaum ( $+0.005 \pm 0.018$ ).

#### 4.2.6 Gleitschutzklebebänder

Die gemessenen Resultate sind von Klebeband zu Klebeband verschieden und unterscheiden sich im Fall der Bänder 4a und 4b auch für die beiden Gleitermaterialien sehr stark, siehe Abbildung 4.5, Grafiken in der Mitte und unten. Beim Gleitschutzklebeband 4b liegen die Mittelwerte für Gummigleiter über 0.6, während sie für den Kunststoffgleiter kaum den Wert 0.3 erreichen. Auch auf dem Klebeband 4a werden mit Gummigleitern etwa doppelt so hohe Werte gefunden wie mit Kunststoffgleitern.

Die deutlichsten Abnutzungserscheinungen treten für das Band 4c auf, doch sind auch bei den anderen beiden Klebebändern überwiegend abfallende Tendenzen in den gemittelten Gleitreibungskoeffizienten zu erkennen. Die einzige Ausnahme bilden die für 4b gefundenen Resultate des in den Messreihen 4 bis 16 verwendeten Kunststoffgleiters, die leicht anzusteigen scheinen.

Die vor der Messreihe 10 durchgeführte gründliche Reinigung (vgl. Kapitel 3.3.2) erhöhte im Fall der Gleitschutzklebebänder die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten durchschnittlich um  $+0.021 \pm 0.039$ .



**Abbildung 4.5:** Zeitliche Entwicklung und Anpassung der auf Antirutsch-Anstrichen und Gleitschutzklebebändern gemessenen Gleitreibungskoeffizienten. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für Gummigleiter sind rot, diejenigen für Kunststoffgleiter schwarz dargestellt. Bei den Fits mit gekrümmten Funktionen wurden für Gummigleiter nur die ersten 14 Messreihen berücksichtigt. Die mit demselben Gleiterexemplar erhaltenen Messdaten wurden jeweils zusätzlich durch lineare Funktionen angepasst (gelbe und orange Linien).

### 4.3 Abnutzungseffekte bei den verschiedenen Produkten

Alles in allem ergeben sich bei den zehn untersuchten glatten Oberflächen (zwei Referenzbeläge, vier unbehandelte Beläge und vier schutzbehandelte Beläge) 15 durchgehend aufsteigende und eine klar absteigende Tendenz in den gemittelten Gleitreibungskoeffizienten. Auf den zehn rauen Oberflächen (fünf Antirutschbeschichtungen, zwei Antirutsch-Anstriche und drei Gleitschutzklebebänder) verhält es sich gerade umgekehrt: in 15 Fällen werden kontinuierlich abfallende und in einem Fall eine durchgehend aufsteigende Tendenz beobachtet, vgl. die hinterste Spalte in Tabelle 4.2.

Für glatte und raue Muster werden je vier Beispiele gefunden, in denen die gemittelten Gleitreibungskoeffizienten nicht über alle Messreihen hinweg auf- oder abwärts tendieren. Bei vier Messreihen auf rauen Oberflächen - alle mit Kunststoffgleitern durchgeführt - fallen die Gleitreibungskoeffizienten zunächst ab, steigen aber im weiteren Verlauf wieder an. Neben zwei solchen werden auf glatten Oberflächen auch zwei umgekehrte Beispiele gefunden. Alle diese Fälle deuten darauf hin, dass bei der Abnutzung der Oberflächen unterschiedliche Mechanismen wirksam sind.

**Tabelle 4.1:** Abnutzungseffekte und Einflüsse, welche die Oberflächen und die Gleitfestigkeit der untersuchten Muster verändern können.

Einflussfaktoren	Mechanismen
Materialalterung	Alterung der Kunststoffe unter den herrschenden Umgebungsbedingungen
Mechanische Beanspruchung	Aufrauung der Oberfläche: Verkratzung und Abrieb glatter Oberflächen; Aufbrechen poröser Schichten
	Glattschleifen der Oberfläche: Abrieb und Glattschliff von Rauigkeitsspitzen und Oberflächenstrukturen
	Veränderung der Oberfläche durch Druckbelastungen (z.B. Eindringen härterer Körner in eine weichere Unterlage oder Rissbildung in einer Beschichtung bei starken lokalen Belastungen)
Transport von Substanzen und Partikeln	Abtragen von ursprünglich an der Belagoberfläche vorhandenen Substanzen (Produktionsrückstände)
	Auflagerung von Verschmutzungen: Abrieb von Schuhsohlen, Belägen und Antirutschprodukten, Strassenschmutz, Hausstaub, verschüttete Flüssigkeiten
	Auswirkungen von Pflegebehandlungen: Beseitigung von Verschmutzungen, Bildung von Pflegemittelrückständen

Tabelle 4.1 zeigt eine Aufstellung der Faktoren, die zur Abnutzung und Veränderung der untersuchten Oberflächen beitragen. Verglichen mit den mechanischen Beanspruchungen und dem Transport von Substanzen und Partikeln dürften Materialalterungen eine untergeordnete Rolle spielen.

Die bei den Gleitreibungskoeffizienten beobachteten Tendenzen stützen die Annahme, dass für glatte Beläge in der Regel die Aufrauung der Oberflächen, für raue Beläge der Abrieb von Rauigkeitsspitzen die wichtigsten Abnutzungsmechanismen darstellen (vgl. Kapitel 4.2). Aufgelagerte Substanzen und Partikel können sich wahrscheinlich auf den raueren Oberflächen besser ansammeln als auf den glatteren Belägen, wo sich Verschmutzungen durch Reinigung leichter entfernen lassen. Die Tatsache, dass ausserordentliche Pflegebehandlungen bei glatten Belägen den grössten Einfluss auf die Gleitfestigkeit besitzen (vgl. Kapitel 4.2), deckt sich mit dieser Vermutung. Druckbelastungen könnten sowohl bei glatten Beschichtungen als auch bei solchen mit Einstreuungen zu Oberflächenveränderungen führen. Das Abtragen von Produktionsrückständen betrifft allenfalls die neuen Bodenbelagmuster. Auf die Oberflächenveränderungen der einzelnen Muster und Produkte wird in Kapitel 5.2 im Zusammenhang mit den elektronenmikroskopischen Analysen zurückgekommen.

In der Tabelle 4.2 sind verschiedene numerische Resultate zu den in den Abbildungen 4.2 bis 4.5 dargestellten Anpassungen der Messdaten zusammengefasst. Aus den angepassten Funktionen können Abnutzungseffekte für die unterschiedlichen Antirutschbehandlungen bzw. -produkte abgelesen werden, indem Gleitreibungskoeffizienten verglichen werden, die zu bestimmten Zeitpunkten gemessen wurden. Die Spalten 2 bis 6 in Tabelle 4.2 beziehen sich auf die Anpassungen durch gekrümmte Funktionen, die Spalten 7 bis 11 auf lineare Fits. Neben den anfänglichen Gleitreibungskoeffizienten  $\mu_0$  und den Werten nach 60 bzw. 365 Tagen ( $\mu_{60}$ ,  $\mu_{365}$ ) sind Differenzen zwischen diesen Werten tabelliert. Die Differenzen  $\Delta\mu_{365}$  bzw.  $\Delta\mu_{305}$  entsprechen der innerhalb eines Jahres bzw. der zwischen dem 60. und dem 365. Tag beobachteten Veränderung im Gleitreibungskoeffizienten. Im Zeitraum zwischen dem 60. und 365. Tag wurden weder der Gummi- noch der Kunststoffgleiter ausgetauscht.

In diesen Differenzen spiegeln sich die Abnutzungseffekte bei den untersuchten Oberflächen wider, möglicherweise aber auch systematische Effekte, die durch das Messverfahren bedingt sind (z.B. Veränderung der Gleiter durch Abrieb und Materialalterung). Untersuchungen zur Messgenauigkeit des Geräts FSC 2000 [5] deuten bis jetzt darauf hin, dass bei zunehmendem Abrieb eines Gleiters eher mit abfallenden Gleitreibungskoeffizienten zu rechnen ist. Unter diesem Gesichtspunkt würden insbesondere die aufsteigenden Tendenzen, die für bestimmte Muster gefunden wurden, auf markante Oberflächenveränderungen schliessen lassen.

Auf der anderen Seite stehen die auf dem PVC-Referenzbelag sowie auf dem EMPA-Linoleumbelag gefundenen aufsteigenden Tendenzen in den Gleitreibungskoeffizienten (vgl. Kapitel 4.2.1) im Widerspruch zu den bisherigen Untersuchungsergebnissen zur Messgenauigkeit des Geräts FSC 2000. Würden sämtliche, im Zusammenhang mit Antirutschbehandlungen erhaltenen Messwerte einen systematischen Anstieg enthalten, müsste in erster Linie bei den vorgefundenen abfallenden Tendenzen auf signifikante Abnutzungseffekte geschlossen werden.

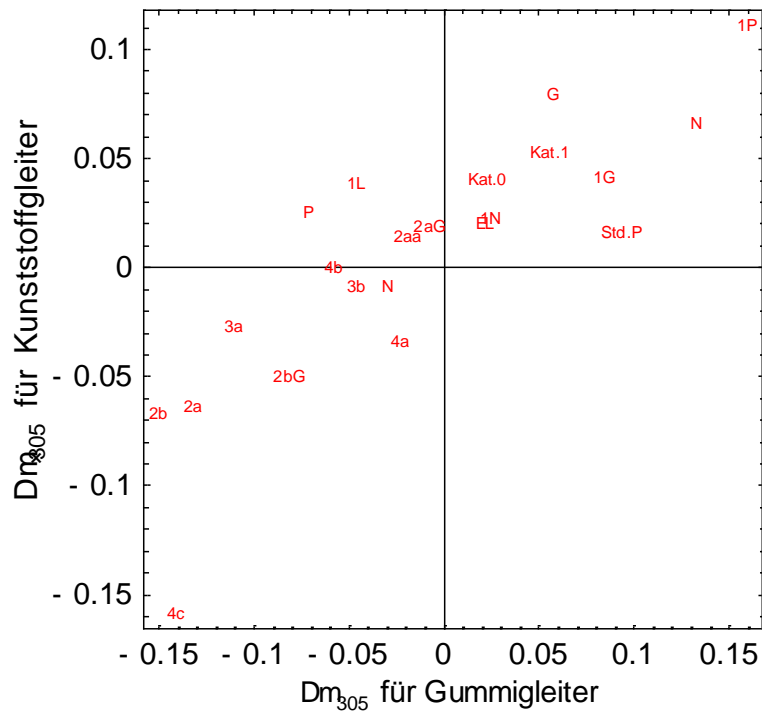
Da zu den messtechnisch bedingten Einflüssen beim Gerät FSC 2000 noch keine definitiven Resultate vorliegen, ist die Frage offen, wie Tendenzen in Zeitreihen gemessener Gleitreibungskoeffizienten allgemein zu beurteilen sind. Um die Signifikanz der für die Antirutschprodukte gefundenen Tendenzen immerhin im Vergleich untereinander beurteilen zu können, wurden in den letzten beiden Spalten von Tabelle 4.2 die Standardfehler und 95%-Vertrauensbereiche von  $\Delta\mu_{305}$  aufgelistet (für die linear angepassten Abschnitte der Daten). Es fällt sofort auf, dass die Standardfehler und Vertrauensbereiche für den Kunststoffgleiter bedeutend kleiner als für den Gummigleiter ausfallen, d.h. die Messungen mit dem Kunststoffgleiter erlauben in der Regel die verlässlicheren Schlussfolgerungen (vgl. z.B. die Daten der beiden Gleiter für EMPA-Linoleum). Im Rahmen des Standardfehlers erscheint für den Kunststoffgleiter nur eine der vorgefundenen Tendenzen nicht signifikant (Linoleum), während dies für den Gummigleiter bei vier Tendenzen der Fall ist (EMPA-Linoleum, Schutzbehandlung auf Novilon, Antirutschbeschichtung 2a auf Gumminoppenbelag und Gleitschutzklebeband 4a).

Allgemein sollten die zeitlichen Entwicklungen bei der Gleitfestigkeit verschiedener Antirutschprodukte im Vergleich zu den Referenzmessungen und in Relation zu den zufälligen Streuungen der Messwerte interpretiert werden. Auf letztere wird in Kapitel 4.4 im Detail eingegangen. Als wichtiges Resultat ergibt sich dabei, dass die Häufigkeitsverteilung, nach der gemittelte Gleitreibungskoeffizienten um ihre Ausgleichsfunktion gestreut liegen, ungefähr einer Normalverteilung mit der Standardabweichung 0.025 entspricht. Die meisten der in Tabelle 4.2 aufgeführten Differenzen  $\Delta\mu_{305}$  und  $\Delta\mu_{365}$  übersteigen diesen Wert und heben sich damit von den zufälligen Einflüssen auf die Messdaten ab.

**Tabelle 4.2:** Veränderungen in den mit Gummi- bzw. Kunststoffgleitern gemessenen Gleitreibungskoeffizienten, die sich mittels Anpassung der Messwerte durch gekrümmte und lineare Funktionen feststellen lassen. Angegeben sind die ausgeglichenen Gleitreibungskoeffizienten  $\mu$  für 0, 60 und 365 Tage sowie verschiedene Differenzen zwischen diesen Werten (z.B.  $\Delta\mu_{305} = \mu_{365} - \mu_{60}$ ). Abfallende Tendenzen von mindestens 0.02 (auf 2 Nachkommastellen gerundet) sind wie folgt farblich hervorgehoben:  $\mu_{365} < 0.30$ ;  $0.30 \leq \mu_{365} < 0.45$ ;  $0.45 \leq \mu_{365} < 0.60$ ;  $\mu_{365} \geq 0.60$ . Die zwei vorletzten Spalten enthalten die Standardfehler (SE) und die 95%-Vertrauensbereiche von  $\Delta\mu_{305}$  (lin. Modell). Die letzte Spalte zeigt symbolisch den zeitlichen Entwicklungsverlauf von  $\mu$ .

Gummigleiter	Fit durch gekrümmte Funktion					Lineare Regression					$\mu(t)$
	$\mu_0$	$\mu_{60}$	$\mu_{365}$	$\Delta\mu_{365}$	$\Delta\mu_{305}$	$\mu_{60}$	$\mu_{365}$	$\Delta\mu_{305}$	SE	95%-Vertrauensbereich	
Standard-PVC	0.476	0.470	0.564	0.088	0.094	0.481	0.552	0.071	0.037	[0.013,0.156]	↑
EMPA-Linoleum	0.283	0.343	0.366	0.083	0.022	0.342	0.378	0.035	0.048	[-0.075,0.146]	↑
Novilon	0.199	0.182	0.315	0.116	0.133	0.200	0.296	0.096	0.039	[0.005,0.187]	↑
PVC	0.475	0.402	0.331	-0.143	-0.071	0.391	0.325	-0.066	0.047	[-0.175,0.043]	↓
Linoleum	0.419	0.520	0.491	0.072	-0.029	0.541	0.502	-0.039	0.024	[-0.094,0.016]	↷
Gumminoppenbelag	0.285	0.441	0.498	0.213	0.058	0.456	0.521	0.065	0.037	[-0.020,0.149]	↑
4 unbehandelte Beläge	0.345	0.386	0.409	0.064	0.023	0.397	0.411	0.014	0.017	[-0.026,0.054]	-
Schutzbeh. / Novilon	0.169	0.229	0.254	0.085	0.025	0.229	0.266	0.037	0.041	[-0.057,0.131]	↑
Schutzbeh. / PVC	0.113	0.200	0.360	0.247	0.160	0.218	0.363	0.145	0.084	[-0.049,0.339]	↑
Schutzbeh. / Linoleum	0.272	0.330	0.284	0.012	-0.046	0.336	0.295	-0.040	0.026	[-0.100,0.019]	↷
Schutzbeh. / Gumminop.	0.204	0.368	0.453	0.248	0.085	0.387	0.474	0.088	0.030	[0.018,0.157]	↑
4 Schutzbehandlungen	0.190	0.282	0.338	0.148	0.056	0.292	0.350	0.057	0.030	[-0.012,0.126]	-
Antirutschb. 2a (3 Bel.)	0.689	0.560	0.428	-0.261	-0.132	0.558	0.407	-0.151	0.022	[-0.201,-0.101]	↓
Antirutschb. 2a /Gumminop.	0.448	0.465	0.458	0.010	-0.007	0.463	0.464	0.001	0.021	[-0.047,0.049]	↑
Antirutschb. 2aa / PVC	0.713	0.721	0.702	-0.011	-0.019	0.734	0.697	-0.038	0.024	[-0.093,0.018]	↓
Antirutschb. 2b (2 Bel.)	0.787	0.670	0.520	-0.267	-0.150	0.663	0.505	-0.158	0.022	[-0.209,-0.106]	↓
Antirutschb. 2b /Gumminop.	0.673	0.604	0.523	-0.150	-0.081	0.600	0.514	-0.086	0.029	[-0.152,-0.020]	↓
Antirutsch-Anstr. 3a (4 Bel.)	1.027	0.920	0.810	-0.217	-0.110	0.895	0.806	-0.088	0.021	[-0.138,-0.039]	↓
Antirutsch-Anstr. 3b (3 Bel.)	1.011	0.837	0.791	-0.220	-0.046	0.813	0.769	-0.044	0.012	[-0.071,-0.017]	↓
Gleitschutzklebeband 4a	1.006	0.927	0.905	-0.101	-0.023	0.918	0.894	-0.024	0.034	[-0.103,0.055]	↓
Gleitschutzklebeband 4b	0.927	0.743	0.685	-0.242	-0.058	0.724	0.658	-0.067	0.048	[-0.178,0.045]	↓
Gleitschutzklebeband 4c	1.002	0.876	0.734	-0.268	-0.141	0.857	0.723	-0.134	0.019	[-0.179,-0.089]	↓
Kunststoffgleiter	$\mu_0$	$\mu_{60}$	$\mu_{365}$	$\Delta\mu_{365}$	$\Delta\mu_{305}$	$\mu_{60}$	$\mu_{365}$	$\Delta\mu_{305}$	SE	95%-Vertrauensbereich	$\mu(t)$
Standard-PVC	0.304	0.228	0.244	-0.061	0.016	0.217	0.241	0.024	0.014	[-0.007,0.054]	↷
EMPA-Linoleum	0.308	0.317	0.336	0.029	0.020	0.304	0.341	0.036	0.020	[-0.007,0.080]	↑
Novilon	0.207	0.273	0.339	0.132	0.066	0.269	0.344	0.076	0.019	[0.035,0.116]	↑
PVC	0.315	0.410	0.434	0.119	0.025	0.412	0.441	0.029	0.027	[-0.030,0.087]	↑
Linoleum	0.278	0.315	0.306	0.028	-0.009	0.301	0.313	0.012	0.017	[-0.025,0.049]	↑
Gumminoppenbelag	0.309	0.219	0.298	-0.011	0.079	0.196	0.296	0.100	0.011	[0.075,0.124]	↷
4 unbehandelte Beläge	0.277	0.304	0.344	0.067	0.040	0.295	0.349	0.054	0.015	[0.020,0.088]	-
Schutzbeh. / Novilon	0.150	0.307	0.329	0.179	0.022	0.312	0.339	0.028	0.025	[-0.027,0.083]	↑
Schutzbeh. / PVC	0.135	0.261	0.371	0.236	0.111	0.258	0.380	0.123	0.027	[0.064,0.181]	↑
Schutzbeh. / Linoleum	0.173	0.262	0.300	0.127	0.038	0.264	0.306	0.042	0.015	[0.010,0.074]	↑
Schutzbeh. / Gumminop.	0.162	0.249	0.290	0.127	0.041	0.245	0.297	0.052	0.021	[0.005,0.098]	↑
4 Schutzbehandlungen	0.155	0.269	0.323	0.167	0.053	0.270	0.331	0.061	0.020	[0.018,0.104]	-
Antirutschb. 2a (3 Bel.)	0.435	0.363	0.298	-0.136	-0.064	0.348	0.299	-0.049	0.017	[-0.087,-0.011]	↓
Antirutschb. 2a /Gumminop.	0.274	0.250	0.269	-0.006	0.019	0.238	0.270	0.032	0.012	[0.006,0.058]	↷
Antirutschb. 2aa / PVC	0.414	0.366	0.379	-0.034	0.014	0.346	0.382	0.036	0.025	[-0.018,0.090]	↷
Antirutschb. 2b (2 Bel.)	0.519	0.373	0.306	-0.214	-0.067	0.353	0.305	-0.048	0.007	[-0.062,-0.034]	↓
Antirutschb. 2b /Gumminop.	0.458	0.351	0.301	-0.157	-0.050	0.338	0.300	-0.038	0.009	[-0.058,-0.018]	↓
Antirutsch-Anstr. 3a (4 Bel.)	0.946	0.817	0.790	-0.156	-0.027	0.800	0.786	-0.014	0.011	[-0.038,0.010]	↓
Antirutsch-Anstr. 3b (3 Bel.)	0.980	0.744	0.735	-0.245	-0.009	0.701	0.729	0.028	0.014	[-0.004,0.059]	↷
Gleitschutzklebeband 4a	0.436	0.458	0.424	-0.013	-0.034	0.455	0.427	-0.029	0.023	[-0.078,0.021]	↓
Gleitschutzklebeband 4b	0.289	0.254	0.254	-0.035	0.000	0.239	0.256	0.017	0.011	[-0.006,0.040]	↷
Gleitschutzklebeband 4c	0.926	0.847	0.688	-0.238	-0.159	0.847	0.684	-0.163	0.018	[-0.203,-0.123]	↓

Bei den meisten untersuchten Mustern zeigen die Messreihen für Gummi- und Kunststoffgleiter bis auf quantitative Unterschiede mehr oder weniger analoge Verläufe. Für den unbehandelten PVC-Belag und eine auf Linoleum aufgebrachte Schutzbehandlung fallen jedoch gegenläufige Tendenzen der beiden Gleitermaterialien auf. Solche qualitativ unterschiedlichen Messresultate können (wie auch quantitative Unterschiede) je nach Materialkombination und Formschluss zwischen den mikroskopischen Oberflächenstrukturen von Gleiter und Belag auftreten. In der Abbildung 4.6 sind die aus der Anpassung der Messdaten erhaltenen Tendenzen  $\Delta\mu_{305}$  für Gummi- und Kunststoffgleiter gegeneinander aufgetragen. Die beiden auffälligen gegenläufigen Tendenzen sind oben links vom Nullpunkt zu sehen, bezeichnet mit P (PVC) bzw. 1L (Produkt 1 auf Linoleum).



**Abbildung 4.6:** Darstellung der in den Messdaten enthaltenen Tendenzen  $\Delta\mu_{305}$  für Gummi- und Kunststoffgleiter (aus der Anpassung durch gekrümmte Funktionen). Für die beiden Gleitermaterialien werden überwiegend analoge Effekte gefunden (siehe Felder rechts oben und links unten, in denen die meisten Punkte verteilt liegen). Die Resultate für den unbehandelten PVC-Belag (Punkt P) und eine auf Linoleum aufgebrachte Schutzbehandlung (Punkt 1L), bei denen auffällige, gegenläufige Tendenzen der beiden Gleitermaterialien festzustellen sind, sind links oberhalb des Nullpunkts zu sehen.

#### 4.4 Zufällige Streuung der gemessenen Gleitreibungskoeffizienten

Die in den Kapiteln 4.2 und 4.3 besprochenen und diskutierten systematischen Veränderungen in den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten sind umso signifikanter, je mehr sie sich von den zufälligen Streuungen abheben, mit denen die Messung von Gleitreibungskoeffizienten verbunden ist. Es ist daher wichtig die Grössenordnung der Messstreuungen zu kennen. Aus deren Untersuchung können sich zudem Anhaltspunkte über die Messunsicherheit und damit aufschlussreiche Informationen über das Messverfahren selbst ergeben. In der Tabelle 4.3 finden sich statistische Angaben zu den Abweichungen einzelner Gleitreibungskoeffizienten vom Mittelwert zusammengehöriger Messungen, d.h. Reibungsmessungen, die mit demselben Gleiter in kurzen Zeitabständen an verschiedenen Stellen und in verschiedene Richtungen auf demselben Belagmuster durchgeführt wurden. Mit Gummigleitern streuen die Einzelresultate stärker, und relativ grosse Abweichungen kommen häufiger vor als mit Kunststoffgleitern. Dies geht auch aus Abbildung 4.7 (oben) hervor. Die Häufigkeitsverteilungen der Abweichungen einzelner Messwerte vom zugehörigen Mittelwert können im inneren Bereich sowohl für Gummi- als auch für Kunststoffgleiter durch eine Normalverteilung mit der Breite  $\sigma = 0.02$  angenähert werden, sind aber bedeutend langschwänziger als diese Normalverteilung. Die Grafik oben rechts in Abbildung 4.7 bezieht sich auf betragsmässige Abweichungen von über 0.05; Gummi- und Kunststoffgleiter zeigen hier deutliche Unterschiede. Die stärkere Streuung der Messwerte für Gummigleiter lässt sich auch anhand der Standardabweichungen zusammengehöriger Einzelmessungen nachvollziehen, siehe mittlere Grafik in Abbildung 4.7 sowie Tabelle 4.3, unterer Teil. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Streuung einzelner, in kurzen Zeitabständen auf demselben Belagmuster gemessener Gleitreibungskoeffizienten, für Kunststoffgleiter typischerweise zwischen 0.02 und 0.025 und für Gummigleiter zwischen 0.025 und 0.03 liegt. Diese Streuungen entsprechen den durchschnittlichen Abweichungen der Messwerte von einem Mittelwert (Standardabweichungen) bzw. dem mittleren Fehler von Einzelmessungen und stellen ein Mass für die Unsicherheit einzelner Messwerte dar. Abgesehen von gerätebedingten Faktoren sind die beobachteten Streuungen wahrscheinlich hauptsächlich auf Unterschiede in den Belagoberflächen von Messspur zu Messspur sowie auf Veränderungen der Gleiteroberfläche während jeder einzelnen Messung zurückzuführen.

**Tabelle 4.3:** Statistische Informationen über die Abweichungen von einzelnen, mit dem Gerät FSC 2000 gemessenen Gleitreibungskoeffizienten vom Mittelwert zusammengehöriger Reibungsmessungen (gleicher Gleiter und Belag, aber verschiedene Messspuren und -richtungen). Insgesamt 8701 Einzelmessungen, die in den Messbereich von 0 bis 1 fielen, wurden im oberen Teil der Tabelle berücksichtigt. Im unteren Teil der Tabelle wurden die Standardabweichungen zusammengehöriger Messwerte statistisch ausgewertet.

	Kunststoffgleiter	Gummigleiter
Ausgewertete Einzelmesswerte	4402	4299
Std.abw. aller Abweichungen	0.026	0.034
Minimale Abweichung	-0.123	-0.178
Maximale Abweichung	0.131	0.305
Abweichungen mit Betrag $\geq 0.05$	272 (6.2%)	438 (10.2%)
Ausgewertete Std.abw. zusammengehöriger Messungen	506	495
Median	0.021	0.024
Mittelwert und Std.abw.	$0.023 \pm 0.013$	$0.028 \pm 0.017$

Zur Charakterisierung der Gleitfestigkeit eines bestimmten Belagmusters wurden pro Versuchsreihe jeweils bis zu zwölf Gleitreibungskoeffizienten gemessen und gemittelt. Der mittlere Fehler des aus zwölf Einzelresultaten berechneten Mittelwerts (Standardabweichung des Mittelwerts) ist für beide Arten von Gleitern theoretisch kleiner als 0.01. Würden die Oberflächen der untersuchten Belagmuster und der verwendeten Gleiter im Lauf der Expe-



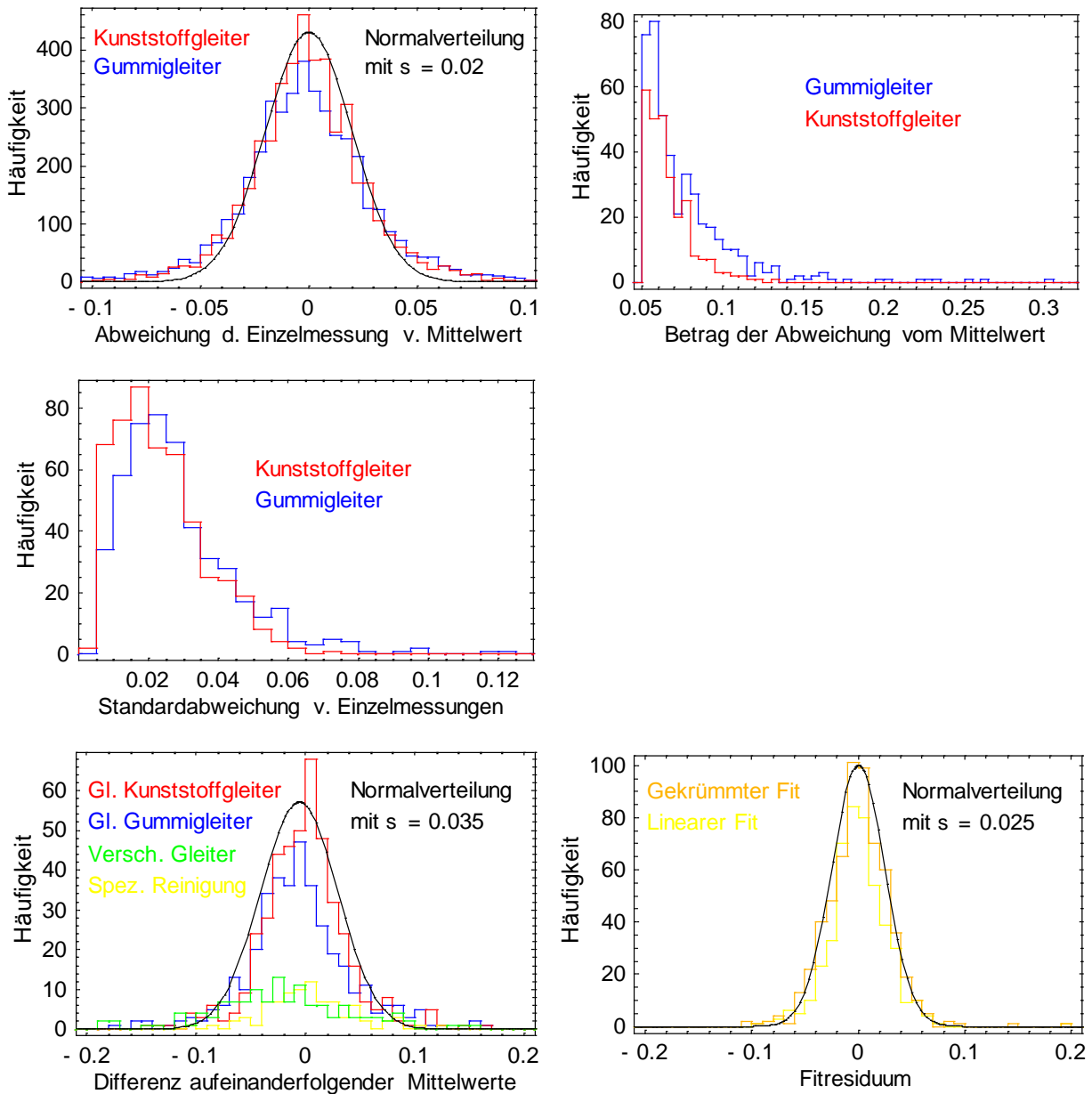
rimente völlig unverändert bleiben, sollten also die gefundenen Mittelwerte ungefähr gemäss einer entsprechenden Normalverteilung gestreut sein. Die Tabelle 4.4 und die Grafik unten links in Abbildung 4.7 zeigen jedoch, dass die Differenzen aufeinander folgender Mittelwerte erheblich stärker streuen. Abgesehen von systematischen Abnutzungseffekten bei den Gleiter- und Belagoberflächen sowie möglichen zufälligen Einflüssen auf den Zustand der Belagmuster (z.B. Verschmutzungen und Reinigungen), dürften in erster Linie zufällige Unterschiede in den Gleiteroberflächen dafür verantwortlich sein. Von Messreihe zu Messreihe auf dem gleichen Belagmuster variieren die Eigenschaften eines Gleiters durch unterschiedliche Präparation. Beim Ersetzen eines abgenutzten durch einen neuen Gleiter wird der Ausgangszustand für eine Messung wohl in noch höherem Ausmass verändert.

Spezielle Pflegebehandlungen verändern die gemittelten Gleitreibungskoeffizienten statistisch gesehen in geringerem Ausmass als Gleiterwechsel (vgl. die gelbe und grüne Kurve in der Grafik unten links von Abbildung 4.7). Gemäss Tabelle 4.4 wird durch gründliche Reinigungen die Gleitfestigkeit der Muster im Schnitt leicht verbessert. Wie in Kapitel 4.2 besprochen, sind die Auswirkungen dieser Pflegebehandlungen jedoch von Bodenbelag zu Bodenbelag sehr verschieden.

Systematische Effekte in den Zeitreihen gemessener Gleitreibungskoeffizienten lassen sich ausblenden, indem statt der Differenzen aufeinander folgender Mittelwerte deren Residuen (Abstände) bezüglich einer Ausgleichsfunktion betrachtet werden, vgl. Kapitel 4.2. Die Grafik unten rechts in Abbildung 4.7 zeigt, dass sich die Häufigkeitsverteilung der Residuen bezüglich einer gekrümmten Ausgleichsfunktion durch eine Normalverteilung mit  $\sigma = 0.025$  annähern lässt. Die Breite dieser Verteilung kann als Mass für die Unsicherheit von gemittelten Gleitreibungskoeffizienten interpretiert werden. Sie übersteigt den auf Grund der Analyse der Einzelmessungen zu erwartenden mittleren Fehler von Mittelwerten ziemlich deutlich.

**Tabelle 4.4:** Statistische Kennzahlen zu den Differenzen aufeinander folgender Mittelwerte von Gleitreibungskoeffizienten und deren Residuen bezüglich verschiedener Ausgleichsfunktionen, vgl. dazu Kapitel 4.2. Für die Untersuchung der Residuen wurden die Messdaten analoger Muster zusammengefasst.

<i>Differenzen zw. aufeinander folgenden gemittelten Gleitreibungskoeffizienten</i>	<b>Anzahl Werte</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Std.abw.</b>	<b>Min.</b>	<b>Med.</b>	<b>Max.</b>
Alle Daten	940	-0.006	0.048	-0.230	-0.005	0.273
Bei gleichem Kunststoffgleiter	442	-0.001	0.039	-0.148	0.000	0.163
Bei gleichem Gummigleiter	369	-0.005	0.050	-0.176	-0.006	0.273
Bei Gleiterwechsel (beide Materialien)	129	-0.023	0.066	-0.230	-0.023	0.156
Bei spezieller Reinigung	86	0.008	0.049	-0.101	0.003	0.273
<i>Residuen bzgl. gekrümmter Fitfunktion</i>						
Beide Gleiter	603	0.000	0.030	-0.110	0.000	0.193
Kunststoffgleiter, gekrümmte Fkt.	324	0.000	0.029	-0.110	0.001	0.149
Gummigleiter, gekrümmte Fkt.	279	0.000	0.030	-0.096	-0.001	0.193
<i>Residuen bzgl. linearer Fitfunktion</i>						
Beide Gleiter	465	0.000	0.027	-0.098	-0.001	0.194
Gleicher Kunststoffgleiter	265	0.000	0.025	-0.098	0.000	0.062
Gleicher Gummigleiter	200	0.000	0.031	-0.089	-0.001	0.194



**Abbildung 4.7:** Häufigkeitsverteilungen zur Streuung gemessener Gleitreibungskoeffizienten und daraus gebildeter Mittelwerte. Oben: Abweichungen zusammengehöriger Einzelmesswerte vom Mittelwert für Gummi- bzw. Kunststoffgleiter. Die rechte Grafik bezieht sich auf Abweichungen, die den Wert 0.05 betragsmässig überschreiten. Von der Langschwanzigkeit der Histogramme und gewissen Unterschieden zwischen Gummi- und Kunststoffgleitern abgesehen, lässt sich der überwiegende Teil der Daten durch eine Normalverteilung annähern, deren Breite als Mass für die typische Unsicherheit einzelner Messwerte interpretiert werden kann. Mitte: Häufigkeitsverteilung der Standardabweichungen zusammengehöriger Einzelmessungen für Gummi- bzw. Kunststoffgleiter. Unten links: Verteilung der Unterschiede zwischen den Mittelwerten aus aufeinander folgenden Messreihen. Die Verteilung für gleiche Kunststoffgleiter ist um null zentriert, während die Verteilung für gleiche Gummigleiter und die Verteilung der Differenzen bei Gleiterwechseln leicht gegen links verschoben sind. Unten rechts: Verteilung der Residuen bei der Anpassung der Mittelwerte durch gekrümmte bzw. lineare Funktionen gemäss Kapitel 4.2 (Messdaten analoger Muster zusammengefasst). Die Breite dieser Verteilung kann als Mass für die Unsicherheit gemittelter Gleitreibungskoeffizienten herangezogen werden. Bei der Anpassung der Mittelwerte (Zeitreihen) durch gekrümmte Funktionen (oranges Histogramm) wurden mehr Daten berücksichtigt als bei der linearen Regression (gelbes Histogramm). Letztere bezog sich jeweils auf Messresultate, die mit demselben Gleiterexemplar erhalten wurden. Die Streuung dieser Residuen fällt deshalb kleiner aus.

## 4.5 Quervergleiche

### 4.5.1 Unbehandelte Beläge, Schutzbehandlungen und Antirutschbeschichtungen

Abbildung 4.8 zeigt eine Gegenüberstellung von Resultaten zur Gleitfestigkeit für unbehandelte, schutzbehandelte und antirutschbeschichtete Bodenbeläge. Auffallend sind die beträchtlichen Unterschiede zwischen den vier untersuchten Belägen.

Während die zuletzt ziemlich flach verlaufenden Gleitreibungskoeffizienten bei Linoleum und beim Gumminoppenbelag darauf hindeuten, dass die Gleitfestigkeit am Ende der Versuche einen mehr oder weniger stationären Zustand erreicht hat, lassen die Resultate für Novilon und PVC eher auf fortschreitende Abnutzungsprozesse schliessen.

#### a) Gumminoppenbelag (siehe Abbildung 4.8, unten rechts)

Die Gleitfestigkeit des Gumminoppenbelags wird weder durch die Schutzbehandlung noch durch die Antirutschbeschichtung 2a nachhaltig beeinflusst. Während die Gleitfestigkeit des antirutschbeschichteten Musters über die ganze Versuchsdauer hinweg praktisch konstant bleibt, treten bei den anderen beiden Mustern in der Anfangsphase markante Veränderungen auf, die in erster Linie mit der Aufrauung der Oberflächen zusammenhängen dürften. Nach rund drei Monaten Benutzung werden mit den beiden Gleitermaterialien auf unterschiedlichen Niveaus jeweils auf allen drei Mustern vergleichbare, relativ stabile Gleitreibungskoeffizienten vorgefunden, d.h. die vorgenommenen Beschichtungen und deren Abnutzung scheinen kaum mehr eine Rolle zu spielen. Die Noppenstruktur des Belags trägt wahrscheinlich wesentlich zur Einheitlichkeit der Messresultate bei.

#### b) Linoleum (siehe Abbildung 4.8, unten links)

Die Gleitreibungskoeffizienten des unbehandelten bzw. antirutschbeschichteten Musters konvergieren von Beginn weg und sind nach ca. einem halben Jahr für keines der beiden Gleitermaterialien mehr voneinander zu unterscheiden, d.h. die Antirutschbeschichtung hat ihre Wirkung völlig verloren. Die Resultate für Gummi- und Kunststoffgleiter bleiben von Anfang bis Schluss signifikant verschieden. Für das schutzbehandelte Muster unterscheiden sich die Gleitreibungskoeffizienten der beiden Gleitermaterialien schon zu Beginn weniger und streben innerhalb von neun Monaten demselben Wert entgegen.

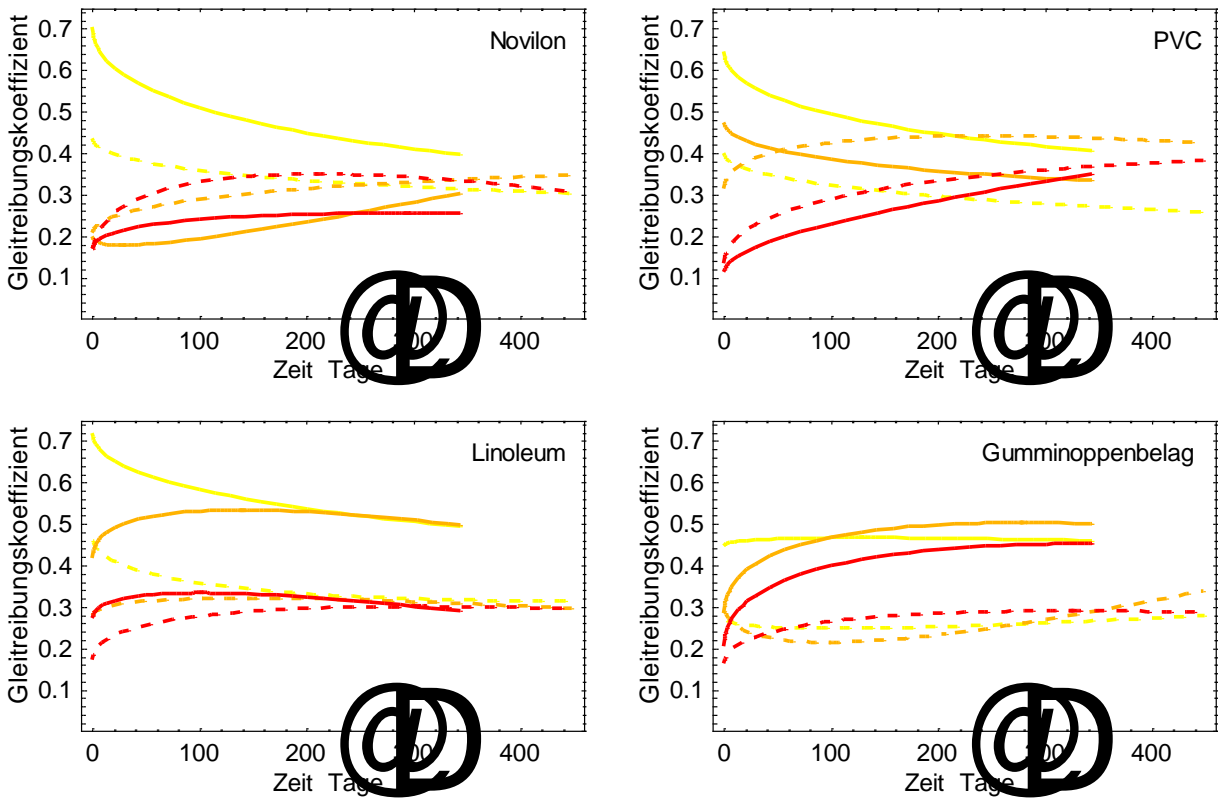
Ähnlich wie im Fall des Gumminoppenbelags scheint bei allen drei Linoleum-Mustern nach einem Jahr Abnutzung ein mehr oder weniger stationärer Zustand erreicht worden zu sein, in dem sich die Gleitfestigkeit nicht mehr drastisch verändert. Das Zusammenlaufen der Messwerte und deren relativ flache Tendenzen am Ende der Versuche sind Indizien dafür.

#### c) Novilon (siehe Abbildung 4.8, oben links)

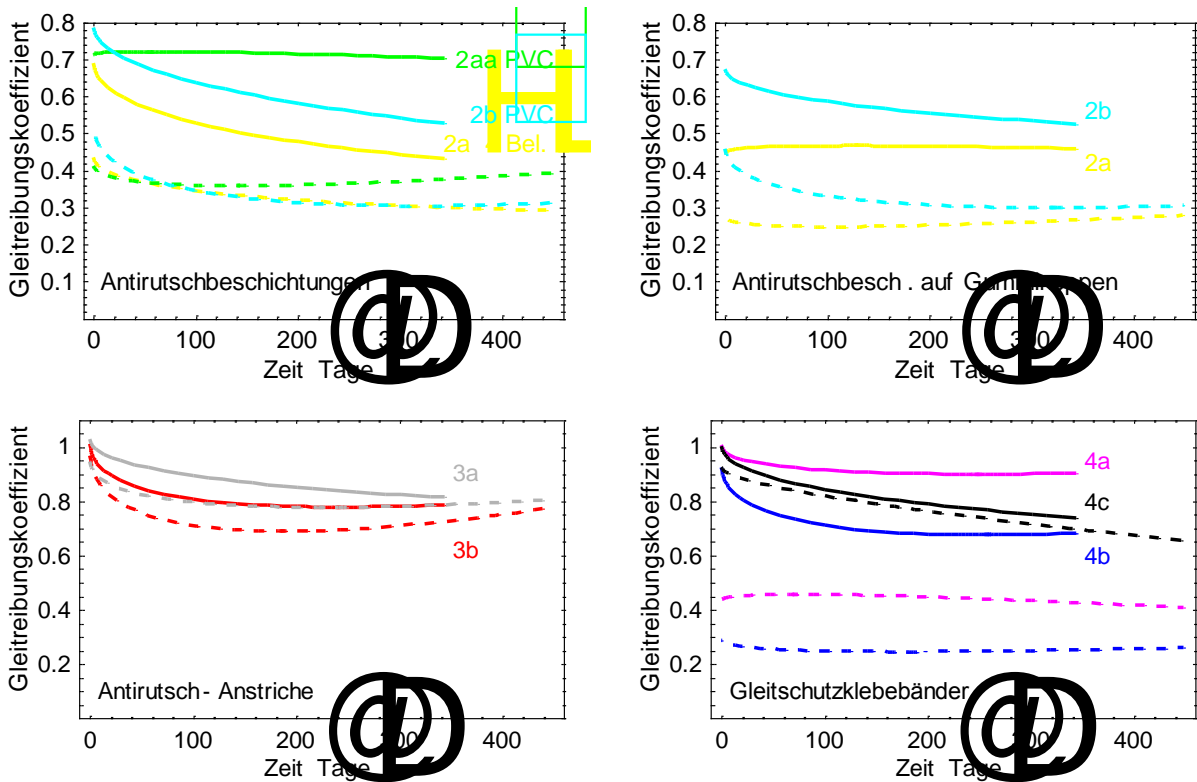
Die Messungen mit Kunststoffgleiter deuten darauf hin, dass die drei unterschiedlichen Muster durch Abnutzungsprozesse nach etwa einem halben Jahr stabile Zustände mit vergleichbarer Gleitfestigkeit erreicht haben. Nicht so die Messungen mit Gummigleiter, die für die Antirutschbeschichtung bis zuletzt eine abfallende Tendenz (Glattschleifen), für das unbehandelte Muster hingegen eine aufsteigende (Aufrauung) erkennen lassen. Einzig für das schutzbehandelte Muster scheint sich nach einem halben Jahr Benutzung bezüglich Gleitfestigkeit ein relativ stabiler Zustand einzustellen.

#### d) PVC (siehe Abbildung 4.8, oben rechts)

Sowohl für das unbehandelte als auch für das schutzbehandelte und antirutschbeschichtete PVC-Muster scheinen die Abnutzungsprozesse nach einem Jahr immer noch in Gang zu sein. Bei der Antirutschbeschichtung dürfte das Glattschleifen der Oberfläche, bei der Schutzbehandlung hingegen die Aufrauung der Oberfläche im Vordergrund stehen, vgl. Tabelle 4.1. Im Fall des unbehandelten PVC-Musters entwickeln sich die Gleitreibungskoeffizienten für den Gummi- bzw. Kunststoffgleiter insgesamt widersprüchlich, verlaufen nach einem Jahr Benutzung aber beide flach bis leicht abfallend. Dies könnte einerseits auf ein anhaltendes Glattschleifen der Oberfläche, andererseits auf Langzeiteffekte von Pflegebehandlungen und Verschmutzungen hinweisen.



**Abbildung 4.8:** Vergleiche zwischen unbehandelten Belägen (orange Kurven), Schutzbehandlungen (rote Kurven) und Antirutschbeschichtungen des Typs 2a (gelbe Kurven) für die Beispiele Novilon, PVC, Linoleum und Gumminoppenbelag. Die durchgezogenen Linien entsprechen den Resultaten für Gummi-, die gestrichelten Linien denjenigen für Kunststoffgleiter. Der besseren Übersichtlichkeit halber wurden die Ausgleichsfunktionen ohne die zugehörigen Messdaten geplottet, vgl. Kapitel 4.2.



**Abbildung 4.9:** Quervergleiche zwischen verschiedenen Antirutschbeschichtungen (oben), Antirutsch-Anstrichen (unten links) und Gleitschutzklebebändern (unten rechts). Die durchgezogenen Linien entsprechen den Resultaten für Gummi-, die gestrichelten Linien denjenigen für Kunststoffgleiter. Die Ausgleichsfunktionen sind ohne zugehörige Messdaten geplottet, vgl. dazu Kapitel 4.2.

#### 4.5.2 Antirutschbeschichtungen, Antirutsch-Anstriche und Gleitschutzklebebänder

Die Resultate zur Gleitfestigkeit von Antirutschbeschichtungen, Antirutsch-Anstrichen und Gleitschutzklebebändern sind in der Abbildung 4.9 dargestellt. Abfallende bis flache Tendenzen in den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten herrschen bei diesen Produkten mit relativ rauen Oberflächen vor, bei denen wahrscheinlich das Glattschleifen von Oberflächenrauheitsspitzen als Abnutzungsmechanismus im Vordergrund steht.

e) Verschiedene Antirutschbeschichtungen (siehe Abbildung 4.9, oben links und rechts)

Die Antirutschbeschichtung 2aa mit erhöhter Menge Strukturpulver scheint am wirksamsten und dauerhaftesten zu sein. Das Produkt 2b scheint - hauptsächlich auf Grund der Resultate mit dem Gummigleiter - insgesamt effektiver als 2a; beide Arten von Antirutschbeschichtungen nutzen sich jedoch kontinuierlich ab, ohne nach einem Jahr eine stationäre Gleitfestigkeit erreicht zu haben. Auf sämtlichen Antirutschbeschichtungen liefern Gummi- bzw. Kunststoffgleiter deutlich unterschiedliche Messresultate.

Auf dem Gummipollenbelag führt die Beschichtung 2b zwar zum besseren Resultat als 2a (beides experimentelle Beschichtungen), zeigt aber viel die markanteren Abnutzungerscheinungen.

f) Antirutsch-Anstriche (siehe Abbildung 4.9, unten links)

Der Anstrich 3a führt im Schnitt zu einer leicht höheren Gleitfestigkeit als 3b. Beide Anstriche nutzen sich zu Beginn der Benutzung am stärksten ab. In der späteren Phase der Versuche scheint die Abnutzung von 3a etwas schneller als bei 3b abzulaufen, so dass sich die für die beiden Produkte gemessenen Gleitreibungskoeffizienten nach einem Jahr mehr und mehr angleichen.

g) Gleitschutzklebebänder (siehe Abbildung 4.9, unten rechts)

Während sich beim Gleitschutzklebeband 4c (mit Mineralkörnern) für Gummi- und Kunststoffgleiter weitgehend übereinstimmende Gleitreibungskoeffizienten ergeben, fallen die Messwerte der beiden Gleiter für die anderen zwei Klebebänder (mit Kunststoffgranulat) völlig unterschiedlich aus. Im Fall des Klebebands 4b liegen die Resultate des Gummigleiters im sicheren Bereich, diejenigen des Kunststoffgleiters aber im unsicheren (vgl. dazu Tabelle 3.1). Die Gleitfestigkeit der Klebebänder 4a und 4b hängt also sehr stark vom Material und/oder der Oberflächenbeschaffenheit des Gleiters ab. In Untersuchungen mit einem Laborgerät wurde dies am Beispiel des Produkts 4b auch für Schuhsohlen bestätigt, siehe Anhang E.

Im Unterschied zum Klebeband 4c, bei dem die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten auch noch nach einem Jahr Benutzung praktisch ungebremst weiter abfallen (ohne dabei den Bereich sehr sicherer Werte zu verlassen), stellen sich bei den Klebebändern 4a und 4b bereits innerhalb eines halben Jahres weitgehend konstante Bedingungen ein.

## 4.6 Beurteilung der verschiedenen Produkte

Aus den Ergebnissen der Datenanalysen lassen sich verschiedene Kriterien zur zusammenfassenden Beurteilung der untersuchten Antirutschprodukte ableiten. Um die Frage nach der Wirksamkeit und der Dauerhaftigkeit der Antirutschbehandlungen möglichst einfach und praxisrelevant zu beantworten, sollten die Produkte am ehesten an den unbehandelten, abgenutzten Bodenbelägen gemessen werden. In der Praxis dürften Antirutschbehandlungen nämlich hauptsächlich auf gebrauchten Bodenbelägen angewendet werden. Bodenbeläge, deren Gleitfestigkeit im Lauf der Abnutzung einen gewissen stationären Zustand erreicht hat, stellen im Zusammenhang mit praxisbezogenen Fragen vermutlich ohnehin die massgeblicheren und verlässlicheren Bezugspunkte dar als neue Beläge.

Tabelle 4.5 fasst die Bewertung der untersuchten Antirutschprodukte zusammen, die grösstenteils auf dem in Tabelle 4.2 ersichtlichen Datenmaterial basiert. Als zusätzliches neues Kriterium zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit wurde jene Zeit  $t_{1/2}$  berechnet, in der ein anfänglich durch eine Behandlung erzielter Effekt (Veränderung des Gleitreibungskoeffizienten) wieder zur Hälfte verschwindet.

**Tabelle 4.5:** Zusammenfassung der Resultate zur Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit der untersuchten Antirutschprodukte im Vergleich zu unbehandelten Bodenbelägen und Schutzbehandlungen. Die Daten in den Spalten 3 bis 5 stammen aus Tabelle 4.2, wobei die farbliche Kennzeichnung einer Bewertung der Gleitreibungskoeffizienten gemäss den Wuppertaler Sicherheitsgrenzwerten entspricht, siehe Tabelle 3.1 ( $\mu < 0.30$ ;  $0.30 \leq \mu < 0.45$ ;  $0.45 \leq \mu < 0.60$ ;  $\mu \geq 0.60$ ). Als Mass für den Effekt einer Behandlung im Neuzustand bzw. im abgenutzten Zustand wurden in den Spalten 6 und 7 die Differenzen  $\mu_0 - \mu_{365/\text{unbehandelt}}$  bzw.  $\mu_{365} - \mu_{365/\text{unbehandelt}}$  tabelliert. Dabei wurde immer auf unbehandelte, abgenutzte Bodenbeläge Bezug genommen. Die Halbwertszeiten  $t_{1/2}$  geben an, in welcher Zeit die Hälfte eines anfänglich mit einem Produkt erzielten Effekts (gegenüber dem entsprechenden unbehandelten, abgenutzten Belag) wieder verloren ist. Die  $t_{1/2}$ -Werte in Klammern beziehen sich auf das Produkt selbst und geben die Zeit an, in der die Hälfte des gesamten, innerhalb eines Jahres anhand der Gleitfestigkeit feststellbaren Abnutzungseffekts stattgefunden hat.

Belag	Gl.	$\mu_0$	$\mu_{365}$	$\Delta\mu_{365}$	Effekt neu	Effekt n. 1 Jahr	$t_{1/2}$ (Tage)	Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit der Produkte
Novilon	G	0.199	0.315	0.116	-0.116	0	(250)	positiver Abnutzungseffekt
	K	0.207	0.339	0.132	-0.132	0	(60)	
PVC	G	0.475	0.331	-0.143	+0.143	0	(59)	Abnutzungseffekt uneinheitlich
	K	0.315	0.434	0.119	-0.119	0	(18)	
Linoleum	G	0.419	0.491	0.072	-0.072	0	(4)	positiver Abnutzungseffekt
	K	0.278	0.306	0.028	-0.028	0	(5)	
Gumminoppenbelag	G	0.285	0.498	0.213	-0.213	0	(23)	positiver Abnutzungseffekt
	K	0.309	0.298	-0.011	+0.011	0	(<1)	
4 unbehandelte Beläge	G	0.345	0.409	0.064	-0.064	0	(31)	in der Regel positive Abnutzungseffekte
	K	0.277	0.344	0.067	-0.067	0	(93)	
Schutzbeh. / Novilon	G	0.169	0.254	0.085	-0.146	-0.061	109 (24)	negative Auswirkung, positiver Abnutzungseffekt
	K	0.150	0.329	0.179	-0.189	-0.010	16 (14)	
Schutzbeh. / PVC	G	0.113	0.360	0.247	-0.218	+0.029	90 (112)	negative Auswirkung, positiver Abnutzungseffekt
	K	0.135	0.371	0.236	-0.299	-0.063	92 (52)	
Schutzbeh. / Linoleum	G	0.272	0.284	0.012	-0.219	-0.207	>365 (<1)	negative Auswirkung, positiver Abnutzungseffekt
	K	0.173	0.300	0.127	-0.133	-0.006	28 (25)	
Schutzbeh. / Gumminop.	G	0.204	0.453	0.248	-0.294	-0.045	45 (30)	negative Auswirkung, positiver Abnutzungseffekt
	K	0.162	0.290	0.127	-0.136	-0.008	32 (28)	
4 Schutzbehandlungen	G	0.190	0.338	0.148	-0.219	-0.071	97 (34)	negative Auswirkungen, positive Abnutzungseffekte
	K	0.155	0.323	0.167	-0.189	-0.021	37 (27)	
Antirutschb. 2a (3 Bel.)	G	0.689	0.428	-0.261	+0.310	+0.049	92 (62)	wirksam, aber nicht dauerhaft
	K	0.435	0.298	-0.136	+0.075	-0.062	14 (53)	
Antirutschb. 2a /Gumminop.	G	0.448	0.458	0.010	-0.050	-0.040	>365 (3)	unwirksam, Auswirkung eher negativ
	K	0.274	0.269	-0.006	-0.024	-0.029	>365 (<1)	
Antirutschb. 2aa / PVC	G	0.713	0.702	-0.011	+0.382	+0.371	>365 (297)	uneinheitlich wirksam, geringer Abnutzungseffekt
	K	0.414	0.379	-0.034	-0.020	-0.055	>365 (4)	
Antirutschb. 2b (2 Bel.)	G	0.787	0.520	-0.267	+0.456	+0.189	254 (79)	wirksam, aber nicht dauerhaft
	K	0.519	0.306	-0.214	+0.085	-0.128	3 (27)	
Antirutschb. 2b /Gumminop.	G	0.673	0.523	-0.150	+0.175	+0.025	101 (72)	wirksam, aber nicht dauerhaft
	K	0.458	0.301	-0.157	+0.160	+0.003	28 (27)	
Antirutsch-Anstr. 3a (4 Bel.)	G	1.027	0.810	-0.217	+0.618	+0.401	>365 (62)	sehr wirksam und dauerhaft
	K	0.946	0.790	-0.156	+0.602	+0.446	>365 (16)	
Antirutsch-Anstr. 3b (3 Bel.)	G	1.011	0.791	-0.220	+0.602	+0.382	>365 (18)	sehr wirksam und dauerhaft
	K	0.980	0.735	-0.245	+0.636	+0.391	>365 (11)	
Gleitschutzklebeband 4a	G	1.006	0.905	-0.101	+0.597	+0.496	>365 (19)	uneinheitlich wirksam, dauerhaft
	K	0.436	0.424	-0.013	+0.092	+0.080	>365 (326)	
Gleitschutzklebeband 4b	G	0.927	0.685	-0.242	+0.518	+0.276	>365 (20)	uneinheitlich wirksam, dauerhaft
	K	0.289	0.254	-0.035	-0.055	-0.090	>365 (9)	
Gleitschutzklebeband 4c	G	1.002	0.734	-0.268	+0.593	+0.325	>365 (68)	sehr wirksam und dauerhaft
	K	0.926	0.688	-0.238	+0.582	+0.344	>365 (121)	

Bei den untersuchten elastischen Bodenbelägen sowie bei den Schutzbehandlungen, die sich auf die Gleitfestigkeit generell negativ auswirken, führen die Abnutzungseffekte in der Regel zu einer Verbesserung der Gleitfestigkeit. Typischerweise verändern sich die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten in den ersten ein bis zwei Monaten genauso stark wie im darauf folgenden Rest eines Jahres. Die negativen Auswirkungen auf die Gleitfestigkeit, welche Schutzbehandlungen im Vergleich zu abgenutzten unbehandelten Bodenbelägen mit sich bringen, halbieren sich in den meisten Fällen innerhalb von ein bis drei Monaten, siehe zweitletzte Spalte in Tabelle 4.5.

Von den eigentlichen Antirutschbehandlungen sind die beiden Antirutsch-Anstriche mit Aluminiumoxideinstreuung die wirksamsten und dauerhaftesten. Auch wenn sie sich zu Beginn rasch und signifikant abnutzen, bleibt ihre Gleitfestigkeit über ein Jahr hinweg auf einem sehr hohen Niveau.

Mit Gleitschutzklebebandern können zwar fast ebenso gute Resultate erzielt werden, doch die Wirksamkeit zweier untersuchter Produkte erscheint völlig unterschiedlich - je nachdem, welches Gleitermaterial für die Reibungsversuche verwendet wird (siehe Klebestreifen 4a und 4b in Tabelle 4.5 und Abbildung 4.9). Eine empfindliche Abhängigkeit der Gleitfestigkeit vom Material oder den Oberflächeneigenschaften von Schuhsohlen wäre in der Praxis natürlich ein grosser Nachteil. Das untersuchte Klebeband mit Mineralkörnung (Gleitschutzklebeband 4c) scheint in dieser Hinsicht weniger kritisch als die Produkte mit einer Kunststoffgranulatschicht.

Die untersuchten Antirutschbeschichtungen erhöhen die Gleitfestigkeit gegenüber unbehandelten Bodenbelägen zwar markant, aber nicht dauerhaft. Bei den Behandlungen 2a (auf Novilon, PVC und Linoleum untersucht) und 2b (zweimal auf PVC untersucht) sind die positiven Auswirkungen auf die Gleitfestigkeit nach ein bis drei Monaten wieder zur Hälfte oder sogar ganz verschwunden. Die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten hängen dabei stark vom verwendeten Gleiter ab, wie auch die Grafiken in den Abbildungen 4.8 und 4.9 sehr deutlich veranschaulichen. Problematisch erscheint insbesondere, dass die mit Kunststoffgleitern auf den Beschichtungen 2a und 2b gefundenen Resultate im Lauf der Versuche teilweise unter die der unbehandelten Beläge abfallen.



## 5 Untersuchung der abgenutzten Oberflächen

### 5.1 Visuelle Beurteilung der Muster

#### 5.1.1 Beurteilung der neu präparierten Muster

Nach der Präparation der Muster konnte das Aussehen der verschiedenen Produkte und Beläge folgendermassen beurteilt werden:

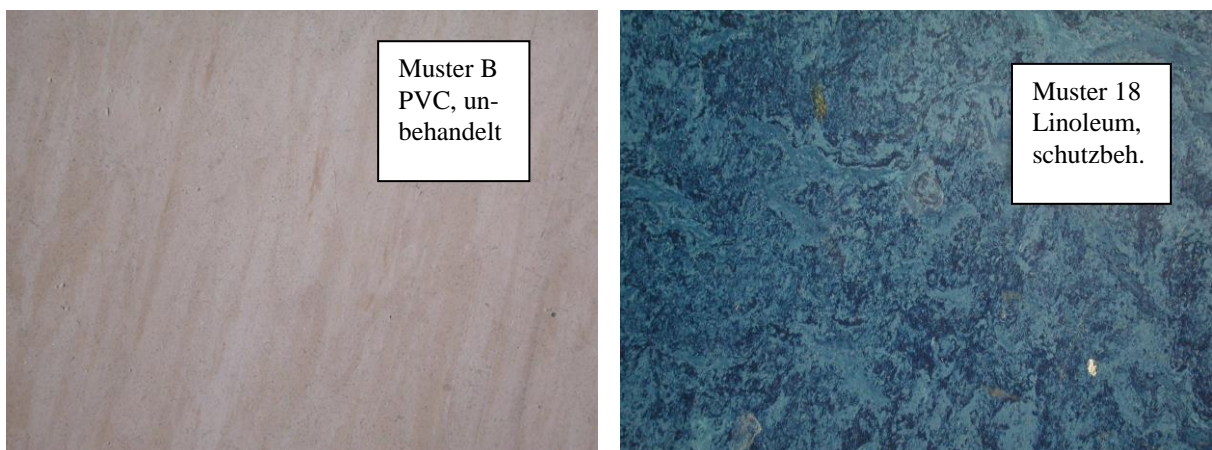
- Die Schutzbehandlung führt zu einer transparenten, glatten Beschichtung. Die resultierenden Oberflächen glänzen und sehen attraktiv aus; der Charakter der behandelten Bodenbeläge scheint noch verstärkt zur Wirkung zu kommen.
- Durch Antirutschbeschichtungen werden die Oberflächen der behandelten Belagmuster merklich rauer und etwas matter. Das Erscheinungsbild bleibt aber ansprechend, da der ursprüngliche Charakter eines behandelten Bodenbelags dank der halbtransparenten Schicht erkennbar bleibt. Vom Aussehen her wären die untersuchten Beispiele von antirutschbeschichteten Bodenbelägen auch für private Wohnbereiche akzeptabel.
- Antirutsch-Anstriche führen zu einer sehr griffigen, rauen Oberfläche. Da die Anstriche vollständig deckend sind, geht der ursprüngliche Charakter eines Bodenbelags verloren. Diese Antirutschbehandlung scheint daher für Wohnbereiche weniger geeignet.
- Gleitschutzklebebänder ergeben je nach Produkt raue bis feinere Oberflächen. Die Anwendung solcher Klebebänder ist deshalb auch in Wohnbereichen durchaus denkbar.

#### 5.1.2 Beurteilung der abgenutzten Muster

Nach den Messungen zur Gleitfestigkeit wurden die Belagmuster ein zweites Mal visuell beurteilt. Eine Aufstellung der dabei gemachten Beobachtungen ist im Anhang D zu finden. Im Folgenden sind die wichtigsten Resultate zusammengefasst.

Bei den drei unbehandelten Bodenbelägen Novilon, Linoleum und Gumminoppenbelag waren nach dem Langzeitversuch ausser Gebrauchsspuren wie Kratzern und Verschmutzungen keine aussergewöhnlichen Beschädigungen oder Oberflächenveränderungen festzustellen. Der unbehandelte PVC-Belag zeigte darüber hinaus eine deutliche Farbveränderung, die wahrscheinlich auf das Eindiffundieren von Schmutz zurückzuführen ist (siehe Abbildung 5.1, links).

Die auf PVC, Linoleum und dem Gumminoppenbelag aufgetragenen Schutzbehandlungen blieben - abgesehen von Gebrauchsspuren (siehe Abbildung 5.1, rechts) - bis zuletzt intakt. Auf Novilon hingegen sind von der Schutzbeschichtung am Ende der Versuche nur noch Reste zu erkennen. Das Ablösen der Beschichtung könnte dadurch begünstigt worden sein, dass sich die auf einem weichen Unterbau (PVC-Schaum) gelagerte Deckschicht des Novilonbelags bei Druckbelastungen relativ leicht deformieren kann.



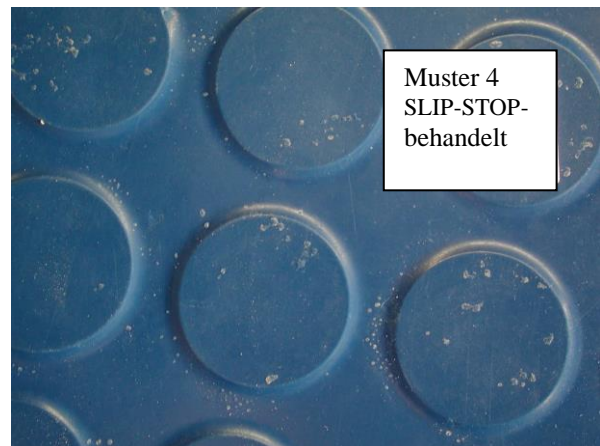
**Abbildung 5.1:** Gebrauchsspuren am Beispiel des unbehandelten PVC-Belags (links) und der Schutzbehandlung auf Linoleum (rechts). Zu sehen sind Kratzer, Flecken und Farbveränderungen.



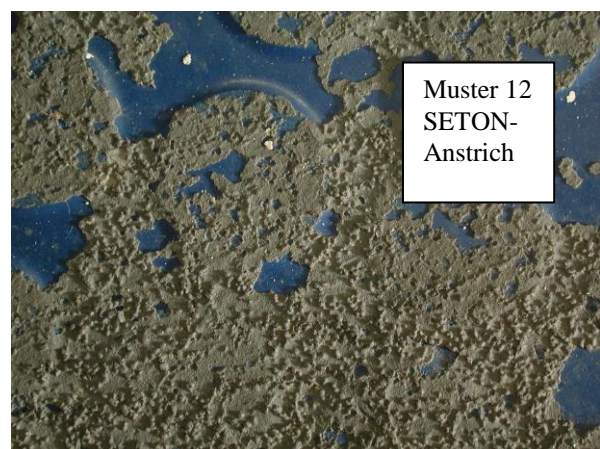
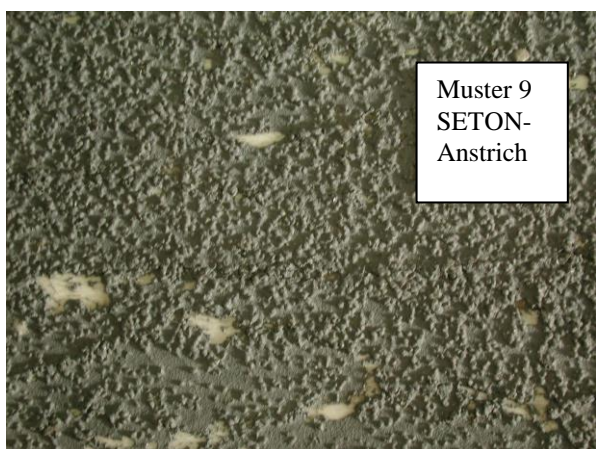
Von den acht untersuchten Antirutschbeschichtungen blieben die auf PVC, Novilon und Linoleum applizierten sechs intakt. Die auf Gumminoppenbelagmustern aufgebrachtene zwei Varianten von Antirutschbeschichtungen lösten sich hingegen in einem Fall teilweise (Muster 8, Variante 2b), im anderen Fall fast vollständig ab (Muster 4, Variante 2a), siehe Abbildung 5.2. Wie in Kapitel 2 erwähnt, handelte es sich hierbei um experimentelle Muster, und das Problem der Haltbarkeit auf Gumminoppenbelägen war für die verwendeten Antirutschbeschichtungen im Voraus bekannt.

Die untersuchten ziegelroten Antirutsch-Anstriche schienen im Gebrauch stärker angeschmutzt zu werden als die grauen. Die Anstriche beider Varianten blieben während der Versuche intakt, sofern sie auf Mustern der Beläge PVC oder Linoleum aufgebracht worden waren. Auf Novilon weisen beide Anstriche nach den Versuchen zahlreiche Beschädigungen auf (Muster 9 und 13), die durch das Einbrechen der relativ harten Deckschicht in das weichere Belagmaterial entstanden sein könnten. Auch die auf dem Gumminoppenbelag aufgetragene Beschichtung (Muster 12 mit grauem Einkomponentenanstrich) wurde stark abgenutzt und beschädigt. Abbildung 5.3 zeigt typische Beschädigungen des grauen Einkomponentenanstrichs (Produkt 3a).

Sämtliche untersuchten Muster von Gleitschutzklebebändern blieben intakt, weisen aber nach den Versuchen deutliche Gebrauchsspuren auf (Abnutzungen und Verschmutzungen). Auch die zwei auf dem Gumminoppenbelag aufgebrachtene Klebebänder blieben über den ganzen Dauerversuch hinweg haften. Während sich das eine Produkt (Comformable) für die Anwendung auf strukturierten Belägen eignet, ist das andere (Resilent) primär für glatte Bodenbeläge gedacht.



**Abbildung 5.2:** Beispiel eines Gumminoppenbelags mit einer Antirutschbeschichtung der Variante 2a. Nach über einjähriger Abnutzung sind nur stellenweise noch Reste der Beschichtung übrig.



**Abbildung 5.3:** Abnutzungen des grauen Antirutsch-Anstrichs (Variante 3a), aufgetragen auf Novilon (links) bzw. auf dem Gumminoppenbelag (rechts).

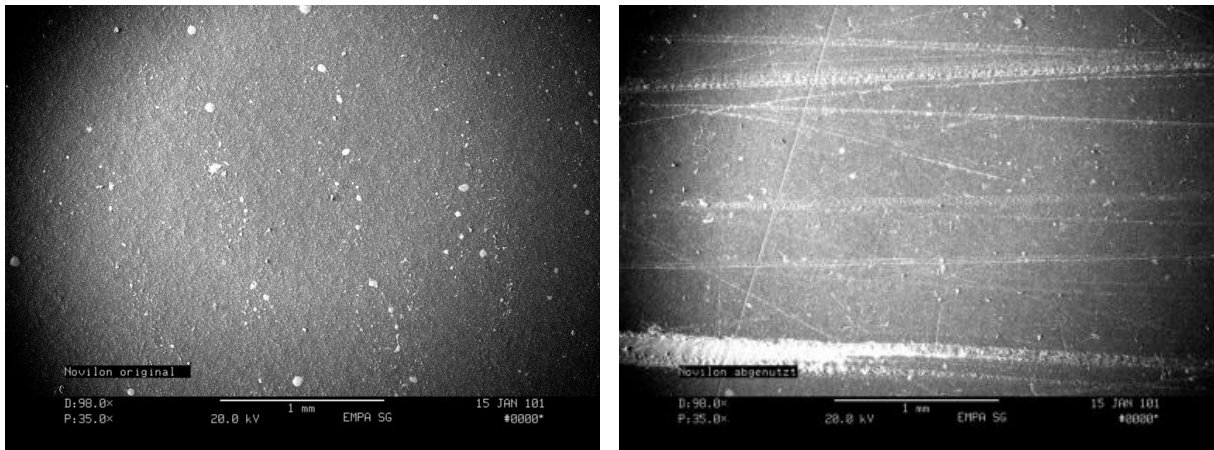
## 5.2 Analysen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM)

Für die Oberflächenanalysen an unbehandelten Bodenbelägen, Gleitschutzklebebändern und Antirutsch-Anstrichen sowie für eine Schutzbehandlung (Beispiel PVC) standen sowohl Originalproben als auch abgenutzte Proben zur Verfügung. Im Fall der Antirutschbeschichtungen lagen für die Untersuchungen nur abgenutzte Muster vor. Die Bedingungen für die REM-Aufnahmen wurden für alle Proben möglichst konstant gehalten; sämtliche gezeigten Bildausschnitte entsprechen ungefähr den Abmessungen 3 mm x 2 mm (ca. 22-fache Vergrößerung).

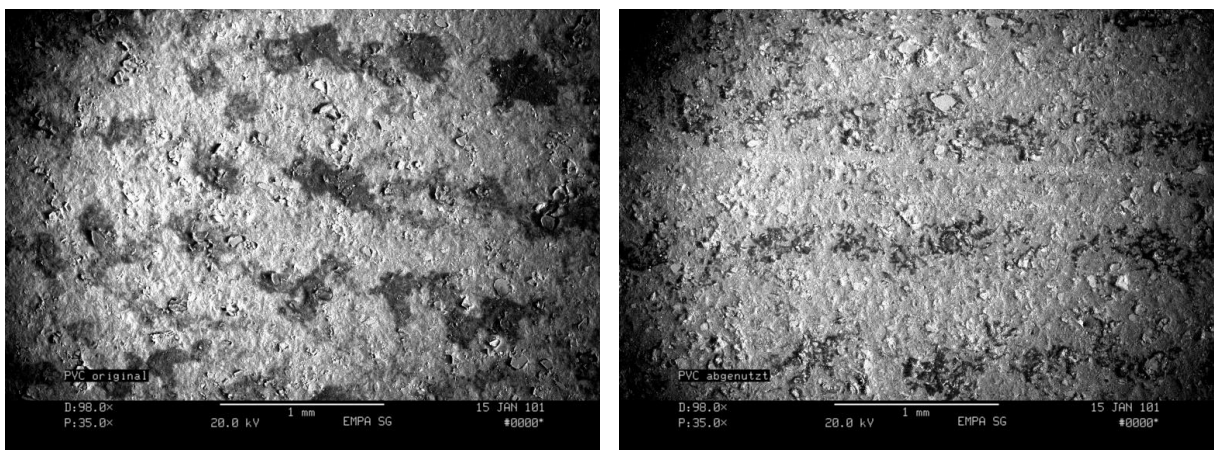
### 5.2.1 Oberflächenveränderungen bei den unbehandelten Bodenbelägen

Durch die ablaufenden Abnutzungsprozesse veränderten sich die Oberflächen der unbehandelten Bodenbeläge teilweise markant, siehe Abbildungen 5.4 bis 5.7.

Im Fall des Novilonbelags steht die Verkratzung und Aufrauung der Oberfläche im Vordergrund (Abbildung 5.4), so dass die in Kapitel 4.2.2 beschriebenen aufsteigenden Tendenzen bei den gemessenen Gleitreibungskoeffizienten völlig plausibel erscheinen.



**Abbildung 5.4:** Unbehandelter Novilon-Belag original (links) und abgenutzt (rechts). Die Oberfläche des Originalbelags erscheint glatt und gleichmässig mit feinen Körnern übersät, bei denen es sich um das Weisspigment  $\text{SiO}_2$  handeln dürfte. Die abgenutzte Oberfläche ist stark zerkratzt, und Schmutzpartikel sind erkennbar.

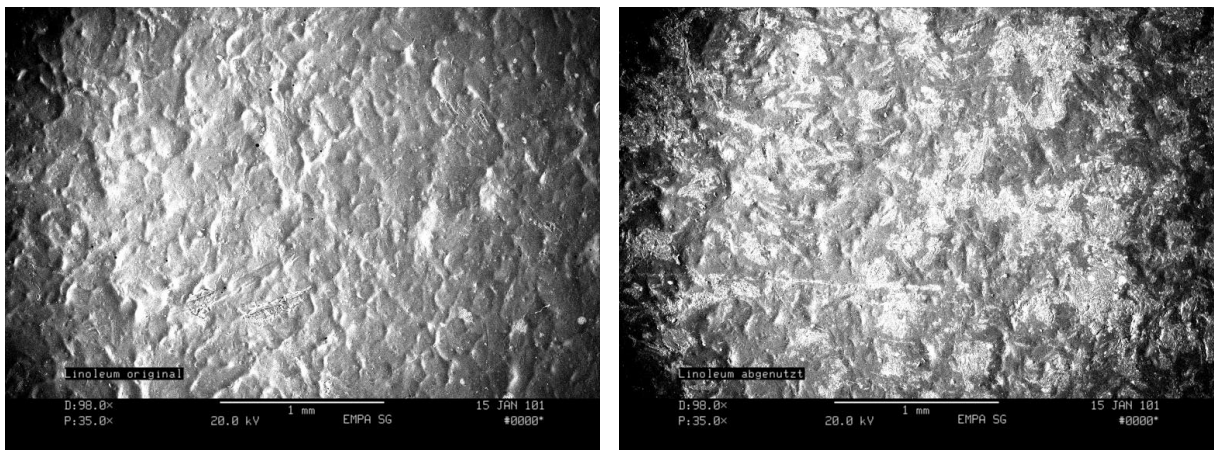


**Abbildung 5.5:** Unbehandelter PVC-Belag original (links) und abgenutzt (rechts). Die Oberfläche des Originalbelags scheint mit Einschlüssen übersät und wirkt stellenweise abgeblättert. Die dunklen Flecken sind ein Hinweis auf Substanzen mit relativ leichten Atomgewichten. Bei der abgenutzten Oberfläche lässt sich neben Kratzspuren ein gewisses Glattschleifen der Oberflächenstrukturen feststellen. Die dunklen Flecken sind teilweise verwischt, d.h. die ursprünglich aufliegenden Stoffe sind zum Teil abgetragen.

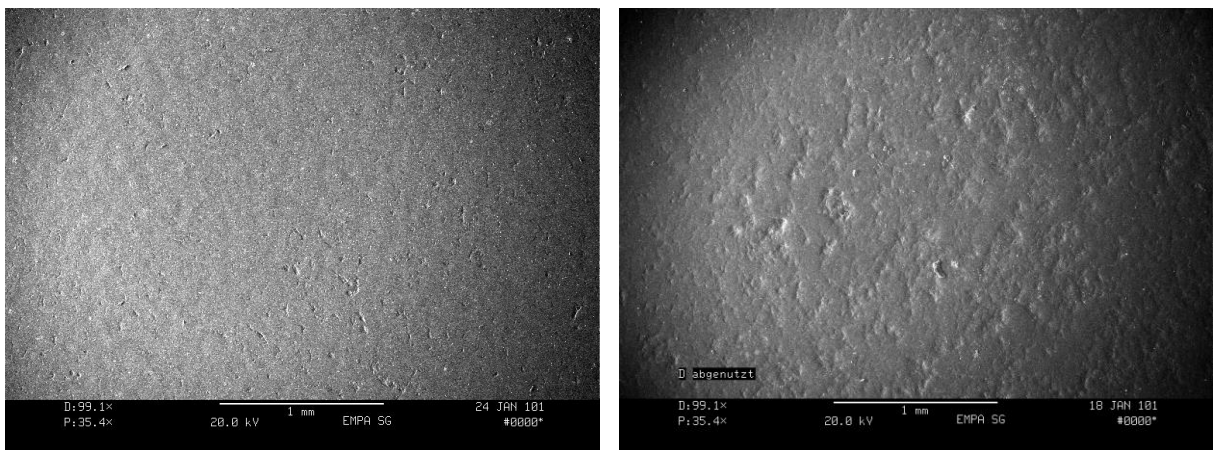
Beim PVC-Belag sind die Abnutzungserscheinungen weniger leicht zu interpretieren (Abbildung 5.5). Trotz deutlichen Abnutzungsspuren wie Kratzern, dem Glattschleifen einzelner Oberflächenrauigkeiten und dem Abtragen ursprünglich aufgelagerter Substanzen bleibt die ursprünglich vorhandene, abblättern wirkende Oberflächenstruktur weitgehend erhalten. Dass sich die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten für die zwei Gleitmaterialien widersprüchlich entwickeln (vgl. Kapitel 4.2.2), könnte einerseits durch feine Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit der (gleich präparierten) Gleiter mitbedingt sein, die auf mikroskopischer Ebene zu verschiedenartigen Formschlüssen mit der Belagoberfläche führen. Bei identischen Gleiteroberflächen könnten andererseits auch die Materialeigenschaften dafür verantwortlich sein, die das Deformationsverhalten der Rauigkeitsspitzen beim Gleiten über den PVC-Belag und damit den Reibungskoeffizienten mitbestimmen.

Die Oberflächenstrukturen des Linoleum-Belags scheinen durch Abnutzung gleichzeitig verkratzt und bis zu einem gewissen Grad glatt geschliffen zu werden (Abbildung 5.6). Bei einer Reduktion des Oberflächenreliefs wären tendenziell abfallende Gleitreibungskoeffizienten zu erwarten. Die mit Gummigleitern gemessenen Werte fallen im späteren Verlauf der Versuche tatsächlich langsam ab, während die Resultate für Kunststoffgleiter relativ konstant bleiben, siehe Abbildung 4.3.

Die Abnutzung des Gumminoppenbelags führt zu einer Ausprägung anfänglich vorhandener feiner Löcher, d.h. zu einer Vergrößerung der Oberflächenrauigkeit (Abbildung 5.7). Erwartungsgemäss wachsen die Gleitreibungskoeffizienten im Verlauf der Versuche langsam an, siehe Abbildung 4.3.

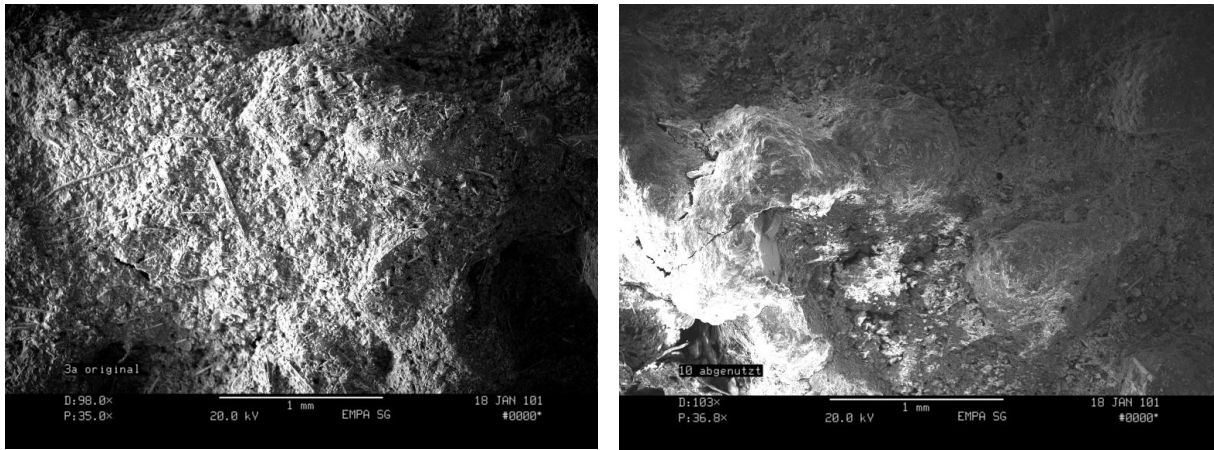


**Abbildung 5.6:** Unbehandelter Linoleumbelag original (links) und abgenutzt (rechts). Die Oberfläche des Originalbelags ist durch konvexe Wölbungen gestaltet. Beim abgenutzten Belag sind Kratzer zu erkennen, und die Wölbungen sind zum Teil abgeschliffen.

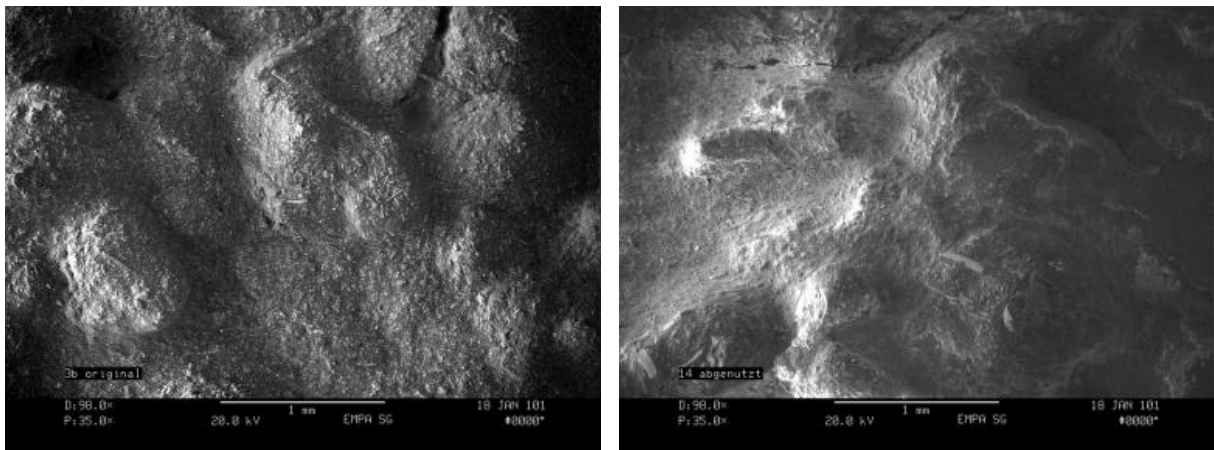


**Abbildung 5.7:** Unbehandelter Gumminoppenbelag original (links) und abgenutzt (rechts). Die glatte Oberfläche des Originalbelags scheint feine Löcher aufzuweisen. Beim abgenutzten Muster haben sich die Löcher ausgeprägt; es finden sich vereinzelte Auflagerungen.





**Abbildung 5.8:** Antirutsch-Anstrich 3a original (links) und abgenutzt (rechts). Im Originalzustand ist eine zerklüftete Oberfläche mit mineralischem Charakter und faserigen Elementen zu beobachten. Beim abgenutzten Muster scheinen die Oberflächenerhebungen stark abgeschliffen, während in den Vertiefungen teilweise eine körnige Struktur erhalten geblieben ist. In den Vertiefungen könnten sich auch Schmutzpartikel angesammelt haben. In der linken Bildhälfte sind Risse im Material erkennbar.

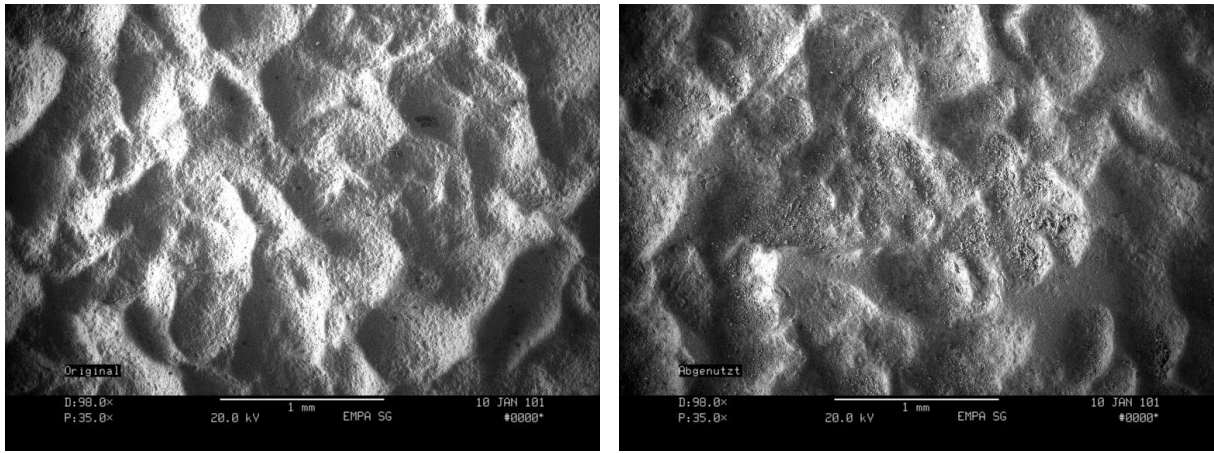


**Abbildung 5.9:** Antirutsch-Anstrich 3b original (links) und abgenutzt (rechts). Die Oberflächenstruktur gleicht ursprünglich jener des Produkts 3a. Die Erhebungen wirken jedoch rundlicher und die Oberfläche insgesamt feinkörniger. Beim abgenutzten Muster sind die Oberflächenerhebungen abgeschliffen. Im oberen Teil des Bildes ist ein Riss im Material sichtbar.

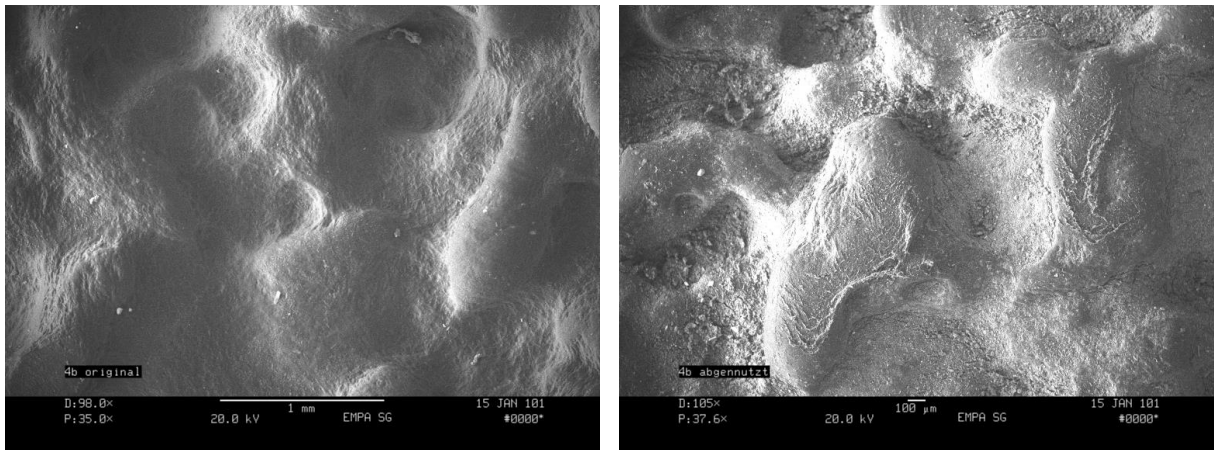
### 5.2.2 Oberflächenveränderungen bei Antirutsch-Anstrichen und Gleitschutzklebebändern

Beide Arten von Antirutsch-Anstrichen werden während der Benutzung deutlich abgeschliffen, siehe Abbildungen 5.8 und 5.9. Die zunächst körnig wirkende Oberflächenstruktur geht verloren und scheint nur in den Vertiefungen stellenweise erhalten zu bleiben, in denen sich auch Schmutzpartikel abgelagert haben. Auf Grund der Oberflächenveränderungen lässt sich bei beiden Antirutsch-Anstrichen auf eine abfallende Gleitfestigkeit schließen, was durch die Messungen bestätigt wird, siehe Kapitel 4.2.5.

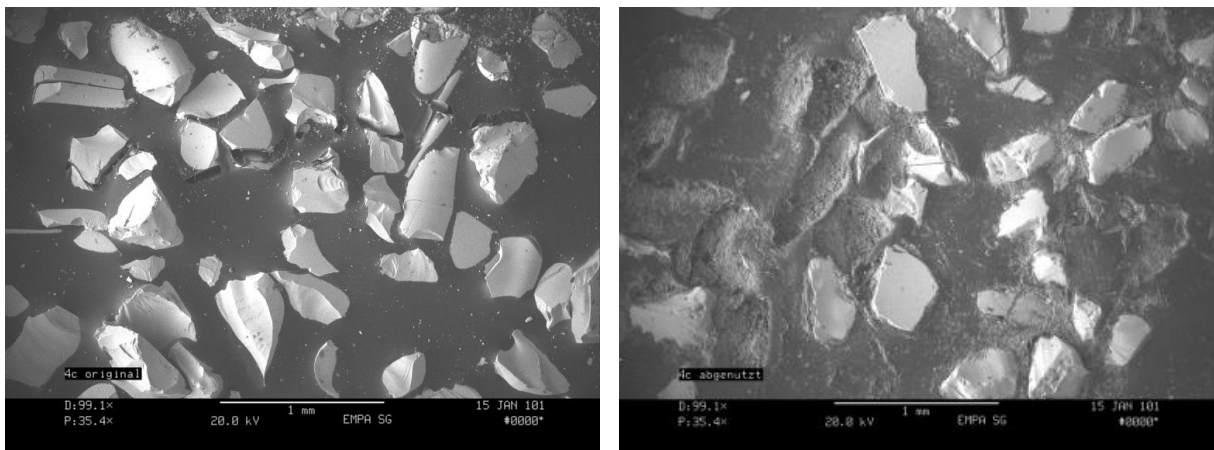
Die auf Kunststoffgranulaten basierenden Klebebänder werden im Gebrauch abgeschliffen und verschmutzt, siehe Abbildungen 5.10 und 5.11. Mit diesen Oberflächenveränderungen gehen tendenziell abnehmende Gleitreibungskoeffizienten einher (siehe Kapitel 4.2.6). Beim Gleitschutzklebeband mit Mineralkörnung finden enorme Oberflächenveränderungen statt, siehe Abbildung 5.12. Einzelne Mineralkörner werden abgetragen, andere in die Kunststoffmatrix hineingedrückt. Die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten zeigen über die ganze Versuchsdauer hinweg eine ausgeprägte, abfallende Tendenz, siehe Abbildung 4.5. Die Abnutzung des Klebebands scheint auch nach über einem Jahr Gebrauch noch keinen stationären Endzustand erreicht zu haben.



**Abbildung 5.10:** Gleitschutzklebeband 4a original (links) und abgenutzt (rechts). Die Oberfläche des neuen Klebebandes besteht aus Hügeln und Graten, zwischen denen rundliche Vertiefungen liegen. Beim abgenutzten Band sind die Oberflächenstrukturen rundgeschliffen; zudem hat sich Schmutz in den Vertiefungen angesammelt.



**Abbildung 5.11:** Gleitschutzklebeband 4b original (links) und abgenutzt (rechts). Die Oberfläche des neuen Klebebandes setzt sich aus unregelmässigen, groben Hügeln zusammen. Auf der abgenutzten Oberfläche sind Schmutzauflagerungen erkennbar.

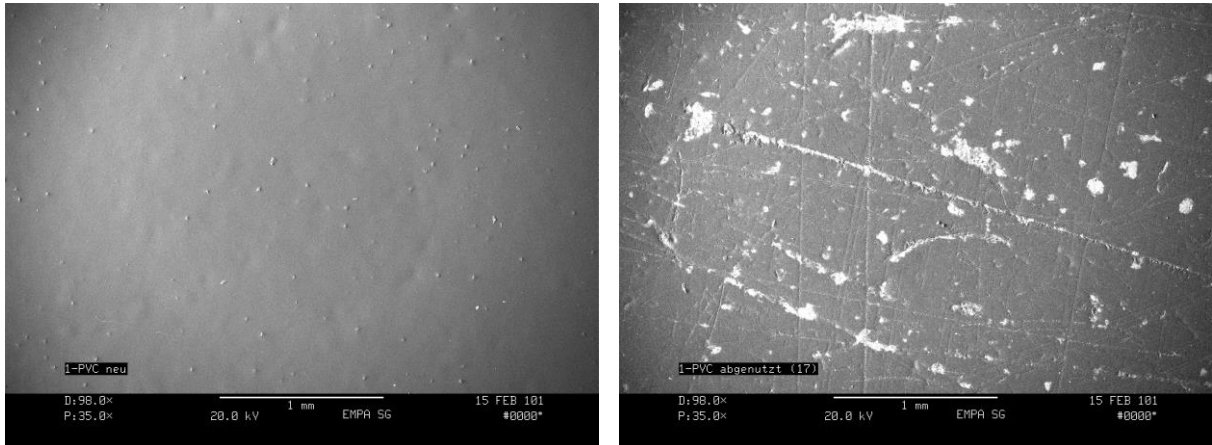


**Abbildung 5.12:** Gleitschutzklebeband 4c original (links) und abgenutzt (rechts). Im Lauf der Abnutzung werden einzelne Mineralkörner herausgerissen oder in die Kunststoffmatrix gedrückt.

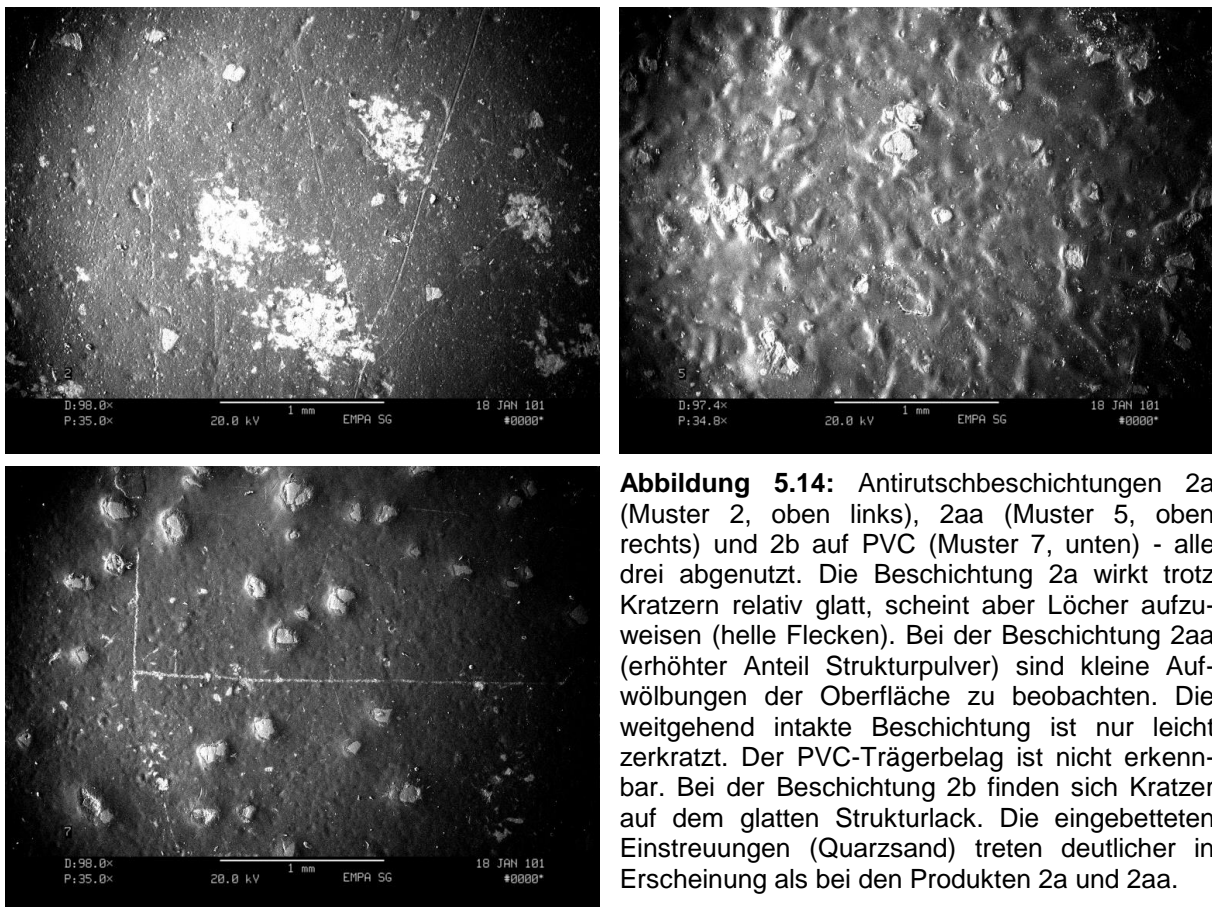
### 5.2.3 Oberflächenveränderungen bei Schutz- und Antirutschbeschichtungen

Die auf PVC aufgetragene Schutz- und die Antirutschbeschichtung 2a zeigen nach dem Dauerversuch Kratzer und Löcher, siehe Abbildungen 5.13 und 5.14. Im Gegensatz zur Schutzbehandlung, bei der die Abnutzung mit anwachsenden Gleitreibungskoeffizienten

verbunden ist (siehe Abbildung 4.3), wird die Gleitfestigkeit der Antirutschbeschichtung nach und nach reduziert (siehe Abbildung 4.4). Die Aufrauung der Oberfläche spielt demnach nur für die Schutzbehandlung eine wichtige Rolle, während bei der Antirutschbeschichtung 2a der Verlust von Strukturkörnern im Vordergrund stehen dürfte. Die Beschichtung 2aa mit einer erhöhten Menge Strukturpulver scheint erheblich besser erhalten geblieben zu sein, siehe Abbildung 5.14. Darauf deuten nicht nur die gewölbte Oberflächenstruktur der Beschichtung mit den zahlreicher vorhandenen Strukturkörnern hin, sondern auch die über die ganze Versuchsdauer hinweg nahezu konstanten Gleitreibungskoeffizienten.



**Abbildung 5.13:** Schutzbehandlung auf PVC original (links) und abgenutzt (rechts). Die glatte Oberfläche der neuen Schutzschicht ist von feinen Luftblasen gezeichnet. In die Beschichtung sind kleine Körner eingeschlossen. Durch Abnutzung wird die Schutzbeschichtung stark zerkratzt. Sie weist Löcher auf (weisse Flecken), durch welche der PVC-Trägerbelag teilweise offengelegt wird.



**Abbildung 5.14:** Antirutschbeschichtungen 2a (Muster 2, oben links), 2aa (Muster 5, oben rechts) und 2b auf PVC (Muster 7, unten) - alle drei abgenutzt. Die Beschichtung 2a wirkt trotz Kratzern relativ glatt, scheint aber Löcher aufzuweisen (helle Flecken). Bei der Beschichtung 2aa (erhöhter Anteil Strukturpulver) sind kleine Aufwölbungen der Oberfläche zu beobachten. Die weitgehend intakte Beschichtung ist nur leicht zerkratzt. Der PVC-Trägerbelag ist nicht erkennbar. Bei der Beschichtung 2b finden sich Kratzer auf dem glatten Strukturack. Die eingebetteten Einstreuungen (Quarzsand) treten deutlicher in Erscheinung als bei den Produkten 2a und 2aa.

Dass im Zusammenhang mit Antirutschbeschichtungen weitere Abnutzungseffekte von Bedeutung sein könnten, zeigt das Beispiel des Produkts 2b in Abbildung 5.14. Die Strukturkörner scheinen in die Matrix eingebettet, sind aber an den Spitzen blossgelegt. Die mehr oder weniger ausgeprägten, die Körner umfassenden Wulste sind ein Hinweis darauf, dass die Strukturkörner nicht nur einfach durch Abrieb der Matrix freigelegt, sondern zugleich durch Druckbelastungen mehr und mehr in die Unterlage hineingedrückt wurden. Eine Reihe von Faktoren wie das Absinken von Strukturkörnern, das Ausschmieren der Kornränder mit Matrixmaterial, das Glattschleifen bloss liegender Kornoberflächen, das Ablösen von Matrixpartikeln an den Strukturkörnern sowie die Auflagerung von Verschmutzungen dürften sich letztlich negativ auf die Gleitfestigkeit auswirken. Tatsächlich nehmen die für die Antirutschbeschichtung 2b gemessenen Gleitreibungskoeffizienten kontinuierlich ab, siehe dazu Abbildung 4.4.

### 5.3 Verschmutzungen (EDX-Analysen)

Mit Hilfe von EDX-Analysen wurde die Materialzusammensetzung an der Oberfläche neuer und abgenutzter Belagmuster untersucht, um Aufschlüsse über die sich ansammelnden Verschmutzungen zu erhalten. Mögliche Arten der Verschmutzung sind Hausstaub, Abrieb von Schuhsohlen und Bodenbelägen, von aussen herantransportierter Schmutz (z.B. Strassenschmutz) sowie Rückstände von Pflegebehandlungen. Zu erwarten sind auch Oxidationsprodukte von Verunreinigungen. Die durchgeführten EDX-Analysen lassen in erster Linie Rückschlüsse auf anorganische Verbindungen zu.

Tabelle 5.1 gibt einen Überblick über die relative Zu- oder Abnahme von Elementen, die auf den verschiedenen Belagmustern detektiert werden. Ein summarischer Vergleich zeigt (siehe unterste Zeile), dass auf den drei unbehandelten Bodenbelägen Novilon, PVC und Linoleum sowie auf den beiden Kunststoffklebebändern zahlreiche Elemente angehäuft werden (purpur gefärbte Felder), während bei den übrigen Mustern ungefähr gleich viele Elemente anteilmässig ab- wie zunehmen. Besonders ausgeprägt ist die Ansammlung von Verschmutzungen bei den abgenutzten Kunststoffklebebändern 4a und 4b, für welche je neun neue Elemente vorgefunden werden. Im Kontrast dazu steht der Belag Novilon, auf dem sich insgesamt nur sechs Elemente finden, davon zwei ausschliesslich auf dem abgenutzten Muster.

Die Oberflächen mit mineralischen Anteilen (die zwei Antirutsch-Anstriche und das Klebeband 4c) weisen zusammen mit dem Gumminoppenbelag die komplizierteste chemische Zusammensetzung auf. Neben der Ansammlung von Verschmutzungen, die sich in der relativen Zunahme oder dem Auftreten von Elementen wie Chlor, Natrium, Sauerstoff und Schwefel äussert, scheint hier gleichzeitig ein Abtransport mineralischer Verbindungen stattzufinden, in denen Elemente wie Aluminium, Eisen, Kalium, Kalzium, Magnesium und Silizium enthalten sind.

Aus der zweitletzten Spalte in Tabelle 5.1 lassen sich Schlussfolgerungen über die bei der Abnutzung der Belagmuster stattfindenden Stofftransporte ziehen. Auf sämtlichen Oberflächen kommt Kohlenstoff als ein wesentlicher Bestandteil vor. Für neue und abgenutzte Muster kann jeweils ein konstanter Kohlenstoffanteil angenommen werden, an dem sich die Anteile der übrigen Elemente messen lassen. Sauerstoff ist ein weiteres wichtiges, auf allen Oberflächen gefundenes Element, dessen Anteil auf den abgenutzten Mustern gegenüber den neuen gewöhnlich erhöht ist. Die Anreicherung von Sauerstoff hängt vor Allem mit dem Anfallen von Oxidationsprodukten und der Verteilung von Abriebpartikeln, in denen Oxide enthalten sind, zusammen.

Die auf den abgenutzten Oberflächen detektierten Elemente dürften teils aus der Umwelt zugeführt worden sein, teils aus den verschiedenen Belägen selbst stammen. Letzteres gilt wahrscheinlich für Aluminium, Chlor, Magnesium, Silizium und Titan. Die Antirutsch-Anstriche mit Aluminiumoxideinstreuung ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) stellen wahrscheinlich die wichtigste Quelle von Aluminium dar. Magnesium, das hauptsächlich in Form von Magnesiumsilikaten gebunden sein dürfte, findet sich zunächst auf zwei neuen Belägen mit mineralischen Anteilen (Pro-

dukte 3a und 4c), aber auch auf dem neuen PVC-Belag (Muster B). Im Lauf der Abnutzung scheint sich Magnesium über andere Beläge zu verteilen, insbesondere auf allen rauen Belagmustern. Auf dem abgenutzten Gumminoppenbelag wird es ebenfalls vorgefunden, fehlt jedoch auf Novilon und Linoleum sowie auf den untersuchten Proben der Schutzbehandlung. Auf diesen eher glatten Oberflächen könnten magnesiumhaltige Auflagerungen durch Reinigungen wieder entfernt worden sein. Das Vorkommen von Titan ist auf Titanoxid ( $\text{TiO}_2$ ) zurückzuführen, das in Kunststoffen häufig als Weisspigment verwendet wird (siehe PVC- und Gumminoppenbelag, Klebebänder 4a, 4b und 4c). Auch Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ) findet als Weisspigment und Füllstoff Verwendung, so z.B. bei Novilon, PVC und dem Gumminoppenbelag. Da Silizium in Silikaten, d.h. in den wichtigsten gesteinsbildenden Mineralen auftritt, ist dieses Element allgemein verbreitet. Bei allen drei Mustern mit mineralischen Anteilen (3a, 3b und 4c) scheint der Siliziumanteil durch Abnutzungseffekte abzunehmen. Dies könnte einerseits mit Gesteinsabrieb, andererseits auch mit der Auflagerung von Verschmutzungen zusammenhängen. Das auf sieben abgenutzten Belagmustern neu angesammelte Chlor dürfte vor Allem aus dem Abrieb der Beläge PVC und Novilon stammen, obwohl auch Salz aus der Umwelt (Streusalz) eine gewisse Rolle spielen dürfte.

Die Elemente Kalzium, Kalium, Natrium und Schwefel gelangen vermutlich zum grössten Teil von aussen auf die Belagmuster. Natrium dürfte hauptsächlich in Form von gelöstem Salz ( $\text{NaCl}$ ) via Schuhsohlen von der Strasse auf die Oberflächen transportiert werden. Dieses Element, das auch in Verbindung mit Silikaten auftritt, liegt ursprünglich nur auf Linoleum, auf dem Gumminoppenbelag und bei Antirutsch-Anstrichen vor. Das Auftreten von Kaliumspuren korreliert für eine Reihe von Belägen mit demjenigen von Natrium, so dass auch dieses Element aus der Umwelt stammen könnte, z.B. aus Kaliumsilikaten. Kalium ist allerdings auch in den Oberflächen dreier neuer Beläge (Gumminoppenbelag, Schutzbeschichtung, Anstrich 3b) enthalten, die somit als mögliche Lieferanten in Frage kommen. Schwefel, der bei Gummi als Vernetzer eine wichtige Rolle spielt, wird auf acht abgenutzten Mustern beobachtet, nachdem er ursprünglich nur auf zwei Belägen (Gumminoppenbelag und Anstrich 3b) vorhanden war. Der Abrieb von Schuhsohlen stellt wahrscheinlich die Hauptquelle für Schwefel dar. Kalzium wird auf sämtlichen abgenutzten Belagmustern angetroffen, in acht von zehn Fällen neu oder angereichert. Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) wird als Füllmaterial bei PVC und Linoleum eingesetzt und scheint auch in den Antirutsch-Anstrichen 3a und 3b enthalten zu sein. Zusätzlich zu den auf Abriebpartikeln basierenden Kalkverfrachtungen zwischen den Belägen dürfte Kalk mit dem bei der Reinigung verwendeten Leitungswasser und eventuell auch in Form von Hausstaub zugefügt werden.

Die im Rahmen der EDX-Analysen ebenfalls vorgefundenen Elemente Eisen, Phosphor, Zink und Zinn spielen bei den Stofftransporten eine untergeordnete Rolle. Zink und Zinn werden bei Kunststoffen als additive Vernetzungshilfen verwendet. Das Vorkommen von Eisen beschränkt sich auf die drei Gleitschutzklebebänder und einen Antirutsch-Anstrich. Erklärungen dafür könnten Rost oder in den Mustern 3b und 4c vorkommende Eisensilikate sein. Das in wenigen Fällen beobachtete Element Phosphor hängt vermutlich mit Phosphaten zusammen, die mitunter in Pflegemitteln enthalten sind.

Für Antirutschbeschichtungen lagen nur abgenutzte Proben für die EDX-Analysen vor, die den Belagmustern 2, 5, 6 und 7 entnommen worden waren. Auf diesen Oberflächen finden sich neben Kohlenstoff und Sauerstoff hauptsächlich die Elemente Aluminium, Kalzium, Chlor, Natrium, Schwefel und Silizium. Abgesehen von Silizium, das in den Quarzsand-Einstreuungen dieser Beschichtungen enthalten ist, zeigen sich auf den Oberflächen also Abriebprodukte von Belägen und Schuhsohlen sowie Spuren von Kalk und Salz.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass auf den Proben abgenutzter Belagmuster zahlreiche Verschmutzungen anzutreffen sind. Ausmass und Bandbreite der angesammelten Verschmutzungen sind bei den rauerer Oberflächen in der Regel grösser. Ein beträchtlicher Teil der Schmutzpartikel ist auf den Abrieb der verschiedenen Beläge zurückzuführen, doch deuten das Auftreten bzw. die Anreicherung bestimmter Elemente auch auf die Zufuhr von Stoffen aus externen Quellen hin. Neben dem Abrieb von Schuhsohlen gelangen von aussen insbesondere Salz und Kalk auf die Belagmuster.



**Tabelle 5.1:** Resultate aus halbquantitativen EDX-Analysen. Um Aufschluss über die Verschmutzung der Belagmuster zu erhalten, wurden die Elementaranalysen von neuen und abgenutzten Proben miteinander verglichen, wobei der Anteil an Kohlenstoff jeweils als konstant angenommen wurde. Für die feststellbaren Veränderungen im Gewichtsanteil der Elemente wurden folgende Abkürzungen verwendet: x - Element nicht beobachtet; 0 - Anteil unverändert; 1 - relative Zunahme; -1 - relative Abnahme; 2 - Element nur in der abgenutzten Probe beobachtet. Bei kleinen Veränderungen oder kleinen Spuren von Elementen wurden die Angaben in Klammern gesetzt.

Summary Informationen über Stofftransporte finden sich in der untersten Zeile. Wie der Vergleich zwischen den mengenmässig zu- bzw. abnehmenden Elementen zeigt, werden auf den unbehandelten Belägen A, B und C (Novilon, PVC und Linoleum) sowie auf den Kunststoffklebebändern 4a und 4b Stoffe angehäuft, siehe die purpur gefärbten Felder. Im Unterschied dazu halten sich auf den Mustern 3a, 3b und 4c, die durch mineralische Anteile charakterisiert sind, die mengenmässig zu- bzw. abnehmenden Elemente ungefähr die Waage, siehe die hellblauen Felder. Ähnliches gilt auch für den Gummipollenbelag (D) und die Schutzbehandlung auf PVC (1).

Welche Elemente bei den Stofftransporten eine wichtige Rolle spielen, geht aus den fett gedruckten Zahlen in der zweitletzten Kolonne hervor. Neben Kohlenstoff kommt Sauerstoff als wesentlicher Bestandteil auf sämtlichen Oberflächen vor - gewöhnlich mit einem erhöhten Anteil bei den abgenutzten Mustern. Die rot hervorgehobenen Werte beziehen sich auf Elemente, die hauptsächlich aus dem Abrieb der Belagmuster stammen dürften, die grünen Werte auf Verbindungen, die eher von aussen zugeführt wurden, vgl. dazu die Ausführungen im Text. (Die Reihenfolge der mit Schrägstrichen getrennten Werte entspricht den Angaben von oben nach unten in der untersten Zeile.)

		glatte Oberflächen					raue Oberflächen					# Muster	Herkunft
		A	B	C	D	1	3a	3b	4a	4b	4c		
Al	Aluminium	x	(2)	x	0	x	(1)	-1	2	2	-1	<b>4/4-2/3</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (3a, 3b, 4c)
C	Kohlenstoff	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>10/0-0/0</b>	-
Ca	Kalzium	(2)	1	1	(2)	2	-1	(1)	1	2	0	<b>6/8-1/4</b>	CaCO <sub>3</sub> (Kalk)
Cl	Chlor	1	(1)	(2)	(2)	2	(2)	(2)	-1	2	2	<b>3/9-1/7</b>	PVC, Salz (NaCl)
Fe	Eisen	x	x	x	x	x	x	-1	2	2	-1	2/2-2/2	Minerale, Rost?
K	Kalium	(2)	(2)	(2)	0	(-1)	x	-1	(2)	(2)	(2)	<b>3/6-2/6</b>	Minerale?
Mg	Magnesium	x	0	x	(2)	x	(-1)	(2)	(2)	(2)	0	<b>3/4-1/4</b>	Minerale?
Na	Natrium	x	(2)	(1)	0	(2)	(1)	0	2	2	2	<b>4/7-0/5</b>	NaCl (Salz)
O	Sauerstoff	0	1	1	1	-1	1	1	1	1	0	<b>10/7-1/0</b>	Oxide
P	Phosphor	x	x	x	(-1)	-1	(-1)	x	(2)	x	x	3/1-3/1	Phosphate
S	Schwefel	x	(2)	(2)	0	x	(2)	(1)	2	(2)	(2)	<b>2/7-0/6</b>	Schuhsohlen
Si	Silizium	0	(1)	(2)	0	x	-1	-1	2	2	-1	<b>6/4-3/3</b>	Silikate (SiO <sub>2</sub> )
Sn	Zinn	x	x	x	x	x	x	x	(2)	x	x	0/1-0/1	
Ti	Titan	x	0	(2)	0	x	-1	x	0	0	0	<b>6/1-1/1</b>	TiO <sub>2</sub> (Weisspigment)
Zn	Zink	x	x	x	(-1)	-1	x	x	x	x	x	2/0-2/0	
#	urspr. vorh.	4	7	4	10	5	9	9	5	3	8		
El.	zu-abnehmend	3-0	8-0	8-0	4-2	3-4	5-5	5-4	11-1	10-0	4-3		
	neu	2	4	5	3	3	2	2	9	9	4		

## 6 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass sich die Gleitfestigkeit von elastischen Bodenbelägen und darauf applizierten Antirutschbehandlungen im Lauf eines Jahres durch Abnutzung stark verändern kann. In der Regel nimmt die Gleitfestigkeit glatter Oberflächen auf Grund von Aufrauung und Verkratzung zu. Umgekehrt werden raue Oberflächen durch Abrieb und Druckbelastungen geglättet, wodurch deren Gleitfestigkeit abnimmt.

Zwei raue Antirutsch-Anstriche mit Aluminiumoxideinstreuung erwiesen sich als wirksame und dauerhafte Antirutschprodukte. Trotz deutlicher Abnutzung der Oberflächen bewegten sich die darauf gemessenen Gleitreibungskoeffizienten über die ganze Versuchsdauer hinweg in einem Bereich, der als sehr sicher eingestuft werden kann.

Mit Gleitschutzklebebändern können teilweise ebenfalls gute Resultate erzielt werden. Für zwei Klebestreifen mit Kunststoffgranulatschicht hingen die gemessenen Reibungskoeffizienten allerdings sehr stark vom Material und/oder der Oberflächenbeschaffenheit des verwendeten Gleiters ab. In Untersuchungen mit einem Laborgerät wurde am Beispiel eines Kunststoffklebebands auch für Schuhsohlen eine empfindliche Abhängigkeit von Material bzw. Profil festgestellt. Ein Gleitschutzklebestreifen mit Mineralkörnung erschien in dieser Hinsicht als unproblematisch. Trotz signifikanter Abnutzungserscheinungen hielt sich die Gleitfestigkeit dieses Produkts über ein Jahr hinweg auf einem hohen Niveau.

Die untersuchten Antirutschbeschichtungen mit rauher Oberfläche erhöhten die Gleitfestigkeit von Bodenbelägen markant, nutzten sich jedoch verhältnismässig rasch ab. Die durchschnittlichen Gleitreibungskoeffizienten fielen vom sicheren in den bedingt sicheren Bereich ab und näherten sich denjenigen der unbehandelten Beläge mehr und mehr an. Nach einem Jahr Gebrauch unterschritten die für Antirutschbeschichtungen gefundenen Resultate teilweise sogar die der unbehandelten Beläge. Neben der geringen Dauerhaftigkeit fiel auf, dass die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten ähnlich wie im Fall der Gleitschutzklebebänder stark vom verwendeten Gleitermaterial abhingen. Ein Beispiel einer Antirutschbeschichtung auf PVC, bei der eine erhöhte Menge Strukturpulver verwendet wurde, erwies sich als wesentlich dauerhafter als die normale Version der Behandlung.

Die untersuchte Schutzbehandlung hatte bei allen Bodenbelagmustern negative Auswirkungen auf die Gleitfestigkeit. Wie bei den unbehandelten Bodenbelägen nahm die Gleitfestigkeit dieser glatten Oberflächen auf Grund zunehmender Verkratzung und Aufrauung mit der Zeit zu.

Mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops und EDX-Analysen konnten Aufschlüsse über die bei den Bodenbelagmustern auftretenden Oberflächenveränderungen, Beschädigungen und Verschmutzungen gewonnen werden. Anhand der Aufnahmen abgenutzter und neuer Oberflächen liessen sich die meisten gemessenen Tendenzen von Gleitreibungskoeffizienten nachvollziehen oder untermauern. Es wurde deutlich, dass bei der Abnutzung von Bodenbelägen neben Reibungs- und Abriebmechanismen, die zu Aufrauung bzw. Glattschliff der Oberflächenstrukturen führen, auch Druckbelastungen eine wichtige Rolle spielen können. EDX-Analysen zeigten, dass sich auf den Proben abgenutzter Belagmuster zahlreiche Verschmutzungen ansammelten, insbesondere auf den raueren Oberflächen. Ein grosser Teil der Schmutzpartikel liess sich auf den Abrieb der verschiedenen Beläge zurückführen, doch wurden auch Anzeichen für die Zufuhr von Stoffen aus externen Quellen gefunden. Neben dem Abrieb von Schuhsohlen schienen insbesondere Salz und Kalk von aussen auf die Belagmuster zu gelangen.

Weiterführende Untersuchungen sollten Antirutschbehandlungen für Hartbodenbeläge wie Keramik, Natur- und Kunststeinbeläge einschliessen, denn diese Arten von Belägen werden bevorzugt in Nass- und Barfussbereichen eingesetzt - also in Zonen, die in Bezug auf die Gleitfestigkeit zu den problematischsten gehören.

## Danksagungen

Wir danken dem EMPA-Hausdienst für die gute Zusammenarbeit bei der Durchführung des Projekts. Simon Straessle und Karl Ackermann danken wir für die REM-Aufnahmen und die EDX-Analysen.

## Literatur

1. bfu (Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung): Prüfreglement R 9215 für Schuhe mit erhöhter Gleitfestigkeit, Bern 1993
2. bfu (Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung): Prüfreglement R 9729 für Bodenbeläge mit erhöhter Gleitfestigkeit, Bern 1998
3. St. Bönig: Experimentelle Untersuchung zur Festlegung von normgerechten Reibzahl-grenzwerten für gleitsicheres Gehen, Dissertation Universität Wuppertal 1996
4. S. Derler und F. Kausch: Einfluss von Pflegebehandlungen auf die Gleitfestigkeit von Bodenbelägen, EMPA-Bericht 127795, St. Gallen, 1998
5. S. Derler, F. Kausch und R. Huber: Messung der Gleitfestigkeit von Bodenbelägen mit dem tragbaren Gerät FSC 2000, EMPA-Bericht 840147, St. Gallen, 2001
6. R. Skiba, M. Scheil und U. Windhövel: Vergleichsuntersuchung zur instationären Reib-zahlmessung auf Fussböden, Forschungsbericht 701 der Bundesanstalt für Arbeits-schutz, Dortmund 1994
7. R. Skiba: Vorschlag zur normgerechten Messung und Bewertung der Rutschhemmung von Fussböden, Universität Wuppertal, 1. Sept. 1996
8. R. Skiba: Möglichkeiten zur nachträglichen Verbesserung der Rutschhemmung von Fussböden, Arbeitsschutz aktuell 5-96(1996)17-20

## **Anhang A: Beschreibung und Anwendung der Antirutschprodukte**

### **A.1 Schutzbehandlung**

Bei einer Schutzbehandlung wird ein Bodenbelag durch einen Pflegemittelfilm beschichtet bzw. versiegelt. Die Schutzbehandlung dient dazu, eine schnelle Anschmutzung des Belags zu vermeiden und seine Pflege zu erleichtern. Glanzwirkung ist eine häufige Begleiterscheinung von Schutzbehandlungen. Folgendes Produkt wurde untersucht:

- 1: Spirit System der Firma Henkel, Produkte Spirit Sealer / Top Coat

### **A.2 Antirutschbeschichtungen**

Durch eine Antirutschbeschichtung wird auf einem Bodenbelag eine raue Oberfläche erzeugt. Die untersuchten SLIP-STOP-Antirutschbeschichtungen sind halbtransparent, so dass der visuelle Charakter des behandelten Belags weitgehend erhalten bleibt. SLIP-STOP-Produkte sind nicht auf dem freien Markt erhältlich, sondern werden vom Vertreiber als komplette Dienstleistung angeboten. Auch die Behandlung der an der EMPA St. Gallen untersuchten Belagmuster erfolgte durch den Vertreiber selbst. Im Wesentlichen besteht die Beschichtung aus einer Haftmischung, der feiner Quarzsand als Strukturpulver beigemischt wird. Je nach Einsatzort wird diese strukturierte Schicht mit einem zusätzlichen Überzug Haftmischung ohne Strukturpulver versehen, um die Reinigungseigenschaften zu verbessern. Folgende Varianten von Antirutschbeschichtungen wurden untersucht:

- 2a: SLIP-STOP-Behandlung mit normaler Menge Strukturpulver
- 2aa: SLIP-STOP-Behandlung mit erhöhter Menge Strukturpulver
- 2b: SLIP-STOP-Behandlung mit Zweikomponenten-Strukturlack

Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Muster mit SLIP-STOP-Behandlungen zweimal durch den Vertreiber gereinigt (vgl. Kapitel 3.3.2). Diese Reinigung beinhaltete jeweils die folgenden Schritte:

- Anlegen der Belagsproben mit S085 (Fettlöser, alkalisch)
- Scheuern mit braunem Pad
- Absaugen der Flüssigkeit
- Anlegen der Belagsproben mit S035 (Fettlöser, sauer)
- Scheuern mit braunem Pad
- Absaugen der Flüssigkeit
- Klarspülen und Absaugen des Wassers

### **A.3 Antirutsch-Anstriche**

Im Unterschied zur Antirutschbeschichtung wird ein Bodenbelag durch einen Antirutsch-Anstrich deckend überstrichen. Durch eingestreute Körner und durch das Auftragen der Masse mittels einer speziellen Rolle wird eine grobe Oberflächenrauigkeit erreicht. Die untersuchten Antirutsch-Anstriche werden über den Versandhandel durch die Firma SETON angeboten. Gemäss Gebrauchsanweisung eignen sich diese Produkte besonders zur Behandlung von Holz-, Metall-, und Betonböden, aber auch für viele andere Oberflächen. Die folgenden zwei Produkte gelangten zur Untersuchung:

- 3a: Der graue Einkomponentenanstrich SAFE STEP 100 besteht aus Epoxidester mit Aluminiumoxidkörnern.
- 3b: Der ziegelrote Zweikomponentenaufstrich SAFE STEP 200 ist eine Epoxidharz-Bodenbeschichtung, ebenfalls mit Aluminiumoxidkörnern.

#### **A.4 Gleitschutzklebebänder**

Gleitschutzklebebänder werden vielfach auf Treppenstufen eingesetzt. Die raue Oberfläche der untersuchten 3M-Antirutschstreifen wird durch Kunststoffgranulat oder Mineralkörner erreicht:

- 4a: Safety-Walk Resilent, fein; weisser bzw. transparenter Gleitschutzstreifen mit Kunststoffgranulatbeschichtung
- 4b: Safety-Walk Resilent, mittel; grauer Gleitschutzstreifen mit Kunststoffgranulatbeschichtung
- 4c: Safety-Walk Comformable (grob); schwarzer Gleitschutzstreifen mit Mineralkörnung in Polymer eingebettet und mit einer weichen Aluminiumträgerfolie verbunden.

Die Anwendung der verschiedenen Antirutschprodukte bei der Herstellung der Muster ist in der Tabelle A.1 beschrieben.

**Tabelle A.1:** Beschreibung der untersuchten Produkte sowie deren Applikation auf den verschiedenen Bodenbelagmustern.

<b>Produkt-bezeichn.</b>	<b>Produktname, Beschreibung</b>	<b>Applikation des Produkts</b>	<b>Hergestellte Muster</b>
1	Henkel-Schutzbehandlung mit den Produkten Spirit Sealer / Spirit Top Coat	Nach Reinigung der Beläge mit Wetrok-Redur (2%-Lösung) und Spülen/Trocknen, wurde ca. 15 g/m <sup>2</sup> Spirit Sealer aufgetragen. Nach der Trocknungszeit wurde als zweite Schicht Top Coat in der gleichen Menge aufgetragen. Der Gumminoppenbelag wurde vorgängig mit Remat pur gereinigt (Einwirkungszeit 15 Min.), danach mit einer starken Bürste gescheuert und mit klarem Wasser gespült.	16 (Novilon) 17 (PVC) 18 (Linoleum) 19 (Gumminoppen)
2a	SLIP-STOP-Behandlung mit normaler Menge Strukturpulver	Behandlung durch den Vertreiber durchgeführt. Die Beläge wurden mit S085 (Wachs- und Fettlöser), sowie S055 (allgemeiner Kalk- und Schmutzlöser) gereinigt. Basismaterial S980 und Härter S981 wurden im Verhältnis 10:1 gemischt und 200 g Strukturpulver F zugegeben (40 g Strukturpulver pro kg). Diese Masse wurde mit einer Schaumstoffrolle auf die Beläge aufgetragen.	1 (Novilon) 2 (PVC) 3 (Linoleum) 4 (Gumminoppen)
2aa	SLIP-STOP-Behandlung mit erhöhter Menge Strukturpulver	Behandlung durch den Vertreiber durchgeführt. Gleich wie 2a, aber mit 20% mehr Strukturpulver und einer zusätzlichen Deckschicht ohne Strukturpulver	5 (PVC)
2b	SLIP-STOP-Beschichtung mit Zweikomponenten-Strukturack und einer zusätzlichen Schicht ohne Strukturpulver	Behandlung durch den Vertreiber durchgeführt. Reinigung gleich wie bei 2a. Basismischung: Zweikomponenten-Strukturack Art. 40398 und Härter für 2-Komponenten Wasserlack 15305 im Verhältnis 5:1. Nach der Beimengung von Strukturpulver (40 g pro kg) wurde diese Mischung per Schaumstoffrolle auf die Beläge aufgetragen. Auf die angetrocknete Unterschicht wurde dann eine zweite Schicht der Basismischung aufgebracht.	6 (PVC) 7 (PVC) 8 (Gumminoppen)
3a	SETON-Produkt SAFE STEP 100 (grauer Einkomponenten-Anstrich)	Die Beläge wurden mit Aceton entfettet, mit 60-er Schleifpapier angeschliffen und, nach Entfernen des Schleifstaubs, nochmals mit Aceton gereinigt. Die Einkomponenten-Masse wurde quer zur Laufrichtung mit der mitgelieferten, harten Rolle aufgetragen.	9 (Novilon) 10 (PVC) 11 (Linoleum) 12 (Gumminoppen)
3b	SETON-Produkt SAFE STEP 200 (ziegelroter Zweikomponenten-Anstrich)	Gleiches Vorgehen wie bei 3a.	13 (Novilon) 14 (PVC) 15 (Linoleum)
4a	3-M Safety-Walk Resilent, fein (weiss oder transparent)	Vor dem Aufkleben des Produkts wurden die Beläge mit Aceton entfettet, mit 100-er Schleifpapier angeschliffen und, nach Entfernen des Schleifstaubs, nochmals mit Aceton gereinigt.	20c (PVC) 21b (Gumminoppen)
4b	3-M Safety-Walk Resilent, mittel (grau)	Gleiches Vorgehen wie bei 4a.	20b (PVC)
4c	3-M Safety-Walk Comformable (schwarz, grob)	Gleiches Vorgehen wie bei 4a.	20a (PVC) 21a (Gumminoppen)

## Anhang B: Fotos von Bodenbelägen und Antirutschprodukten

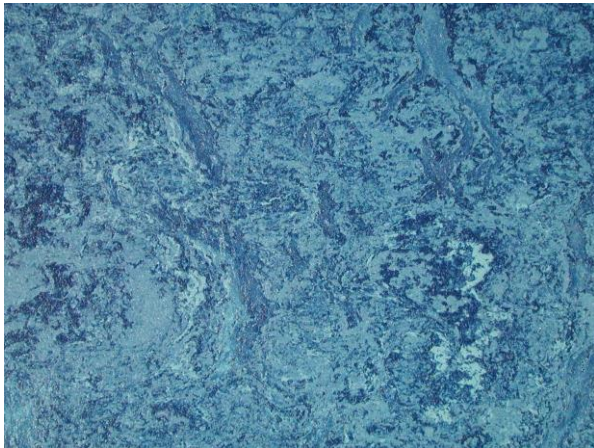
### B.1 Bodenbeläge



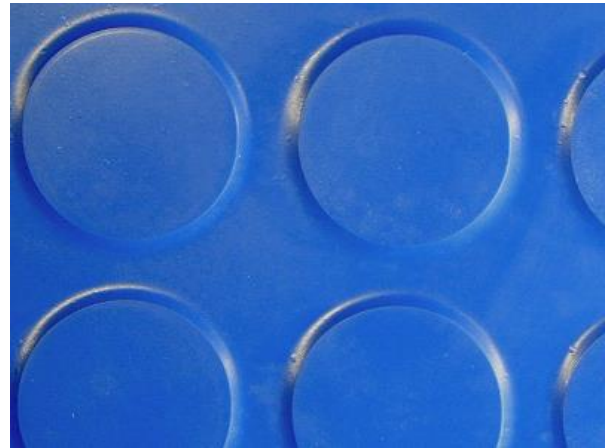
Muster A: Novilon Bella, Art. 87912, Forbo (neu).



Muster B: PVC beige, Art. 62611, Tarkett (neu).



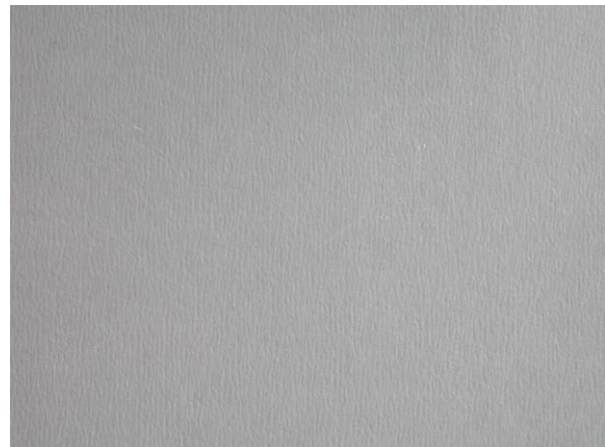
Muster C: Linoleum Marmoleum Real, Art. 3030, Forbo (neu).



Muster D: Gumminoppenbelag Norament 925, Art. 60590, Freudenberg (neu)



Muster 0: Standard-PVC, Typ Toro (gebraucht).



Muster 22/23: EMPA-Linoleum (abgenutzt).

**Abbildung B.1:** Fotos der für die Untersuchungen verwendeten elastischen Bodenbeläge und Referenzbeläge. Alle Bildausschnitte entsprechen den Abmessungen 8 cm x 6 cm, und die Oberflächen sind im Massstab 1:1 wiedergegeben. Die vier Beläge Novilon, PVC, Linoleum und Gumminoppenbelag (Muster A, B, C und D) wurden im Neuzustand fotografiert. Bei Standard-PVC handelte es sich um den für die Referenzmessungen gebrauchten Belag und bei EMPA-Linoleum um den in der Passerelle der EMPA St. Gallen verlegten Bodenbelag (zum Zeitpunkt des Fotos ca. 4½ Jahre im Gebrauch).



## B.2 Antirutschprodukte

Schutzbehandlungen und Antirutschbeschichtungen veränderten das Aussehen der Bodenbeläge nur unwesentlich. Fotografiert wurden deshalb nur die Oberflächen der Antirutsch-Anstriche und Gleitschutzklebebänder, siehe Abbildung B.2.



Produkt 3a: Antirutsch-Anstrich SAFE STEP 100 (SETON); Einkomponenten-Masse mit Aluminiumoxidkörnern. Bildausschnitt 8 cm x 6 cm.



Produkt 3b: Antirutsch-Anstrich SAFE STEP 200 (SETON); Zweikomponenten-Masse mit Aluminiumoxidkörnern. Bildausschnitt 8 cm x 6 cm.



Produkt 4a: Gleitschutzklebeband Safety Walk Resilient, fein, mit Kunststoffgranulat (3M). Bildausschnitt 4 cm x 3 cm.



Produkt 4b: Gleitschutzklebeband Safety Walk Resilient, mittel, mit Kunststoffgranulat (3M). Bildausschnitt 4 cm x 3 cm.



Produkt 4c: Gleitschutzklebeband Safety Walk Comformable (grob) mit Mineralkörnern (3M). Bildausschnitt 4 cm x 3 cm.

**Abbildung B.2:** Fotos der untersuchten Antirutsch-Anstriche und Gleitschutzklebebänder im Neuzustand. Die Oberflächen der Antirutsch-Anstriche sind im Massstab 1:1 abgebildet, jene der Klebebänder im Massstab 1:2 (zweifach vergrössert).



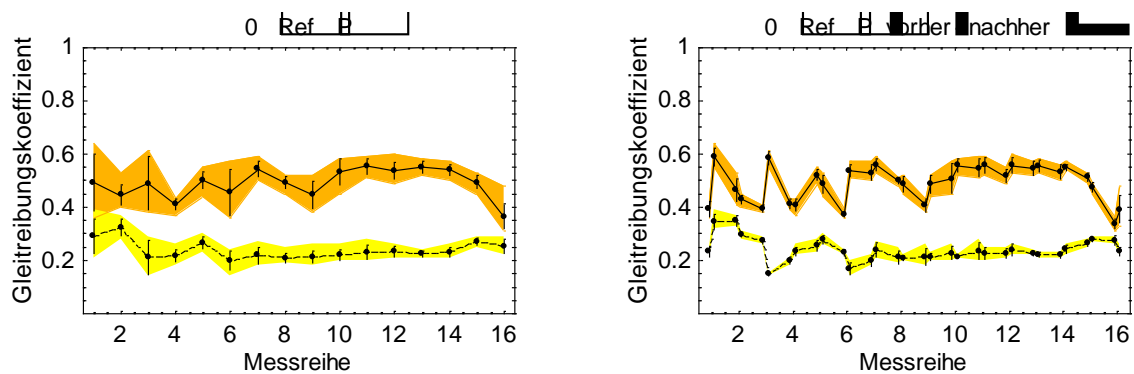
## Anhang C: Messdaten zur Gleitfestigkeit

Dieser Anhang dokumentiert die im Zusammenhang mit Antirutschbehandlungen erhaltenen Messresultate zur Gleitfestigkeit. Im Abschnitt C.1 finden sich grafische Darstellungen zu den Messdaten, in den Abschnitten C.2 bzw. C.3 sind sämtliche Messwerte tabelliert.

### C.1 Grafische Darstellungen

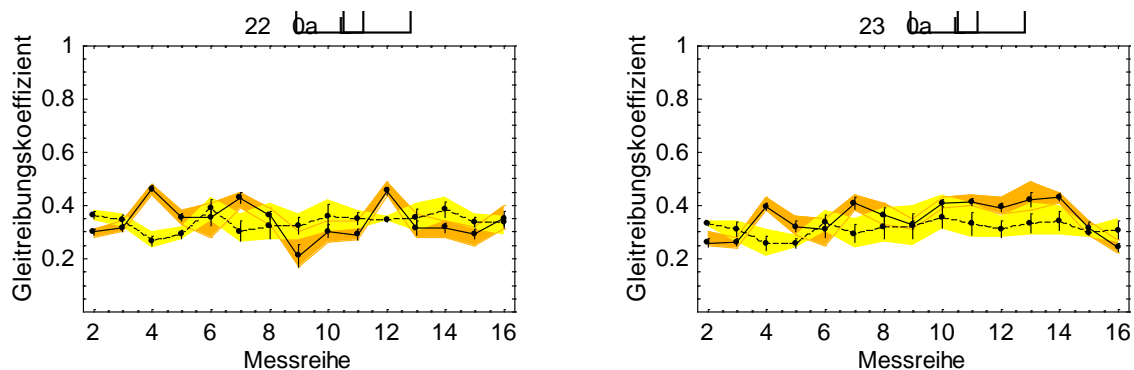
In den Grafiken C.1-7 sind die Resultate der für insgesamt 31 Muster (antirutschbehandelte Beläge und Referenzmuster) durchgeführten Messreihen (à 16 bis 17 Messungen) auf einheitliche Weise dargestellt. Abgebildet sind jeweils die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Bereiche der mit den Gleitern aus Gummi (orange) und Kunststoff (gelb) gemessenen Gleitreibungskoeffizienten. Die Titel der Grafiken enthalten die Kurzbezeichnung des Musters, die untersuchte Produktkategorie und den verwendeten Bodenbelag.

#### C.1.1 Referenzmessungen auf Standard-PVC



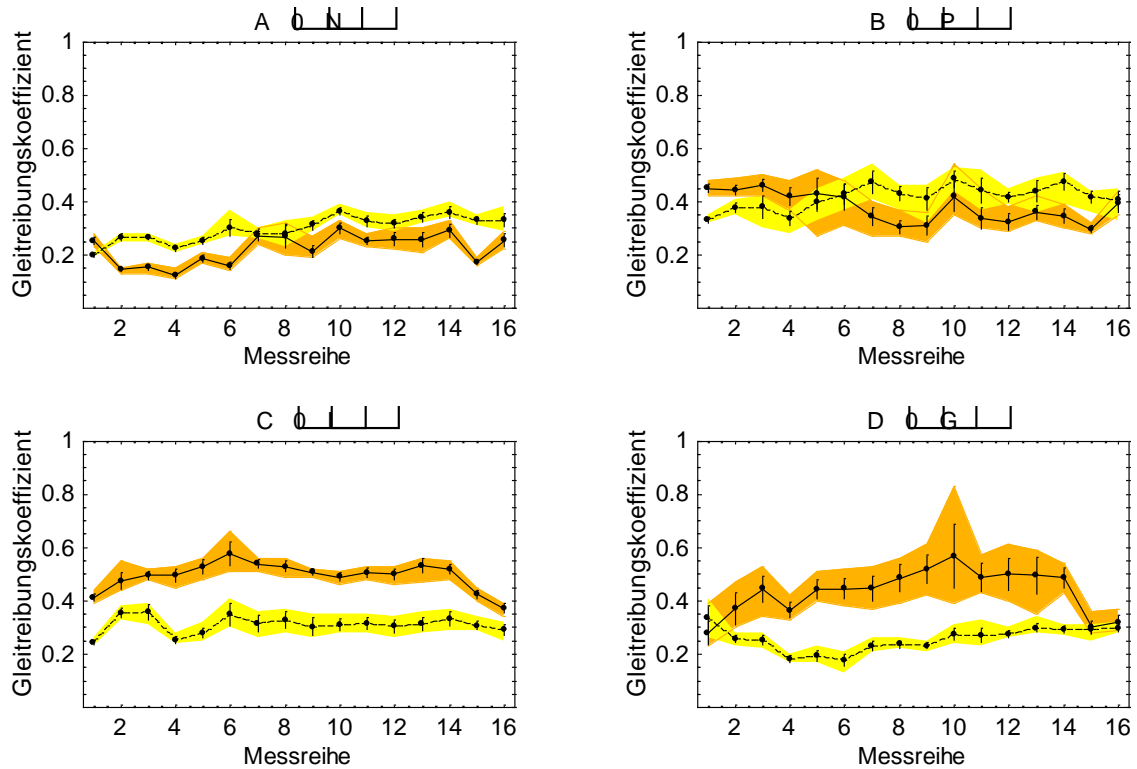
**Abbildung C.1:** Auf Standard-PVC gemessene Gleitreibungskoeffizienten. Referenzmessungen auf dem Standard-PVC-Belag wurden sowohl vor als auch im Anschluss an die Messungen auf den anderen 30 untersuchten Mustern durchgeführt. Während die linke Grafik jeweils die Mittelwerte aus den zusammengefassten Datensätzen zeigt, sind die vorher bzw. nachher gefundenen Resultate in der rechten Grafik separat dargestellt. Die Daten der Kunststoffgleiter (nach der Messung 3 gewechselt) verlaufen insgesamt glatter als die der Gummigleiter (gewechselt nach den Messungen 3 und 15). Bei den Messreihen 1, 3 und 6 zeigen sich auffällige Unterschiede in den Gleitreibungskoeffizienten, welche vor bzw. nach den Messungen an den anderen Mustern gefunden werden.

#### C.1.2 Messungen auf dem EMPA-Linoleumbelag



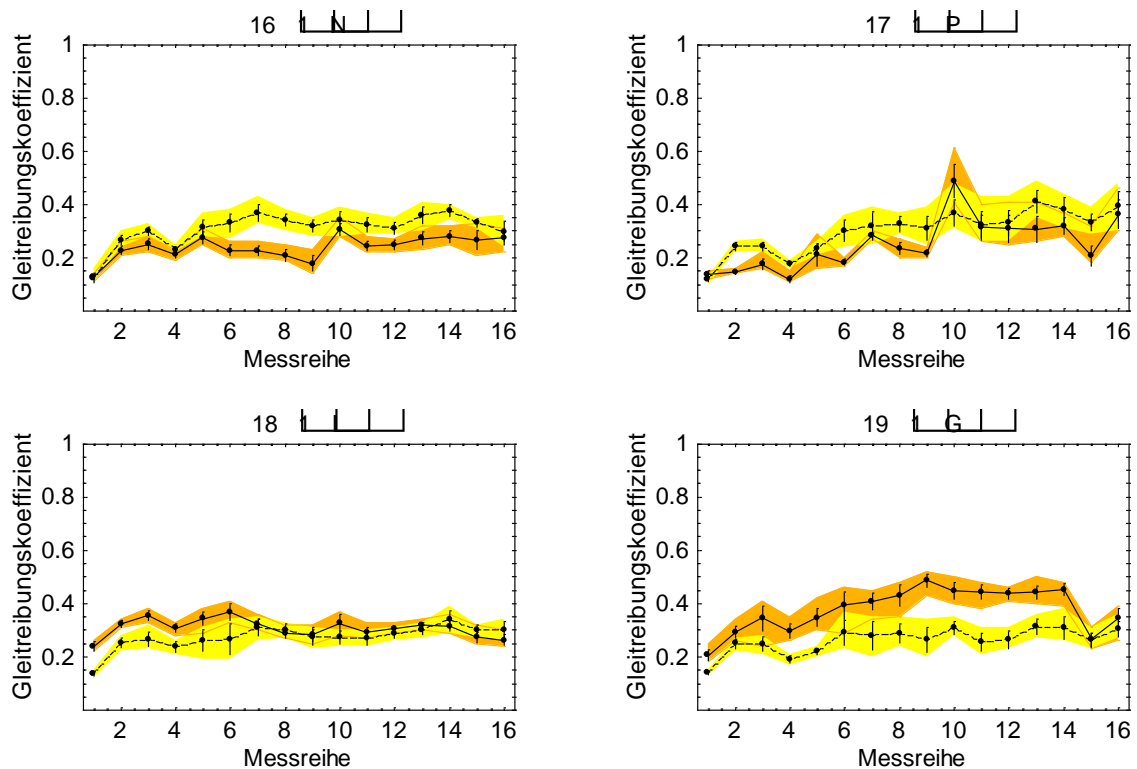
**Abbildung C.2:** Gleitreibungskoeffizienten für zwei Stellen des EMPA-Linoleumbelags. Zu Beginn der Versuche war dieser Belag bereits 3½ Jahre im Gebrauch. Abgesehen von einzelnen Messungen mit Gummigleitern wurden an den beiden Messstellen weitgehend übereinstimmende Resultate gefunden.

### C.1.3 Unbehandelte Bodenbeläge



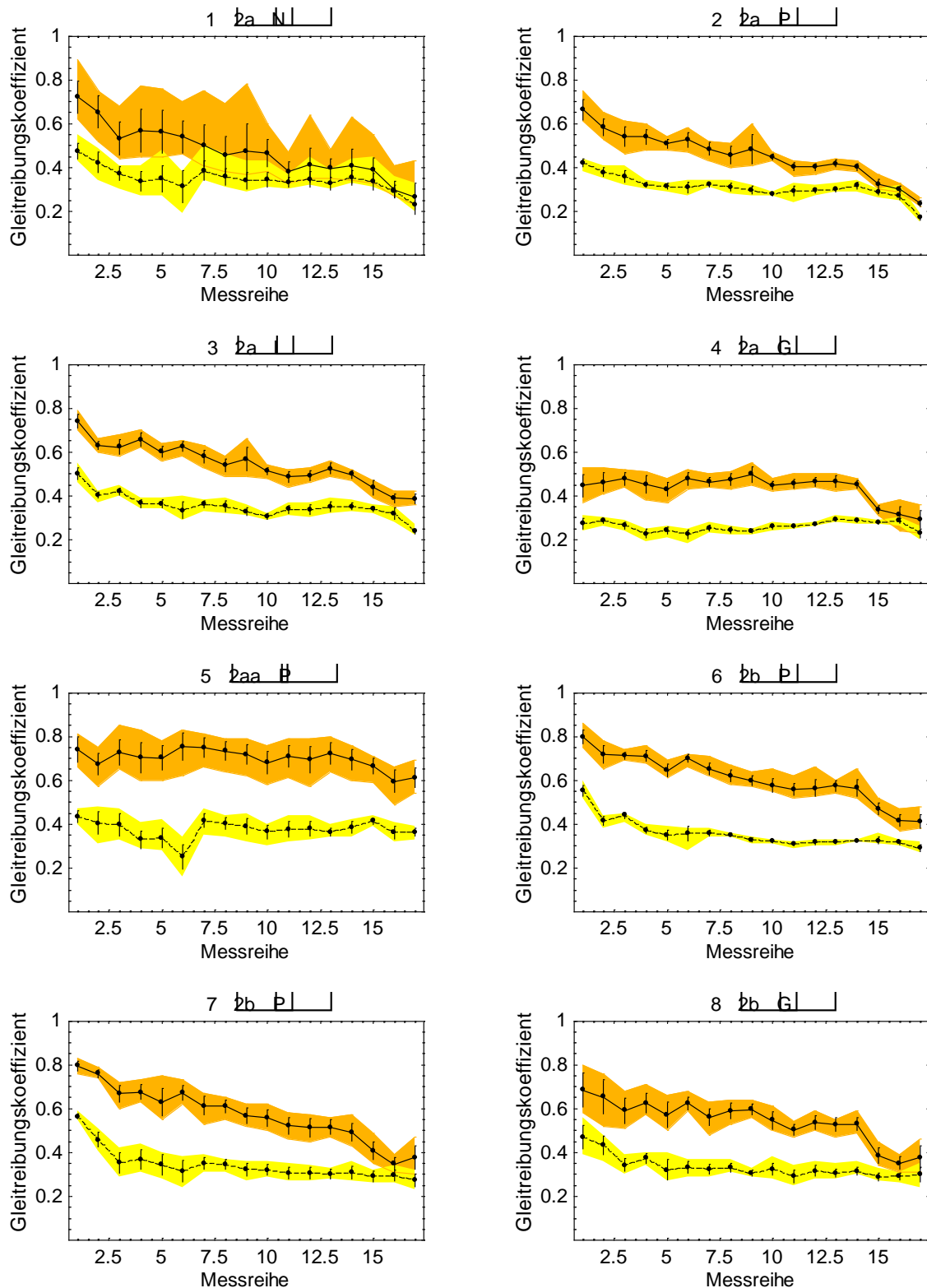
**Abbildung C.3:** Gleitreibungskoeffizienten für die vier unbehandelten Bodenbeläge Novilon (oben links), PVC (oben rechts), Linoleum (unten links) und Gumminoppenbelag (unten rechts).

### C.1.4 Schutzbehandlungen



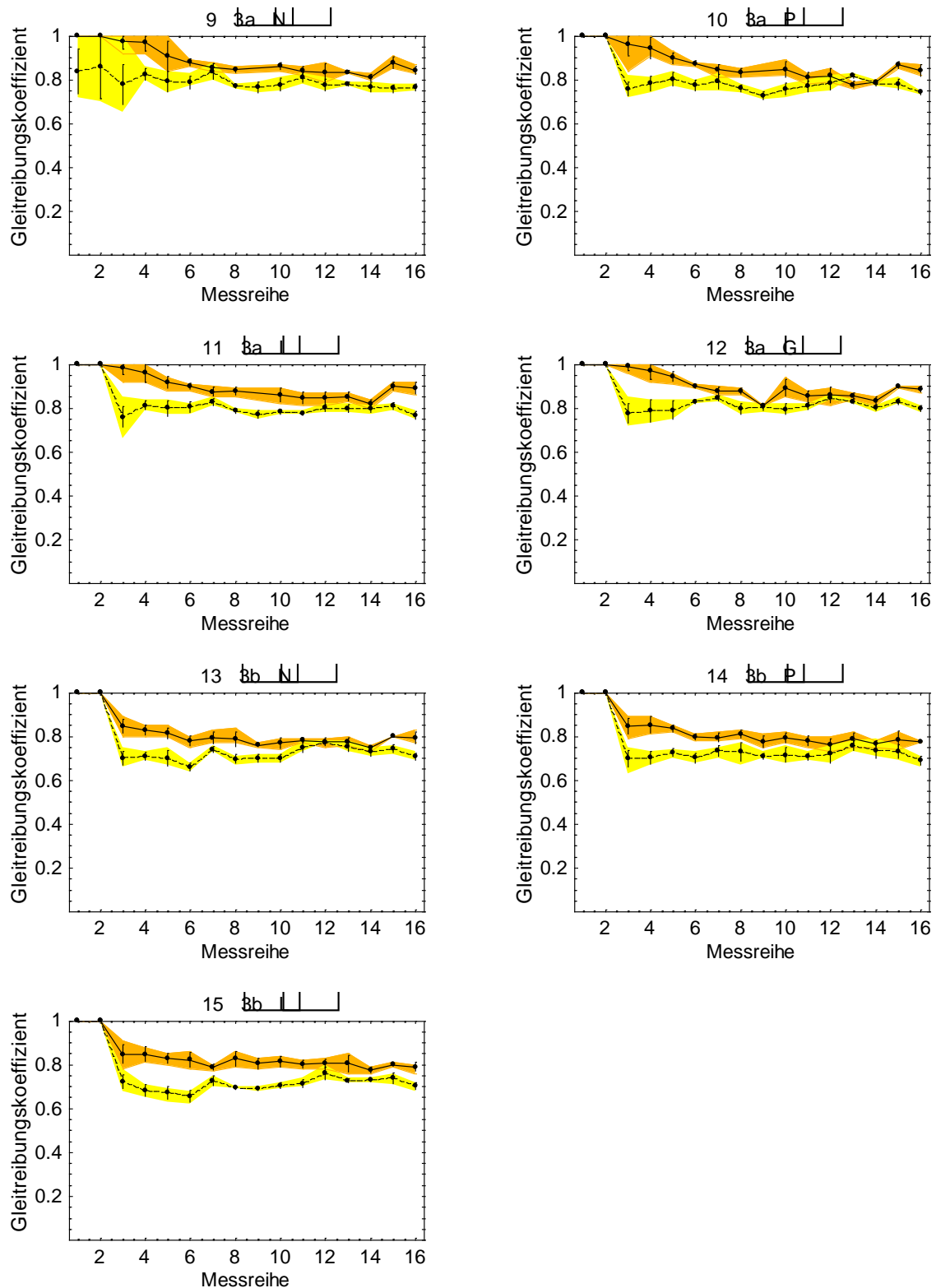
**Abbildung C.4:** Gleitreibungskoeffizienten für die vier Bodenbeläge Novilon (oben links), PVC (oben rechts), Linoleum (unten links) und Gumminoppenbelag (unten rechts), die derselben Schutzbehandlung unterzogen worden waren.

### C.1.5 Antirutschbeschichtungen



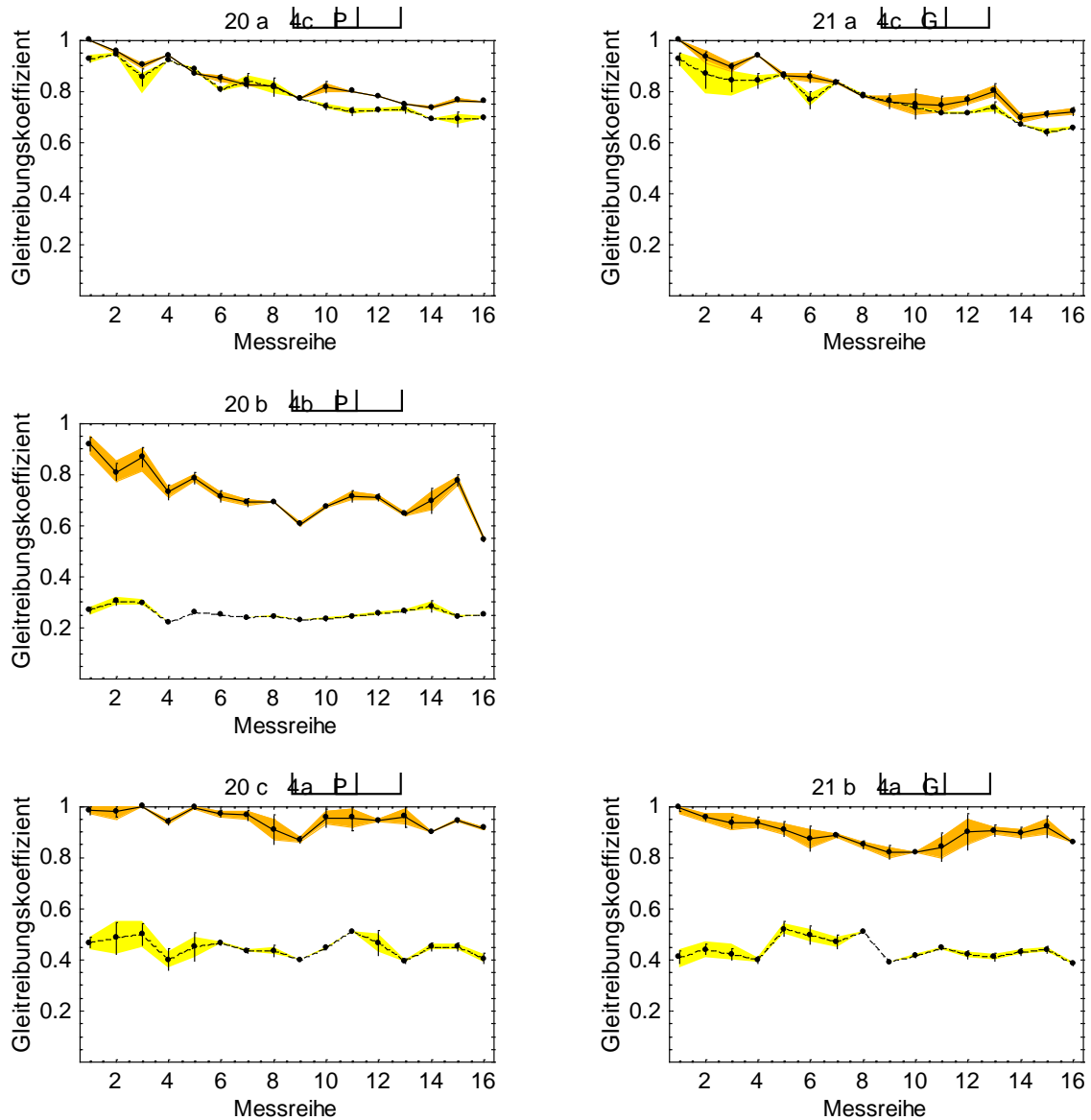
**Abbildung C.5:** Gleitreibungskoeffizienten für unterschiedliche Antirutschbeschichtungen. Die Behandlung des Typs 2a wurde auf den Bodenbelägen Novilon, PVC, Linoleum und dem Gumminoppenbelag appliziert (obere vier Grafiken), während die Behandlung des Typs 2aa nur auf PVC angewendet wurde (drittoberste Grafik links). Antirutschbeschichtungen der Kategorie 2b wurden zweimal auf PVC und einmal auf dem Gumminoppenbelag aufgebracht (Muster 6 bis 8).

### C.1.6 Antirutsch-Anstriche



**Abbildung C.6:** Gleitreibungskoeffizienten für zwei Arten von Antirutsch-Anstrichen. Der Anstrich des Typs 3a wurde auf den Bodenbelägen Novilon, PVC, Linoleum und dem Gumminoppenbelag appliziert (obere vier Grafiken), der Anstrich des Typs 3b nur auf Novilon, PVC und Linoleum (untere drei Grafiken). Für keines der untersuchten Muster scheinen die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten von der verwendeten Unterlage abzuhängen.

### C.1.7 Gleitschutzklebebänder



**Abbildung C.7:** Gleitreibungskoeffizienten für drei Arten von Gleitschutzklebebändern. Die Bänder der Kategorien 4a und 4c wurden sowohl auf PVC als auch auf dem Gumminoppenbelag verklebt (Grafiken oben bzw. unten), das Band der Kategorie 4b lediglich auf PVC (Grafik in der Mitte).











5/8					↑ / 0°			↓ / 180°			→ / 90°			← / 270°				
ID	Kat.	Bel.	Datum	Gl.	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\bar{\mu}$	$\Delta\mu$
9	3a	N	06.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
9	3a	N	15.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
9	3a	N	24.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	0.94	0.92	0.93	1	0.93	0.977	0.035
9	3a	N	05.10.99	G4	0	1	0	0	1	0	0	0.92	0	0	0.96	0	0.970	0.038
9	3a	N	03.11.99	G4	0	1	0	0	0.92	0	0	0.87	0	0	0.84	0	0.908	0.070
9	3a	N	02.12.99	G4	0	0.89	0	0	0.89	0	0	0.88	0	0	0.86	0	0.880	0.014
9	3a	N	07.01.00	G4	0	0.86	0	0	0.88	0	0	0.84	0	0	0.84	0	0.855	0.019
9	3a	N	18.02.00	G4	0	0.86	0	0	0.85	0	0	0.84	0	0	0.83	0	0.845	0.013
9	3a	N	17.03.00	G4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	3a	N	11.04.00	G4	0	0.87	0	0	0.87	0	0	0.84	0	0	0.87	0	0.863	0.015
9	3a	N	12.05.00	G4	0	0.85	0	0	0.86	0	0	0.83	0	0	0.82	0	0.840	0.018
9	3a	N	09.06.00	G4	0	0.88	0	0	0.85	0	0	0.79	0	0	0.81	0	0.833	0.040
9	3a	N	14.07.00	G4	0	0.84	0	0	0.84	0	0	0.83	0	0	0.83	0	0.835	0.006
9	3a	N	11.08.00	G4	0	0.83	0	0	0.81	0	0	0.80	0	0	0.80	0	0.810	0.014
9	3a	N	15.09.00	G5	0	0.91	0	0	0.88	0	0	0.85	0	0	0.87	0	0.878	0.025
9	3a	N	23.11.00	G6	0	0.83	0	0	0.87	0	0	0.83	0	0	0.84	0	0.843	0.019
9	3a	N	24.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3a	P	06.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
10	3a	P	15.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
10	3a	P	24.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	0.93	1	0.94	0.84	0.91	0.94	0.963	0.052
10	3a	P	05.10.99	G4	0	1	0	0	0	0	0	0.92	0	0	0.91	0	0.943	0.049
10	3a	P	03.11.99	G4	0	0.90	0	0	0.93	0	0	0.90	0	0	0.87	0	0.900	0.024
10	3a	P	02.12.99	G4	0	0.88	0	0	0.88	0	0	0.88	0	0	0.86	0	0.875	0.010
10	3a	P	07.01.00	G4	0	0.85	0	0	0.87	0	0	0.85	0	0	0.81	0	0.845	0.025
10	3a	P	18.02.00	G4	0	0.82	0	0	0.85	0	0	0.85	0	0	0.81	0	0.833	0.021
10	3a	P	17.03.00	G4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3a	P	11.04.00	G4	0	0.82	0	0	0.89	0	0	0.86	0	0	0.82	0	0.848	0.034
10	3a	P	12.05.00	G4	0	0.83	0	0	0.78	0	0	0.83	0	0	0.80	0	0.810	0.024
10	3a	P	12.05.00	G4	0	0.84	0	0	0.85	0	0	0.79	0	0	0.79	0	0.818	0.032
10	3a	P	14.07.00	G4	0	0.76	0	0	0.79	0	0	0.77	0	0	0.79	0	0.778	0.015
10	3a	P	11.08.00	G4	0	0.79	0	0	0.78	0	0	0.80	0	0	0.79	0	0.790	0.008
10	3a	P	15.09.00	G5	0	0.88	0	0	0.88	0	0	0.85	0	0	0.86	0	0.868	0.015
10	3a	P	23.11.00	G6	0	0.87	0	0	0.86	0	0	0.82	0	0	0.82	0	0.843	0.026
10	3a	P	24.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	3a	L	06.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
11	3a	L	15.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
11	3a	L	24.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	0.97	1	0.92	1	0.92	1	0.984	0.031
11	3a	L	05.10.99	G4	0	1	0	0	1	0	0	0.93	0	0	0.92	0	0.963	0.043
11	3a	L	03.11.99	G4	0	0.93	0	0	0.94	0	0	0.92	0	0	0.88	0	0.918	0.026
11	3a	L	02.12.99	G4	0	0.91	0	0	0.91	0	0	0.90	0	0	0.88	0	0.900	0.014
11	3a	L	07.01.00	G4	0	0.87	0	0	0.85	0	0	0.90	0	0	0.88	0	0.875	0.021
11	3a	L	18.02.00	G4	0	0.89	0	0	0.88	0	0	0.89	0	0	0.85	0	0.878	0.019
11	3a	L	17.03.00	G4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	3a	L	11.04.00	G4	0	0.89	0	0	0.88	0	0	0.85	0	0	0.82	0	0.860	0.032
11	3a	L	12.05.00	G4	0	0.85	0	0	0.87	0	0	0.86	0	0	0.81	0	0.848	0.026
11	3a	L	09.06.00	G4	0	0.87	0	0	0.87	0	0	0.83	0	0	0.81	0	0.845	0.030
11	3a	L	14.07.00	G4	0	0.84	0	0	0.87	0	0	0.87	0	0	0.83	0	0.853	0.021
11	3a	L	11.08.00	G4	0	0.80	0	0	0.82	0	0	0.84	0	0	0.82	0	0.820	0.016
11	3a	L	15.09.00	G5	0	0.92	0	0	0.91	0	0	0.88	0	0	0.89	0	0.900	0.018
11	3a	L	23.11.00	G6	0	0.92	0	0	0.90	0	0	0.88	0	0	0.86	0	0.890	0.026
11	3a	L	24.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	3a	G	06.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
12	3a	G	15.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
12	3a	G	24.09.99	G2	1	1	1	1	1	1	0.96	0.97	0.96	1	1	1	0.991	0.017
12	3a	G	05.10.99	G4	0	1	0	0	0.96	0	0	0.92	0	0	1	0	0.970	0.038
12	3a	G	03.11.99	G4	0	0.95	0	0	0.96	0	0	0.91	0	0	0.95	0	0.943	0.022
12	3a	G	02.12.99	G4	0	0.90	0	0	0.89	0	0	0.91	0	0	0.90	0	0.900	0.008
12	3a	G	07.01.00	G4	0	0.86	0	0	0.88	0	0	0.87	0	0	0.90	0	0.878	0.017
12	3a	G	18.02.00	G4	0	0.88	0	0	0.88	0	0	0.86	0	0	0.89	0	0.878	0.013
12	3a	G	17.03.00	G4	0	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.810	0.000
12	3a	G	11.04.00	G4	0	0.90	0	0	0.94	0	0	0.88	0	0	0.85	0	0.893	0.038
12	3a	G	12.05.00	G4	0	0.87	0	0	0.88	0	0	0.83	0	0	0.84	0	0.855	0.024
12	3a	G	09.06.00	G4	0	0.81	0	0	0.88	0	0	0.86	0	0	0.89	0	0.860	0.036
12	3a	G	14.07.00	G4	0	0.84	0	0	0.86	0	0	0.87	0	0	0.85	0	0.855	0.013
12	3a	G	11.08.00	G4	0	0.84	0	0	0.81	0	0	0.85	0	0	0.84	0	0.835	0.017
12	3a	G	15.09.00	G5	0	0.90	0	0	0.90	0	0	0.89	0	0	0.90	0	0.898	0.005
12	3a	G	23.11.00	G6	0	0.89	0	0	0.87	0	0	0.90	0	0	0.89	0	0.888	0.013
12	3a	G	24.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0





8/8					↑ / 0°			↓ / 180°			→ / 90°			← / 270°				
ID	Kat.	Bel.	Datum	Gl.	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\bar{\mu}$	$\Delta\mu$
20b	4b	P	03.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.88	0.92	0.95	0.91	0.91	0.94	0.918	0.025
20b	4b	P	14.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.77	0.78	0.82	0.79	0.84	0.85	0.808	0.033
20b	4b	P	24.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.90	0.86	0.90	0.81	0.84	0.89	0.867	0.037
20b	4b	P	05.10.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0.71	0	0	0.730	0.028
20b	4b	P	02.11.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.77	0	0	0.80	0	0	0.785	0.021
20b	4b	P	02.12.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.70	0	0	0.73	0	0	0.715	0.021
20b	4b	P	07.01.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.70	0	0	0.68	0	0	0.690	0.014
20b	4b	P	18.02.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.69	0	0	0.69	0	0	0.690	0.000
20b	4b	P	17.03.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.60	0	0	0.61	0	0	0.605	0.007
20b	4b	P	11.04.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.67	0	0	0.68	0	0	0.675	0.007
20b	4b	P	12.05.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.70	0	0	0.73	0	0	0.715	0.021
20b	4b	P	09.06.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.70	0	0	0.72	0	0	0.710	0.014
20b	4b	P	14.07.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.64	0	0	0.65	0	0	0.645	0.007
20b	4b	P	11.08.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.73	0	0	0.66	0	0	0.695	0.049
20b	4b	P	15.09.00	G5	0	0	0	0	0	0	0.76	0	0	0.79	0	0	0.775	0.021
20b	4b	P	23.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0.54	0	0	0.55	0	0	0.545	0.007
20b	4b	P	24.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20c	4a	P	03.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.97	0.97	0.97	0.99	1	1	0.983	0.015
20c	4a	P	14.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.97	0.95	0.96	1	1	1	0.980	0.023
20c	4a	P	24.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
20c	4a	P	05.10.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.95	0	0	0.93	0	0	0.940	0.014
20c	4a	P	02.11.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.99	0	0	1	0	0	0.995	0.007
20c	4a	P	02.12.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.96	0	0	0.98	0	0	0.970	0.014
20c	4a	P	07.01.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.95	0	0	0.98	0	0	0.965	0.021
20c	4a	P	18.02.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.87	0	0	0.95	0	0	0.910	0.057
20c	4a	P	17.03.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.88	0	0	0.86	0	0	0.870	0.014
20c	4a	P	11.04.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.93	0	0	0.98	0	0	0.955	0.035
20c	4a	P	12.05.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.92	0	0	0.99	0	0	0.955	0.049
20c	4a	P	09.06.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0.95	0	0	0.945	0.007
20c	4a	P	14.07.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.93	0	0	0.99	0	0	0.960	0.042
20c	4a	P	11.08.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.90	0	0	0.90	0	0	0.900	0.000
20c	4a	P	15.09.00	G5	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0.95	0	0	0.945	0.007
20c	4a	P	23.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0.91	0	0	0.92	0	0	0.915	0.007
20c	4a	P	24.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21a	4c	G	03.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
21a	4c	G	14.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.96	0.95	0.94	0.94	0.92	0.91	0.937	0.019
21a	4c	G	24.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.91	0.90	0.89	0.89	0.88	0.91	0.897	0.012
21a	4c	G	05.10.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0.94	0	0	0.940	0.000
21a	4c	G	02.11.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.85	0	0	0.87	0	0	0.860	0.014
21a	4c	G	02.12.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.87	0	0	0.84	0	0	0.855	0.021
21a	4c	G	07.01.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.83	0	0	0.84	0	0	0.835	0.007
21a	4c	G	18.02.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.78	0	0	0.78	0	0	0.780	0.000
21a	4c	G	17.03.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.78	0	0	0.74	0	0	0.760	0.028
21a	4c	G	11.04.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0.71	0	0	0.750	0.057
21a	4c	G	12.05.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.77	0	0	0.72	0	0	0.745	0.035
21a	4c	G	09.06.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.78	0	0	0.75	0	0	0.765	0.021
21a	4c	G	14.07.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.78	0	0	0.82	0	0	0.800	0.028
21a	4c	G	11.08.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0.68	0	0	0.695	0.021
21a	4c	G	15.09.00	G5	0	0	0	0	0	0	0.72	0	0	0.70	0	0	0.710	0.014
21a	4c	G	23.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0.73	0	0	0.71	0	0	0.720	0.014
21a	4c	G	24.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21b	4a	G	03.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.97	1	1	1	1	1	0.995	0.012
21b	4a	G	14.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.96	0.97	0.97	0.94	0.95	0.95	0.957	0.012
21b	4a	G	24.09.99	G2	0	0	0	0	0	0	0.94	0.97	0.95	0.91	0.92	0.93	0.937	0.022
21b	4a	G	05.10.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.95	0	0	0.92	0	0	0.935	0.021
21b	4a	G	02.11.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.89	0	0	0.93	0	0	0.910	0.028
21b	4a	G	02.12.99	G4	0	0	0	0	0	0	0.91	0	0	0.84	0	0	0.875	0.049
21b	4a	G	07.01.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.88	0	0	0.89	0	0	0.885	0.007
21b	4a	G	18.02.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.86	0	0	0.84	0	0	0.850	0.014
21b	4a	G	17.03.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.80	0	0	0.84	0	0	0.820	0.028
21b	4a	G	11.04.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.82	0	0	0.82	0	0	0.820	0.000
21b	4a	G	12.05.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.88	0	0	0.80	0	0	0.840	0.057
21b	4a	G	09.06.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.95	0	0	0.85	0	0	0.900	0.071
21b	4a	G	14.07.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.89	0	0	0.92	0	0	0.905	0.021
21b	4a	G	11.08.00	G4	0	0	0	0	0	0	0.91	0	0	0.88	0	0	0.895	0.021
21b	4a	G	15.09.00	G5	0	0	0	0	0	0	0.95	0	0	0.89	0	0	0.920	0.042
21b	4a	G	23.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0.86	0	0	0.86	0	0	0.860	0.000
21b	4a	G	24.11.00	G6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### C.3 Messdaten für Kunststoffgleiter

**Tabelle C.3:** Mit den Kunststoffgleitern auf Standard-PVC gemessene Gleitreibungskoeffizienten ( $\mu$ ) mit Mittelwert ( $\bar{\mu}$ ) und Standardabweichung ( $\Delta\mu$ ). Vor und nach einer Messreihe an den 30 Mustern wurden jeweils sechs Referenzmessungen durchgeführt.

ID	Kat.	Bel.	Datum	Gl.	Referenzmessungen vorher						Referenzmessungen nachher						$\bar{\mu}$	$\Delta\mu$
					$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	$\mu_5$	$\mu_6$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	$\mu_5$	$\mu_6$		
					↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓		
0	Ref	P	02.09.99	K2	0.25	0.25	0.22	0.25	0.21	0.22	0.35	0.39	0.32	0.34	0.32	0.36	0.290	0.063
0	Ref	P	14.09.99	K2	0.33	0.37	0.33	0.36	0.33	0.37	0.31	0.30	0.29	0.30	0.28	0.30	0.323	0.031
0	Ref	P	24.09.99	K2	0.27	0.27	0.28	0.27	0.29	0.26	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	0.211	0.066
0	Ref	P	05.10.99	K4	0.21	0.18	0.21	0.20	0.19	0.21	0.22	0.23	0.23	0.26	0.22	0.24	0.217	0.022
0	Ref	P	02.11.99	K4	0.23	0.27	0.24	0.27	0.24	0.28	0.26	0.30	0.26	0.29	0.27	0.28	0.266	0.021
0	Ref	P	02.12.99	K4	0.22	0.24	0.22	0.24	0.23	0.22	0.15	0.19	0.16	0.20	0.14	0.17	0.198	0.036
0	Ref	P	07.01.00	K4	0.18	0.22	0.18	0.22	0.18	0.21	0.23	0.26	0.21	0.27	0.21	0.26	0.219	0.031
0	Ref	P	18.02.00	K4	0.25	0.19	0.22	0.19	0.23	0.19	0.21	0.20	0.22	0.20	0.22	0.20	0.210	0.019
0	Ref	P	17.03.00	K4	0.19	0.26	0.18	0.22	0.20	0.23	0.20	0.22	0.20	0.22	0.20	0.23	0.213	0.022
0	Ref	P	11.04.00	K4	0.21	0.26	0.21	0.25	0.20	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.220	0.018
0	Ref	P	12.05.00	K4	0.22	0.28	0.20	0.25	0.21	0.25	0.22	0.24	0.20	0.24	0.20	0.25	0.230	0.026
0	Ref	P	09.06.00	K4	0.21	0.25	0.21	0.24	0.21	0.24	0.22	0.26	0.22	0.26	0.22	0.26	0.233	0.021
0	Ref	P	14.07.00	K4	0.22	0.24	0.22	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23	0.21	0.23	0.21	0.23	0.224	0.009
0	Ref	P	11.08.00	K4	0.21	0.23	0.21	0.23	0.21	0.23	0.25	0.26	0.23	0.25	0.22	0.25	0.232	0.017
0	Ref	P	15.09.00	K4	0.28	0.26	0.27	0.25	0.27	0.25	0.28	0.29	0.27	0.28	0.27	0.28	0.271	0.012
0	Ref	P	23.11.00	K4	0.26	0.29	0.26	0.29	0.26	0.29	0.23	0.22	0.23	0.24	0.26	0.22	0.254	0.026
0	Ref	P	24.11.00	K4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabelle C.4:** Mit Kunststoffgleitern gemessene Gleitreibungskoeffizienten ( $\mu$ ) mit Mittelwert ( $\bar{\mu}$ ) und Standardabweichung ( $\Delta\mu$ ). Die Messresultate sind auf zwei Nachkommastellen angegeben. Wenn der Messbereich überschritten wurde, wurde der Wert 1, und falls keine Messung durchgeführt wurde, der Wert 0 tabelliert. Die ersten drei Spalten geben die Identifikation des Musters, die Produktkategorie und den jeweiligen Belag an (P = PVC, L = Linoleum, N = Novilon, G = Gumminoppen).

1/8	ID	Kat.	Bel.	Datum	Gl.	↑ / 0°			↓ / 180°			→ / 90°			← / 270°			$\bar{\mu}$	$\Delta\mu$
						$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$		
22	0a	L	02.09.99	K2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0a	L	15.09.99	K2	0.38	0.38	0.37	0.36	0.37	0.35	0.36	0.38	0.35	0.35	0.36	0.34	0.363	0.014	
22	0a	L	24.09.99	K2	0.33	0.36	0.34	0.33	0.34	0.34	0.37	0.37	0.32	0.35	0.37	0.32	0.345	0.019	
22	0a	L	05.10.99	K4	0.27	0.30	0.27	0.26	0.28	0.27	0.26	0.29	0.24	0.25	0.28	0.24	0.268	0.019	
22	0a	L	02.11.99	K4	0.31	0.29	0.32	0.30	0.27	0.29	0.28	0.29	0.28	0.28	0.31	0.28	0.292	0.015	
22	0a	L	02.12.99	K4	0.34	0.37	0.39	0.34	0.39	0.35	0.39	0.43	0.42	0.42	0.40	0.42	0.388	0.032	
22	0a	L	07.01.00	K4	0.27	0.26	0.32	0.28	0.26	0.27	0.29	0.37	0.36	0.29	0.33	0.33	0.303	0.038	
22	0a	L	18.02.00	K4	0.30	0.36	0.27	0.27	0.27	0.27	0.34	0.36	0.41	0.32	0.34	0.35	0.322	0.046	
22	0a	L	17.03.00	K4	0.28	0.35	0.29	0.27	0.30	0.31	0.34	0.35	0.37	0.34	0.33	0.34	0.323	0.032	
22	0a	L	11.04.00	K4	0.33	0.35	0.34	0.30	0.30	0.31	0.40	0.41	0.42	0.40	0.37	0.38	0.359	0.044	
22	0a	L	12.05.00	K4	0.34	0.33	0.35	0.31	0.34	0.32	0.36	0.38	0.37	0.38	0.36	0.35	0.349	0.022	
22	0a	L	09.06.00	K4	0.36	0.36	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.36	0.34	0.35	0.35	0.34	0.347	0.009	
22	0a	L	14.07.00	K4	0.31	0.35	0.37	0.30	0.31	0.33	0.39	0.36	0.36	0.41	0.37	0.38	0.353	0.034	
22	0a	L	11.08.00	K4	0.34	0.37	0.40	0.34	0.34	0.39	0.42	0.39	0.40	0.43	0.39	0.40	0.384	0.031	
22	0a	L	15.09.00	K4	0.34	0.33	0.35	0.33	0.32	0.33	0.31	0.35	0.33	0.33	0.37	0.36	0.338	0.017	
22	0a	L	23.11.00	K4	0.35	0.33	0.34	0.34	0.30	0.29	0.35	0.35	0.36	0.36	0.32	0.34	0.336	0.022	
22	0a	L	24.11.00	K4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0a	L	02.09.99	K2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0a	L	15.09.99	K2	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.33	0.34	0.33	0.32	0.33	0.332	0.006	
23	0a	L	24.09.99	K2	0.30	0.31	0.34	0.30	0.28	0.31	0.33	0.34	0.29	0.33	0.34	0.26	0.311	0.026	
23	0a	L	05.10.99	K4	0.24	0.23	0.25	0.24	0.21	0.26	0.31	0.28	0.27	0.29	0.27	0.24	0.258	0.028	
23	0a	L	02.11.99	K4	0.29	0.25	0.25	0.29	0.24	0.25	0.25	0.26	0.25	0.24	0.25	0.26	0.257	0.017	
23	0a	L	02.12.99	K4	0.32	0.30	0.32	0.35	0.31	0.31	0.34	0.37	0.35	0.33	0.37	0.38	0.338	0.027	
23	0a	L	07.01.00	K4	0.26	0.27	0.32	0.27	0.24	0.27	0.30	0.34	0.35	0.29	0.29	0.33	0.294	0.034	
23	0a	L	18.02.00	K4	0.30	0.33	0.27	0.28	0.29	0.26	0.34	0.38	0.39	0.32	0.34	0.31	0.318	0.041	
23	0a	L	17.03.00	K4	0.31	0.31	0.30	0.27	0.27	0.25	0.33	0.40	0.38	0.37	0.34	0.33	0.322	0.046	
23	0a	L	11.04.00	K4	0.31	0.36	0.32	0.33	0.32	0.31	0.37	0.41	0.44	0.36	0.37	0.36	0.355	0.040	
23	0a	L	12.05.00	K4	0.29	0.30	0.32	0.28	0.30	0.29	0.30	0.41	0.38	0.36	0.37	0.36	0.330	0.043	
23	0a	L	09.06.00	K4	0.28	0.28	0.30	0.28	0.29	0.28	0.31	0.36	0.35	0.34	0.35	0.32	0.312	0.031	
23	0a	L	14.07.00	K4	0.30	0.30	0.32	0.29	0.31	0.34	0.35	0.38	0.41	0.33	0.36	0.31	0.333	0.036	
23	0a	L	11.08.00	K4	0.32	0.32	0.31	0.31	0.29	0.31	0.37	0.38	0.40	0.37	0.34	0.37	0.341	0.036	
23	0a	L	15.09.00	K4	0.32	0.30	0.30	0.32	0.29	0.29	0.30	0.28	0.30	0.29	0.30	0.29	0.298	0.012	
23	0a	L	23.11.00	K4	0.27	0.28	0.34	0.27	0.26	0.28	0.32	0.35	0.34	0.35	0.32	0.31	0.308	0.034	
23	0a	L	24.11.00	K4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

















## Anhang D: Visuelle Beurteilung der abgenutzten Oberflächen

**Tabelle D.1:** Visuelle Beurteilung der abgenutzten Muster nach Abschluss der Messungen zur Gleitfestigkeit (durchgeführt am 24.11.2000).

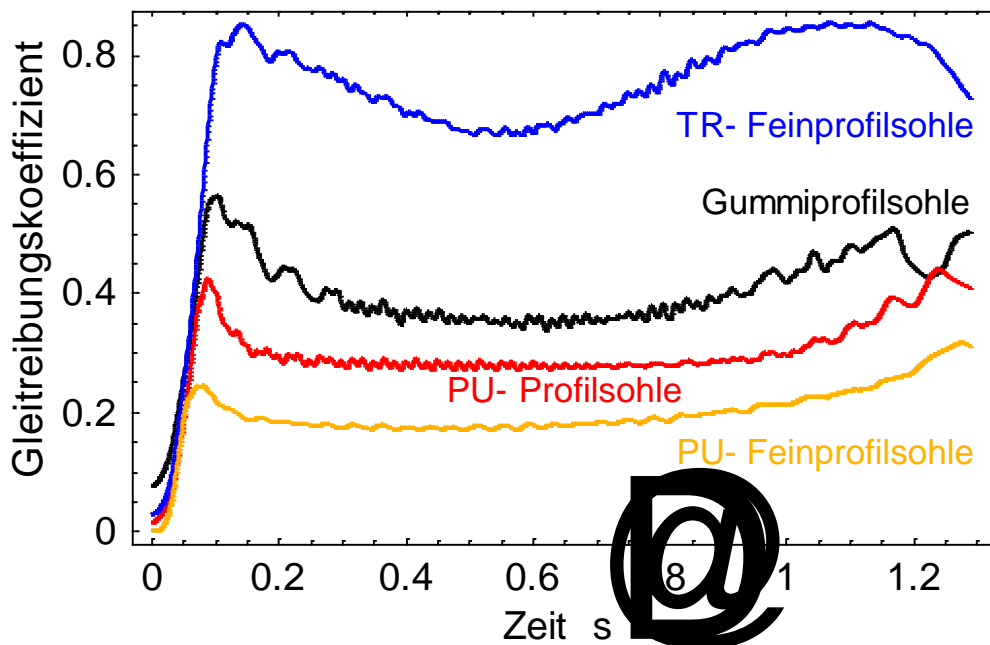
Kategorie	Produkt	Muster-bez.	Bodenbelag	Beobachtungen
Unbehandelte Oberflächen	0	A	Novilon	Gebrauchsspuren
		B	PVC	Gebrauchsspuren und Verfärbung (Eindiffundieren von Schmutz in den Belag)
		C	Linoleum	Gebrauchsspuren
		D	Gumminoppen	Gebrauchsspuren
Antirutschbeschichtungen	2a	1	Novilon	Beschichtung intakt
		2	PVC	Beschichtung intakt
		3	Linoleum	Beschichtung intakt
		4	Gumminoppen	Von der Beschichtung sind nur stellenweise noch kleine Reste übrig.
	2aa	5	PVC	Beschichtung intakt
	2b	6	PVC	Beschichtung intakt
		7	PVC	Beschichtung intakt
		8	Gumminoppen	Beschichtung ist grösstenteils intakt, an einigen Stellen jedoch punktuell abgelöst.
Antirutsch-Anstriche		3a	9	Novilon
	10		PVC	Beschichtung intakt
	11		Linoleum	Beschichtung intakt
	12		Gumminoppen	Sehr deutliche Ablösungserscheinungen der Beschichtung
	3b	13	Novilon	Zahlreiche Beschädigungen, vermutlich durch Einbrechen der harten Beschichtung in den relativ weichen Bodenbelag.
		14	PVC	Beschichtung intakt
		15	Linoleum	Beschichtung intakt
		Schutzbehandlung	1	16
17	PVC			Beschichtung intakt
18	Linoleum			Beschichtung intakt
19	Gumminoppen			Beschichtung intakt
Gleitschutzklebebänder	4c	20a	PVC	Alle drei aufgeklebten Streifen sind intakt, weisen aber deutliche Gebrauchsspuren auf.
	4b	20b	PVC	
	4a	20c	PVC	
	4c	21a	Gumminoppen	Beide aufgeklebten Streifen sind intakt, weisen aber deutliche Gebrauchsspuren auf.
	4a	21b	Gumminoppen	

## Anhang E: Gleitschutzklebeband 4b - Messungen mit dem Wuppertaler Boden- und Schuhtester

Beim Gleitschutzklebeband 4b wurden mit dem Gummi- bzw. Kunststoffgleiter Gleitreibungskoeffizienten in völlig unterschiedlichen Größenbereichen gefunden, vgl. Kapitel 4.5 und Abbildung 4.9. Um zu überprüfen, wie materialabhängig die Reibung von Schuhsohlen auf diesem Klebeband ist, wurden mit einem Wuppertaler Boden- und Schuhtester Reibungsversuche in Anlehnung an das bfu-Prüfreglement für Bodenbeläge mit erhöhter Gleitfestigkeit durchgeführt [2]. Das Produkt 4b wurde auf eine Aluminiumplatte verklebt und mit vier verschiedenen Standardschuhen unter nassen Bedingungen untersucht (Zwischenmedium: Wasser mit 0.5% Netzmittel). Tabelle E.1 und Abbildung E.1 zeigen, dass die gemessenen Gleitreibungskoeffizienten für die unterschiedlichen Sohlenmaterialien stark voneinander abweichen.

**Tabelle E.1:** Resultate von Reibungsversuchen mit dem Wuppertaler Boden- und Schuhtester. Das Klebeband 4b wurde mit vier verschiedenen Standardschuhen unter nassen Bedingungen untersucht. Mit jedem Schuh wurden jeweils 15 Messungen durchgeführt.

Standardschuh (jeweils linker Schuh)	gemittelter Gleitreibungskoeffizient (15 Messungen)	Standardabweichung
Sicherheitsschuh mit Gummisohle	0.355	0.010
Sicherheitsschuh mit PU-Sohle	0.278	0.003
Strassenschuh mit TR-Sohle	0.674	0.050
Strassenschuh mit PU-Sohle	0.173	0.007



**Abbildung E.1:** Gleitreibungskoeffizienten zwischen dem Klebeband 4b und vier Standardschuhen unter nassen Bedingungen, gemessen mit dem Wuppertaler Boden- und Schuhtester. Dargestellt sind gemittelte Kurven, die auf 15 einzelnen Messungen basieren.



# Sicher leben: Ihre bfu.

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

© bfu 2001. Alle Rechte vorbehalten; Reproduktion (z. B. Fotokopie), Speicherung, Verarbeitung und Verbreitung sind mit Quellenangabe (s. Zitationsvorschlag) gestattet