

Master's Thesis

Development of a new method for determining the slip resistance of ceramic floor coverings

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Entwicklung einer neuen Methode zur Bestimmung der Rutschhemmung keramischer Bodenbeläge

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Thomas Buchner, BSc

Matr.Nr.: 01325575

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Andreas Kolbitsch**

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Michael Höflinger**

Institut für Hochbau und Technologie – Forschungsbereich für Hochbaukonstruktionen
und Bauwerkserhaltung
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/206, A-1040 Wien

Wien, im Juni 2018

Danksagung

Ich danke vor allem Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kolbitsch, der es mir ermöglichte diese Diplomarbeit am Institut für Hochbau und Technologie zu schreiben und mir bei Anliegen immer sehr entgegenkommend weiterhalf.

Des Weiteren danke ich Herrn Komm.-Rat Horst Baumgartlinger, Frau Dipl.-Ing. (FH) Anita Wolf, Herrn Ing. Peter Kluhs und Herrn Mag. (FH) Harald Emberger, die durch die Vergabe des Wirtschaftskammerpreises dieses Forschungsprojekt initiierten, und in allen Phasen tatkräftig unterstützten.

Ein großes Dankeschön ergeht an meinen Betreuer Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Höflinger, der trotz meiner häufigen Fragen und Bedenken nicht müde wurde mich zu unterstützen und mir weiterzuhelfen.

Ich bedanke mich ebenfalls bei meinen Kollegen die mich tatkräftig unterstützten (Barbara Bucher, Michael Jamek, Haiko Kanovsky, Gerhard Kidery, Patricia Kosa, Aleksandar Radoevski, Andreas Rudisch und Anja Ziniel).

Ein besonderer Dank gebührt meinem Kollegen András Zeöld, der immer sehr gute Ideen einbrachte und für eine unterhaltsame Labortätigkeit sorgte. Ohne ihn wäre es nicht möglich gewesen die große Anzahl an Versuchen durchzuführen.

Meinem Studienkollegen und guten Freund Mario Nowotny möchte ich auch einen großen Dank aussprechen. Unsere Zusammenarbeit während des Studiums war immer sehr produktiv und hat einige Hürden erleichtert. Außerdem kam auch der Spaß nie zu kurz.

Meinen Eltern danke ich dafür, dass sie mich während des gesamten Studiums großzügig unterstützten und mir immer ein verlässlicher Rückhalt waren und sind.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Ehefrau und meinen Kindern für ihre tatkräftige Unterstützung während meines Studiums und ihr Verständnis für „längere“ Arbeits- bzw. Lerntage danken.

Kurzfassung

Zwischen 5% und 14% aller Arbeitsunfälle in Deutschland sind auf Ausgleiten (umgangssprachlich „Ausrutschen“) zurückzuführen (DGUV, 2017). Um dem entgegenzuwirken ist es wichtig, je nach Einsatzbereich eines Bodenbelages, Anforderungen an die rutschhemmenden Eigenschaften zu stellen. Besondere Bedeutung kommt hierbei der Klassifizierung der Bodenbeläge nach deren Rutschhemmung zu.

Im Jahr 2016 wurde ein Preis der Wirtschaftskammer Österreich (Wirtschaftskammerpreis) an Herrn Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Höflinger vergeben, um neue Methoden zur Bestimmung der Rutschhemmung von Bodenbelägen zu finden bzw. zu untersuchen. Federführend bei der Vergabe waren seitens der WKO Herr Mag. (FH) Harald Emberger und Herr Ing. Peter Kluhs. Des Weiteren waren Frau Dipl.-Ing. (FH) Anita Wolf und Herr Komm.-Rat Horst Baumgartlinger vom Österreichischen Fliesenverband maßgebend beteiligt.

Aus dem daraus folgenden Forschungsprojekt entstand die vorliegende Diplomarbeit. Diese beschreibt die Entwicklung einer neuen, kostengünstigen, mobilen und rasch durchführbaren Methode zur Bestimmung der Rutschhemmung von keramischen Bodenbelägen. Die grundlegende Idee war, ein Medium zu beschleunigen, anschließend dessen Gleitdistanz bzw. Ausbreitung auf dem Bodenbelag zu vermessen und daraus eine Aussage über rutschhemmende Eigenschaften des betrachteten Bodenbelages abzuleiten.

Im Zuge dieser Arbeit wurde ausgehend von der anfänglichen Idee ein Versuchsaufbau entwickelt. Das Herzstück dieses Aufbaus ist ein PVC-Rohr mit einem Innendurchmesser von 22 mm als Rutsche zur Beschleunigung des Mediums, welches im Winkel von 45° zur Horizontalen befestigt ist. Als Rutschmedium wird handelsüblicher Filtersand mit der Korngröße 0,4 bis 0,8 mm verwendet. Der Sand wird in der Rutsche beschleunigt und breitet sich anschließend auf dem zu testenden Bodenbelag aus. Vermessen wird die vom Sand bedeckte Fläche, der Öffnungswinkel (als Maß der Verteilung des Sandes in Querrichtung) des Sandmusters und dessen Schwerpunktabstand vom Rohrende.

Mit diesem Versuchs-Setup wurde eine Versuchsserie mit 18 unterschiedlichen Fliesensorten der R-Klassen R9 bis R13 (mit bekannten μ -Werten, welche durch Messung mit dem Gleitreibungsmessgerät *GMG 200* ermittelt wurden) durchgeführt. Im Zuge der Auswertung wurden die Versuchsergebnisse mit den vom Hersteller gegebenen μ -Werten, R-Klassen und auch ABC-Klassen verglichen. Das Ergebnis ist im Wesentlichen eine gute Korrelation des Schwerpunktabstandes des Sandmusters vom Rohrende mit den R-Klassen und ABC-Klassen. Die Gleitdistanz des Sandes nimmt mit zunehmender Rutschhemmung des Bodenbelages tendenziell ab.

Abstract

Between 5% and 14% of all work accidents in Germany are slip and fall accidents (DGUV, 2017). In order to counteract this, floor coverings require certain anti-slip properties, and need to be classified according to their slip resistance

In 2016, a research grant from the Austrian Federal Economic Chamber was awarded to Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Höflinger with the purpose of finding and investigating new methods for determining the slip resistance of floor coverings. Responsible for the awarding were Mag. (FH) Harald Emberger, Ing. Peter Kluhs, Dipl.-Ing. (FH) Anita Wolf and Komm.-Rat Horst Baumgartlinger.

From the ensuing research projekt, this diploma thesis was created. It describes the development of a new, cost-effective, mobile and fast method for determining the slip resistance of ceramic floor coverings. The basic concept was to accelerate a medium and to measure its sliding distance and spread on the floor covering. From this, one can issue a statement about the anti-slip properties of the considered floor covering.

Based on the initial idea, an experimental setup was developed. The centerpiece of this construction is a PVC-pipe with a inner diameter of 22 mm which functions as a chute to accelerate the medium. The chute is mounted at an angle of 45° to the horizontal. Commercial filter sand with a grain size of 0.4 to 0.8 mm is used as sliding medium. The sand is accelerated through the chute and then spreads out on the tested floor covering. The area covered by the sand, the opening angle (as a measure of the distribution of the sand in the transverse direction) of the sand pattern and its centroid distance from the pipe end are measured.

This test setup was used for a series of 18 different tile types with R-classifications from R9 to R13 (with known coefficient of sliding friction, determined by *GMG 200*). In the course of the analysis, the test results were compared with the known coefficients of sliding friction, R- and ABC-classes. The results show a good correlation of the centroid distance of the sand pattern from the pipe end with the R-classes and ABC-classes. The sliding distance of the sand tends to decrease with increasing slip resistance of the floor covering.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Idee und Zielsetzung	1
2	Grundlagen – Stand der Technik	3
2.1	Keramische Bodenbeläge – Fliesen und Platten	3
2.2	Anforderungen an Bodenbeläge	4
2.3	Das Reibungssystem zwischen Schuh und Boden beim menschlichen Gang	5
2.4	Normativ verankerte Verfahren zur Ermittlung der rutschhemmenden Eigenschaften von Bodenbelägen	6
2.4.1	Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden durch barfußiges Begehen einer schiefen Ebene	6
2.4.2	Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden durch beschuhtes Begehen einer schiefen Ebene	8
2.4.3	Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden mittels Pendelprüfung	10
2.4.4	Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden mittels Tribometer-Prüfung	11
2.4.5	Die Messung des Verdrängungsraumes nach (DIN 51130, 2014)	14
2.4.6	Geometrische Vermessung der Oberflächenbeschaffenheit	14
3	Entwicklung des Versuchsaufbaus	15
3.1	Grundlegende Idee der Messmethode	15
3.2	Rutschenlänge und Rutschenquerschnitt	16
3.3	Neigungswinkel α und Austrittswinkel β	17
3.4	Die getesteten Rutschmedien	18
3.5	Dosierung des Sandes	21
3.6	Einflussfaktoren auf die zurückgelegte Distanz	21
4	Versuchsbeschreibung und Durchführung	23
4.1	Beschreibung der Versuchseinrichtung	23
4.2	Die verwendeten Fliesen und deren Besonderheiten	25
4.3	Untersuchungsprogramm	35
4.4	Versuchsdurchführung	37
4.5	Vermessung des Sandmusters	38
5	Auswertung und Ergebnisse	40
5.1	Auswertung der aufgenommenen Daten	40
5.2	Ergebnisse	41
5.2.1	Zusammenhang zwischen R- bzw. ABC-Klasse und μ -Wert	42
5.2.2	Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den bekannten μ -Werten	43
5.2.3	Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den bekannten R-Klassen	46

5.2.4	Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den bekannten ABC-Klassen	50
5.2.5	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse je R-Klasse	54
5.2.6	Vergleich der künstlich verschlissenen Fliesen mit dem Ausgangszustand .	57
6	Interpretation – Schlussfolgerung und Ausblick	58
6.1	Interpretation der Ergebnisse	58
6.1.1	Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und dem μ -Wert . . .	58
6.1.2	Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den R-Klassen . .	59
6.1.3	Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den ABC-Klassen	60
6.1.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse je R-Klasse	61
6.1.5	Vergleich der künstlich verschlissenen Fliesen mit dem Ausgangszustand .	61
6.2	Schlussfolgerung und Ausblick	62
7	Zusammenfassung	64

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Jeder Mensch weiß aus eigenen Erfahrungen wie rasch es durch Unachtsamkeit zu Unfällen infolge Ausgleiten (umgangssprachlich „Ausrutschen“) oder Stolpern kommen kann. Die Unfallgefahr durch Stürze ist im menschlichen Leben allgegenwärtig. Dies gilt sowohl für den beruflichen als auch für den Heim- und Freizeitbereich.

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung hat eine statistische Auswertung zum Thema Arbeitsunfälle im Bericht *Statistik – Arbeitsunfallgeschehen 2016* (DGUV, 2017) veröffentlicht. (Hier wird auf eine deutsche Statistik verwiesen, da diese eine sehr detaillierte Aufschlüsselung der Unfallursachen enthält. Allerdings kann angenommen werden, dass die prozentuellen Anteile der Unfallursachen am gesamten Arbeitsunfallgeschehen in Österreich annähernd gleich groß sind.) Laut dieser Quelle sind rund 20% aller meldepflichtigen Arbeitsunfälle auf Ausgleiten, Stolpern, Umknicken und Hinfallen zurückzuführen. Der Anteil der Unfälle, welche alleine durch Ausgleiten geschehen liegt zwischen 5% und 14% vom gesamten Arbeitsunfallgeschehen. Da hier nur meldepflichtige Arbeitsunfälle enthalten sind, kann vermutet werden, dass die tatsächlichen Unfallzahlen aufgrund von Ausgleiten (inklusive Heim- und Freizeitunfällen) deutlich höher sind.

Daher ist es von großer Wichtigkeit Überlegungen anzustellen, wie diese Unfallzahlen minimiert werden können. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz von ausreichend rutschhemmenden Bodenbelägen für spezifische Anwendungen erreicht werden. In Österreich und Deutschland gibt es einige Regelwerke, worin die Überprüfung von Fußböden hinsichtlich rutschhemmender Eigenschaften und die anschließende Klassifizierung enthalten sind. Des Weiteren existieren Regelwerke, worin festgelegt wird welchen Anforderungen ein Bodenbelag für einen spezifischen Einsatzbereich gerecht werden muss.

Im Jahr 2016 wurde ein Preis der Wirtschaftskammer Österreich (Wirtschaftskammerpreis) an Herrn Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Höflinger vergeben, um neue Methoden zur Bestimmung der Rutschhemmung von Bodenbelägen zu finden bzw. zu untersuchen. Federführend bei der Vergabe waren seitens der WKO Herr Mag. (FH) Harald Emberger und Herr Ing. Peter Kluhs. Des Weiteren waren Frau Dipl.-Ing. (FH) Anita Wolf und Herr Komm.-Rat Horst Baumgartlinger vom Österreichischen Fliesenverband maßgebend beteiligt. Aus dem daraus folgenden Forschungsprojekt entstand die vorliegende Diplomarbeit.

1.2 Idee und Zielsetzung

Die Verfahren, welche zur Bestimmung rutschhemmender Eigenschaften von Bodenbelägen in Verwendung sind, weisen unterschiedliche Vor- und Nachteile auf (siehe **Kap. 2.4**). Es gibt

beispielsweise Verfahren, die nur im Labor angewendet werden können und solche, die sowohl im Labor als auch vor Ort verwendet werden können. Auch das notwendige Know-how zur Versuchsdurchführung ist unterschiedlich.

Die Idee war nun eine neue Methode zu entwickeln um speziell keramische Bodenbeläge (Fliesen) auf deren Rutschhemmung zu untersuchen. Hierbei wurde der Fokus auf folgende Eigenschaften gelegt:

- **Mobilität:** Die Methode soll vor Ort und auch als Laborprüfung verwendet werden können.
- **Rasche und einfache Durchführbarkeit:** Die Messungen sollen rasch und einfach durchzuführen sein, sodass kein spezielles Know-how erforderlich ist.
- **Kostengünstigkeit:** Sowohl die Versuchsdurchführung, als auch die Anschaffung der dafür notwendigen Geräte mit Zubehör soll kostengünstig sein.

Die Kombination dieser Eigenschaften bringt einige Vorteile mit sich. Durch günstige Anschaffung und einfache Handhabung soll die Methode für jeden Bodenleger anwendbar sein. Dadurch soll sich bereits der Bodenleger einen Eindruck verschaffen und feststellen können ob ein bestimmter Bodenbelag den vorgegebenen Anforderungen entspricht. Außerdem sollen durch die Mobilität der Methode Vergleichsmessungen und somit die Feststellung von Verschleiß möglich sein.

In dieser Diplomarbeit wird Eingangs das Thema keramische Bodenbeläge und deren Anforderungen erläutert. Anschließend wird auf das Reibungssystem zwischen Schuh und Boden beim menschlichen Gang näher eingegangen und die in Österreich gängigen Methoden zur Bestimmung der Rutschhemmung von Bodenbelägen erklärt. Des Weiteren folgt die Beschreibung der Entwicklung einer neuen Methode zur Bestimmung der Rutschhemmung von keramischen Bodenbelägen. Abschließend wird beschrieben, wie mit dieser Methode eine Versuchsserie, mit 18 unterschiedlichen Fliesensorten, durchgeführt und ausgewertet wurde.

Kapitel 2

Grundlagen – Stand der Technik

2.1 Keramische Bodenbeläge – Fliesen und Platten

Die folgende, kurze Einleitung zum Thema keramische Bodenbeläge und deren Anwendung wurde aus (Pech et al., 2016) entnommen.

Der sichtbare Teil einer Fußbodenkonstruktion wird als Bodenbelag bezeichnet. Es steht eine Vielzahl von Materialien zur Verfügung die zur Herstellung von Bodenbelägen verwendet werden. Anhand der Materialien können folgende Gruppen unterschieden werden:

- Natursteinbeläge
- Kunststeinbeläge (zum Beispiel zementgebunden, bitumengebunden)
- keramische Beläge (Fliesen und Platten)
- Holzfußböden
- elastische Beläge (ein- oder mehrschichtige Bahnen, Platten)
- textile Beläge
- Beschichtungen

Zu den keramischen Bodenbelägen zählen Fliesen, Platten, Spaltplatten, Pflasterklinker und Cottoplatten, wobei zwischen Fliesen und Platten kein normdefinierter Unterschied besteht. Die vorliegende Diplomarbeit beschränkt sich ausschließlich auf Fliesen (bzw. Platten). Aus diesem Grund wird in weiter Folge nur auf Fliesen (bzw. Platten) eingegangen.

Fliesen und Platten können für unterschiedlichste Anwendungsgebiete verwendet werden. Sie bestehen aus Tonen oder anderen anorganischen Rohstoffen, welche durch Strang- oder Trockenpressen in die gewünschte Form (dünne Platten) gebracht sowie anschließend getrocknet und gebrannt werden. Da es keine normative Regelung zum Fliesenformat gibt, ist eine große Palette unterschiedlicher Fliesengrößen und -dicken am Markt erhältlich. Diese Vielfalt reicht von kleinen, auf einem Netz applizierten Mosaikfliesen bis zu großen Keramikplatten mit Kantenlängen über 120 cm. Fliesen und Platten sind verschleißfest, unbrennbar, pflegeleicht und in unterschiedlichsten Farben und Formen erhältlich. Für Informationen zur Verlegung von Fliesen und Platten, wird auf (Pech et al., 2016) und (ÖNORM B 3407, 2015) verwiesen.

Eine Einteilung der Fliesen und Platten nach dem Material kann anhand der Art des Scherbens vorgenommen werden:

- **Sintergut, Grob- und Feinsteinzeug:** Die Brenntemperatur liegt hierbei zwischen 1200 und 1300°C. Dadurch ist die Wasseraufnahmefähigkeit sehr gering.

- **Irdengut, Steingut, Tonware:** Die Brenntemperaturen liegen unter 1000°C. Diese Materialien nehmen daher leichter Wasser auf und sind nicht frostsicher.

In (ÖNORM EN 14411, 2016) werden keramische Fliesen und Platten einerseits nach dem Herstellungsverfahren (Strangpressen oder Trockenpressen) und andererseits nach dem Grad der Wasseraufnahme in Gruppen eingeteilt. Des Weiteren sind in dieser Europäischen Norm Eigenschaften, Bewertung und Überprüfung der Leistungsbständigkeit sowie Kennzeichnung von Fliesen und Platten beschrieben.

2.2 Anforderungen an Bodenbeläge

An Bodenbeläge werden – je nach Anwendungsgebiet – vielfältige Anforderungen gestellt. Diese sind beispielsweise:

- Gleitsicherheit, Trittsicherheit
- Verschleißfestigkeit, Eindrückfestigkeit
- Reflexionsgrad
- Trittschalldämmung, Schallschluckvermögen
- Wärmedämmung, Fußwärme
- Brennbarkeit, Qualmbildung, Toxizität
- elektrostatisches Verhalten
- Reinigung und Pflege
- raumgestalterische Aspekte

Da sich die vorliegende Diplomarbeit mit rutschhemmenden Eigenschaften von Bodenbelägen befasst, wird in weiterer Folge ausschließlich auf Anforderungen bezüglich Rutsch- und Sturzsicherheit eingegangen.

In den folgenden Absätzen werden die in Österreich geltenden Gesetze, welche die Anforderungen an Bodenbeläge bezüglich Rutschhemmung enthalten, aufgelistet und deren Inhalt in Grundzügen beschrieben.

- Laut (OIB, 2018) ist in den Bauordnungen der österreichischen Bundesländer festgehalten, dass die OIB-Richtlinien einzuhalten sind. Laut OIB-Richtlinie 4 *Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit*, Abschnitt 3.1.1 müssen Gänge, Treppen, Rampen, Bauwerkszugänge sowie allgemein zugängliche Bereiche eben, befestigt und trittsicher sein. Außerdem müssen die Oberflächen – je nach Verwendungszweck – eine ausreichende Rutschhemmung aufweisen. (OIB-Richtlinie 4, 2015)

In den Erläuternden Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 4 wird darauf hingewiesen, dass die Rutschhemmung eines Bodenbelages besonders von dessen Material und Oberfläche sowie von meteorologischen Einflüssen und von der vorhandenen Feuchtigkeit abhängt. Weiters wird vermerkt, dass alle Bodenbeläge, die von einer harmonisierten Europäischen Norm erfasst sind, eine CE-Kennzeichnung tragen. In der, der CE-Kennzeichnung beigefügten Leistungserklärung sind Angaben zum Rutschverhalten oder zur Reibung enthalten. Diese können zur Beurteilung herangezogen werden, ob der Bodenbelag den Anforderungen laut OIB-Richtlinie 4 entspricht.

- Zusätzlich zu den OIB-Richtlinien gilt für Arbeitsstätten die (Arbeitsstättenverordnung, 2018). Darin wird in Abschnitt 1, § 6 festgelegt, dass Fußbodenoberflächen in Arbeitsstätten trittsicher und rutschhemmend sein müssen sowie keine Stolperstellen aufweisen dürfen. Genauere Angaben zur Beurteilung von Bodenbelägen bezüglich rutschhemmender Eigenschaften sind nicht enthalten.
- Die Sektion VII *Arbeitsrecht und Zentral-Arbeitsinspektorat* des Bundesministeriums für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz verweist auf (ÖNORM Z 1261, 2009) zur Messung des Gleitreibungskoeffizienten. Zusätzlich steht ein Erlass des Zentral-Arbeitsinspektorates zur Verfügung, worin die Anforderungen an Bodenbeläge (Gleitreibungskoeffizient bzw. R-Klasse) für Großküchen festgelegt sind. Für Arbeitsbereiche, die nicht in diesem Erlass behandelt werden, wird auf (BGR 181, 2003) verwiesen. Dies ist eine Regel des deutschen Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften worin die Anforderungen an Bodenbeläge (nur R-Klasse) für unterschiedlichste Arbeitsräume vorgeschrieben werden. (Zentral-Arbeitsinspektorat, 2018)

2.3 Das Reibungssystem zwischen Schuh und Boden beim menschlichen Gang

Die Hauptkomponenten des Reibungssystems zwischen Schuh und Boden sind laut (Wetzel, 2012)

- Fußboden,
- Zwischenmedium,
- Schuh und
- Umgebungsbedingungen.

Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Ausprägungen dieser Parameter und deren gegenseitige Beeinflussung ist dieses System sehr komplex. In **Tab. 2.1** sind, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, einige Arten und Beispiele unterschiedlicher Einflussfaktoren zusammengestellt.

Tab. 2.1: *Komponenten des Reibungssystems zwischen Schuh und Boden beim menschlichen Gang (Wetzel, 2012)*

Komponente	Art/Beispiele
Fußboden	glatte, strukturierte, profilierte Bodenbeläge aus unterschiedlichen Materialien (Keramik, Holz, Kunststoff, Naturstein usw.)
Zwischenmedium	feste, flüssige, fettige oder viskose Zwischenmedien (Staub, Nässe, Öl usw.)
Schuh	Barfuß, Straßenschuhe, Freizeitschuhe, Sicherheitsschuhe mit unterschiedlichem Sohlmaterial und -profil
Umgebungsparameter	klimatische (Wetter, Temperatur usw.), personenbezogene (Gewicht, Ganggeschwindigkeit, Eile, Ermüdung usw.), organisatorische (Reinigung, Beleuchtung usw.)

In die Hauptkomponente *Umgebungsbedingungen* fällt auch der Faktor Mensch bzw. der menschliche Gang. Beim Aufsetzen eines Fußes auf den Untergrund wirken horizontale und

vertikale Kräfte. Die Reibungskraft zwischen Untergrund und Schuh ist proportional zur vertikalen Kraft (Reibungsgesetz mit μ als Proportionalitätsfaktor). Ist die horizontale Kraft beim Aufsetzten größer als die entgegenwirkende Reibungskraft kommt es zum Ausgleiten. (Fischer et al., 2009)

In der Vergangenheit wurden einige Verfahren entwickelt um die rutschhemmenden Eigenschaften des beschriebenen Reibungssystems zu quantifizieren. Mit den einzelnen Verfahren, den wissenschaftlichen Grundlagen sowie der spezifischen Anwendung unterschiedlicher Verfahren befassen sich unter anderem (Fischer, 2005), (Fischer et al., 2008), (Fischer et al., 2009), (Wetzel, 2012), (Karaca et al., 2013), (Terjék, 2013), (Wetzel et al., 2013), (Engels, 2014), (Soo-Kyung et al., 2015), (Stamenković et al., 2017) und (Terjék and Dudás, 2018).

Im folgenden Kapitel werden die in Österreich und Deutschland normativ verankerten Verfahren zur Ermittlung der Rutschhemmung kurz beschrieben.

2.4 Normativ verankerte Verfahren zur Ermittlung der rutschhemmenden Eigenschaften von Bodenbelägen

Die (ONR CEN/TS 16165, 2016) stellt die folgenden vier unterschiedlichen Verfahren bzw. die dabei gemessenen Größen zur Beurteilung der Rutschhemmung von Bodenbelägen zur Verfügung:

- Prüfung durch barfüßiges Begehen einer schiefen Ebene (ABC-Klassen)
- Prüfung durch beschuhtes Begehen einer schiefen Ebene (R-Klassen)
- Pendelprüfung zur Bestimmung der Reibung (Pendelwert – PTV)
- Tribometer-Prüfung (Gleitreibungskoeffizient – μ -Wert)

Zusätzlich existiert die (ÖNORM Z 1261, 2009), worin die Messung des Gleitreibungskoeffizienten in Gebäuden und im Freien von Arbeitsstätten festgelegt ist und die (ÖNORM EN 14231, 2003), worin die Pendelprüfung zur Beurteilung der Rutschhemmung von Natursteinoberflächen festgelegt ist. Zur Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden durch barfüßiges bzw. beschuhtes Begehen einer schiefen Ebene existieren keine ÖNORMEN, hierbei wird auf (DIN 51130, 2014) und (DIN 51097, 2016) zurückgegriffen.

2.4.1 Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden durch barfüßiges Begehen einer schiefen Ebene

Das Verfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden durch barfüßiges Begehen einer schiefen Ebene ist in (ONR CEN/TS 16165, 2016) und (DIN 51097, 2016) geregelt. In weiterer Folge wird weitgehend die (ONR CEN/TS 16165, 2016) zitiert, lediglich **Tab. 2.2** wurde aus der (DIN 51097, 2016) entnommen.

Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine Prüfung, welche nur im Labor durchgeführt werden kann. Ein etwa 50 cm x 100 cm großer Ausschnitt des zu testenden Bodenbelages wird auf eine ebene, verwindungssteife Platte mit zirka 600 mm Breite und 2000 mm Länge montiert. Diese Platte (schiefe Ebene) muss als Teil der gesamten Prüfvorrichtung (siehe **Abb. 2.1**) zwischen 0° und 45° verstellbar sein.

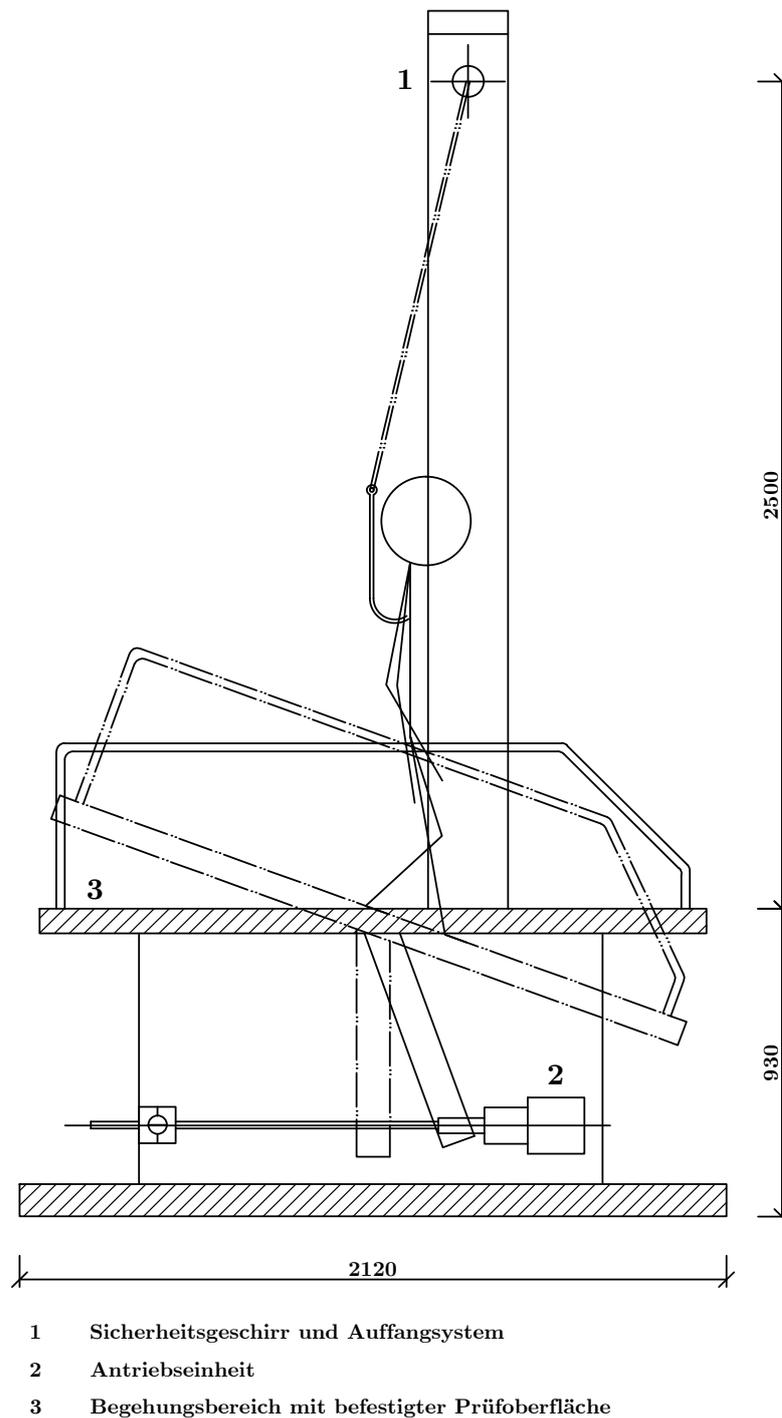


Abb. 2.1: Schematische Darstellung einer typischen Prüfeinrichtung für barfüßiges und beschuhtes Begehen einer Schiefen Ebene nach (ONR CEN/TS 16165, 2016), (Maße in Millimeter)

Vor dem Test muss die saubere Oberfläche mit wässriger Lösung von Natriumdodecylsulfat als Verunreinigungssubstanz besprüht werden. Auch die Füße der Prüfperson müssen mit der Verunreinigungssubstanz benetzt werden. Des Weiteren ist festzuhalten, dass die Eignung der Prüfperson anhand von drei Kontrollflächen zu überprüfen ist.

Zu Beginn des Tests muss die Prüfperson ein Sicherheitsgeschirr anlegen um Verletzungen infolge eines Sturzes zu vermeiden. Danach geht die Prüfperson die schiefe Ebene hinab und rückwärts wieder hinauf. Die Schritte sollen etwa eine halbe Schuhlänge groß sein. Des Weiteren ist ein Rhythmus von zirka 144 Kurzschritten pro Minute einzuhalten. Nach zweimaligem hinauf und hinunter gehen wird die Ebene steiler gestellt. Dies wird wiederholt bis die Prüfperson ausgleitet. Der Winkel, bei dem die Person zweimal hintereinander ausgleitet, wird notiert. Dieser Winkel ist von zwei verschiedenen Prüfpersonen je fünfmal zu bestimmen. Der Akzeptanzwinkel ist der Mittelwert aller 10 Ergebnisse der zwei Prüfpersonen.

In (DIN 51097, 2016) ist im Gegensatz zu (ONR CEN/TS 16165, 2016) ein genauerer Ablauf zur Kalibrierung (Auswahl und Einarbeitung der Prüfperson) angegeben. Hierbei wird in Abhängigkeit der Ergebnisse, welche die Prüfperson beim Test der Kontrollflächen erzielt hat, ein Korrekturbeiwert berechnet. Dieser Beiwert wird anschließend zum Akzeptanzwinkel hinzugezählt um den korrigierten Gesamtakzeptanzwinkel α_{ges} zu erhalten. Des Weiteren unterscheidet sich der Prüfablauf geringfügig.

Tab. 2.2: Zuordnung des korrigierten Gesamtakzeptanzwinkels zu den Klassen der Rutschhemmung (ABC-Klassen) (DIN 51097, 2016)

Korrigierter mittlerer Gesamtakzeptanzwinkel α_{ges}	Klasse der Rutschhemmung
$\geq 12^\circ$	A
$\geq 18^\circ$	B
$\geq 24^\circ$	C

Mithilfe von **Tab. 2.2** kann der Bodenbelag nun einer Klasse der Rutschhemmung (A, B oder C) zugeordnet werden. Diese Klassen beschreiben die rutschhemmenden Eigenschaften von Bodenbelägen in barfuß begangenen Bereichen. In der Tabelle ist ersichtlich, dass der korrigierte Gesamtakzeptanzwinkel bei Klasse A am geringsten und bei Klasse C am höchsten ist. D.h. Klasse C ist weniger rutschig als Klasse A. Die auf diesem Verfahren beruhende Klasseneinteilung wird im Folgenden häufig als ABC-Klassen bezeichnet.

2.4.2 Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden durch beschuhtes Begehen einer schiefen Ebene

Das Verfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen durch beschuhtes begehen einer schiefen Ebene ist in (ONR CEN/TS 16165, 2016) und (DIN 51130, 2014) geregelt. Die beiden Dokumente werden in weiterer Folge zitiert.

Auch diese Prüfung kann nur im Labor durchgeführt werden. Hier wird wiederum ein etwa 50 cm x 100 cm großer Ausschnitt des zu testenden Bodenbelages auf eine ebene, verwindungssteife Platte mit zirka 600 mm Breite und 2000 mm Länge montiert. Diese Platte (schiefe Ebene) muss als Teil der gesamten Prüfvorrichtung (siehe **Abb. 2.1**) zwischen 0° und 45° verstellbar sein.

Vor dem Test wird Motoren-Schmieröl der SAE-Viskositätsklasse 10W30 mit einem Pinsel gleichmäßig auf die zu testende Oberfläche aufgebracht. Als Prüfschuh ist ein Sicherheitsschuh des Types B, mit Form S1 oder S2 nach (ÖNORM EN ISO 20345, 2012), Shore-A-Härte 73 ± 5

nach (ÖNORM EN ISO 868, 2003) und einer Laufsohle auf Kautschuk-Polyurethan-Basis zu verwenden. Vor der Versuchsdurchführung muss der Prüfschuh mit einem Schwingschleifer (mit Siliciumcarbid-Schleifpapier der Güte P400) abgeschliffen werden. Nach einer anschließenden Reinigung wird der Schuh mindestens 10 Minuten lang mit dem zuvor erwähnten Motorenöl benetzt.

Zur Kalibrierung der Prüfperson werden drei Standardoberflächen (Kontrollflächen) verwendet. Für die genaue Vorgehensweise bei der Kalibrierung und Einarbeitung einer Prüfperson wird auf (ONR CEN/TS 16165, 2016) und (DIN 51130, 2014) verwiesen.

Der Prüfablauf ist im Wesentlichen gleich wie jener zur Bestimmung der Rutschhemmung durch barfüßiges Begehen einer Schiefen Ebene (**Kap. 2.4.1**). Jedoch wird hier von zwei unterschiedlichen Prüfpersonen je dreimal der Akzeptanzwinkel gemessen. Anschließend werden zu den Akzeptanzwinkeln die für jede Prüfperson individuellen Korrekturwerte (diese werden im Zuge des Kalibrierungsverfahrens ermittelt) dazu gezählt. Der Mittelwert dieser korrigierten Akzeptanzwinkel ist schlussendlich das Ergebnis, anhand dessen die Klassifizierung erfolgt.

Tab. 2.3: Zuordnung des korrigierten Gesamtakzeptanzwinkels zu den Klassen der Rutschhemmung (R-Klassen) (DIN 51130, 2014)

Korrigierter mittlerer Gesamtakzeptanzwinkel α_{ges}	Klasse der Rutschhemmung
6° bis 10°	R9
über 10° bis 19°	R10
über 19° bis 27°	R11
über 27° bis 35°	R12
über 35°	R13

In **Tab. 2.3** ist die Zuordnung zu den Klassen der Rutschhemmung (R9 bis R13) in Abhängigkeit des korrigierten mittleren Gesamtakzeptanzwinkels α_{ges} dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der korrigierte mittlere Gesamtakzeptanzwinkel bei der Klasse R9 geringer ist als bei der Klasse R13. D.h. Böden, die der Klasse R9 zugeordnet werden können, sind rutschiger als Böden der Klasse R13. Die auf diesem Verfahren beruhende Klasseneinteilung wird im Folgenden häufig als R-Klassen bezeichnet.

Die **Vorteile** von Begehungsverfahren auf der schiefen Ebene (barfüßig oder beschuht) sind laut (Wetzel, 2012):

- Es können alle Arten von Fußboden-Schuh-Kombinationen gemessen werden.
- Der menschliche Gang wird nachempfunden.

Dem gegenüber stehen laut derselben Quelle folgende **Nachteile**:

- Das Verfahren ist personenabhängig und
- nur als Laborprüfverfahren einsetzbar.
- Es existieren erhebliche Abweichungen zwischen Begehen während der Messung und dem normalen Gang in der Ebene.

Laut (Engels, 2014) ist dieses Verfahren für den niedrigen Bereich der Rutschhemmung nur bedingt geeignet, jedoch können mittlere bis sehr raue Oberflächen erfasst werden.

2.4.3 Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden mittels Pendelprüfung

Dieses Prüfverfahren ist in (ÖNORM EN 14231, 2003) und (ONR CEN/TS 16165, 2016) geregelt. Die folgenden Informationen wurden nur aus (ONR CEN/TS 16165, 2016) entnommen.

Das Pendelprüfgerät liefert einen genormten Wert für den Gleitwiderstand durch Messung des Energieverlustes beim Gleiten eines genormten Prüfkörpers aus Gummi über eine Oberfläche. Eine schematische Skizze eines Pendelprüfgerätes ist in **Abb. 2.2** dargestellt. Der Gleitkörper aus Normgummi ist am Ende des Pendelarmes befestigt. Die Reibungskraft zwischen Gleitkörper und Prüfoberfläche wird durch Ermittlung der Verringerung der Schwingungslänge gemessen. Das Messverfahren kann bei trockener oder mit Wasser benetzter Oberfläche, sowie im Labor als auch vor Ort eingesetzt werden.

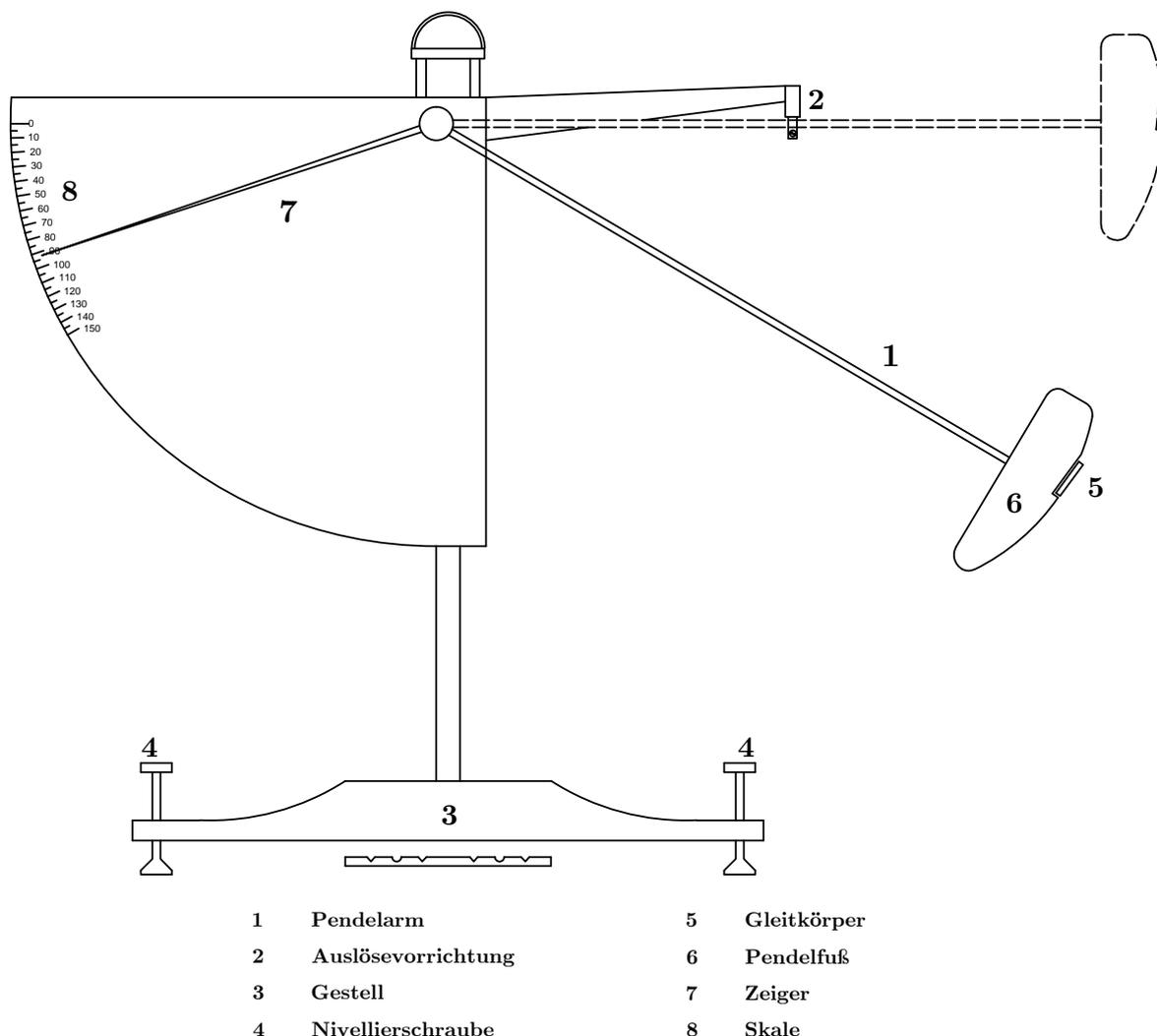


Abb. 2.2: Schematische Darstellung eines Pendelprüfgerätes laut (ONR CEN/TS 16165, 2016)

Vor einer Messung muss eine Reihe an Vorbereitungen getroffen werden um das Pendelprüfgerät richtig einzustellen und den Gleitkörper vorzubereiten. Diese Maßnahmen sind in (ONR CEN/TS 16165, 2016) genau beschrieben. Des Weiteren muss die Funktion des Pendelprüfgerätes nach dem Zusammenbau und täglich verifiziert werden. Dies erfolgt durch eine Messreihe an drei Normflächen unterschiedlicher Rauigkeit. In (ONR CEN/TS 16165, 2016) sind

Verifizierungsgrenzen für die Normflächen gegeben die eingehalten werden müssen.

Bei Messungen im Labor muss die Raumtemperatur mindestens 2 Stunden vor Prüfbeginn und während der Prüfung auf $20 \pm 2^\circ\text{C}$ aufweisen. Auch die zu prüfenden Oberflächen müssen mindestens 30 Minuten vor Beginn der Prüfung bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ aufbewahrt werden. Zu Beginn der Prüfung muss der Gleitkörper gewählt und die Prüffläche gereinigt werden. Anschließend wird der Pendelarm in die Auslösestellung und der Zeiger an den Anschlag gebracht. Falls eine Nassprüfung durchgeführt wird, müssen die Prüffläche und der Gleiter nun mit Leitungswasser benetzt werden. Anschließend ist der Pendelarm freizugeben und beim Zurückschwingen aufzufangen. In weiterer Folge wird der Pendelwert abgelesen und der Pendelvorgang wiederholt. Es werden 8 Werte ermittelt. Die (ONR CEN/TS 16165, 2016) gibt weitere Hinweise zur Prüfung auf Fehler. Der Pendelwert (PTV) wird als Mittelwert der letzten 5 aufgezeichneten Ablesewerte ermittelt. Für Messungen vor Ort enthält die (ONR CEN/TS 16165, 2016) zusätzliche Informationen.

Laut (Wetzel et al., 2013) können Bodenbeläge anhand des Pendelwerts (PTV) nach der Klassifizierung der UKSRG (United Kingdom – Slip Resistance Group) eingeteilt werden (siehe **Tab. 2.4**).

Tab. 2.4: Klassifizierung von Bodenbelägen nach dem Pendelwert (PTV) laut UKSRG (Wetzel et al., 2013)

Classification UKSRG	PTV
High slip potential	0 bis 24
Moderate slip potential	25 bis 35
Low slip potential	≥ 36

Laut (Wetzel, 2012) ist der wesentliche **Vorteil** dieses Verfahrens die mobile Einsetzbarkeit. Dem gegenüber stehen folgende **Nachteile**:

- Das Gerät ist unhandlich.
- Gefahr von Bedienungsfehlern aufgrund aufwendiger Einstellungen.
- Die Reibstrecke auf dem Untergrund ist sehr kurz.
- Der menschliche Gang wird nicht nachgebildet.
- Der Einsatz auf profilierten Bodenoberflächen ist schwierig.

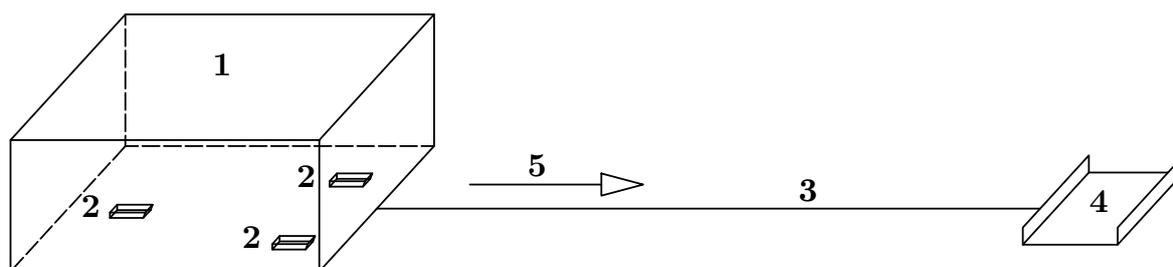
In (Engels, 2014) wird weiters vermerkt, dass es bei rauen und sehr glatten Oberflächen zur Überbewertung der Rutschhemmung kommen kann.

2.4.4 Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden mittels Tribometer-Prüfung

Die Bestimmung der Rutschhemmung mittels Tribometerprüfung ist in (ONR CEN/TS 16165, 2016) und (ÖNORM Z 1261, 2009) geregelt. Hier wird nur auf letztere Norm eingegangen.

Diese Prüfung kann sowohl im Labor als auch vor Ort, nass und trocken durchgeführt werden. Das Prinzip dieser Methode beruht auf der Messung des Gleitreibungskoeffizienten (μ -Wert) zwischen einer mit konstanter Geschwindigkeit bewegten Gleiter-Baugruppe und dem Bodenbelag. Das Prüfgerät besteht aus der Gleiter-Baugruppe, einem Antrieb der die Gleiter-Baugruppe

bewegt und einer Messvorrichtung zur Erfassung der waagrechten Kraft. **Abb. 2.3** zeigt eine schematische Skizze einer typischen Tribometer-Prüfung. Eine Abbildung zur Ausführung der Gleiter-Baugruppe ist in (ÖNORM Z 1261, 2009) enthalten. Bei trockener Prüfung (ohne Verunreinigungssubstanz) besteht die Gleiter-Baugruppe aus zwei Leder-Gleitern und einem Schuhgummi-Gleiter. Bei nasser Prüfung werden drei Schuhgummi-Gleiter verwendet. Angaben zur Form der Gleiter sowie genaue Materialangaben sind in (ÖNORM Z 1261, 2009) enthalten.



- 1 Gleiter-Baugruppe mit Antrieb und Messvorrichtung zur Messung der horizontalen Kraft
- 2 Gleiter aus Gummi oder Leder
- 3 Das Zugband zieht sich mit konstanter Geschwindigkeit ein
- 4 Das Fußblech wird durch Aufbringen eines schweren Gewichtes (z.B. Fuß) am Untergrund festgehalten
- 5 Bewegungsrichtung der Gleiter-Baugruppe

Abb. 2.3: Schematische Darstellung einer Tribometer-Prüfung, die Skizze wurde einem GMG 200 der Firma GTE Industrieelektronik GmbH nachempfunden

Die Messvorrichtung zur Messung der waagrechten Kraft (Zugmessdose) ist vor der Prüfung zu kalibrieren. Die genaue Vorgehensweise ist (ÖNORM Z 1261, 2009) zu entnehmen. Die Gleiter sind anhand von je fünf Einzelmessungen pro Material (Leder, Schuhgummi) auf einer Stahlplatte (Kalibrierplatte) mit definierter Oberfläche laut (ÖNORM Z 1261, 2009) zu kalibrieren.

Zur Prüfung im Labor sind Prüfmuster des Bodenbelages in der Größe von 150 cm x 50 cm, je eines längs und quer zur Herstellungsrichtung, erforderlich. Vor der Prüfung sind die Oberflächen der Prüfmuster mit einem sauberen und trockenen Tuch ohne Reinigungsmittel zu reinigen und unverrückbar auf einer Unterlage zu befestigen. Die Gleiter müssen vor dem Test mit einem Schleifpapier mit 60er Körnung abgeschliffen werden. Anschließend erfolgt eine trockene Reinigung vom Abrieb bevor die Gleiter mit Schleifpapier mit 320er Körnung nachgeschliffen werden. Danach erfolgt eine weitere Reinigung vom Abrieb. Genaue Angaben zum Schleifvorgang befinden sich in (ÖNORM Z 1261, 2009). Bei Prüfungen im Labor sind die Gleiter-Baugruppe und die Prüfmuster mindestens 24 Stunden im Normalklima ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ Temperatur, $50 \pm 5\%$ relative Luftfeuchte) zu konditionieren. Bei Prüfungen vor Ort muss sich das Messsystem zumindest eine Stunde an die Umgebungsbedingungen anpassen können. Hierbei sind die herrschende Temperatur und die relative Luftfeuchte aufzuzeichnen.

Bei der Messdurchführung sind je fünf Messungen längs und quer zur Herstellungsrichtung des Bodenbelages durchzuführen. Bei jeder Messung muss die Gleiter-Baugruppe auf einer neuen Spur gezogen werden. Die waagrechte Kraft wird bei jeder Messung über mindestens 0,6 m aufgezeichnet. Es ist auf eine gleichmäßige gleitende Bewegung zu achten. Bei ruckartigen Bewegungsabläufen ist das Messergebnis ungültig. Bei Nassprüfungen ist zuerst die Gleiter-Baugruppe

zu tauschen (siehe oben) und die Oberfläche mit 250 ml Gleitmittel (0,1%ige Lösung von Natriumdodecylsulfat in destilliertem Wasser) zu benetzen.

Der Gleitreibungskoeffizient μ wird anschließend für jede der drei letzten Messungen (in Längs- und Querrichtung) laut **Glg. 2.1** ermittelt.

$$\mu = \frac{F}{M} \quad (2.1)$$

μ Gleitreibungskoeffizient

F Mittelwert der horizontalen Kraft in N

M die auf den Gleiter aufgebrachte Kraft in N

Das Ergebnis ist der Mittelwert der drei Gleitreibungskoeffizienten für jede Richtung.

Tab. 2.5: *Klassifizierung des Bodenbelages mithilfe des Gleitreibungskoeffizienten (ÖNORM Z 1261, 2009)*

Klassifizierung	Gleitreibungskoeffizient μ
I: Die begehbare Oberfläche weist ohne weitere Maßnahmen eine ausreichende Rutschhemmung auf.	$> 0,44$
II: In Abhängigkeit von Umgebungsparametern nur mit zusätzlichen Maßnahmen als rutschhemmend verwendbar. Zusätzliche Maßnahmen werden in (ÖNORM Z 1261, 2009) erläutert.	0,30 bis 0,44
III: Die begehbare Oberfläche bietet keinen ausreichenden Schutz gegen Ausgleiten und ist daher als unfallsrelevant einzustufen.	$< 0,30$

In **Tab. 2.5** ist die Klassifizierung des Bodenbelages in Abhängigkeit des Gleitreibungskoeffizienten angegeben.

In der Praxis erfolgt die hier beschriebene Messung des Gleitreibungskoeffizienten in der Regel mit dem Gleitreibungsmessgerät *GMG 200* der Firma *GTE Industrieelektronik GmbH* (siehe **Abb. 2.3**). Die **Vorteile** dieser Messmethode sind laut (Engels, 2014):

- Das Verfahren ist mobil und somit auch zur Überwachung einsetzbar (Vergleichsmessungen).
- Das Verfahren ist personenunabhängig.

Dem gegenüber stehen laut derselben Quelle folgende **Nachteile**:

- Bei makrorauen Oberflächen stößt die Methode an ihre Grenzen.
- Bei glatten Oberflächen kann es durch starkes Haften der Gleiter an der Oberfläche zu einer Überbewertung der Rutschhemmung kommen.
- Dadurch sind die Messungsgenauigkeiten vom Belagsmaterial abhängig.

2.4.5 Die Messung des Verdrängungsraumes nach (DIN 51130, 2014)

Der Vollständigkeit halber wird auch auf die Messung des Verdrängungsraumes eingegangen. Dieser wird in weiterer Folge jedoch nicht mehr behandelt.

In (DIN 51130, 2014) ist der Verdrängungsraum folgendermaßen definiert:

„Zur Gehebene des Bodenbelages hin offener Hohlraum unterhalb der Gehebene.“

Durch den Verdrängungsraum werden gleitfördernde Stoffe unterhalb der Gehebene verteilt und somit die Rutschhemmung aufrecht erhalten.

Zur Bestimmung des Volumens des Verdrängungsraumes wird der Probekörper mit einer Paste (z.B. Dispersionsklebstoff) bis zur Gehebene bündig abgeglichen. Die Masse des Probekörpers wird vor und nach dem Abgleich gewogen und mithilfe der Dichte der Paste das ausgefüllte Volumen berechnet. Ein Ausschnitt des Bodenbelages mit den Abmessungen 100 mm · 100 mm dient als Probekörper.

Für die Messung des Verdrängungsraumes einer Profilierung bzw. Strukturierung sind je fünf Probekörper zu untersuchen und das arithmetische Mittel zu errechnen. Anhand dessen kann die Zuordnung zu einer Klasse des Verdrängungsraumes erfolgen (siehe **Tab. 2.6**).

Tab. 2.6: Zuordnung der Klasse des Verdrängungsraumes zu den flächenbezogenen Volumina (DIN 51130, 2014)

Flächenbezogenes Volumen des Verdrängungsraumes [cm ³ /dm ²] min.	Klasse des Verdrängungsraumes
4	V4
6	V6
8	V8
10	V10

2.4.6 Geometrische Vermessung der Oberflächenbeschaffenheit

Um die Zusammenstellung der normativ verankerten Verfahren zur Bestimmung der Rutschhemmung abzurunden, wird abschließend auf die geometrische Oberflächenvermessung eingegangen. Auch dieses Thema wird in weiterer Folge nicht mehr behandelt.

Die geometrische Vermessung der Oberflächenbeschaffenheit liefert Parameter, die eine Einschätzung der rutschhemmenden Eigenschaften zulassen. Die bereits erläuterten Verfahren nach (ONR CEN/TS 16165, 2016) können dadurch jedoch nicht ersetzt werden. (Engels, 2014)

Für Details zur geometrischen Vermessung der Oberflächenbeschaffenheit wird auf (DIN EN ISO 25178-6, 2010) verwiesen. Die Anwendbarkeit auf Bodenbeläge und die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Rutschhemmung auf Basis dieser Daten wird in (Engels, 2014), (Terjék, 2013) und (Terjék and Dudás, 2018) erläutert.

Kapitel 3

Entwicklung des Versuchsaufbaus

3.1 Grundlegende Idee der Messmethode

Im Fokus stand die Entwicklung einer rasch durchführbaren und kostengünstigen Methode zur Beurteilung von bereits verlegten keramischen Bodenbelägen. Dadurch soll sich einerseits der Bodenleger bereits einen Eindruck verschaffen und feststellen können ob ein bestimmter Boden den vorgegebenen Anforderungen entspricht. Andererseits soll das Verfahren für nachträgliche Untersuchungen verwendet werden können, wodurch auch der Verschleiß des Bodenbelages gemessen und dokumentiert werden kann.

Die erste Idee war ein Medium zu beschleunigen und zu beobachten wie weit es auf einem Bodenbelag gleitet und wie es sich ausbreitet – intuitiv sollte sich das Medium auf glattem Boden weiter ausbreiten als auf rauem. Welches Medium (Festkörper, Flüssigkeit, Granulat etc.) zum Einsatz kommen würde stand anfangs noch nicht fest, dies wurde im Zuge der Versuchsentwicklung ermittelt. Eine weitere Herausforderung bestand darin, zu gewährleisten, dass das Medium immer gleich stark beschleunigt wird. Diese Problematik wurde mit Hilfe einer Rutsche gelöst. D.h. das Medium gleitet über eine Rutsche herab und breitet sich anschließend auf dem Bodenbelag aus. Die zurückgelegte Distanz und die Ausbreitung auf dem Boden werden gemessen. In **Abb. 3.1** ist die grundlegende Idee schematisch dargestellt.

Um einen zuverlässigen Versuchsaufbau entwickeln zu können wurde eine Vielzahl von Vorversuchen durchgeführt, wobei Rutschenlänge, Neigungswinkel, Austrittswinkel, Rutschenquerschnitt und Rutschmedium variiert wurden. Die ersten Versuche und Tests wurden mit vorhandenem Restmaterial auf relativ primitive Weise durchgeführt. Das Ziel war festzustellen, ob dieser Ansatz sinnvoll ist und in weiterer Folge ein praktikables und funktionierendes Setup herzustellen.

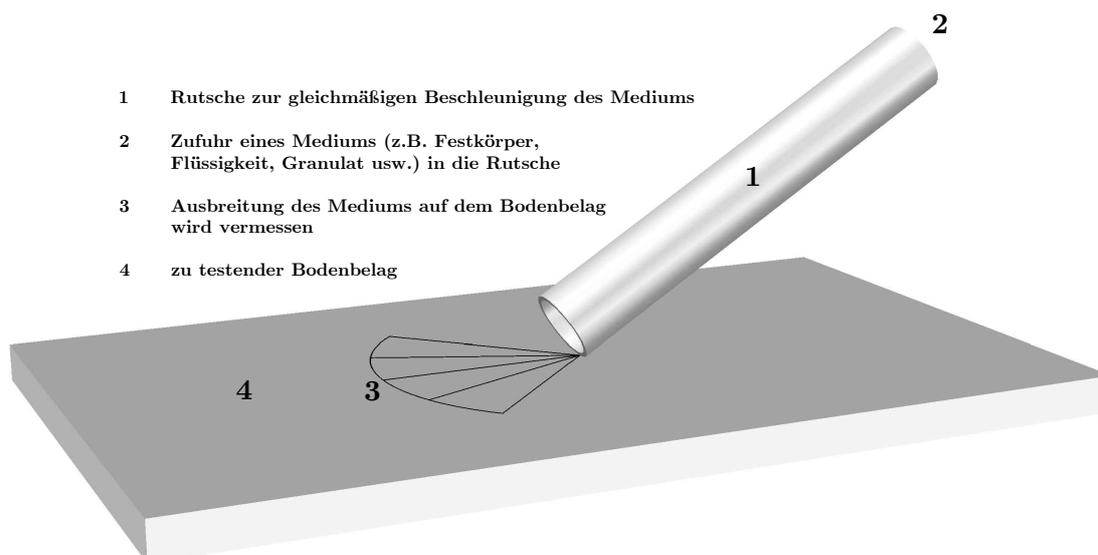


Abb. 3.1: Schematische Skizze zur grundlegenden Idee der Messmethode

3.2 Rutschenlänge und Rutschenquerschnitt

Im Zuge der Vorversuche wurden Rutschen mit unterschiedlichen Längen von 50 cm bis 120 cm getestet. Je länger die Rutsche, desto höher ist die Energie beim Rutschvorgang. Daher nimmt das Rutschmedium eine höhere Geschwindigkeit auf und breitet sich weiter auf dem Bodenbelag aus. Aus praktischen Gründen wurde schlussendlich eine Rutschenlänge von 50 cm gewählt, da bei größeren Längen der Platzbedarf erheblich steigt und auch der Transport schwieriger wird (Stichwort: Mobilität). Des Weiteren wird die Geschwindigkeit des Mediums mit zunehmender Rutschenlänge größer und daher auch die zurückgelegte Distanz auf dem Bodenbelag, wodurch mehr Fläche erforderlich ist.

Zur Findung einer passenden Querschnittsgeometrie wurden V-Querschnitte, Rechteckquerschnitte und Kreis- bzw. Halbkreisquerschnitte getestet (siehe **Abb. 3.2**). Hierbei wird nur die Eignung der Querschnittsform für feinkörnige Rutschmedien wie zum Beispiel Granulat, Sand, Kies etc. erläutert, da schlussendlich Filtersand als Medium für die Versuche verwendet wurde (siehe **Tab. 3.2**).

- **Rutschen mit V-Querschnitt:** Im Zuge von Vorversuchen zeigte sich, dass V-Querschnitte nicht sehr gut geeignet sind, da die Reibung des Sandes in der Rutsche sehr groß ist und dadurch Sandkörner in der Kehle stecken bleiben können.
- **Rutschen mit Rechteckquerschnitt:** Dieser Ansatz funktioniert prinzipiell sehr gut, **Abb. 3.3a** zeigt, dass die gut sichtbare und messbare Linie des Sandmusters auf dem Bodenbelag eine geschwungene Form aufweist. Dies erschwert die Vermessung des Sandmusters.
- **Rutschen mit Halbkreis- bzw. Kreisquerschnitt:** Diese Querschnittsform ist von den getesteten am Besten geeignet, da das Sandmuster eine gleichmäßige Sichelform aufweist und somit einfach zu vermessen ist (siehe **Abb. 3.3b**).

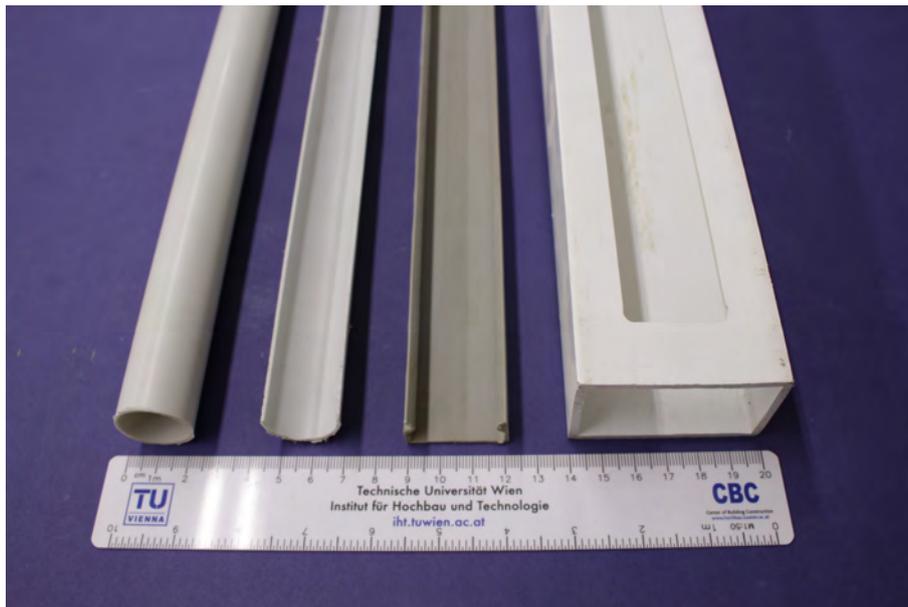


Abb. 3.2: Getestete Querschnittsformen, als V-Querschnitt wurde der um 45° gedrehte Rechteckquerschnitt (rechts außen) verwendet.



(a)



(b)

Abb. 3.3: Vorversuche mit Rechteckquerschnitt (a) und Kreisquerschnitt (b)

Schlussendlich wurde anhand der Beobachtungen der Kreisquerschnitt als gut geeignet befunden und somit für die weiteren Versuche gewählt.

3.3 Neigungswinkel α und Austrittswinkel β

Der Neigungswinkel der Rohrachse wurde zwischen 30° und 60° gegenüber der Horizontalen variiert. Bei 30° Neigung kann sich das Rutschmedium nicht vollständig auf dem Boden ausbreiten, es bleibt ein Rest auf der Rutsche zurück bzw. ist die zurückgelegte Distanz sehr gering. Bei 60° Neigung ist die Geschwindigkeit des Rutschmediums beim Austritt aus der Rutsche sehr hoch, daher ist die auf dem Bodenbelag zurückgelegte Distanz sehr groß. Dies bedeutet wiederum, dass mehr Platz benötigt wird. Schlussendlich wurde mit einem Neigungswinkel von 45° ein

praktikabler Wert gewählt.

Eine zusätzliche Variable zum Neigungswinkel ist der Austrittswinkel. Darunter wird der Winkel zwischen Rohrachse und Bodenbelag beim unteren Rohrende verstanden. Erste Versuche zeigten, dass es günstig ist, den Austrittswinkel mit 0° zu wählen, d.h. das Rutschmedium gleitet waagrecht aus dem Kreisrohr und anschließend über den Boden. Praktisch wurde dies durch einen 45° Rohrkrümmer, der an die Rutsche angeschlossen ist, gelöst. **Abb. 3.4** dient der Veranschaulichung von Neigungswinkel und Austrittswinkel.

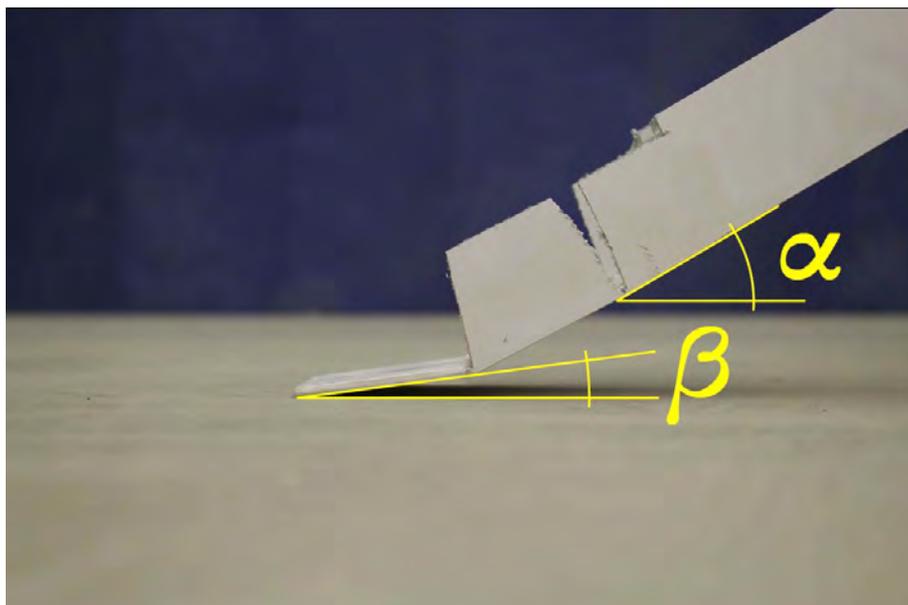


Abb. 3.4: Neigungswinkel α und Austrittswinkel β

3.4 Die getesteten Rutschmedien

Im Zuge der Vorversuche wurde eine Vielzahl verschiedener Rutschmedien getestet, deren Vor- und Nachteile im Folgenden erläutert werden. Die Vorversuche wurden im Wesentlichen auf drei unterschiedlichen Bodenbelägen (T1 bis T3) durchgeführt, welche als Oberfläche eine Polyurea-Sprühbeschichtung mit Quarzsandeinstreuung aufweisen (**Abb. 3.5**). Die Gleitreibungskoeffizienten (μ -Werte) dieser Testbeläge sind in **Tab. 3.1** zusammengestellt.

Tab. 3.1: μ -Werte der Testbeläge für die Vorversuche

	μ -Wert
T1	0,57
T2	0,61
T3	0,66

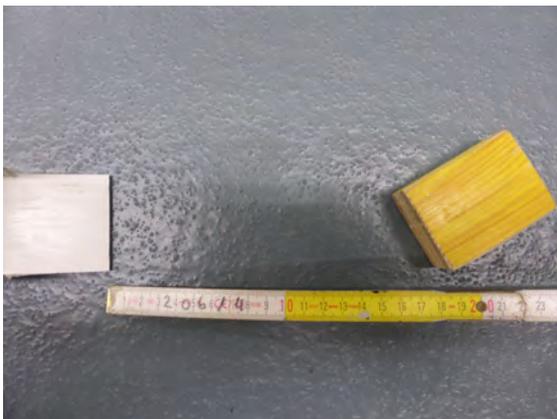


Abb. 3.5: Testbeläge von unten nach oben: T1 ($\mu = 0,57$), T2 ($\mu = 0,61$) und T3 ($\mu = 0,66$)

- **Holzklotz:** Hierbei wurde ein Holzklotz (Quader mit den Abmessungen 6,5 cm x 6,0 cm x 2,7 cm) aus einer handelsüblichen Schaltafel geschnitten. Dieser wurde aufgrund seiner geometrischen Form ausschließlich in Kombination mit der Rutsche mit dem Rechteckquerschnitt getestet. Die Unterschiede zwischen den Bodenbelägen waren gut erkennbar. Die Ergebnisspanne ($Max - Min$) der zurückgelegten Distanzen war jedoch etwa in derselben Größenordnung wie die Distanzunterschiede zwischen den unterschiedlichen Bodenbelägen. Des Weiteren verdrehte sich der Holzklotz beim gleiten über den Boden. Aufgrund des geringen Eigengewichtes des Rutschkörpers, fand kein sauberes gleiten sondern zusätzlich eine hüpfende Bewegung statt (**Abb. 3.6a**).
- **Stahlklotz:** Als Rutschkörper wurde ein Quader mit den Abmessungen 6,0 cm x 4,0 cm x 2,0 cm gewählt, der ebenfalls nur in Kombination mit der Rutsche mit dem Rechteckquerschnitt getestet wurde. Durch das höhere Eigengewicht von Stahl, im Gegensatz zu Holz, war der auf dem Boden zurückgelegte Weg viel länger als bei den Versuchen mit dem Holzklotz. Die gleitende Bewegung über den Belag war gleichmäßiger, jedoch waren kaum Unterschiede zwischen den Testbelägen erkennbar (**Abb. 3.6b**).
- **Wasser:** Die Ausbreitung von Wasser auf den Testbelägen wurde mit der Rutsche mit dem Kreisquerschnitt getestet. Hierbei ist es wichtig immer die gleiche Wassermenge zu verwenden um vergleichbare Werte zu erzielen. Die Unterschiede der Testbeläge sind in **Abb. 3.7** ersichtlich.
- **Feiner Sand:** Es wurden zwei unterschiedliche Sande getestet. Da der getestete Filtersand mit der Korngröße 0,4 bis 0,8 mm in der Handhabung einfacher war, ist die folgende Erläuterung auf diesen beschränkt. Rasch war erkennbar, dass die Testbeläge sehr gut anhand der zurückgelegten Distanz des Sandes zu unterscheiden sind. Die Sandmenge ist ein wichtiger Faktor. Um vergleichbare Tests zu gewährleisten muss diese immer exakt gleich sein. In Kombination mit dem Filtersand wurden Kreisquerschnitt, Rechteckquerschnitt und V-Querschnitt getestet. Auf die wesentlichen Erkenntnisse daraus wurde bei der Erläuterung der Querschnittformen eingegangen (siehe **Kap. 3.2**). Für die weiteren Versuche wurde,

wie bereits erwähnt, ein Kreisquerschnitt gewählt. Auch die Streuung der Vorversuche erwies sich als sehr gering. Im ersten Ansatz wurde die Distanz vom unteren Rohrende bis zu dem vom Sand gebildeten Wulst gemessen. In weiterer Folge wurde die Vermessung des Sandmusters um mehr Daten erweitert, um dadurch eine genauere Aussage zu erhalten. Die genaue Vorgangsweise ist in **Kap. 4** erklärt. Um den Kontrast zwischen Sand und Untergrund zu erhöhen waren Versuche mit farbigem Sand angedacht. Da im Rahmen der vorhandenen Ressourcen kein gleichartiger Sand in unterschiedlichen Farben erhältlich war wurde diese Idee verworfen. Ein Nachteil von Sand als Rutschmedium ist, dass keine Nassmessungen möglich sind.

- **Feiner Kies:** Feiner Kies (Korngröße 2,0 bis 6,0 mm) wurde in ähnlicher Weise wie der Filtersand getestet, jedoch war hierbei das Ausbreitungsmuster auf dem Untergrund nicht so gleichmäßig. Ein weiterer Nachteil war das häufige Steckenbleiben des Kieses in den Rutschen.
- **Getreidekörner:** Bei Testversuchen mit Getreidekörnern war das Ausbreitungsmuster auf dem Bodenbelag sehr unregelmäßig und weit verstreut, deshalb wurde diese Idee rasch verworfen.



(a)



(b)

Abb. 3.6: Vorversuche mit einem Holzklötz (a) und einem Stahlklötz (b)



(a)



(b)

Abb. 3.7: Vorversuche mit Wasser: T1 (a), T2 (b)

Schlussendlich wurde für die weitere Versuchsentwicklung der Filtersand als Rutschmedium gewählt, da er ein gleichmäßiges Ausbreitungsmuster aufweist und die Fläche verhältnismäßig einfach zu vermessen bzw. klar erkennbar ist. Die Daten des für die weiteren Versuche verwendeten Filtersandes sind in **Tab. 3.2** zusammengestellt. Erwartungsgemäß ist die zurückgelegte Distanz bei rauen Böden geringer als bei glatten. Des Weiteren ist die Streuung im Gegensatz zu anderen Rutschmedien sehr gering und die Unterschiede zwischen den Testbelägen eindeutig erkennbar. Die geringe Streuung entsteht, da bei einem Medium wie Sand (viele Einzelkörner) der Rutschvorgang ein Zufallsprozess ist. D.h. durch die vielen Einzelkörner repräsentiert der Bereich wo die meisten Körner zu liegen kommen bereits einen Mittelwert.

Tab. 3.2: Daten des verwendeten Filtersandes

Produkt	Filtersand für Wasserreinigungsfilter, Fa. Scherf
Korngröße	0,4 bis 0,8 mm
Mineralien	> 96% SiO_2 (Quarz)
Beschaffenheit	feuergetrocknet

3.5 Dosierung des Sandes

Nach der Festlegung von Filtersand als Rutschmedium musste in weiterer Folge die Dosiermenge ermittelt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass genug Sand vorhanden ist, um das Sandmuster genau erkennen zu können. Aber nicht zu viel, da sich der Sand ansonsten bis zum Rutschenende zurückstaut und die Form des Sandmusters beeinflusst werden würde. Die Menge wurde mit 4,34 g gewählt, das entspricht etwa 12.300 Körnern. Dies wurde so gewählt, da das Volumen des Einfüllgefäßes, mit Sand gefüllt, genau der angegebenen Masse in g entspricht. Als Einfüllgefäß wurde ein Kunststoffzylinder mit einer Länge von 13,3 cm und einem Innendurchmesser von 0,6 cm gewählt. An der Spitze verzüngt sich der Innendurchmesser zu 0,4 cm.

In diesem Zusammenhang musste gewährleistet werden, dass die Sandmenge bei jedem Versuch gleich in die Rutsche gefüllt wird, da dies Auswirkungen auf die Ausbreitung des Sandes auf dem Boden hat. Hier wurden zwei Gedanken verfolgt.

- **Kontinuierliches Einfüllen:** Der Sand rieselt langsam und gleichmäßig in die Rutsche. Praktisch wurde dieser Ansatz mithilfe eines Trichters (siehe **Abb. 4.2b**), welcher mittels 3D-Drucker angefertigt wurde, realisiert. Mit einem Finger wird der Trichter während dem Befüllen zugehalten, durch wegziehen des Fingers wird die Öffnung freigegeben und der Sand rieselt in die Rutsche.
- **Abruptes Einfüllen:** Die gesamte Sandmenge wird auf einmal in die Rutsche gefüllt. Dieser Ansatz wäre schwieriger zu realisieren gewesen, da eine Öffnungsklappe oder Ähnliches angefertigt hätte werden müssen.

Folglich wurde aus praktischen Gründen die erste Variante gewählt.

3.6 Einflussfaktoren auf die zurückgelegte Distanz

Da im Wesentlichen die Distanz, die das Rutschmedium auf dem Bodenbelag zurücklegt, maßgebend ist, wird an dieser Stelle noch einmal auf die Einflussfaktoren der Distanz eingegangen, wobei als Rutschmedium Filtersand laut **Tab. 3.2** vorausgesetzt wird.

Die maßgebenden Faktoren bei gleichbleibendem Bodenbelag sind Rutschenlänge, Neigungswinkel,

Austrittswinkel und Sandmenge. Um eine angemessene Rutschdistanz (nicht zu lange – Platzbedarf, nicht zu kurz – gute Messbarkeit) des Sandes zu erzielen, müssen diese Größen aufeinander abgestimmt werden. Dies wurde im Zuge der Vorversuche so gut wie möglich optimiert. Es ist allerdings durchaus denkbar, dass durch andere Kombinationen der Einflussfaktoren noch bessere Ergebnisse erzielt werden können.

Kapitel 4

Versuchsbeschreibung und Durchführung

4.1 Beschreibung der Versuchseinrichtung

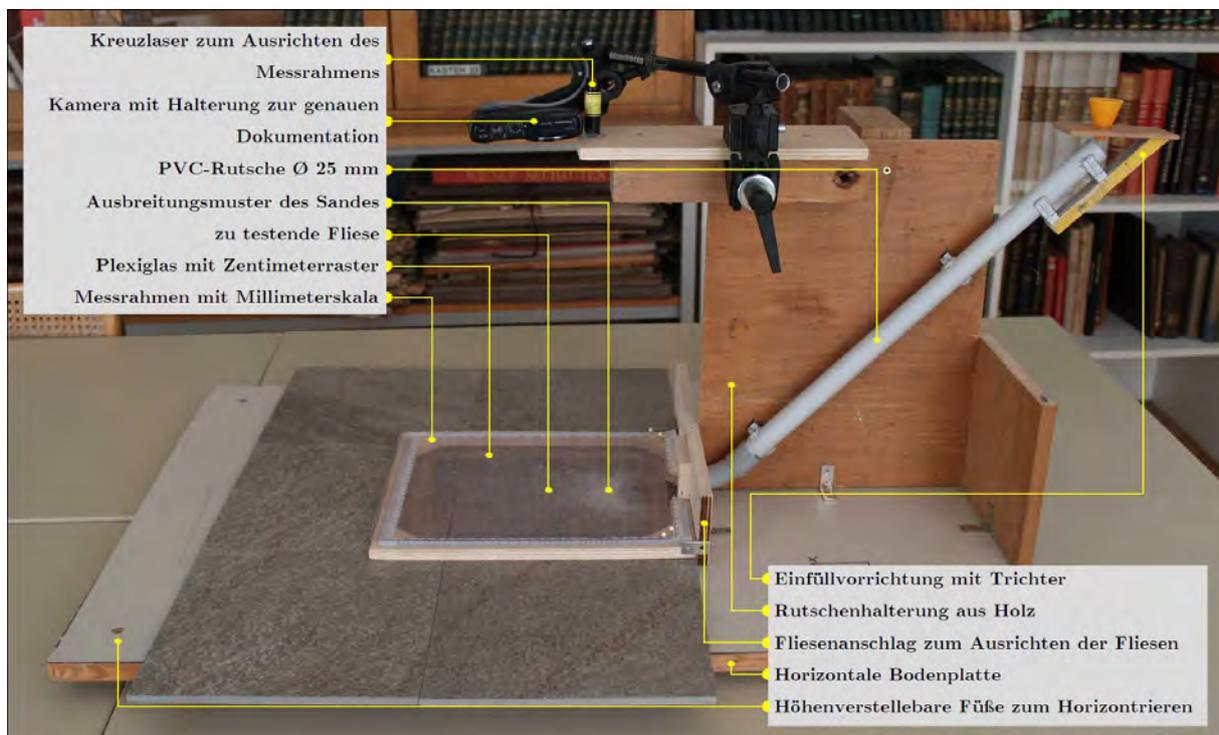
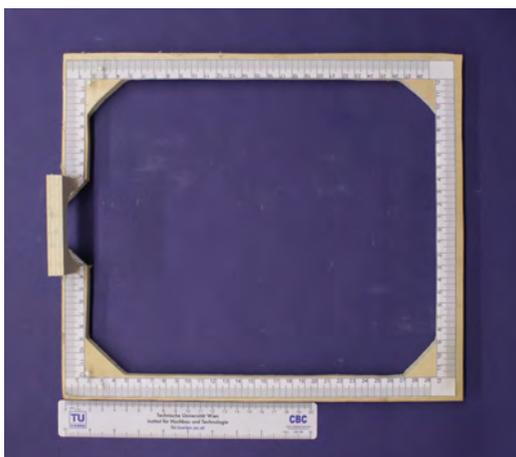


Abb. 4.1: Foto des fertigen Versuchsaufbaus

Abb. 4.1 zeigt die fertige Versuchseinrichtung. Der Großteil wurde aus bereits vorhandenen Materialien hergestellt. In weiterer Folge werden die einzelnen Bauteile und deren Herstellung beschrieben:

- **Bodenplatte:** Zum Auflegen der Fliesen wurde eine Holzwerkstoffplatte verwendet, wobei vier höhenverstellbare Füße zum Horizontrieren an den Ecken montiert wurden.
- **Rutschenhalterung:** Diese wurde Ebenfalls aus Holzwerkstoffplatten hergestellt und mittels handelsüblichen Stahlmontagewinkeln an die Bodenplatte angeschraubt. Um die Konstruktion zu versteifen kam zusätzlich ein Staffelholz zum Einsatz.
- **Kreuzlaser:** Um einen raschen Überblick bei den Messungen zu erhalten sowie um den Messrahmen (dieser wird weiter unten genauer beschrieben) ausrichten zu können, wurde ein Kreuzlaser installiert.

- **Kamerahalterung:** Zur genauen Dokumentation, wurde eine Kamera verwendet. Die Montage erfolgte mit Hilfe eines Statives mit Klemmvorrichtung. Als Kamera kam eine *Panasonic DMC-TZ41* zum Einsatz.
- **Fliesenanschlag:** Um ein schnelles, einfaches und genaues Ausrichten der Fliesen sowie des Messrahmens zu gewährleisten, wurde ein Anschlag in Form einer Sperrholzplatte mit Stahlmontagewinkeln an die Bodenplatte geschraubt.
- **Messrahmen:** Zur genauen Vermessung des Sandmusters, wurde ein Messrahmen aus einer Sperrholzplatte hergestellt. Dieser Rahmen ist an der Stelle des Rutschenendes offen, sodass sich der Sand ungehindert ausbreiten kann. Die Öffnung wurde aus Gründen der Steifigkeit mit einem Bogen überbrückt. Auf den Messrahmen wurde eine Millimeterskala aufgeklebt. Um die Ausrichtung des Rahmens zu erleichtern wurden Stahlmontagewinkel passgenau an den Fliesenanschlag geschraubt.
- **Plexiglasraster:** Hierfür wurde ein Zentimeterraster auf ein handelsübliches Plexiglas aufgebracht. Der Raster diente zur raschen Beurteilung von Fotos um bereits vor der genauen Vermessung einen Eindruck zu erhalten. Die Lage des Rasters wurde auf dem Rahmen mittels Pinnadeln als Anschlag fixiert.
- **Einfüllvorrichtung:** Als Einfüllvorrichtung wurde, wie bereits erwähnt, ein eigens mit einem 3D-Drucker angefertigter Kunststofftrichter verwendet. Dieser wurde mit Hilfe einer Holzkonstruktion und Montageschellen für Isolierrohre auf der Rutsche befestigt und mittels Heißkleber gegen verrutschen gesichert (**Abb. 4.2b**).
- **Rutsche:** Hierfür wurde ein handelsübliches starres Isolierrohr EN 25 (25 mm Außendurchmesser) aus PVC mit einer Länge von 50 cm im Winkel von 45° an der Rutschenhalterung montiert. Der Innendurchmesser des Rohres beträgt 22 mm. Um einen Austrittswinkel von 0° (waagrecht) zu gewährleisten wurde ein 90° Rohrkrümmer halbiert um einen 45° Rohrkrümmer zu erhalten. Dieser wurde auf das Installationsrohr gesteckt und mit Klebeband fixiert. Die Montage der gesamten Rutsche an der Rutschenhalterung erfolgte mit Hilfe von Kunststoffmontageschellen für Isolierrohre.



(a)



(b)

Abb. 4.2: Messrahmen (a), Vorrichtung zur Dosierung des Filtersandes (b)

Die gesamte Konstruktion entwickelte sich im Zuge der Vorversuche, bis zum Start der Versuchsserie wurden laufend Verbesserungen vorgenommen. Auch der Versuchsablauf wurde sukzessive entwickelt und verbessert bzw. praktikabler. Der in **Abb. 4.1** dargestellte Versuchsaufbau ist nicht mobil. Der Bau eines Gerätes mit gleicher Funktion für mobile Messungen wäre aber mit geringem Aufwand realisierbar.

4.2 Die verwendeten Fliesen und deren Besonderheiten

Für die Versuche wurden 18 unterschiedliche Fliesensorten der R-Klassen R9 bis R13 (mit großteils bekannten μ -Werten und teilweise bekannten ABC-Klassen) verwendet, welche in **Abb. 4.3** bis **Abb. 4.20** zusammengestellt sind. In **Tab. 4.1** sind die Fliesensorten und deren Eigenschaften tabellarisch zusammengefasst.

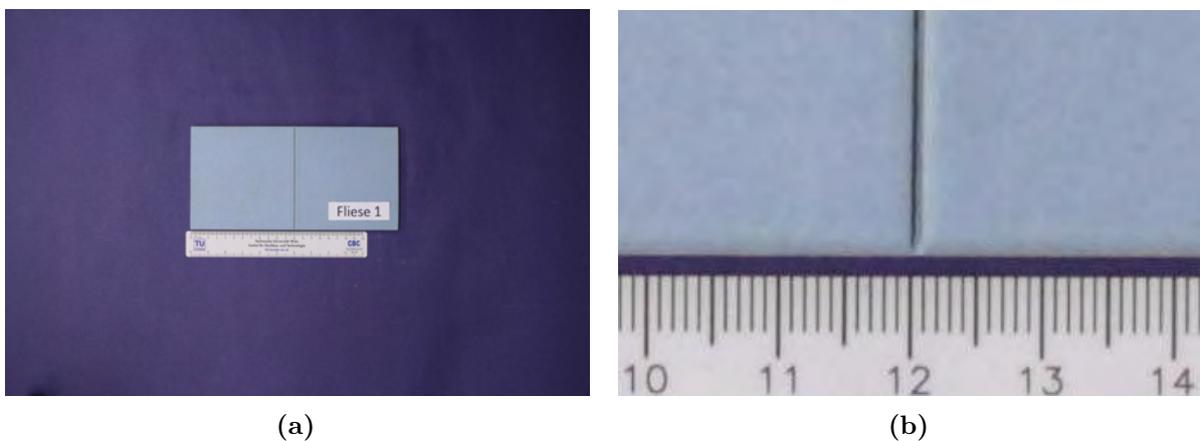


Abb. 4.3: Fliesensorte 1: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

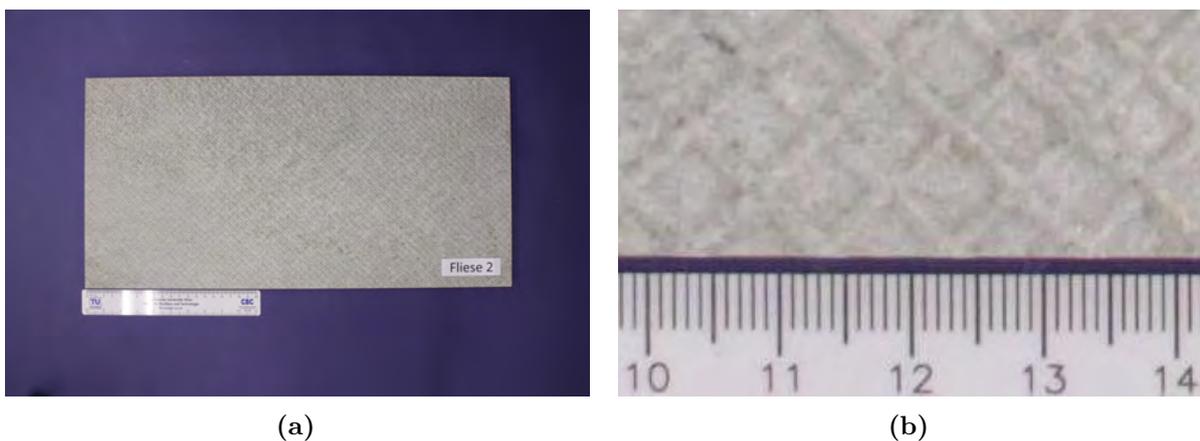


Abb. 4.4: Fliesensorte 2: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

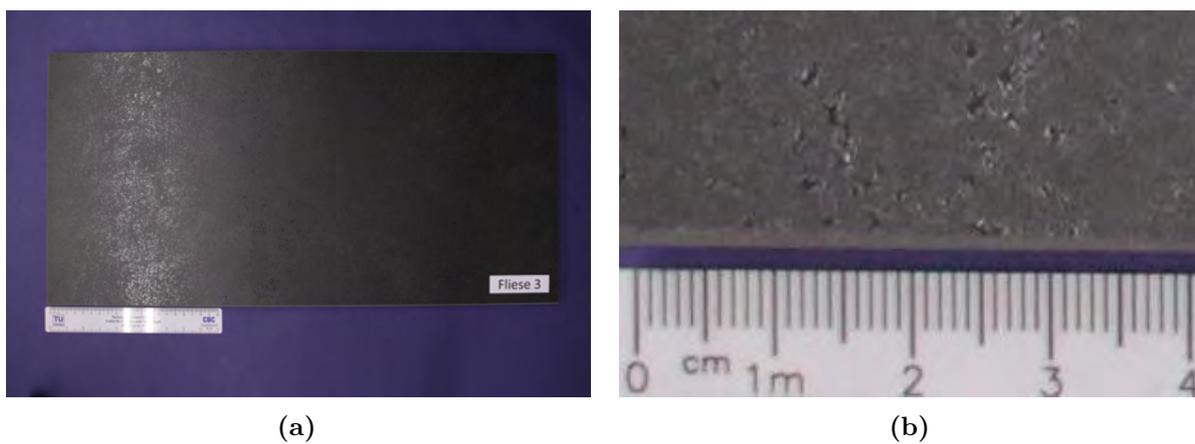


Abb. 4.5: Fliesensorte 3: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

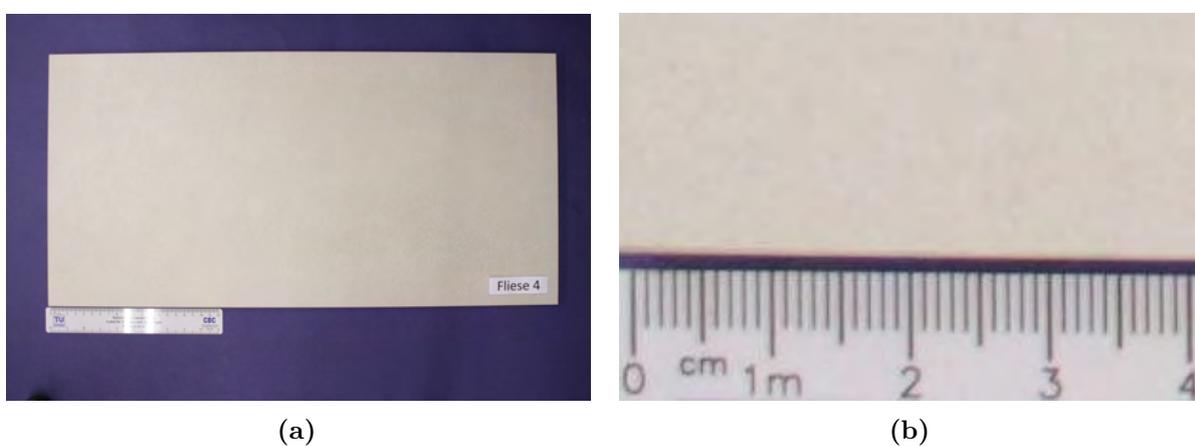


Abb. 4.6: Fliesensorte 4: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

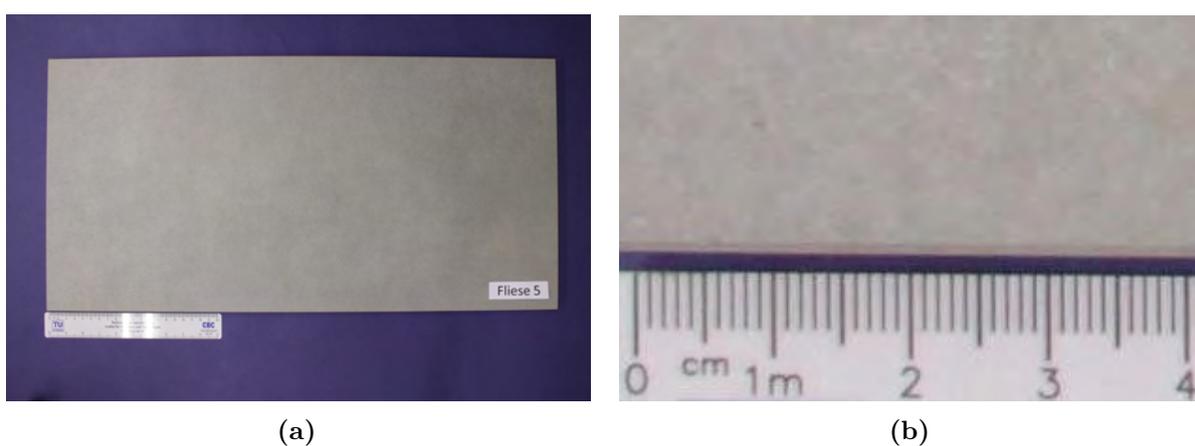


Abb. 4.7: Fliesensorte 5: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

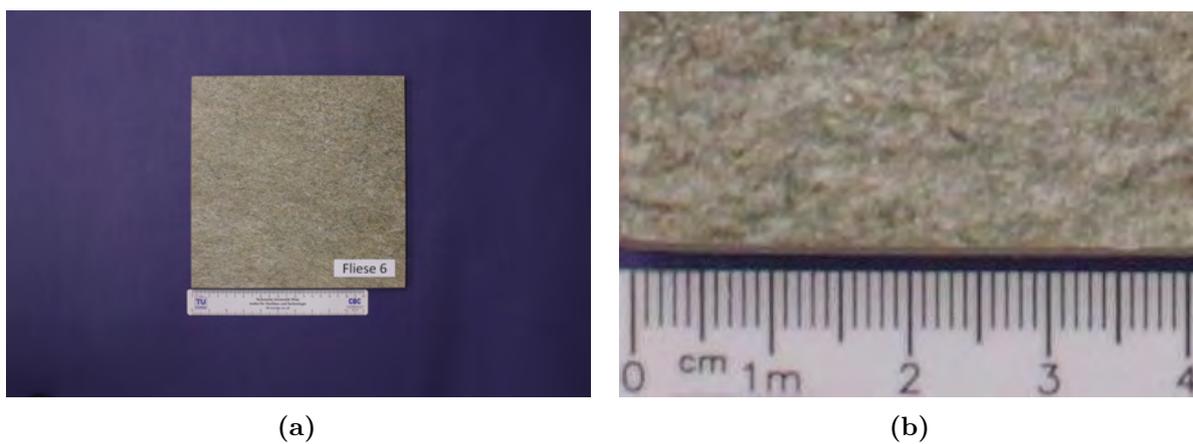


Abb. 4.8: Fliesensorte 6: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

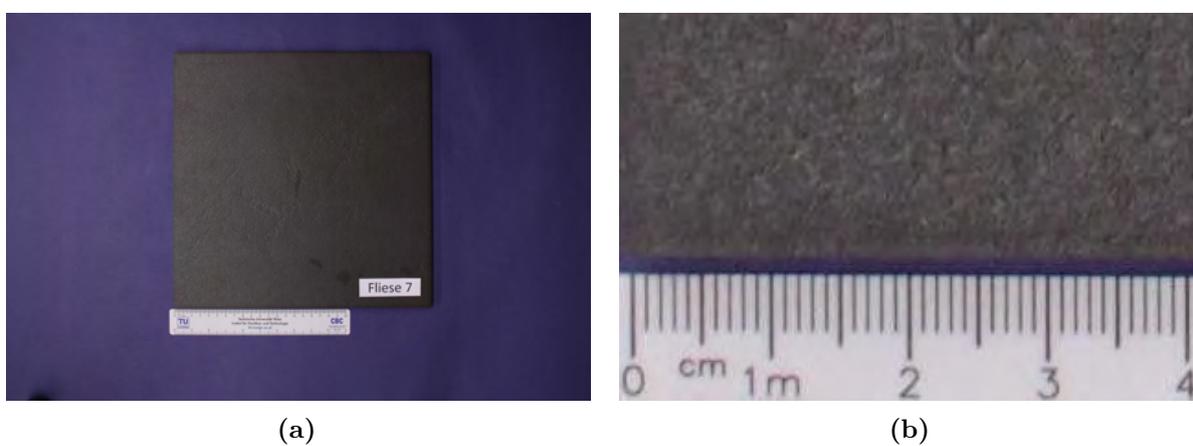


Abb. 4.9: Fliesensorte 7: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

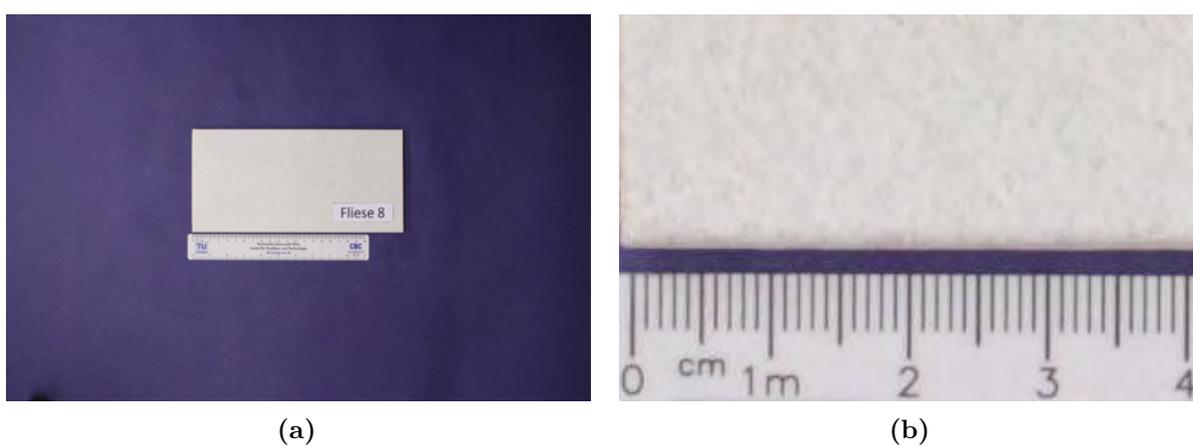


Abb. 4.10: Fliesensorte 8: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

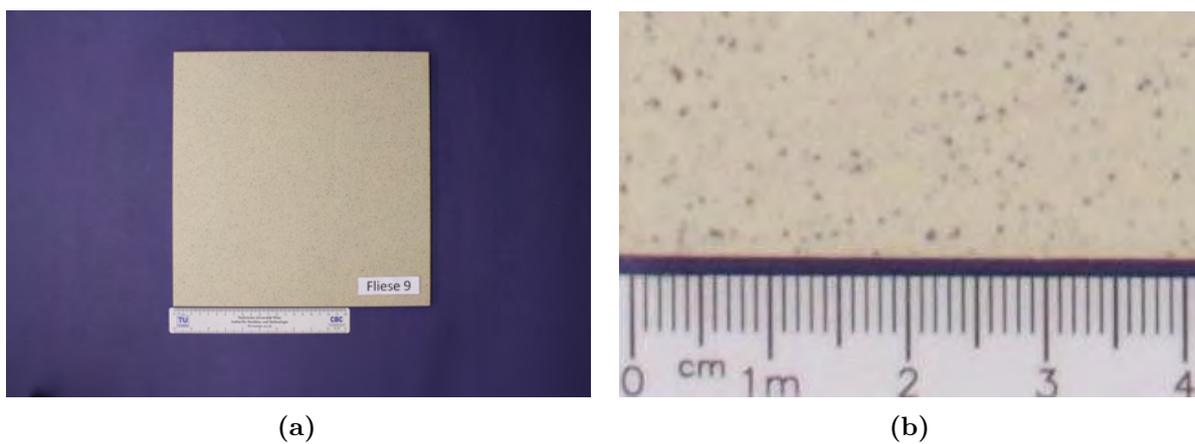


Abb. 4.11: Fliesensorte 9: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

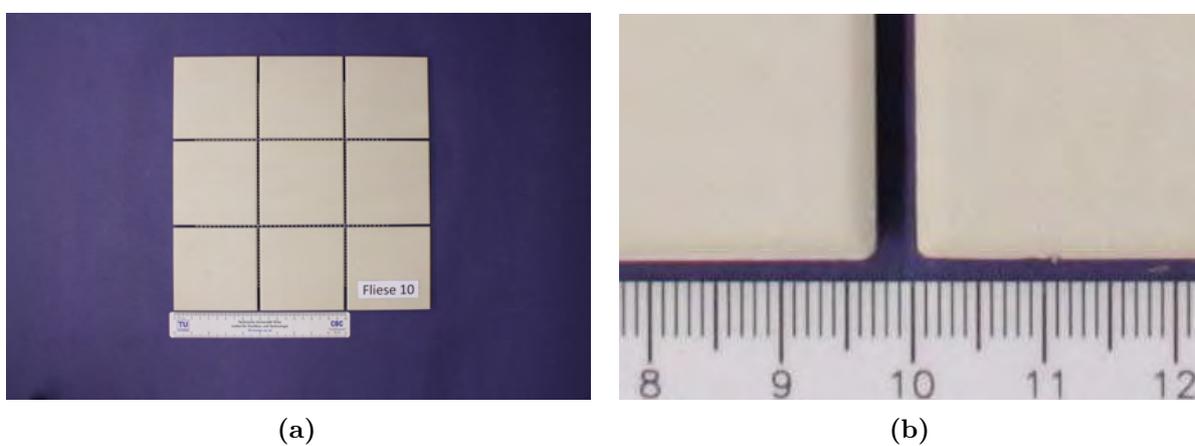


Abb. 4.12: Fliesensorte 10: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

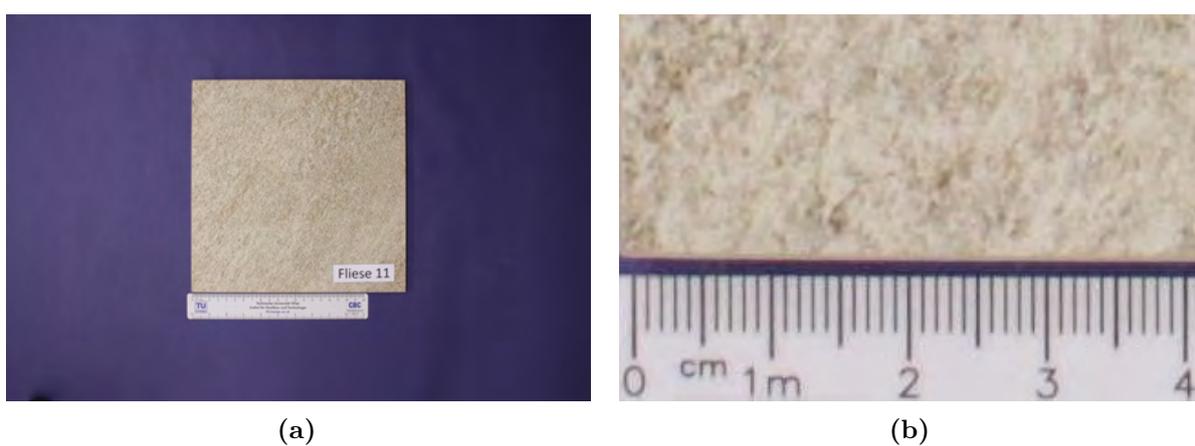


Abb. 4.13: Fliesensorte 11: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

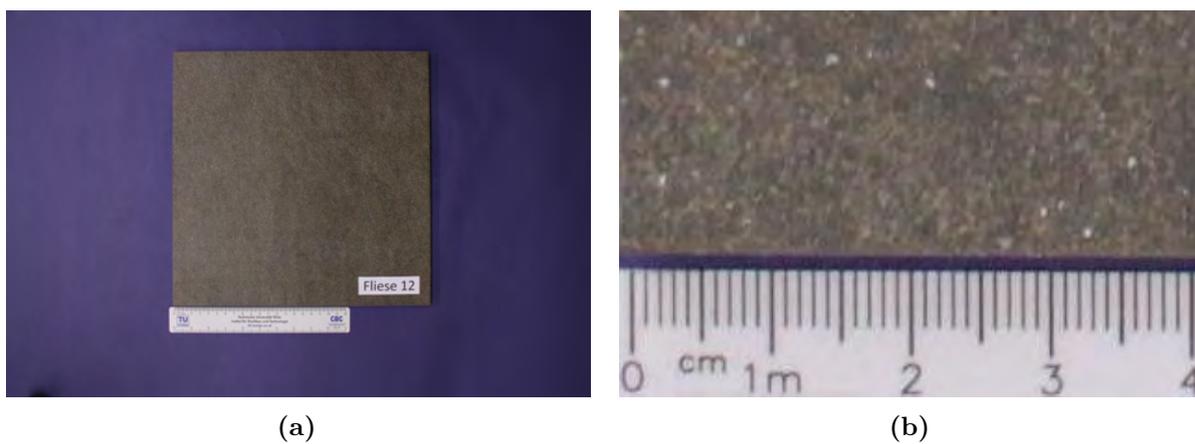


Abb. 4.14: Fliesensorte 12: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

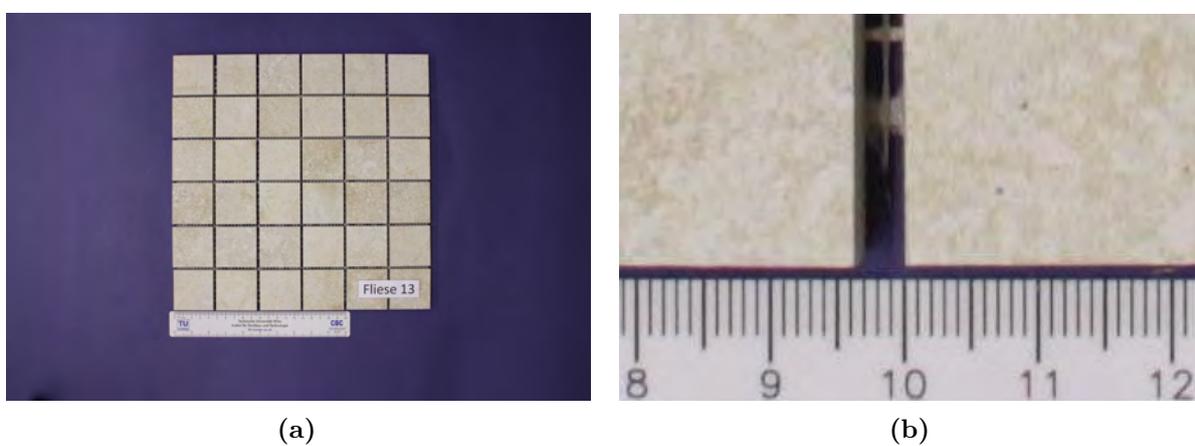


Abb. 4.15: Fliesensorte 13: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

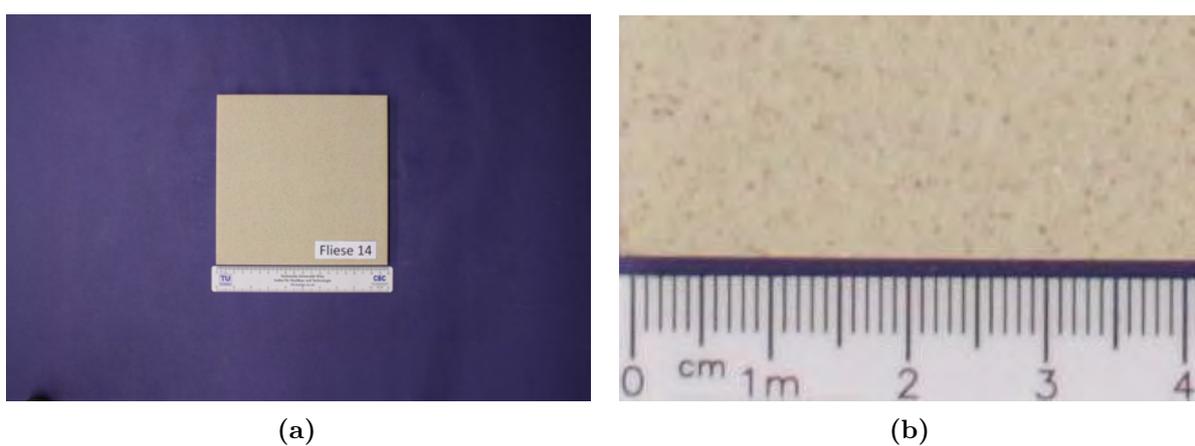


Abb. 4.16: Fliesensorte 14: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

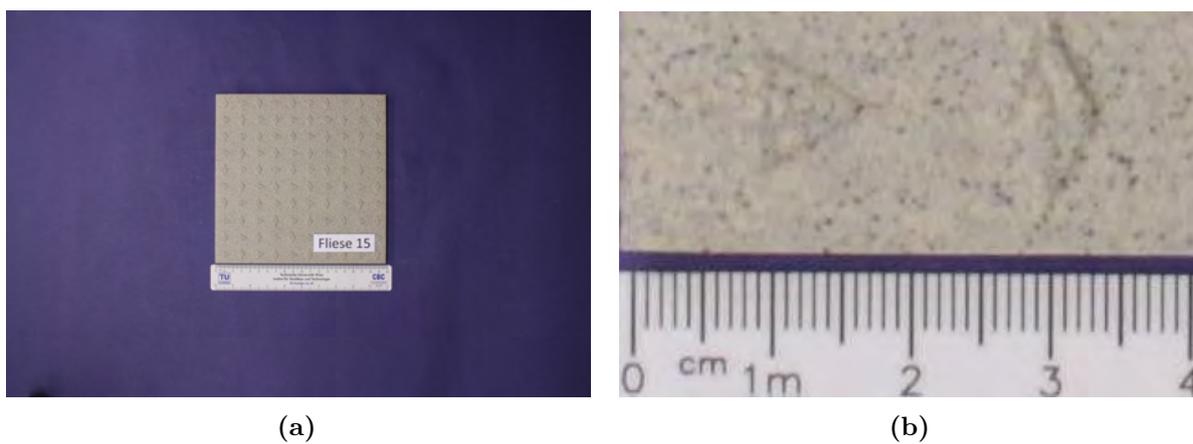


Abb. 4.17: Fliesensorte 15: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

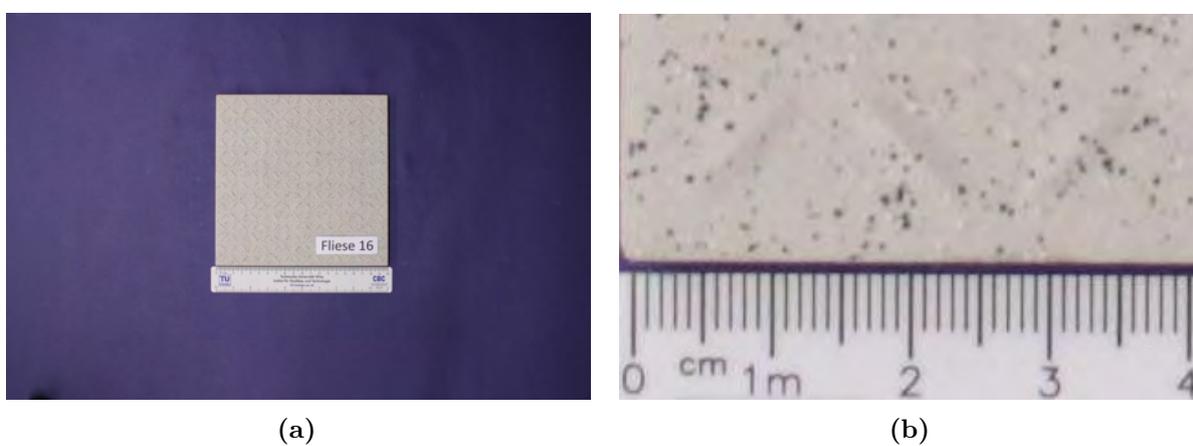


Abb. 4.18: Fliesensorte 16: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

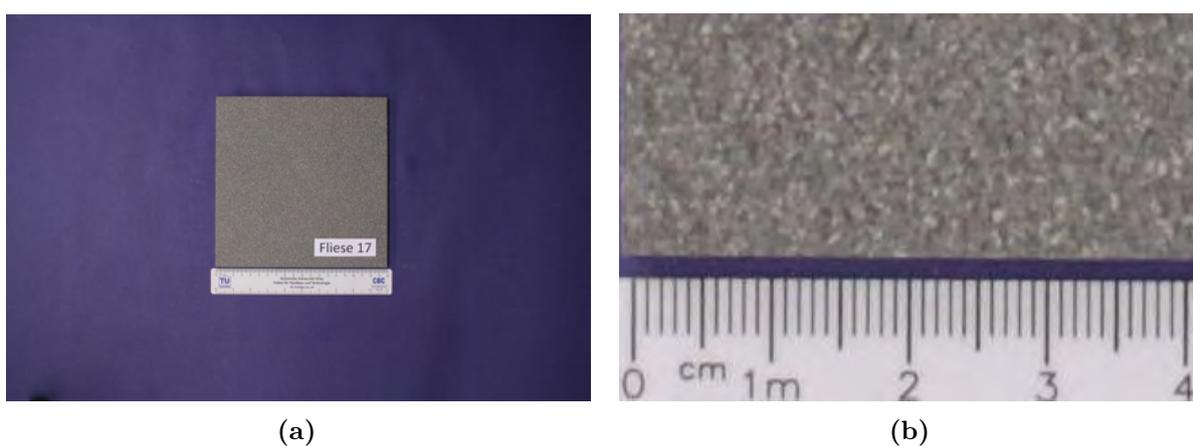


Abb. 4.19: Fliesensorte 17: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

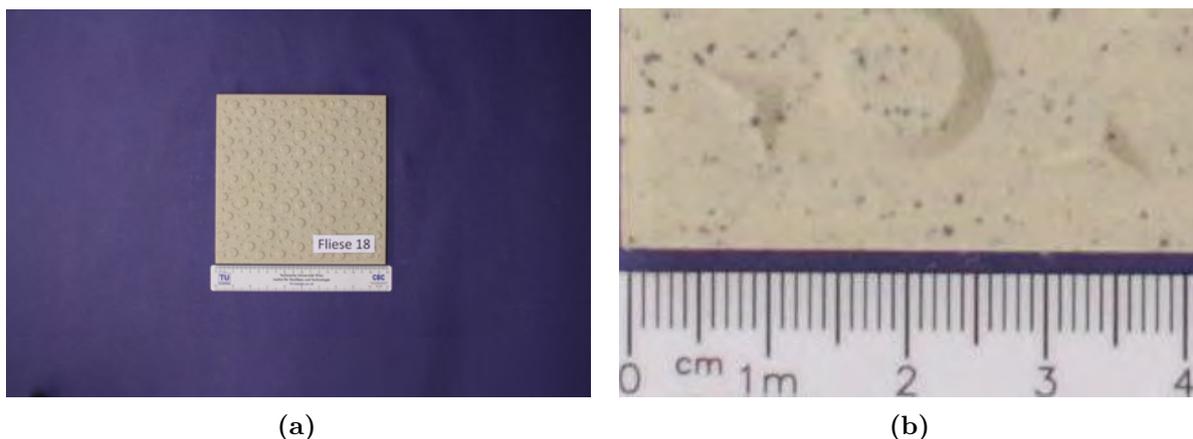


Abb. 4.20: Fliesensorte 18: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)

Erläuterungen zur nachfolgenden Tabelle 4.1

- **Fliesensorte:** In der ersten Spalte der Tabelle sind die Fliesensorten fortlaufend nummeriert. Das ermöglicht eine einfache Identifikation der Fliesen und ermöglichen somit eine praktikable und rasche Versuchsdurchführung.
- **R-Klasse:** Dies ist die Klasse der Rutschhemmung infolge der *Prüfung durch beschuhtes Begehen einer schiefen Ebene* nach (DIN 51130, 2014) (siehe auch **Kap. 2.4**).
- **ABC-Klasse:** Dies ist die Klasse der Rutschhemmung infolge der *Prüfung durch barfüßiges Begehen einer schiefen Ebene* nach (DIN 51097, 2016) (siehe auch **Kap. 2.4**).
- **μ -Wert:** Der Gleitreibungskoeffizient wird mithilfe von (ÖNORM Z 1261, 2009) ermittelt (siehe auch **Kap. 2.4**).
- **Besonderheiten:** Die beschriebenen Eigenschaften sind subjektive visuelle und haptische Eindrücke, die sowohl um Verwechslungen zu vermeiden als auch bei der Interpretation der Ergebnisse hilfreich sind.
Als Mikrorauigkeit wird die Rauigkeit (Griffigkeit) einer an sich ebenen Fläche verstanden. Im Gegensatz dazu wird eine sichtbare, meist regelmäßige Profilierung bzw. Strukturierung der Oberfläche als Makrorauigkeit bezeichnet. (Engels, 2014)

Tab. 4.1: Zusammenstellung der getesteten Fliesensorten und deren Eigenschaften

Fliesen- sorte	Foto	Beschreibung	
1		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	12,5 cm x 25,0 cm – B 0,75 Rille in der Mitte; ausgeprägte Mikrorauigkeit
2		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	25,5 cm x 50,0 cm – C keine sinnvolle Messung möglich diagonal geriffelt; ausgeprägte Makro- und Mikrorauigkeit
3		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	30,0 cm x 60,0 cm R9 – 0,55 wirkt sehr glatt; glänzend; spiegelnd
4		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	30,0 cm x 60,0 cm R9 – 0,56 glatte Oberfläche; einzelne, unregelmäßige Unebenheiten erkennbar
5		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	30,0 cm x 60,0 cm R9 – 0,59 sehr homogene, matte Oberfläche
6		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	25,0 cm x 25,0 cm R10 A 0,56 wirkt sehr glatt; Unebenheiten erkennbar; leicht spiegelnd

Fliesen- sorte	Foto	Beschreibung	
7		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	30,0 cm x 30,0 cm R10 A 0,65 leichte Unebenheiten erkennbar; spiegelnd
8		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	12,5 cm x 25,0 cm R10 C 0,70 ausgeprägte Rauigkeit; wirkt wesentlich rauer als die anderen R10-Fliesen
9		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	30,0 cm x 30,0 cm R10 – 0,62 ausgeprägte Mikrorauigkeit; wirkt glatter als die anderen R10-Fliesen
10		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	30,0 cm x 30,0 cm R10 – 0,61 Mosaik 3 · 3; ausgeprägte Mikrorauigkeit
11		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	25,0 cm x 25,0 cm R11 B 0,59 ausgeprägte Mikrorauigkeit
12		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	30,0 cm x 30,0 cm R11 B 0,59 wellenförmige Unebenheiten; ausgeprägte Mikrorauigkeit

Fliesen- sorte	Foto	Beschreibung	
13		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	30,0 cm x 30,0 cm R11 B 0,63 Mosaik 6 · 6; ausgeprägte Mikrorauigkeit
14		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	20,0 cm x 20,0 cm R12 – 0,68 ausgeprägte Mikrorauigkeit
15		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	20,0 cm x 20,0 cm R12 – keine sinnvolle Messung möglich symmetrisches Karomuster; ausgeprägte Makro- und Mikrorauigkeit
16		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	20,0 cm x 20,0 cm R12 C keine sinnvolle Messung möglich diagonal geriffelt; symmetrisch; ausgeprägte Makro- und Mikrorauigkeit
17		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	20,0 cm x 20,0 cm R13 – keine sinnvolle Messung möglich ausgeprägte Mikrorauigkeit
18		Abmessungen R-Klasse ABC-Klasse μ -Wert Besonderheiten	20,0 cm x 20,0 cm R13 – keine sinnvolle Messung möglich etwa 1,5 mm hohe Kegelstumpfnoppen und Prismen-Noppen; ausgeprägte Makro- und Mikrorauigkeit

4.3 Untersuchungsprogramm

Für die Untersuchung der 18 unterschiedlichen Fliesensorten wurde festgelegt, dass von jeder Fliesensorte drei unterschiedliche Fliesen zu testen sind. Je Fliese werden 10 Einzelversuche in dieselbe Richtung durchgeführt (siehe **Kap. 4.4**). Anschließend werden die Eigenheiten der unterschiedlichen Fliesen in Bezug auf die Versuchsdurchführung eingehend erläutert. Bereits an dieser Stelle sei erwähnt, dass die Auswirkungen der Fugen zwischen den einzelnen Fliesen auf die Rutscheigenschaften nicht berücksichtigt wurden. D.h. wenn es möglich war, wurde der Versuch so durchgeführt, dass nur eine Fliese benötigt wurde. Der Sand glitt nur über diese eine Fliese und dadurch konnten die Fugen ausgelassen werden. Die zusätzlichen Fliesen wurden nur aufgelegt, um den Messrahmen eben und stabil positionieren zu können. Allerdings gab es hierbei einige Ausnahmen, welche ebenfalls anschließend erläutert werden. In **Tab. 4.2** ist das Untersuchungsprogramm tabellarisch zusammengestellt.

- **Fliesensorte 2:** Diese Fliese wurde aufgrund der Makrostruktur sowohl parallel zu den Fugen als auch in einem Winkel von 45° nach dem oben beschriebenen System getestet (siehe **Abb. 4.21**).
- **Fliesensorte 10:** Um die Fugen bei den Versuchen auszulassen, wurde diese Mosaikfliese von der Montagematte abgetrennt und die einzelnen Elemente so gut wie möglich aneinander geschoben. Wie in **Abb. 4.22a** ersichtlich bleiben trotzdem noch kleine Fugen, worin der Filtersand hängen bleibt. Daher sind hier die Versuchsergebnisse kritisch zu betrachten. Auf diese Weise wurde lediglich eine Fliese (mit 10 Einzelversuchen) getestet. Eine weitere gleichartige Fliese wurde verfugt und anschließend ebenfalls mit 10 Einzelversuchen getestet (**Abb. 4.22b**).
- **Fliesensorte 13:** Von dieser Fliesenart wurde eine Fliese verfugt und anschließend mit 10 Einzelversuchen getestet.
- **Fliesensorte 11 und 14:** Hierbei wurde nach der Durchführung des oben beschriebenen Untersuchungsprogramms je eine Fliese (von Fliesensorte 11 und 14) abgeschliffen um einen Verschleiß zu simulieren und anschließend noch einmal mit 10 Einzelversuchen getestet. Um die Fliesen abzuschleifen, wurde handelsübliches Schleifpapier der Güte P180 auf einen Normalformatziegel geklebt. Anschließend wurde der Ziegel, mit dem Schleifpapier nach unten, auf die Fliese gelegt und 20-mal, von einem Ende der Fliese zum anderen Ende und wieder zurück, verschoben. Des Weiteren erfolgte dieser Vorgang auch orthogonal zur ersten Verschleißrichtung. Anschließend wurde ein zweiter Ziegel als zusätzliches Gewicht auf den ersten gelegt und der gesamte Ablauf wiederholt.

Tab. 4.2: Zusammenstellung des durchgeführten Untersuchungsprogramms

Fliesen- sorte	Je 10 Einzelversuche			Anmerkungen	Versuchszahl
1	1-1	1-2	1-3	–	30
2	2-1	2-2	2-3	–	30
	2-1-45°	2-2-45°	2-3-45°	Versuche im 45°-Winkel zur Fugenrichtung	30
3	3-1	3-2	3-3	–	30
4	4-1	4-2	4-3	–	30
5	5-1	5-2	5-3	–	30
6	6-1	6-2	6-3	–	30
7	7-1	7-2	7-3	–	30
8	8-1	8-2	8-3	–	30
9	9-1	9-2	9-3	–	30
10	10-1	10-2	–	10-1: Zusammengeschobene Mosaikenelemente; 10-2: Verfugte Fliese	20
11	11-1	11-2	11-3	–	30
	–	11-2-V	–	Versuche mit Fliese 11-2 nach Verschleiß	10
12	12-1	12-2	12-3	–	30
13	13-1	–	–	Versuche mit verfugter Fliese	10
14	14-1	14-2	14-3	–	30
	–	14-2-V	–	Versuche mit Fliese 14-2 nach Verschleiß	10
15	15-1	15-2	15-3	–	30
16	16-1	16-2	16-3	–	30
17	17-1	17-2	17-3	–	30
18	18-1	18-2	18-3	–	30
Anzahl der Versuche gesamt					560

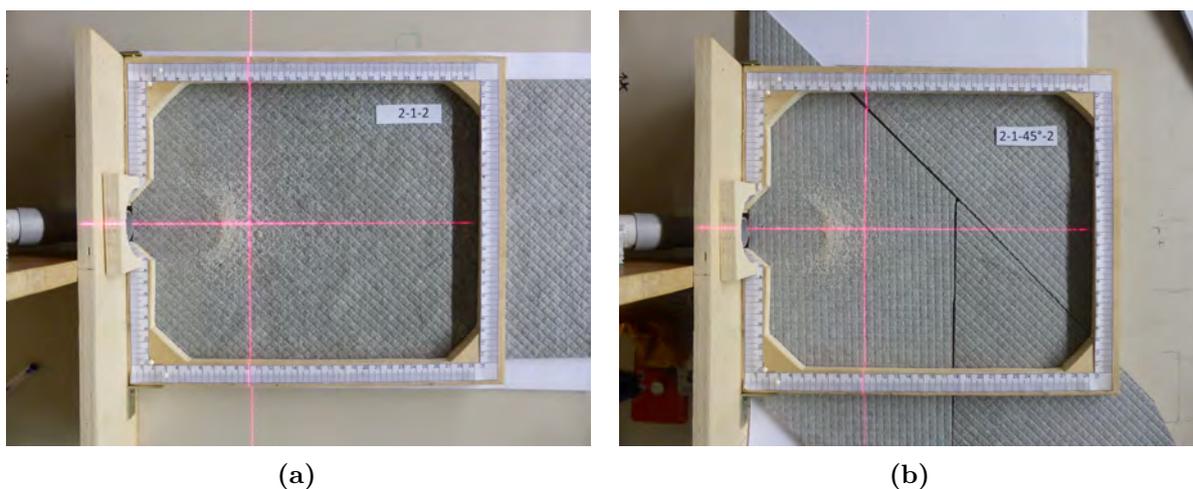


Abb. 4.21: Versuche mit Fliesensorte 2: keine Verdrehung (a), Verdrehung um 45° (b)

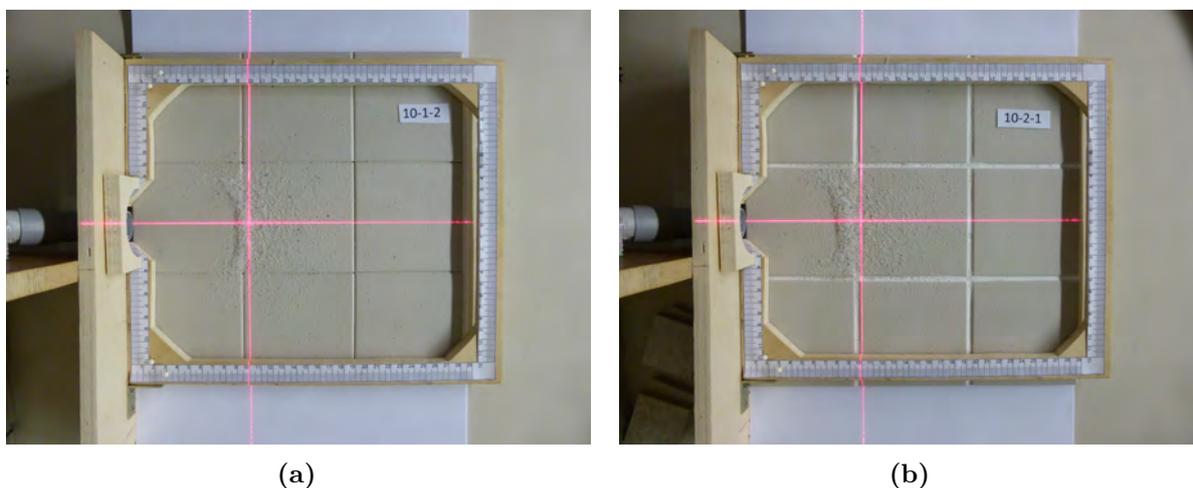


Abb. 4.22: Versuche mit Fliesensorte 10: ohne Fugen (a), verfugt (b)

4.4 Versuchsdurchführung

1. Zu Beginn muss beispielsweise mit einer Wasserwaage überprüft werden ob die Bodenplatte eben ist. Falls das nicht zutrifft, muss diese mithilfe der verstellbaren Füße horizontriert werden. Des Weiteren muss die Fläche sauber sein. Es empfiehlt sich, diese mit einem trockenen Tuch von Staub zu befreien.
2. In weiterer Folge werden die Fliesen aufgelegt. Es ist darauf zu achten, dass der Rohrauslauf auf der Fliese aufliegt. Ist dies nicht der Fall, muss die Höhe der Fliesenoberfläche an die Höhe des Rohrauslaufs angepasst werden.
3. Danach wird der Messrahmen auf die Fliesen gelegt und an den Anschlag geschoben. Mithilfe des fest montierten Kreuzlasers kann die genaue Lage des Rahmens überprüft werden.

4. Als nächster Schritt werden 4,34 g Filtersand in den Aufgabetrichter gefüllt, wobei dieser von unten mit einem Finger zugehalten wird. Durch Wegziehen des Fingers wird die Öffnung des Trichters freigegeben und der Sand gleitet das Rohr entlang.
5. In weiterer Folge wird das auf der Fliese entstandene Muster einmal fotografiert und nach Auflegen des Plexiglasrasters ein weiteres mal fotografiert um die Messung genau zu dokumentieren.
6. Danach erfolgt die Vermessung und Dokumentation der Punkte 1 bis 4. Hierbei werden jeweils die Koordinaten in X - und Y -Richtung angegeben und in eine Liste eingetragen (siehe **Kap. 4.5**)
7. Ist dieser Vorgang beendet, wird die Fliese mit einem trockenen Tuch gereinigt und der nächste Versuch vorbereitet. Dieser Ablauf erfolgt mit jeder Fliese 10-mal.

4.5 Vermessung des Sandmusters

Die Vermessung des Sandmusters und Aufnahme der Daten wird anhand eines Beispiels erklärt. In **Abb. 4.23** ist die Fliese 12-2-7 abgebildet. Die erste Zahl (12) dient der Zuordnung zu einer Fliesensorte (siehe **Tab. 4.1**). Da von jeder Fliesensorte drei Stück getestet wurden, musste die zweite Zahl (2) eingeführt werden. Diese dient der Identifikation der Fliese. Die dritte Zahl (7) beschreibt der wievielte Versuch gerade durchgeführt wird. D.h. **Abb. 4.23** zeigt die Durchführung des siebenten Versuchs mit der zweiten Fliese der Fliesensorte 12. Die folgende Erläuterung zur Vermessung des Sandmusters bezieht sich auf **Abb. 4.23** und **Tab. 4.3**.

Die Vermessung des Sandmusters erfolgt anhand der Punkte 1 bis 4, welche mit roten Kreisen markiert sind. Diese Punkte wurden gewählt um sowohl die Längs- als auch die Querausdehnung möglichst vollständig zu erfassen.

- **Punkt 1** ist als Schnittpunkt der horizontalen roten Linie des Lasers mit dem Abschluss des Sandmusters an der Innenseite der Sichelform definiert.
- Die horizontale Laserlinie wird von Punkt 1 nach rechts verfolgt. **Punkt 2** liegt dort, wo die Linie in den Bereich kommt, in dem das erste mal die Fliese wieder unter dem Sand zu erkennen ist bzw. wo die Dicke der Sandschicht nur noch in etwa dem Korndurchmesser entspricht (etwa eine Lage Sandkörner).
- **Punkt 3 und 4** markieren die obere bzw. unter Spitze der Sichelform. Die Punkte befinden sich dort, wo die Fliese das erste mal wieder unter dem Sand zu erkennen ist bzw. wo die Dicke der Sandschicht nur noch in etwa dem Korndurchmesser entspricht.

Nun werden die Koordinaten der Punkte, auf Basis eines kartesischen Koordinatensystems mit Ursprung am Rohrende, in **Tab. 4.3** eingetragen. In Zeile sieben (grau markiert) sind die zu **Abb. 4.23** gehörenden Koordinaten ersichtlich. In dieser Tabelle werden die Daten der 10 Einzelversuche zusammengestellt. Im nächsten Schritt erfolgt die Auswertung.

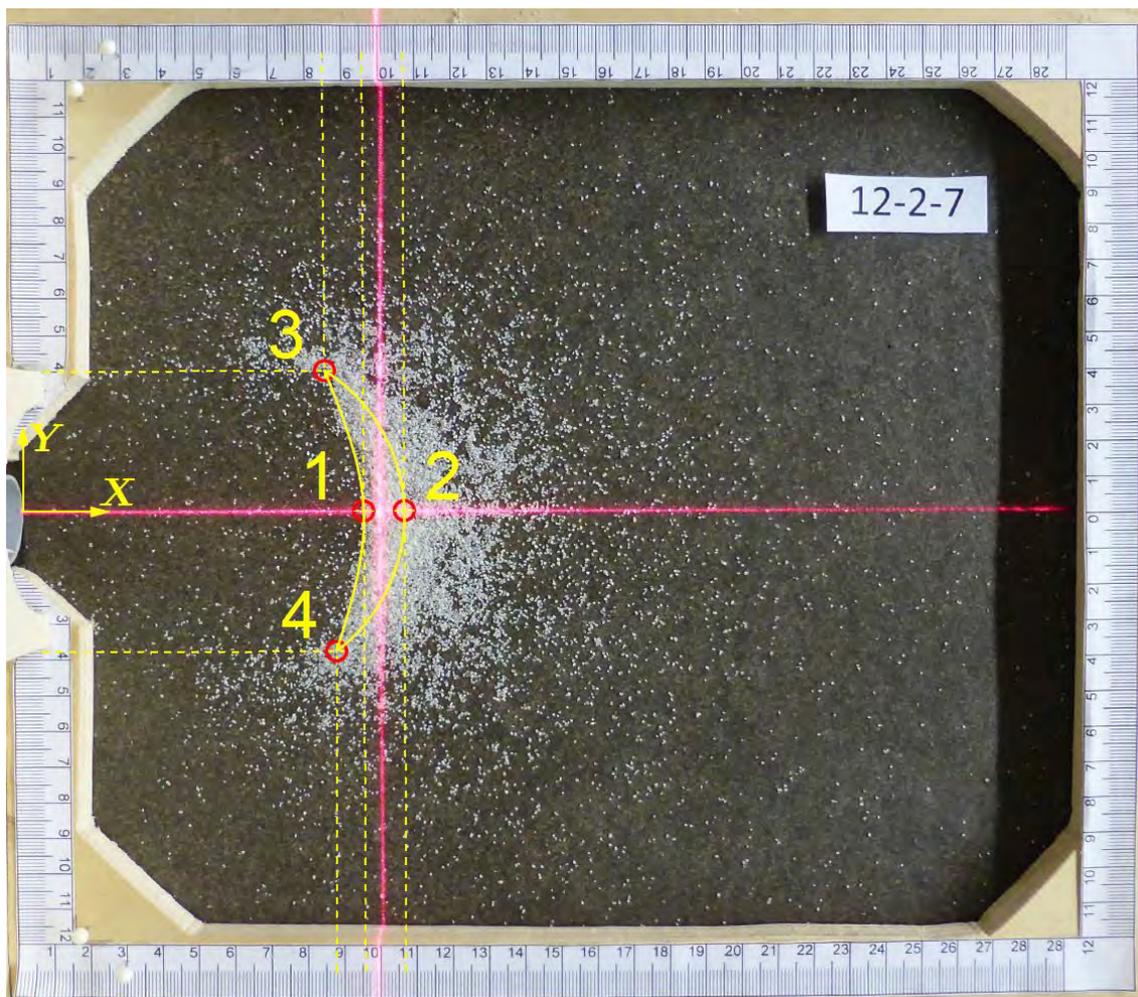


Abb. 4.23: Vermessung des Sandmusters auf der Fliese 12-2 beim siebenten Versuch

Tab. 4.3: Koordinaten der Vermessungspunkte von Fliese 12-2

Versuch	Vermessungspunkte							
	1		2		3		4	
	X [cm]	Y [cm]	X [cm]	Y [cm]	X [cm]	Y [cm]	X [cm]	Y [cm]
1	10,1	0	11,2	0	9,2	3,7	9,2	-3,4
2	10,1	0	11,5	0	8,9	3,9	8,9	-3,8
3	10,3	0	11,5	0	9,2	3,4	9,0	-3,8
4	10,0	0	11,1	0	8,9	3,4	9,2	-3,9
5	10,1	0	11,6	0	8,8	3,7	9,2	-3,9
6	10,1	0	11,3	0	8,8	4,0	9,2	-3,8
7	9,6	0	10,7	0	8,5	4,0	8,8	-3,8
8	10,0	0	11,4	0	8,4	3,5	9,3	-3,3
9	10,4	0	11,9	0	9,0	3,4	9,4	-3,7
10	10,1	0	11,3	0	9,0	3,9	9,4	-3,7

Kapitel 5

Auswertung und Ergebnisse

5.1 Auswertung der aufgenommenen Daten

Im Zuge der Auswertung wurden aus den ermittelten Daten (siehe **Kap. 4.5**) die folgenden Werte errechnet. **Abb. 5.1** dient zum besseren Verständnis der verwendeten Formeln.

- Der **Schwerpunkt** X_s der mit Sand bedeckten Fläche A vom Ursprung (Rohrende). Die tatsächliche Fläche wurde der Einfachheit halber mit zwei Dreiecken (I und II) angenähert. Da das Muster immer annähernd symmetrisch war, wurden die Flächen der beiden Dreiecke zur Vereinfachung als gleich groß angenommen und die Y -Komponente bei der Schwerpunktberechnung vernachlässigt. Mit **Glg. 5.1** konnte der Schwerpunktabstand als Mittelwert der Schwerpunkte der beiden Dreiecke berechnet werden.

$$X_s = \frac{1}{2} \left[\frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} + \frac{X_1 + X_2 + X_4}{3} \right] = \frac{2 \cdot X_1 + 2 \cdot X_2 + X_3 + X_4}{6} \quad (5.1)$$

- Die vom Sand bedeckte **Fläche A** . Diese wurde, wie bereits erwähnt, durch zwei Dreiecke (I und II) angenähert. Aufgrund der Symmetrie des Sandmusters konnte die Fläche mit **Glg. 5.2** berechnet werden. Dies schien ausreichend genau um im Zuge der Auswertung erste Anhaltspunkte zur Aussagekraft der vom Sand bedeckten Fläche zu erhalten.

$$A = \frac{(X_2 - X_1) \cdot Y_3 + |(X_2 - X_1) \cdot Y_4|}{2} \quad (5.2)$$

- Der **Öffnungswinkel γ** . Dieser beschreibt die Ausdehnung des Sandmusters in Querrichtung und wurde mit **Glg. 5.3** ermittelt.

$$\gamma = \arctan \left(\frac{Y_3}{X_3} \right) + \arctan \left(\frac{Y_4}{X_4} \right) \quad (5.3)$$

Diese Werte wurden mithilfe der Software *Microsoft Office Excel* für alle durchgeführten Versuche errechnet. Anschließend wurden die zu den drei Größen gehörenden arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen je Fliesensorte ermittelt. Diese Werte sind in **Tab. 5.1** ersichtlich.

Zum einfacheren Verständnis wird die genaue Vorgangsweise exemplarisch anhand der Fliesensorte 12 erläutert. Mit den Fliesen 12-1, 12-2, und 12-3 wurden je 10 Einzelversuche durchgeführt, das ergibt insgesamt 30 Versuche für die Fliesensorte 12. Zu jedem Versuch wurden die vom Sand bedeckte Fläche A , der zugehörige Schwerpunktabstand X_s sowie der Öffnungswinkel γ , wie oben beschrieben, ermittelt. Anschließend wurden die drei Größen über die Anzahl der Versuche gemittelt und die Standardabweichung für diese Stichprobe errechnet.

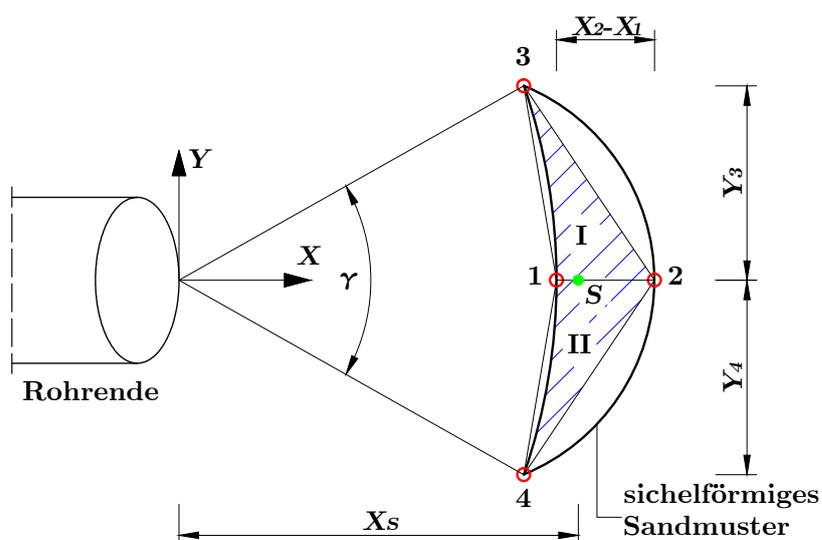


Abb. 5.1: Schematische Skizze des Sandmusters zur Erklärung der Auswertung

5.2 Ergebnisse

In Tab. 5.1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der oben beschriebenen Größen zusammengestellt. Die Standardabweichung wird hierbei in Prozent bezogen auf den Mittelwert angegeben. R-Klassen, ABC-Klassen und μ -Werte wurden vom Hersteller übernommen.

Tab. 5.1: Mittelwerte und Standardabweichungen der in Kap. 5.1 erklärten Größen je Fliesensorte

Fliesen-Nr.	R/ABC-Klasse	μ -Wert	X_s [cm]	S_x [%]	A [cm]	S_A [%]	γ [°]	S_γ [%]
1	-/B	0,75	6,99	3,64	5,02	8,81	51,33	6,00
2	-/C	-	7,25	5,60	4,90	12,70	46,68	8,15
3	R9/-	0,55	15,07	3,91	5,37	29,42	29,36	10,34
4	R9/-	0,56	13,98	3,33	7,15	10,83	37,22	7,69
5	R9/-	0,59	11,68	2,79	6,26	13,03	38,59	7,23
6	R10/A	0,56	11,81	5,39	5,60	18,81	36,10	7,00
7	R10/A	0,65	11,10	2,67	5,48	14,82	36,88	9,52
8	R10/C	0,70	6,16	3,58	4,52	15,46	54,32	6,20
9	R10/-	0,62	12,01	2,62	7,69	8,08	46,73	4,85
10	R10/-	0,61	9,14	3,46	5,76	16,02	52,15	5,38
11	R11/B	0,59	7,41	5,18	5,87	14,08	56,15	7,03
12	R11/B	0,59	10,07	2,80	4,87	11,17	44,32	5,61
13	R11/B	0,63	6,34	5,90	6,13	15,18	54,74	5,15
14	R12/-	0,68	7,29	5,28	5,55	9,26	55,13	6,15
15	R12/-	-	7,48	4,16	5,41	12,72	49,49	6,26
16	R12/C	-	6,16	2,69	5,33	15,53	58,47	3,35
17	R13/-	-	6,10	3,11	5,68	13,79	59,76	4,59
18	R13/-	-	5,08	3,70	5,75	10,64	72,40	3,75

In weiterer Folge werden die Ergebnisse grafisch dargestellt und erläutert. Zur Erklärung werden häufig die Begriffe Schwerpunktabstand X_s , Fläche A und Öffnungswinkel γ verwendet. Hierbei handelt es sich nicht um die Einzelwerte, sondern um die in **Tab. 5.1** zusammengestellten arithmetischen Mittelwerte einer Fliesensorte. In den Diagrammen wird aus Platzgründen und um die Übersicht zu wahren der Begriff Fliese anstatt Fliesensorte verwendet.

5.2.1 Zusammenhang zwischen R- bzw. ABC-Klasse und μ -Wert

In **Abb. 5.2** und **Abb. 5.3** sind die Zusammenhänge zwischen R-Klasse und μ -Wert bzw. ABC-Klasse und μ -Wert der unterschiedlichen Fliesensorten dargestellt. In diesem Diagramm kommen nur jene Fliesensorten vor, bei welchen die genannten Größen bekannt sind. Die Daten wurden vom Fliesenhersteller zur Verfügung gestellt. Hierbei wurden die Fliesensorten nach R-Klassen bzw. ABC-Klassen, und innerhalb der R-Klasse bzw. ABC-Klassen nach μ -Werten sortiert.

Es ist erkennbar, dass die μ -Werte mit steigender R-Klasse (respektive ABC-Klasse) tendenziell ebenfalls steigen. Ein eindeutiger Zusammenhang von μ -Wert und R-Klasse ist für die 18 gewählten Fliesensorten allerdings nicht ersichtlich. Laut (ÖNORM Z 1261, 2009) können μ -Werte nicht mit R- bzw. ABC-Klassen verglichen werden. Folglich kann auch keine Einordnung von Böden in R- bzw. ABC-Klassen anhand von μ -Werten erfolgen. Dies wird durch **Abb. 5.2** und **Abb. 5.3** bekräftigt.

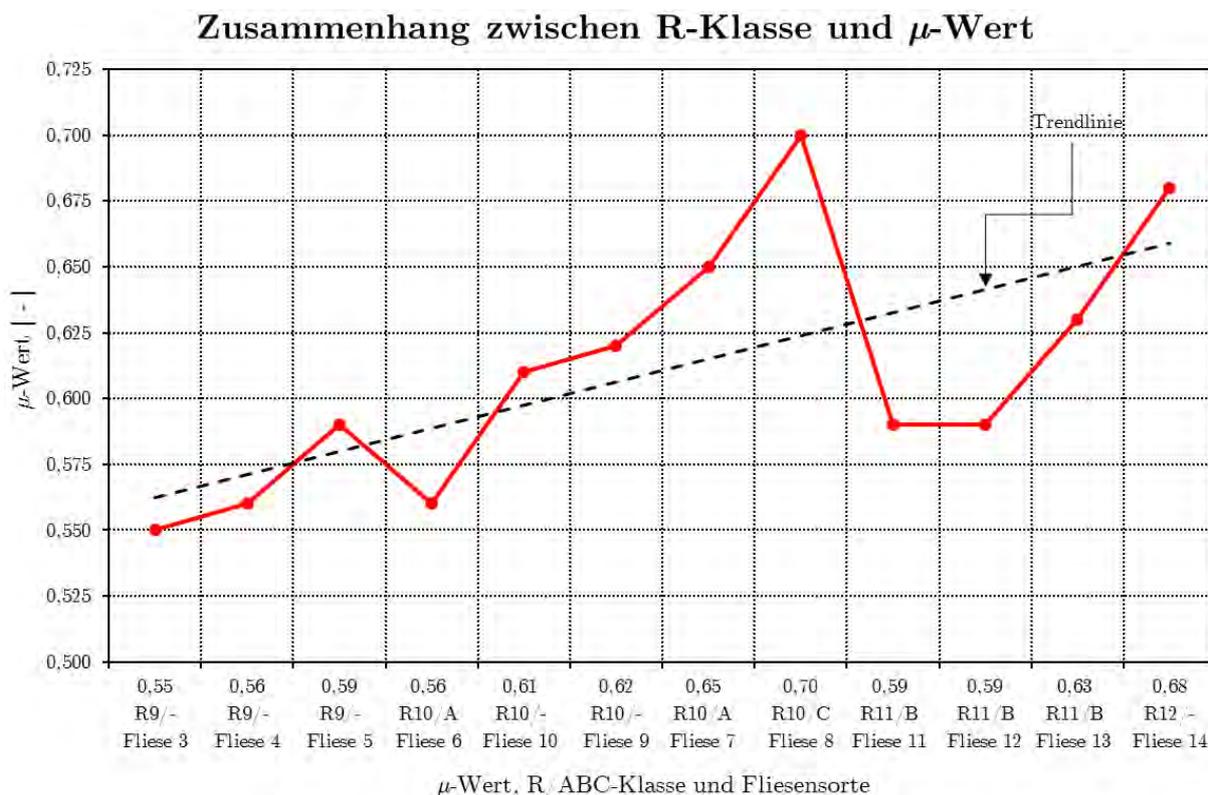


Abb. 5.2: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den μ -Werten der getesteten Fliesensorten

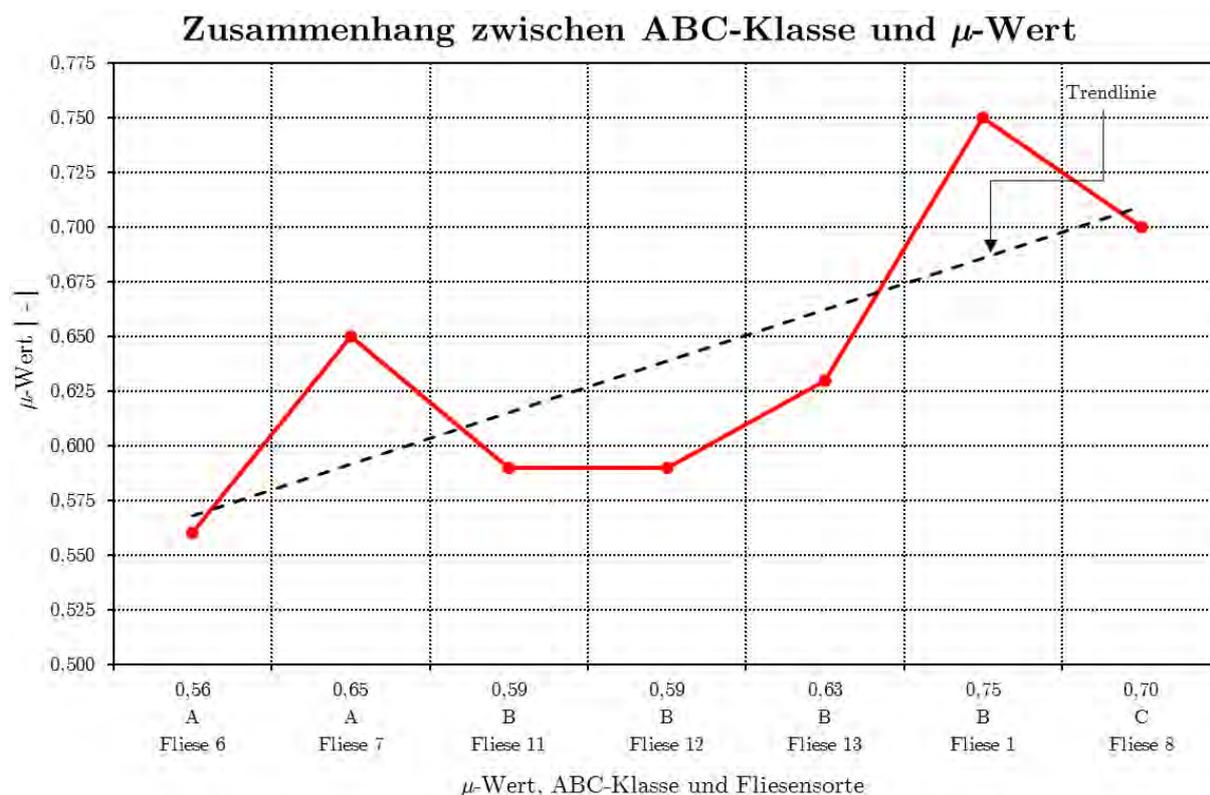


Abb. 5.3: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ABC-Klassen und den μ -Werten der getesteten Fliesensorten

5.2.2 Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den bekannten μ -Werten

In den folgenden Diagrammen werden die Daten der Fliesensorten 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, und 14 gegenübergestellt, dies sind alle Fliesensorten von welchen der μ -Wert bekannt ist (siehe **Tab. 5.1**). Die Fliesensorten 10 und 13 sind Mosaikfliesen und daher grau dargestellt. Die Fugen zwischen den verlegten Fliesen wurden grundsätzlich außer Acht gelassen. Da dies bei den Mosaikfliesen nicht möglich war, können deren Ergebnisse nicht mit den anderen Ergebnissen verglichen werden. Der Einfluss der Fugen auf die Ergebnisse ist nicht ohne weiteres verifizierbar, deshalb werden die Mosaikfliesen im Folgenden nicht behandelt.

In **Abb. 5.4** ist der Zusammenhang zwischen dem *Schwerpunkt Abstand des Sandmusters* X_s und dem vom Hersteller gegebenen μ -Wert dargestellt. Auf der horizontalen Achse sind die μ -Werte (mit zugehörigen R- und/oder ABC-Klassen und Fliesensorten), der Größe nach aufsteigend, aufgetragen. Bei gleich großen μ -Werten wurde die Reihung nach den Schwerpunktabständen X_s (absteigend) vorgenommen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den μ -Werten gehörenden Schwerpunktabstände X_s dargestellt. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 2,62% und 5,90% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

Es ist klar erkennbar, dass der Schwerpunktabstand X_s mit zunehmendem μ -Wert tendenziell abnimmt. Zwischen den Fliesensorten 3 und 11 sinkt der Schwerpunktabstand monoton. Obwohl die Fliesensorten 4 und 6 den selben μ -Wert aufweisen ist der Schwerpunktabstand von Sorte 4 um 2,17 cm größer als der von Sorte 6. Ähnliches ist zwischen den Fliesensorten 5, 12 und 11 zu beobachten. Im Gegensatz dazu sind die Schwerpunktabstände der Fliesensorten 6 und 5 beinahe gleich groß, aber der μ -Wert ändert sich von 0,56 auf 0,59. Die Fliesensorten 9 und 7 können als Ausreißer identifiziert werden, da diese verhältnismäßig weit vom tendenziellen Verlauf abweichen. Zwischen den Sorten 11 und 14 steigt der μ -Wert von 0,59 auf 0,68, wobei der Schwerpunktabstand annähernd gleich bleibt. Ab Fliesensorte 14 sinkt der Schwerpunktabstand bis Sorte 8 und steigt anschließend wieder leicht an.

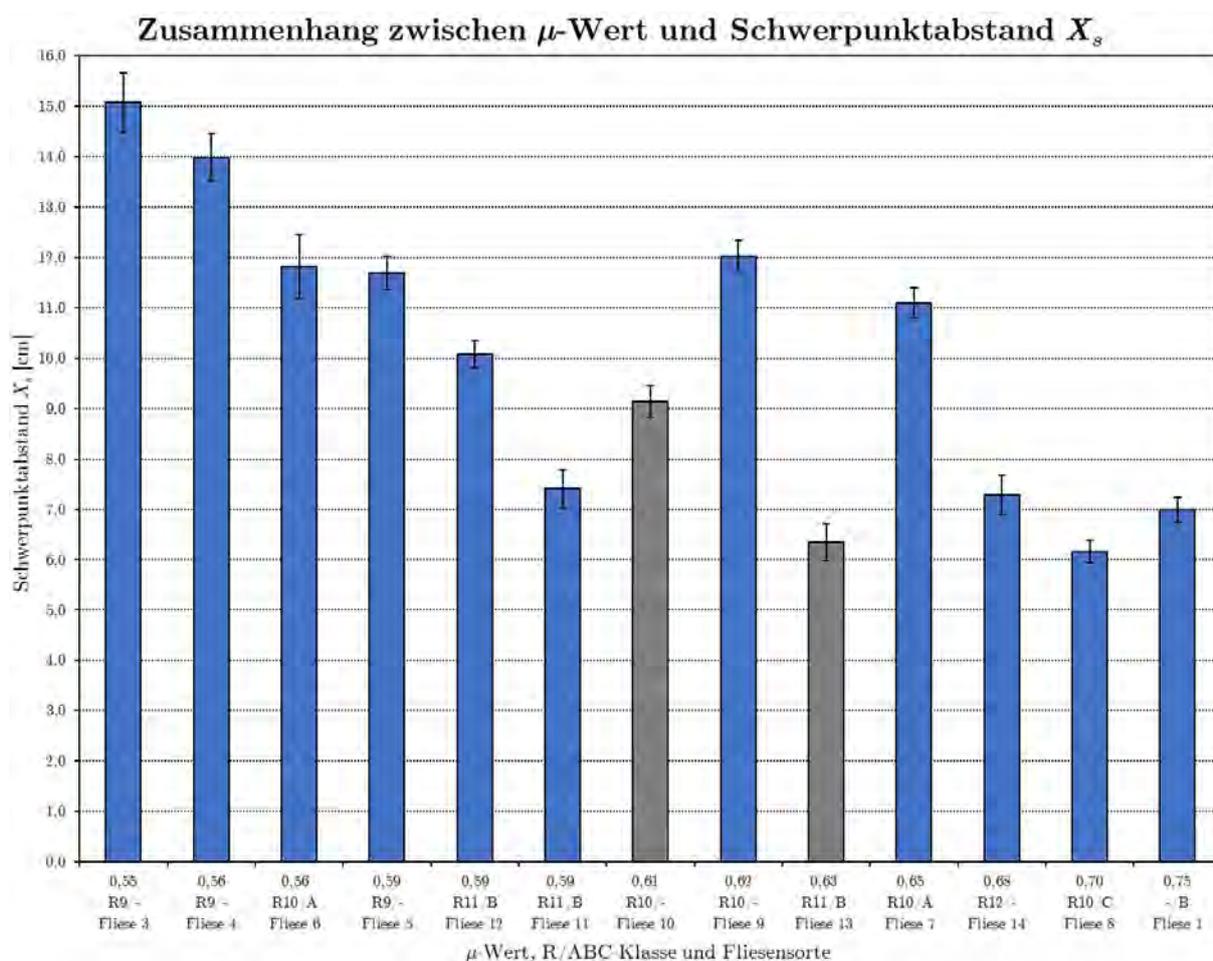


Abb. 5.4: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den μ -Werten und den Schwerpunktabständen X_s des Sandmusters

In **Abb. 5.5** ist der Zusammenhang zwischen dem *Öffnungswinkel des Sandmusters* γ und dem vom Hersteller gegebenen μ -Wert dargestellt. Auf der horizontalen Achse sind die μ -Werte (mit zugehörigen R- und/oder ABC-Klassen und Fliesensorten), der Größe nach aufsteigend, aufgetragen. Bei gleich großen μ -Werten wurde dieselbe Reihung wie in **Abb. 5.4** vorgenommen um einen einfachen Vergleich zu ermöglichen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den μ -Werten gehörenden Öffnungswinkel γ dargestellt. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 4,85% und 10,34% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

In diesem Diagramm ist erkennbar, dass der Öffnungswinkel γ mit zunehmendem μ -Wert tendenziell zunimmt. Von Fliesensorte 3 steigt der Öffnungswinkel bis Sorte 4, anschließend fällt er etwas ab bevor er bis Sorte 11 monoton steigt. In diesem Diagramm ist nur die Fliesensorte 7 eindeutig als Ausreißer identifizierbar. Die Sorten 14 und 11 weisen einen ähnlichen Öffnungswinkel auf. Anschließend wird der Öffnungswinkel bis Fliesensorte 1 wieder geringer.

Im Vergleich von **Abb. 5.4** und **Abb. 5.5** wird ersichtlich, dass der Schwerpunktabstand X_s und der Öffnungswinkel γ in einigen Bereichen miteinander korrelieren. D.h. mit sinkendem Schwerpunktabstand wird der Öffnungswinkel größer. Allgemein gilt dies jedoch nicht. Zum Beispiel sinkt der Schwerpunktabstand bei abnehmendem Öffnungswinkel von Fliesensorte 4 auf 6. Ähnliches ist zwischen den Fliesensorten 8 und 1 zu beobachten.

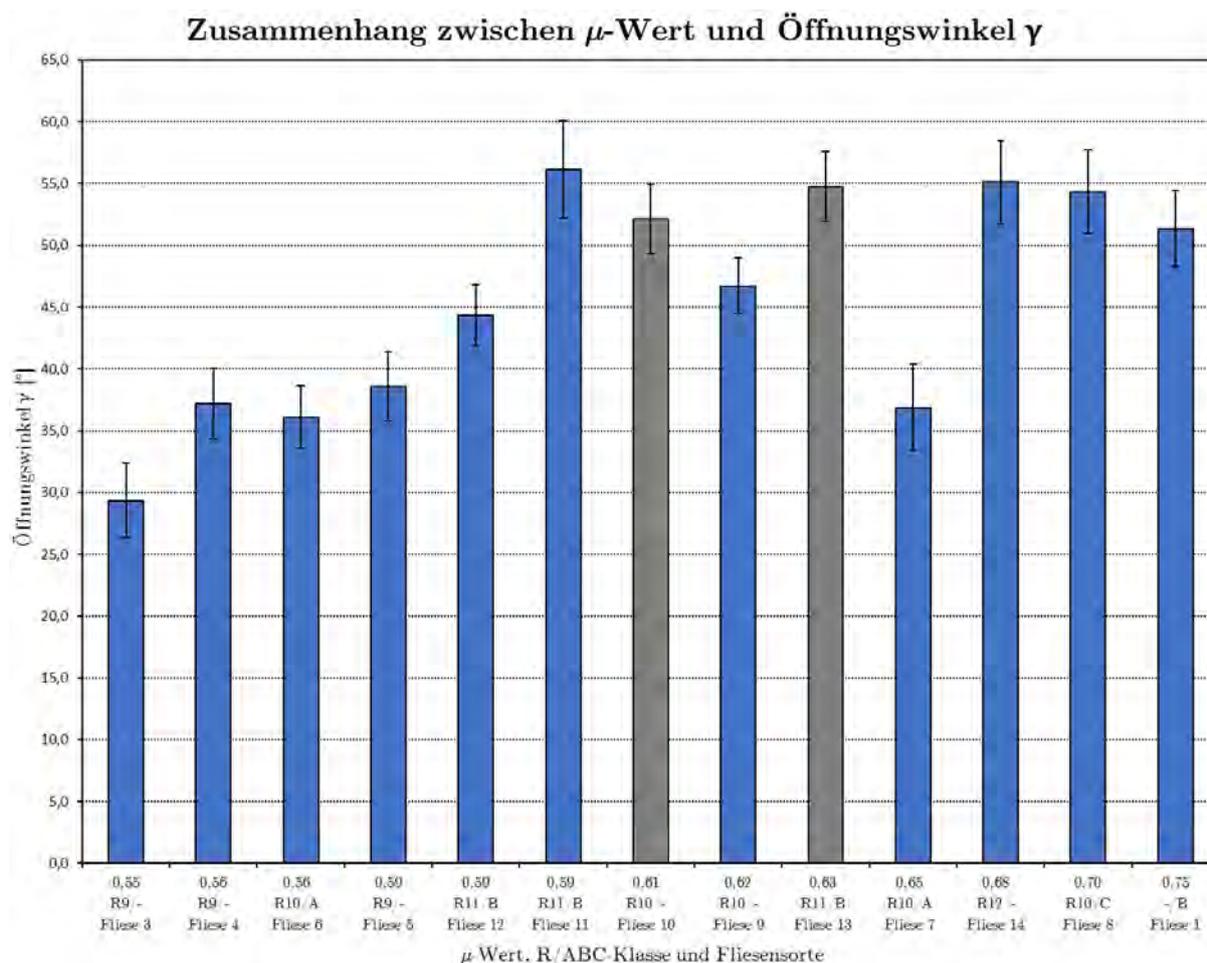


Abb. 5.5: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den μ -Werten und den Öffnungswinkeln γ des Sandmusters.

In **Abb. 5.6** ist der Zusammenhang zwischen der vom Sand bedeckten Fläche A und dem vom Hersteller gegebenen μ -Wert dargestellt. Auf der horizontalen Achse sind die μ -Werte (mit zugehörigen R- und/oder ABC-Klassen und Fliesensorten), der Größe nach aufsteigend, aufgetragen. Bei gleich großen μ -Werten wurde dieselbe Reihung wie in **Abb. 5.4** vorgenommen um einen einfachen Vergleich zu ermöglichen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den μ -Werten gehörenden Flächeninhalte A dargestellt. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 8,08% und 29,42% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

In diesem Diagramm ist keine eindeutige Tendenz erkennbar. Der Flächeninhalt fluktuiert zwischen 4,52 cm² und 7,69 cm². Des weiteren ist die Standardabweichung teilweise sehr groß.

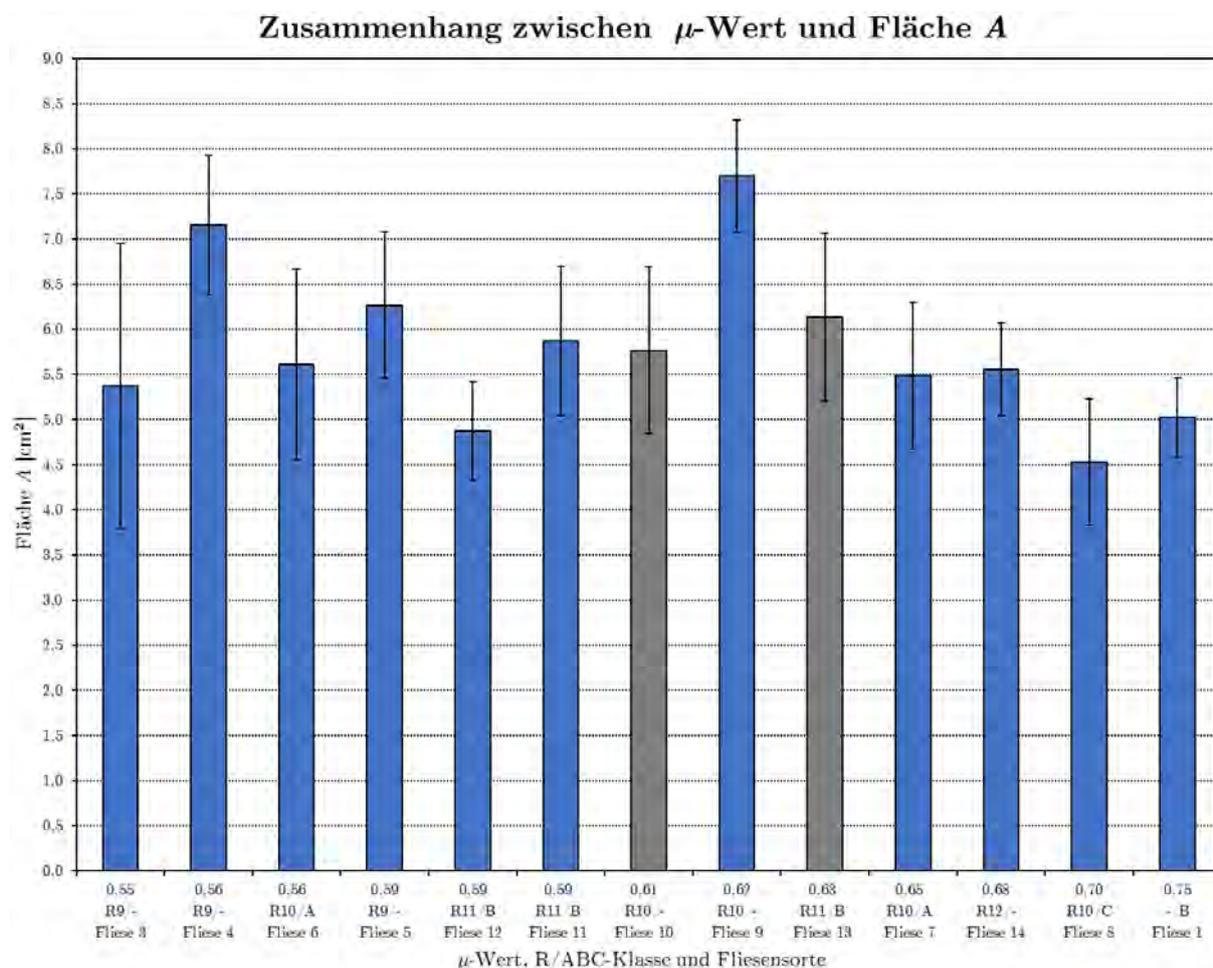


Abb. 5.6: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den μ -Werten und den vom Sand bedeckten Flächen A

5.2.3 Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den bekannten R-Klassen

In den folgenden Diagrammen werden die Daten der Fliesensorten 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 und 18 gegenübergestellt, dies sind alle Fliesensorten von welchen die R-Klasse bekannt ist (siehe **Tab. 5.1**). Auch hier sind die Mosaikfliesen grau dargestellt und es gelten die diesbezüglich bereits erklärten Einschränkungen.

In **Abb. 5.7** ist der Zusammenhang zwischen dem *Schwerpunkt Abstand des Sandmusters* X_s und der vom Hersteller gegebenen R-Klasse dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die R-Klasse (mit zugehöriger ABC-Klasse, μ -Wert und Fliesensorte), der Größe nach aufsteigend, aufgetragen. Bei gleichbleibender R-Klasse wurde die Reihung nach Schwerpunktabstand (absteigend) vorgenommen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den Fliesensorten gehörenden Schwerpunktabstände X_s eingetragen. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 2,62% und 5,90% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

In diesem Diagramm ist eine sehr deutliche Tendenz erkennbar. Mit steigender R-Klasse sinkt in der Regel der Schwerpunktabstand X_s . Von Fliesensorte 3 bis 5 wird der Schwerpunktabstand geringer, steigt anschließend geringfügig und sinkt dann wieder monoton bis Fliesensorte 8. Der verhältnismäßig große Unterschied des Schwerpunktabstandes zwischen den Sorten 8 und 12 ist deutlich erkennbar. Hier wird der Schwerpunktabstand größer obwohl die R-Klasse steigt. Die Fliesensorte 8 wäre nach der getesteten Methode und auch nach dem μ -Wert im Bereich der Sorte 16 (R12) anzusiedeln, hat laut Herstellerangaben aber die Klassifizierung R10. Nach Fliesensorte 12 sinkt X_s , steigt (unter Vernachlässigung der Mosaikfliesen) wiederum geringfügig an bevor der Schwerpunktabstand bis Fliesensorte 18 monoton sinkt. Hierbei sind besonders die Sprünge zwischen den Fliesensorten 5 und 9, 7 und 8 (bzw. 8 und 12) hervorzuheben.

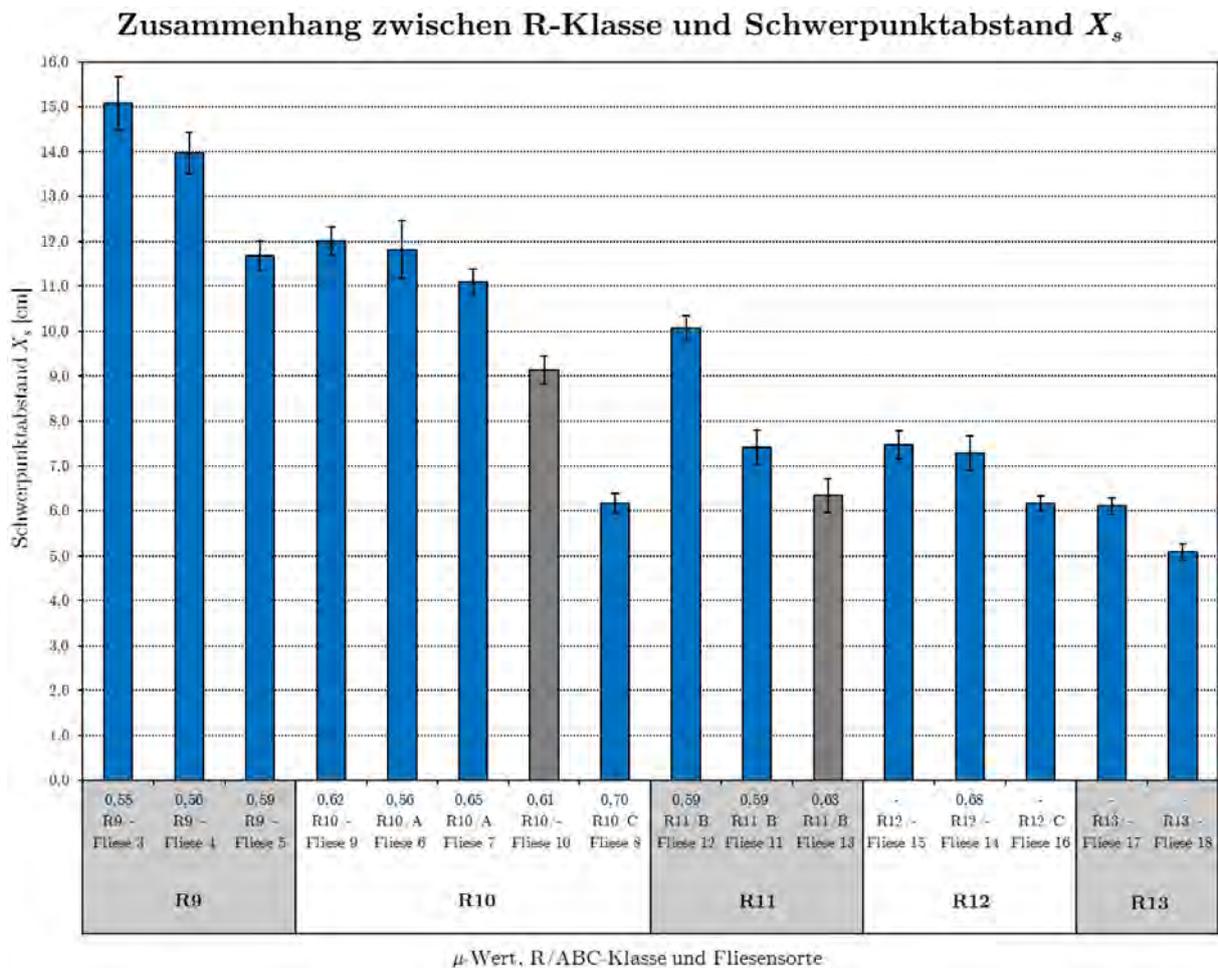


Abb. 5.7: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den Schwerpunktabständen X_s des Sandmusters

In **Abb. 5.8** ist der Zusammenhang zwischen dem *Öffnungswinkel des Sandmusters* γ und der vom Hersteller gegebenen *R-Klasse* dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die R-Klasse (mit zugehöriger ABC-Klasse, μ -Wert und Fliesensorte), der Größe nach aufsteigend, aufgetragen. Bei gleichbleibender R-Klasse wurde dieselbe Reihung wie in **Abb. 5.7** vorgenommen um einen einfachen Vergleich zu ermöglichen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den Fliesensorten gehörenden Öffnungswinkel γ eingetragen. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 3,35% und 10,34% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

Es ist eindeutig erkennbar, dass der Öffnungswinkel mit zunehmender R-Klasse tendenziell ebenfalls steigt. γ steigt von Fliesensorte 3 bis 9, anschließend sinkt der Öffnungswinkel sprunghaft ab, bevor er bis Sorte 8 wiederum steigt. Zu Fliesensorte 12 erfolgt eine sprunghafte Verringerung, anschließend eine sprunghafte Vergrößerung zu Fliesensorte 11. Danach sinkt der Öffnungswinkel bis Sorte 15. Zwischen den Fliesensorten 15 und 18 wird der Öffnungswinkel monoton größer.

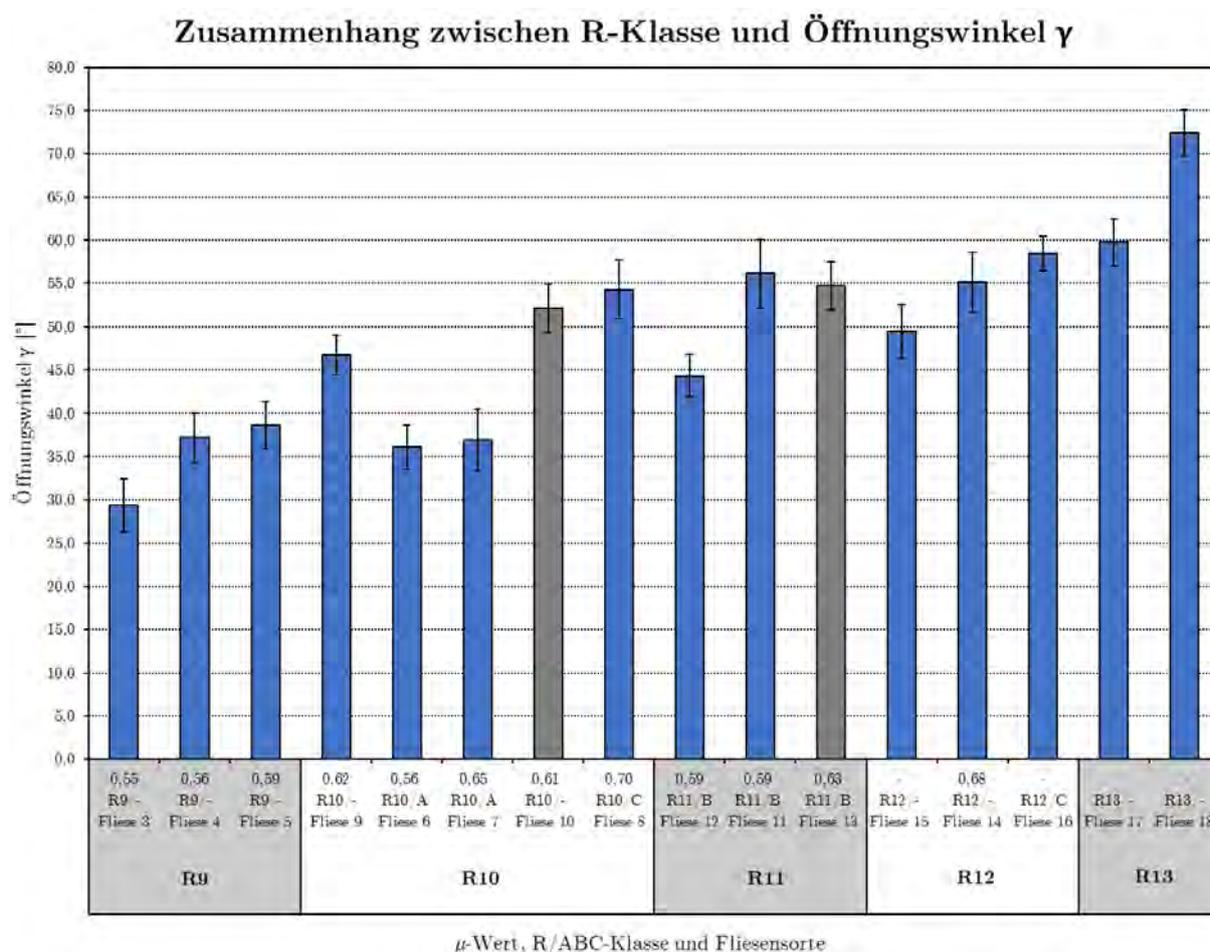


Abb. 5.8: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klasse und den Öffnungswinkel γ des Sandmusters

In **Abb. 5.9** ist der Zusammenhang zwischen der vom Sand bedeckten Fläche A und der vom Hersteller gegebenen R -Klasse dargestellt. Auf der horizontalen Achse sind die R -Klassen (mit zugehörigen μ -Werten, ABC-Klassen und Fliesensorten), der Größe nach aufsteigend, aufgetragen. Bei gleichen R -Klassen wurde dieselbe Reihung wie in **Abb. 5.7** vorgenommen um einen einfachen Vergleich zu ermöglichen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den Fliesensorten gehörenden Flächeninhalte A dargestellt. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 8,08% und 29,42% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

In diesem Diagramm ist keine eindeutige Tendenz erkennbar. Der Flächeninhalt fluktuiert zwischen $4,52 \text{ cm}^2$ und $7,69 \text{ cm}^2$. Des weiteren ist die Standardabweichung teilweise sehr groß.

Ähnlich wie in **Kap. 5.2.2** ist im Vergleich von **Abb. 5.7** und **Abb. 5.8** ersichtlich, dass der Schwerpunktabstand X_s und der Öffnungswinkel γ über weite Strecken miteinander korrelieren. D.h. mit sinkendem Schwerpunktabstand wird der Öffnungswinkel größer. Diese Aussage ist aber wiederum nicht allgemein gültig.

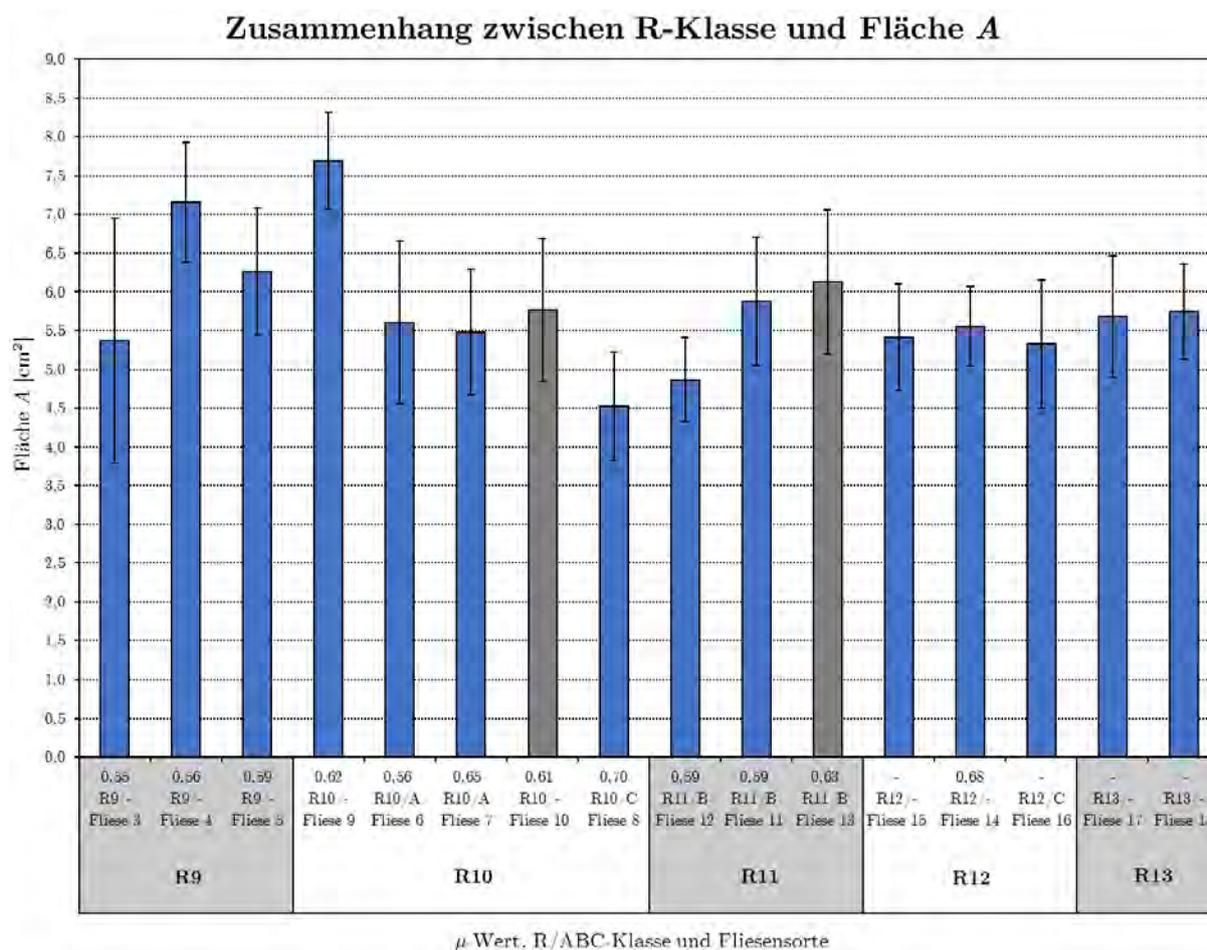


Abb. 5.9: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R -Klassen und den vom Sand bedeckten Flächen A

5.2.4 Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den bekannten ABC-Klassen

In den folgenden Diagrammen werden die Daten der Fliesensorten 1, 2, 6, 7, 8, 11, 12, 13 und 16 gegenübergestellt, dies sind alle Fliesensorten von welchen die ABC-Klasse bekannt ist (siehe **Tab. 5.1**). Auch hier ist die Fliesensorte 13 grau dargestellt, da dies Mosaikfliesen sind. Es gelten wiederum dieselben Einschränkungen wie bereits erläutert. Die Fliesensorte 2 wurde aufgrund der speziellen Oberflächentextur parallel zur Fliesenkante (Fugen), aber auch in einem Winkel von 45° dazu getestet. Für eine genaue Beschreibung der Versuchsdurchführung siehe **Kap. 4.3**. Daher kommt die Fliesensorte 2 in den folgenden Diagrammen zweimal vor (Fliese 2 und Fliese 2- 45°).

In **Abb. 5.10** ist der Zusammenhang zwischen dem *Schwerpunkt Abstand des Sandmusters* X_s und der vom Hersteller gegebenen *ABC-Klasse* dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die ABC-Klasse (mit μ -Wert und zugehöriger Fliesensorten), in alphabetischer Reihenfolge, aufgetragen. Bei gleichbleibender ABC-Klasse wurde die Reihung nach Schwerpunktabstand (absteigend) vorgenommen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den Fliesensorten gehörenden Schwerpunktabstände X_s eingetragen. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 2,67% und 5,90% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

In diesem Diagramm ist erkennbar, dass der Schwerpunktabstand mit zunehmender ABC-Klasse tendenziell sinkt. Von Fliesensorte 6 bis 13 sinkt der Schwerpunktabstand monoton, steigt sodann geringfügig an und fällt in weiter Folge bis Sorte 8 wieder monoton.

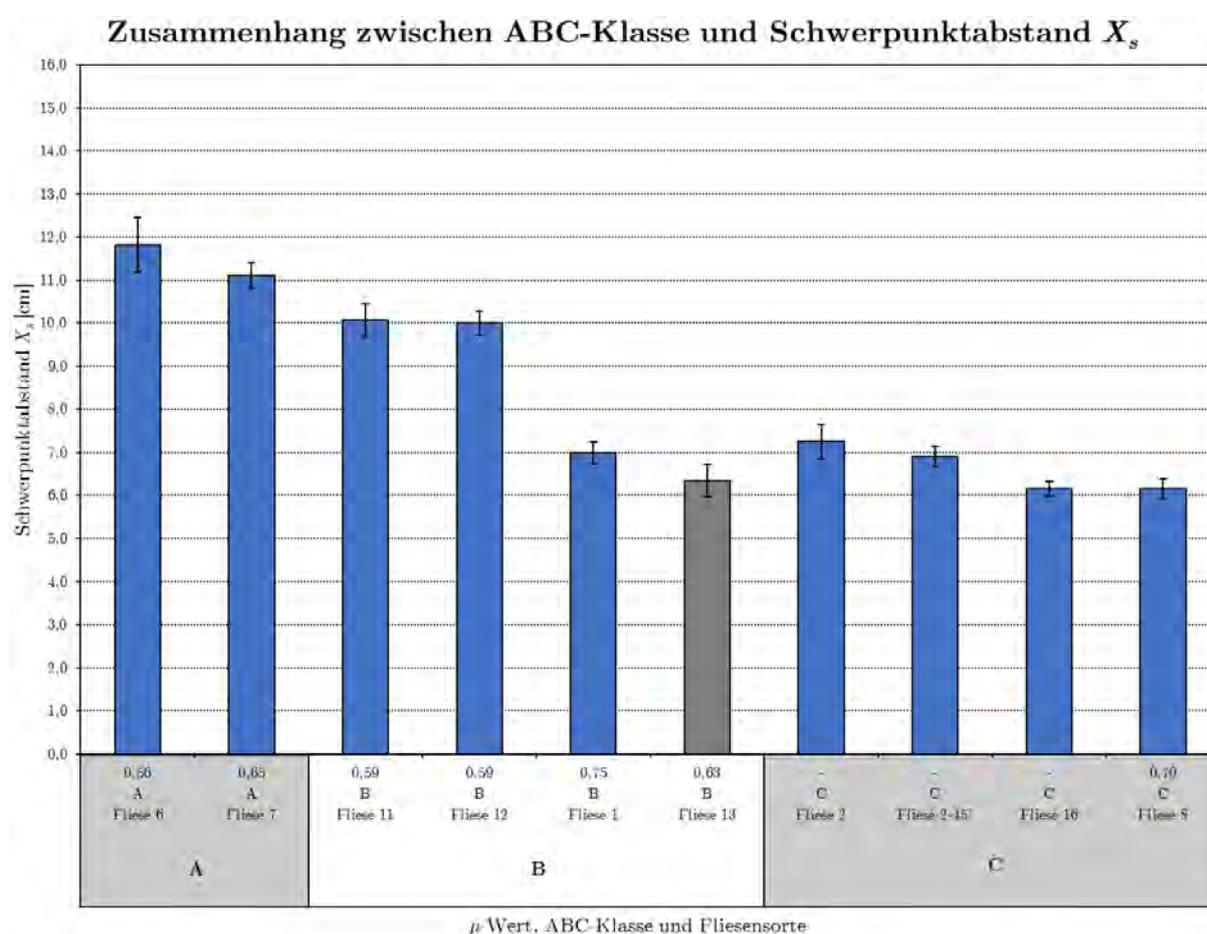


Abb. 5.10: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ABC-Klassen und den Schwerpunktabständen X_s des Sandmusters

In **Abb. 5.11** ist der Zusammenhang zwischen dem *Öffnungswinkel des Sandmusters* γ und der vom Hersteller gegebenen *ABC-Klasse* dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die ABC-Klasse (mit μ -Wert und zugehöriger Fliesensorte), in alphabetischer Reihenfolge, aufgetragen. Bei gleichbleibender ABC-Klasse wurde dieselbe Reihung wie in **Abb. 5.10** vorgenommen um einen einfachen Vergleich zu ermöglichen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den Fliesensorten gehörenden Öffnungswinkel γ eingetragen. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 3,35% und 9,52% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

Es ist erkennbar, dass der Öffnungswinkel mit zunehmender ABC-Klasse tendenziell ebenfalls steigt. Allerdings ist dieser Zusammenhang nicht so eindeutig wie jener in **Abb. 5.10**. γ steigt von Fliesensorte 6 ($36,10^\circ$) bis 11 ($56,15^\circ$) monoton. Anschließend fluktuieren die Werte zwischen $46,68^\circ$ und $58,47^\circ$.

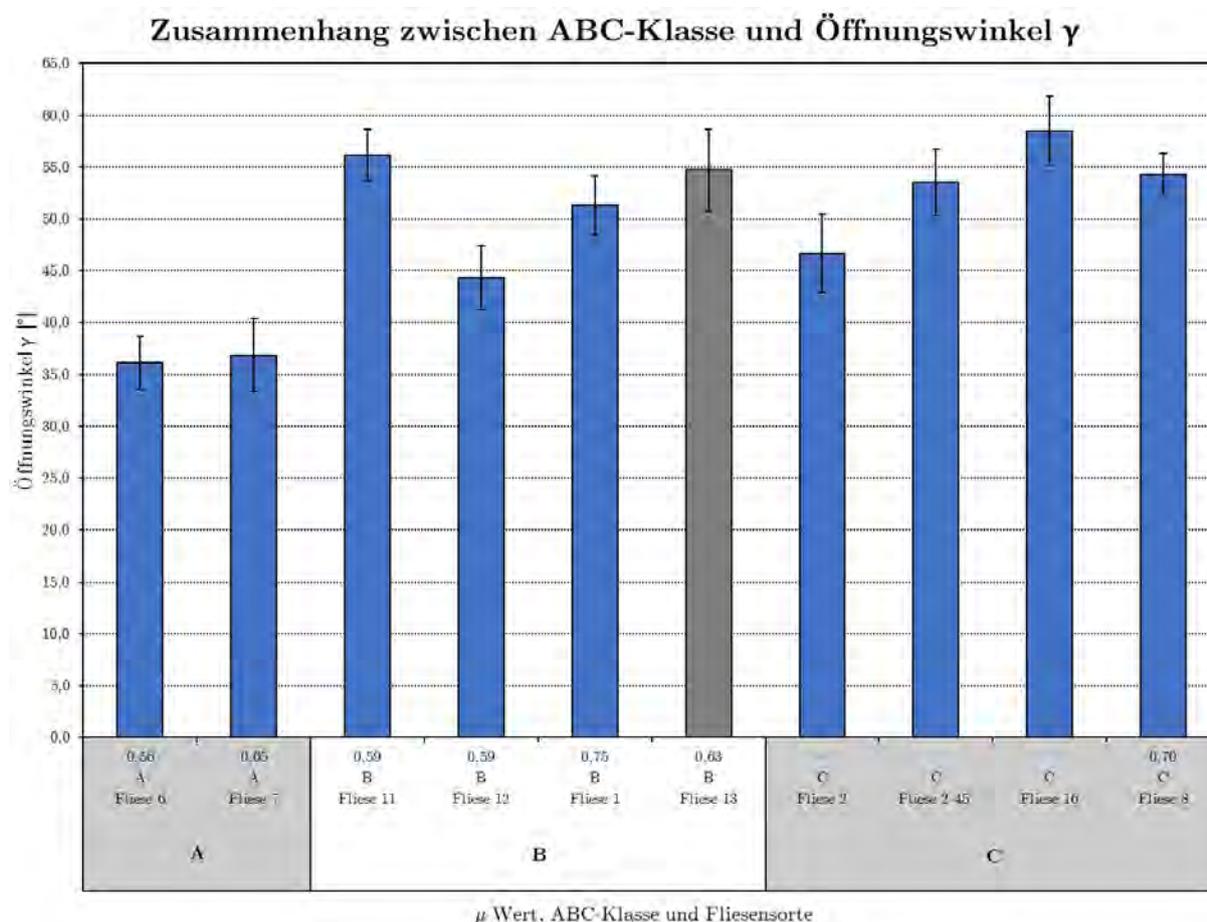


Abb. 5.11: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ABC-Klassen und den Öffnungswinkeln γ des Sandmusters

In **Abb. 5.12** ist der Zusammenhang zwischen dem *Flächeninhalt des Sandmusters A* und der vom Hersteller gegebenen *ABC-Klasse* dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die ABC-Klasse (mit μ -Wert und zugehöriger Fliesensorte), in alphabetischer Reihenfolge, aufgetragen. Bei gleichbleibender ABC-Klasse wurde dieselbe Reihung wie in **Abb. 5.10** vorgenommen um einen einfachen Vergleich zu ermöglichen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den Fliesensorten gehörenden Flächeninhalte *A* eingetragen. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 8,81% und 19,96% (siehe **Tab. 5.1**) und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

In diesem Diagramm ist keine eindeutige Tendenz erkennbar. Der Flächeninhalt fluktuiert zwischen $4,52 \text{ cm}^2$ und $6,13 \text{ cm}^2$. Des weiteren ist die Standardabweichung teilweise sehr groß.

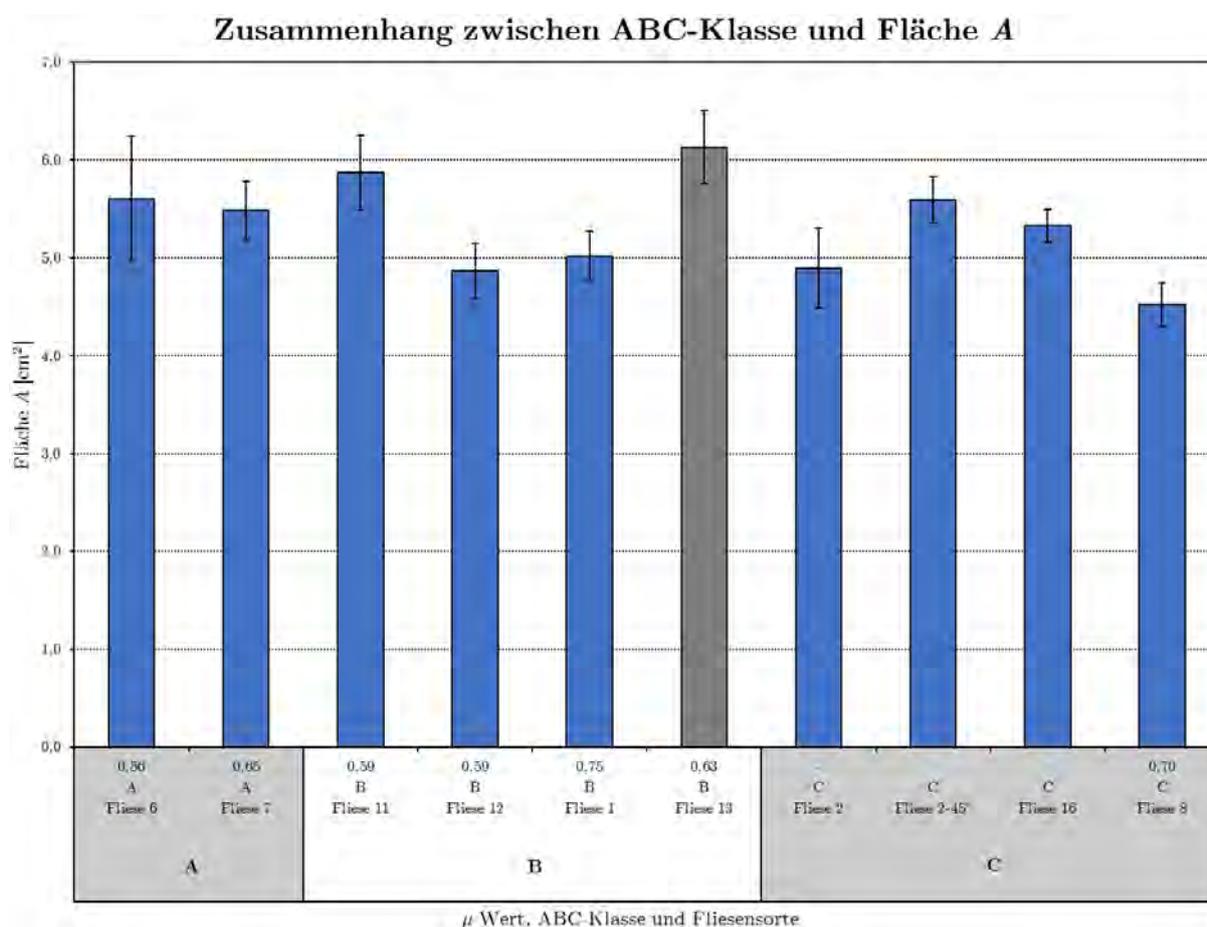


Abb. 5.12: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ABC-Klassen und den vom Sand bedeckten Flächen A

5.2.5 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse je R-Klasse

In den folgenden Diagrammen sind die Versuchsergebnisse je R-Klasse zusammengefasst. D.h. es wurden die Ergebnisse aller Fliesen einer R-Klasse gemittelt und die zugehörige Standardabweichung errechnet. Für den R9-Balken in **Abb. 5.13** wurden beispielsweise die Ergebnisse (in diesem Fall Schwerpunktabstände) aller Versuche mit den Fliesensorten 3, 4 und 5 gemittelt und deren Standardabweichung errechnet. Für die anderen Balken und Diagramme wurde analog vorgegangen. Hier wurden die Mosaikfliesen auch in die Auswertung aufgenommen.

In **Abb. 5.13** ist der Zusammenhang zwischen dem *Mittelwert der Schwerpunktabstände des Sandmusters* X_s (wie oben beschrieben) und der vom Hersteller gegebenen, zugehörigen R-Klasse dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die R-Klasse, in aufsteigender Reihenfolge, aufgetragen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den R-Klassen gehörenden mittleren Schwerpunktabstände X_s eingetragen. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 9,79% und 23,20% und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

Es ist eindeutig ersichtlich, dass der mittlere Schwerpunktabstand (von allen Fliesensorten einer R-Klasse) mit zunehmender R-Klasse sinkt. Jedoch ist die Standardabweichung teilweise relativ groß.

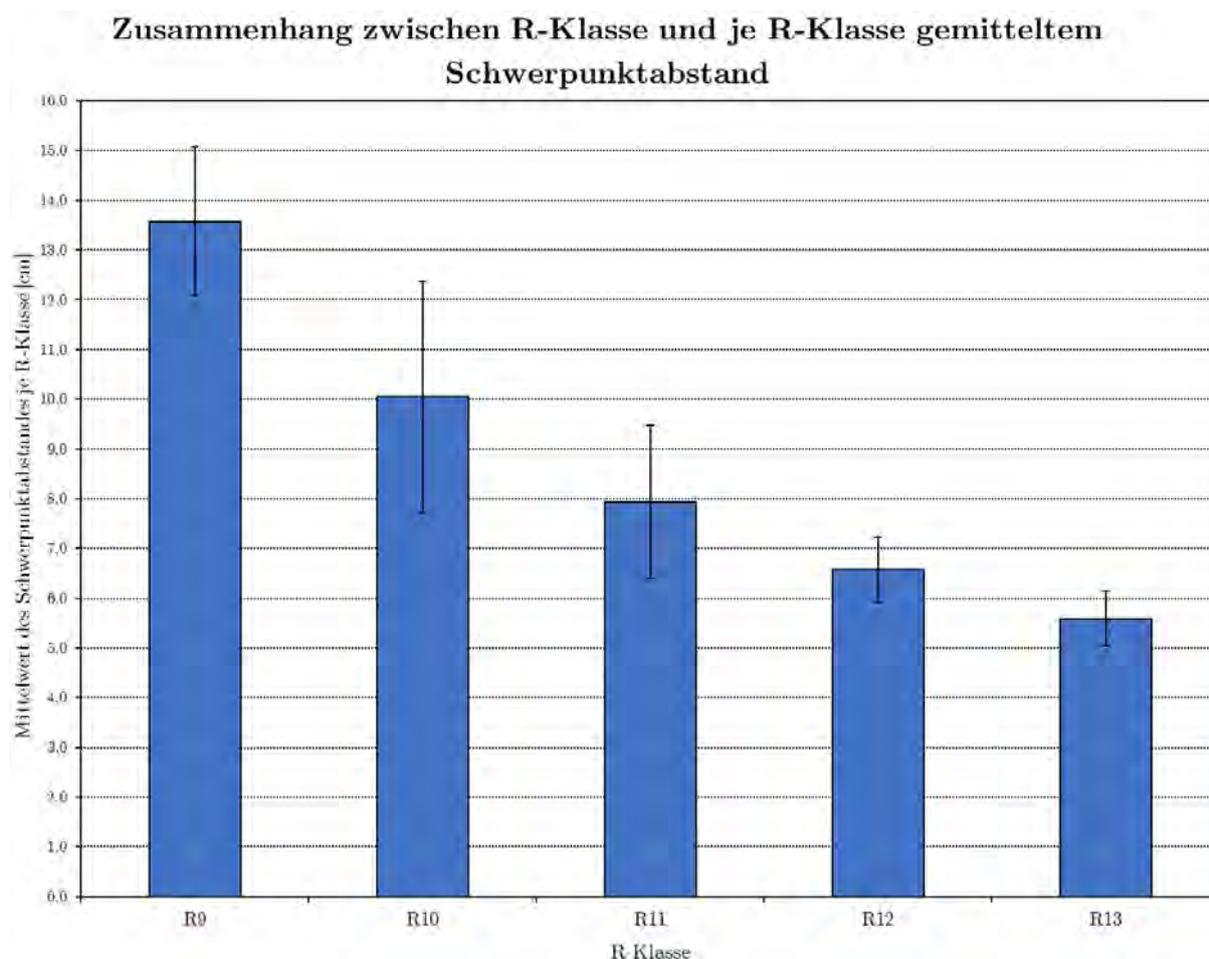


Abb. 5.13: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den je R-Klasse gemittelten Schwerpunktabständen X_s

In **Abb. 5.14** ist der Zusammenhang zwischen dem *Mittelwert der Öffnungswinkel des Sandmusters* γ (wie oben beschrieben) und der vom Hersteller gegebenen, zugehörigen *R-Klasse* dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die R-Klasse, in aufsteigender Reihenfolge, aufgetragen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den R-Klassen gehörenden mittleren Öffnungswinkel γ eingetragen. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 8,63% und 18,01% und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

Es ist eindeutig erkennbar, dass der mittlere Öffnungswinkel (von allen Fliesensorten einer R-Klasse) mit zunehmender R-Klasse steigt. Jedoch ist auch hier die Standardabweichung relativ groß.

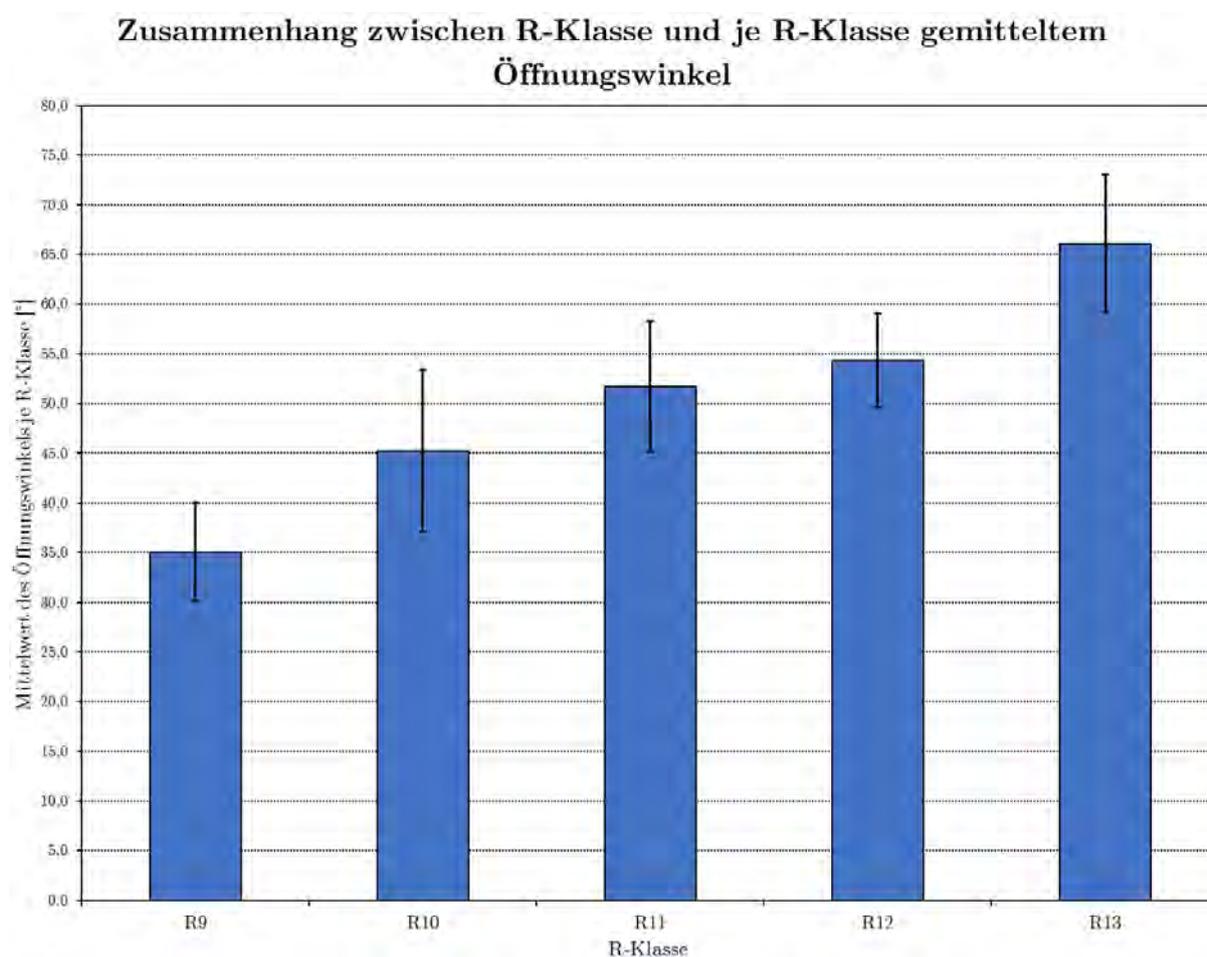


Abb. 5.14: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den je R-Klasse gemittelten Öffnungswinkel γ

In **Abb. 5.15** ist der Zusammenhang zwischen dem *Mittelwert der Flächeninhalte des Sandmusters A* (wie oben beschrieben) und der vom Hersteller gegebenen, zugehörigen *R-Klasse* dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die R-Klasse, in aufsteigender Reihenfolge, aufgetragen. Auf der vertikalen Achse sind die zu den R-Klassen gehörenden mittleren Flächeninhalte *A* eingetragen. Die Standardabweichung befindet sich zwischen 12,21% und 23,23% und ist im Diagramm mittels Fehlerbalken dargestellt.

Es ist erkennbar, dass der mittlere Flächeninhalt (von allen Fliesensorten einer R-Klasse) mit zunehmender R-Klasse tendenziell leicht sinkt. Von R9 bis R12 wird die vom Sand bedeckte Fläche kleiner und steigt anschließend wieder geringfügig an. Die Standardabweichungen sind sehr groß.

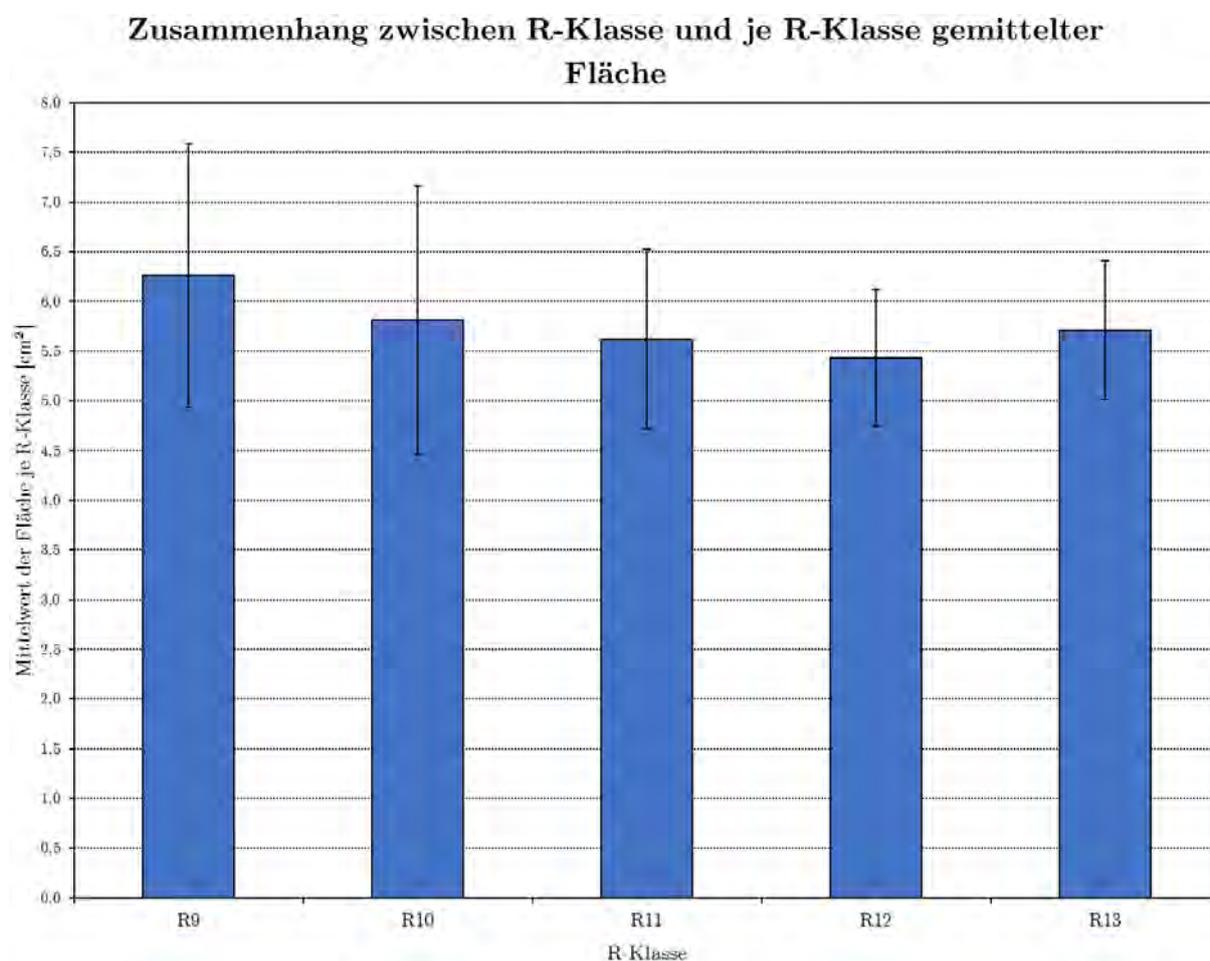


Abb. 5.15: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den je R-Klasse gemittelten Flächen *A*

5.2.6 Vergleich der künstlich verschlissenen Fliesen mit dem Ausgangszustand

In den folgenden Tabellen werden die einem künstlichen Verschleiß unterworfenen Fliesensorten 11 und 14 mit den Ausgangsprodukten verglichen. In **Kap. 4.3** ist beschrieben wie der Verschleißvorgang durchgeführt und anschließend die Fliesen getestet wurden.

In **Tab. 5.2** sind die Mittelwerte der Schwerpunktabstände X_s sowie die Mittelwerte der Öffnungswinkel γ , welche bei Fliese 11-2 und der künstlich verschlissenen Fliese 11-2-V gemessen wurden, mit den zugehörigen Standardabweichungen zusammengestellt. Es ist klar erkennbar, dass durch den künstlichen Verschleiß der Schwerpunktabstand größer und der Öffnungswinkel kleiner wurde.

Tab. 5.2: Vergleich der verschlissenen Fliese 11-2-V mit der neuen Fliese 11-2

	X_s [cm]	S_x [%]	γ [°]	S_γ [%]
11-2	7,05	4,11	57,37	4,88
11-2-V	8,40	3,33	50,71	5,09

In **Tab. 5.3** sind die Mittelwerte der Schwerpunktabstände X_s sowie die Mittelwerte der Öffnungswinkel γ , welche bei Fliese 14-2 und der künstlich verschlissenen Fliese 14-2-V gemessen wurden, mit den zugehörigen Standardabweichungen zusammengestellt.

Hier ist durch den Verschleiß eine geringfügige Vergrößerung des Schwerpunktabstandes erkennbar. Der Öffnungswinkel γ bleibt etwa gleich groß.

Tab. 5.3: Vergleich der verschlissenen Fliese 14-2-V mit der neuen Fliese 14-2

	X_s [cm]	S_x [%]	γ [°]	S_γ [%]
14-2	7,48	2,53	54,30	6,46
14-2-V	7,79	1,73	54,56	4,93

Kapitel 6

Interpretation – Schlussfolgerung und Ausblick

6.1 Interpretation der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse interpretiert. Es wird versucht einige Besonderheiten zu erklären. Häufig erfolgt dies über subjektive visuelle und haptische Eindrücke.

6.1.1 Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und dem μ -Wert

Zusammenhang zwischen μ -Wert und Schwerpunktabstand X_s des Sandmusters

In **Abb. 5.4** ist klar ersichtlich, dass der Schwerpunktabstand X_s tendenziell mit zunehmendem μ -Wert abnimmt. D.h. der Sand rutscht auf raueren Fliesen tendenziell weniger weit.

Obwohl der μ -Wert bei Fliesensorte 1 größer ist als bei Fliesensorte 8, steigt der Schwerpunktabstand des Sandmusters. Die Fliesensorte 1 weist eine sehr feine Oberfläche auf. Beim Darüberstreichen mit einem oder mehreren Fingern wirkt sie jedoch rau, ähnlich einem Schleifpapier. Möglicherweise kann die getestete Methode die extrem feine Rauheit der Oberfläche nicht abbilden. Andererseits könnte, auch aufgrund der Feinheit, der μ -Wert durch Adhäsionskräfte beim Test mit dem *GMG 200* verfälscht worden sein.

Die Fliesensorten 4 und 6 weisen beide den selben μ -Wert von 0,56 auf, die Schwerpunktabstände unterscheiden sich jedoch um 2,17 cm. Bei visueller Betrachtung dieser Fliesen fällt auf, dass die Fliesen der Sorte 4 wenige und jene der Sorte 6 deutlich mehr Unebenheiten aufweisen. Die Oberflächen der beiden Fliesensorten wirken dennoch sehr glatt. Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Schwerpunktabstände wäre, dass der Filtersand beim Gleiten über die Oberfläche in den Unebenheiten hängen bleibt. Da die Fliesensorte 6 mehr Unebenheiten aufweist würde sich dadurch der kürzere Schwerpunktabstand erklären lassen.

Unter Vernachlässigung der Mosaikfliesen (10 und 13) sind die Fliesensorten 7 und 9 eindeutig als Ausreißer identifizierbar. Bei der Fliesensorte 7 sind unregelmäßige Unebenheiten in der Oberfläche erkennbar. Möglicherweise wurde der μ -Wert durch Hängenbleiben der Gleiter des *GMG 200* in den Unebenheiten erhöht. Die Fliesensorte 9 weist eine sehr feine Oberfläche auf. Aufgrund dessen können hier die selben Vermutungen wie bei Sorte 1 angestellt werden um die Versuchsergebnisse zu erklären.

Die Fliesensorten 5, 11 und 12 weisen ebenfalls den selben μ -Wert von 0,59 auf, die Schwerpunktabstände liegen zwischen 11,68 cm und 7,41 cm und unterscheiden sich somit beträchtlich von einander. Sorte 5 weist bei visueller und haptischer Untersuchung eine sehr glatte, ebene und matte Oberfläche auf. Sorte 12 wirkt deutlich rauher und hat eine leicht gewellte Oberfläche. Die Wellenlänge liegt in der Größenordnung einer Makrorauigkeit (mm bis wenige cm). Die Oberfläche der Fliesensorte 11 ist eben und ähnlich rau wie die der Sorte 12. Möglicherweise

gleitet der Filtersand durch die gewellte Oberfläche der Fliesensorte 12 weniger weit als bei Fliesensorte 5. Für die Unterschiede zu Sorte 11 kann ad hoc keine sinnvolle Erklärung gegeben werden.

Die Schwerpunktabstände der Fliesensorten 11 und 14 sind annähernd gleich groß, wobei sich die μ -Werte erheblich unterscheiden. Diese Feststellungen legen die Vermutung nahe, dass die Ergebnisse der Fliesensorte 11 durch andere Faktoren beeinflusst wurden oder ein verfälschter μ -Wert vorliegt.

Zusammenhang zwischen μ -Wert und Öffnungswinkel γ des Sandmusters.

In **Abb. 5.5** ist ersichtlich, dass der Öffnungswinkel γ mit zunehmendem μ -Wert tendenziell auch steigt. Weiters fällt auf, dass der Öffnungswinkel in einigen Bereichen mit dem Schwerpunktabstand (siehe **Abb. 5.4**) korreliert. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Öffnungswinkel und Schwerpunktabstand ist allerdings nicht erkennbar. Zum Beispiel sind die Fliesensorten 4 und 6 nicht nach dem Öffnungswinkel in aufsteigender Reihenfolge geordnet, obwohl diese für die genannten Sorten bei Betrachtung des Schwerpunktabstandes zutrifft. Ähnliches ist bei den Fliesensorten 1, 8 und 14 zu beobachten. Unter Vernachlässigung der Mosaikfliesen (10 und 13) kann Sorte 7 als Ausreißer identifiziert werden. Des Weiteren ist der Öffnungswinkel von Fliesensorte 11 auffällig groß. Dieselbe Sorte wurde auch in **Kap. 6.1.1** als auffällig eingestuft. Dies verstärkt die Vermutung, dass die Ergebnisse von Fliesensorte 11 durch andere Faktoren beeinflusst wurden oder ein verfälschter μ -Wert vorliegt.

Zusammenhang zwischen μ -Wert und Fläche A des Sandmusters

In **Abb. 5.6** ist kein Zusammenhang zwischen der mit Sand bedeckten Fläche A und den, in aufsteigender Reihenfolge sortierten μ -Werten, erkennbar. Des Weiteren ist die Standardabweichung hierbei, im Gegensatz zu den Standardabweichungen der anderen Versuchsergebnisse, sehr groß. Bei Vergleich der Sandmuster unterschiedlicher Fliesensorten fällt auf, dass sich die Sichelform, abhängig von der Fliesensorte, verändert. Diese ist bei glatten Fliesen tendenziell schmaler und weiter in Querrichtung gestreut als bei rauen. Dieser Sachverhalt steht bei etwa gleich großen Flächen A in Einklang mit den bereits erwähnten Erkenntnissen:

- Bei glatten Fliesen gleitet der Sand tendenziell weiter über den Untergrund als bei rauen (siehe **Abb. 5.4**).
- Bei glatten Fliesen ist der Öffnungswinkel tendenziell größer als bei rauen (siehe **Abb. 5.5**).

6.1.2 Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den R-Klassen

Zusammenhang zwischen R-Klasse und Schwerpunktabstand X_s des Sandmusters

In **Abb. 5.9** ist der Zusammenhang zwischen R-Klasse und Schwerpunktabstand eindeutig erkennbar. Mit zunehmender R-Klasse sinkt der Schwerpunktabstand X_s . Unter Vernachlässigung der Mosaikfliesen (10 und 13) kann die Fliesensorte 8 als Ausreißer identifiziert werden. Laut der hier getesteten Methode wäre Sorte 8 der Klasse R12 zuzuordnen. Das würde auch eher einem μ -Wert von 0,70 entsprechen. Diese Fliesensorte wirkt auch bei visueller und haptischer Untersuchung sehr viel rauer als die anderen Sorten mit Klassifizierung R10. Hierbei deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Fliesensorte 8 zumindest an der oberen Grenze der Klasse R10 einzuordnen ist.

Die Reihenfolgen der Fliesensorten 5 und 9 sowie 11 und 15 entsprechen nicht der vorherrschenden Tendenz, wobei die Differenzen sehr gering sind. Dies kommt daher, dass die Fliesensorten nach R-Klassen und innerhalb der R-Klassen nach Schwerpunktabstand sortiert wurden. Die R-Klassen suggerieren Sprünge zwischen den rutschhemmenden Eigenschaften unterschiedlicher Fliesen. Diese Sprünge existieren in der Realität nicht. D.h. die Fliesensorten 5 und 9 befinden sich wahrscheinlich im Übergangsbereich von R9 und R10, sodass eine eindeutige Zuordnung schwierig ist. Ebenso befinden sich die Fliesensorten 11 und 15 im Übergangsbereich von R11 und R12. Des Weiteren fällt bei Sorte 11 wiederum der geringe Schwerpunktabstand auf, jedoch passt die Einordnung in R-Klassen besser als die in μ -Werte.

In der Klasse R11 ist der Zusammenhang von R-Klasse und Schwerpunktabstand nicht ganz eindeutig. Dies kann daran liegen, dass hier nur zwei Fliesen zur Beurteilung vorhanden sind, da die Fliesensorte 13 (Mosaik) nicht gewertet wird.

Zusammenhang zwischen R-Klasse und Öffnungswinkel γ des Sandmusters

In **Abb. 5.8** ist ersichtlich, dass der Öffnungswinkel γ mit zunehmender R-Klasse tendenziell auch steigt. Dies ist jedoch nicht allgemein gültig. Während in den Klassen R9, R12 und R13 der Zusammenhang sehr eindeutig ist, kann dies von den Klassen R10 und R11 nicht behauptet werden.

Zwischen R-Klasse und Fläche A sind keine eindeutigen Zusammenhänge erkennbar, dies wurde bereits in **Kap. 6.1.1** erläutert.

6.1.3 Zusammenhänge zwischen den Versuchsergebnissen und den ABC-Klassen

Zusammenhang zwischen ABC-Klasse und Schwerpunktabstand X_s des Sandmusters

In **Abb. 5.10** kann eine gute Korrelation der ABC-Klassen mit den Schwerpunktabständen festgestellt werden. Die Rutschhemmung steigt auch hier mit geringerem Schwerpunktabstand des Sandmusters. Unter Vernachlässigung der Mosaikfliesensorte (13), passt nur Fliesensorte 2 nicht in die Reihe. Dies lässt sich vermutlich durch das spezifische Oberflächenprofil (Riffelmuster) erklären. Wird die Fliesensorte 2 in einem Winkel von 45° getestet, sinkt der Schwerpunktabstand etwas ab. D.h. die rutschhemmenden Eigenschaften der Sorte 2 sind aufgrund des Oberflächenprofils richtungsabhängig.

Zusammenhang zwischen ABC-Klasse und Öffnungswinkel γ des Sandmusters

In **Abb. 5.11** ist erkennbar, dass der Öffnungswinkel γ mit zunehmender ABC-Klasse tendenziell auch steigt. Des Weiteren ist ersichtlich, dass der Öffnungswinkel teilweise mit dem Schwerpunktabstand korreliert. Jedoch ist dieser Zusammenhang nicht eindeutig erwiesen. Dies wird zum Beispiel durch die Fliesensorten 11 und 1 sowie 16 und 8 sichtbar, welche nicht in der Reihenfolge der allgemeine Tendenz angeordnet sind.

Zwischen ABC-Klasse und Fläche A sind keine eindeutigen Zusammenhänge erkennbar, dies wurde ebenfalls bereits in **Kap. 6.1.1** erläutert.

6.1.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse je R-Klasse

In den **Abb. 5.13** und **5.14** ist die Korrelation von Schwerpunktabstand und Öffnungswinkel mit den R-Klassen sichtbar. Diese Ergebnisse sind allerdings gemittelte Werte über alle Fliesen einer R-Klasse. Diese Darstellung suggeriert wiederum Sprünge zwischen den Klassen, welche nicht existieren. Die relativ großen Standardabweichungen unterstreichen, dass die Rutschhemmung der Fliesen kontinuierlich verläuft und die Ergebnisse mitunter nicht so eindeutig sind wie diese Darstellung vermuten lässt. Dass eine eindeutige Zuordnung der über alle Fliesen einer R-Klasse gemittelten Ergebnisse zu den R-Klassen möglich ist, spricht aber für die untersuchte Methode.

Über den Zusammenhang der vom Sand bedeckten Fläche A mit den R-Klassen (siehe **Abb. 5.15**) lässt sich keine eindeutige Aussage machen.

6.1.5 Vergleich der künstlich verschlissenen Fliesen mit dem Ausgangszustand

In **Tab. 5.2** sind die Veränderungen der Messergebnisse durch den künstlichen Verschleißvorgang bei Fliese 11-2 ersichtlich. Der Schwerpunktabstand nimmt um 1,35 cm zu, das entspricht einer Veränderung von rund 19% des ursprünglichen Wertes. Der Öffnungswinkel nimmt um $6,66^\circ$ ab, das entspricht einer Veränderung von rund 11% des ursprünglichen Wertes. D.h. der Filtersand ist auf der verschlissenen Fliese weiter gerutscht als auf dem Originalprodukt. Dieser Sachverhalt lässt vermuten, dass die Rutschhemmung von Fliesensorte 11 durch den Verschleiß tatsächlich geringer wurde. Des Weiteren ist dies ein Hinweis darauf, dass die untersuchte Methode wahrscheinlich auch zur Feststellung von Verschleiß eingesetzt werden kann.

In **Tab. 5.3** sind die Veränderungen der Messergebnisse durch den künstlichen Verschleiß bei Fliese 14-2 dargestellt. Der Schwerpunktabstand nimmt um 0,31 cm zu, das entspricht einer Veränderung von rund 4% des ursprünglichen Wertes. Der Öffnungswinkel bleibt annähernd gleich. Bei dieser Fliese sind die Veränderungen sehr gering. Dieser geringe Unterschied kann auch durch andere Faktoren oder durch Zufall zustande gekommen sein. Wahrscheinlich war der in **Kap. 4.3** beschriebene Verschleiß für die Oberfläche der Fliese 14-2 nicht intensiv genug, sodass es zu keiner nennenswerten Abnutzung der Oberfläche kam.

6.2 Schlussfolgerung und Ausblick

Durch die Aufbereitung der versuchstechnisch gewonnenen Daten und Vergleiche mit den bereits normativ verankerten Verfahren (siehe **Kap. 5.1**) wurde ersichtlich, dass die getestete neue **Sandrutsch-Methode** eine gute Aussage über die rutschhemmenden Eigenschaften von keramischen Bodenbelägen liefert.

Die Ergebnisse können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Zwischen der vom Sand bedeckten Fläche und den normativ verankerten Verfahren (μ -Wert, R-Klasse) kann kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden.
- Der Öffnungswinkel des Sandmusters korreliert weniger gut mit den normativ verankerten Verfahren (μ -Wert, R-Klasse) als der Schwerpunktabstand. Auch eine Aussage über die Rutschhemmung in Querrichtung lässt sich derzeit nicht eindeutig ableiten.
- Der Schwerpunktabstand des Sandmusters sinkt tendenziell mit zunehmender Rutschhemmung des Untergrundes. Dies bestätigt die intuitive Annahme, dass der Sand auf rauerer Fliesen weniger weit gleitet als auf glatteren. Die Korrelation zwischen der R- oder ABC-Klasse und dem Schwerpunktabstand des Sandmusters ist besser als jene zwischen dem μ -Wert und dem Schwerpunktabstand.

Auf Basis der ausgewerteten Daten scheint eine Klassifizierung keramischer Bodenbeläge nach der Sandrutsch-Methode und eine anschließende Zuordnung zu den R-Klassen oder ABC-Klassen möglich. Dies wäre ein erheblicher Vorteil gegenüber der Tribometer-Prüfung (siehe **Kap. 2.4.4**), bei der dies nicht möglich ist. Um eine tatsächliche Einordnung in R- oder ABC-Klassen anhand der Sandrutsch-Methode zu ermöglichen, müssten allerdings noch umfangreiche Studien mit unterschiedlichsten keramischen Bodenbelägen durchgeführt werden, wobei sodann Wertebereiche für Schwerpunktabstände des Sandmusters zur Einordnung in R- und ABC-Klassen festgelegt werden könnten.

Da mit dem Messegerät momentan nur Laborversuche durchgeführt werden können, sollte in Zukunft auch ein mobiles Gerät mit gleicher Funktion gebaut werden um In-Situ-Messungen (Verschleiß und Vergleichsmessungen) zu ermöglichen. Der Bau eines mobil einsetzbaren Gerätes wäre ohne Weiteres möglich. Außerdem spricht nichts dagegen, dass Verfahren auch für andere, nicht keramische Bodenbeläge (Kunststoff, Beschichtungen usw.) zu verwenden. Allerdings muss die Anwendbarkeit im Zuge einer Versuchsserie erprobt werden.

Die R-Klassen suggerieren fälschlicherweise, dass sich die rutschhemmenden Eigenschaften der Bodenbeläge sprunghaft ändern. Mithilfe der Sandrutsch-Methode wäre es möglich, die Rutschhemmung genauer festzustellen bzw. genauere Wertebereiche festzulegen. Diesbezüglich wäre auch eine detailliertere Klassifizierung durch das Begehen einer schiefen Ebene (siehe **Kap. 2.4.2** und **2.4.1**) wünschenswert. Zum Beispiel eine Einteilung nach Akzeptanzwinkel anstatt in R-Klassen.

Die Sandrutsch-Methode weißt folgende **Vorteile** auf:

- Das Verfahren ist sowohl im Labor als auch vor Ort anwendbar.
- Die Durchführung ist sehr einfach und schnell.
- Es ist kein elektrischer Strom erforderlich.

- Der Platzbedarf zur Durchführung einer Messung ist sehr gering.
- Das Messergebnis ist personenunabhängig.
- Die Versuchseinrichtung inklusive Zubehör ist kostengünstig.

Dem stehen folgende **Nachteile** gegenüber:

- Mit dem derzeitigen Versuchs-Setup sind nur trockene Prüfungen möglich. Nassprüfungen wären eventuell mit einem anderen Rutschmedium durchführbar.
- Der menschliche Gang wird nicht nachgebildet.
- Der Einfluss von Fugen im Bodenbelag auf das Messergebnis wurde noch nicht quantifiziert.

Aus den ersten beiden Nachteilen resultiert, dass die Methode nur den Bodenbelag bewertet. Die Faktoren Zwischenmedium, Schuh und menschlicher Gang werden nicht berücksichtigt. Wobei Schuh und menschlicher Gang bei den normativ verankerten, mobilen Verfahren (Pendelprüfung, Tribometer-Prüfung) auch keine Berücksichtigung findet.

Das im Zuge dieser Diplomarbeit entwickelte und erprobte Verfahren liefert eine einfache, rasche und günstige Aussage über die rutschhemmenden Eigenschaften keramischer Bodenbeläge. In Zukunft sollte diese Methode weiterentwickelt und verbessert werden, um das Spektrum der Prüfmethode von Bodenbelägen bezüglich Rutschhemmung zu erweitern und die genannten Vorteile für den Anwender nutzbar zu machen.

Kapitel 7

Zusammenfassung

Etwa 20% aller meldepflichtigen Arbeitsunfälle sind auf Ausgleiten, Stolpern, Umknicken und Hinfallen zurückzuführen (DGUV, 2017). Der Anteil der Unfälle, welche alleine durch Ausgleiten (umgangssprachlich „Ausrutschen“) geschehen liegt zwischen 5% und 14% vom gesamten Arbeitsunfallgeschehen. Da hier nur meldepflichtige Arbeitsunfälle enthalten sind, kann vermutet werden, dass die tatsächlichen Unfallzahlen aufgrund von Ausgleiten (inklusive Heim- und Freizeitunfällen) deutlich höher sind. Um die Anzahl der Unfälle durch Ausgleiten zu minimieren gibt es in Österreich und Deutschland Regelwerke, worin festgelegt wird welchen Anforderungen ein Bodenbelag für einen spezifischen Einsatzbereich gerecht werden muss. Des Weiteren gibt es Regelwerke, worin die Überprüfung und Klassifizierung von Bodenbelägen hinsichtlich rutschhemmender Eigenschaften enthalten sind.

Im Jahr 2016 wurde ein Preis der Wirtschaftskammer Österreich (Wirtschaftskammerpreis) an Herrn Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Höflinger vergeben, um neue Methoden zur Bestimmung der Rutschhemmung von Bodenbelägen zu finden bzw. zu untersuchen. Federführend bei der Vergabe waren seitens der WKO Herr Mag. (FH) Harald Emberger und Herr Ing. Peter Kluhs. Des Weiteren waren Frau Dipl.-Ing. (FH) Anita Wolf und Herr Komm.-Rat Horst Baumgartlinger vom Österreichischen Fliesenverband maßgebend beteiligt. Aus dem daraus folgenden Forschungsprojekt entstand die vorliegende Diplomarbeit.

In **Kap. 2** wurden grundsätzliche Anforderungen an Bodenbeläge beschrieben, wobei speziell auf keramische Beläge und Anforderungen hinsichtlich Rutschhemmung eingegangen wurde. Anschließend wurde die Komplexität des Reibungssystems zwischen Schuh und Boden beim menschlichen Gang kurz erläutert und die maßgebenden Parameter erklärt. In diesem Kapitel wurde außerdem auf die in Österreich und Deutschland normativ verankerten Verfahren zur Überprüfung der Rutschhemmung von Bodenbelägen eingegangen und deren Vor- und Nachteile bzw. Einsatzgebiete erklärt.

Die Entwicklung einer neuen, rasch durchführbaren, kostengünstigen und mobilen Methode zur Überprüfung der Rutschhemmung von Bodenbelägen wurde in **Kap. 3** beschrieben. Die grundlegende Idee war, ein Medium mit Hilfe einer Rutsche zu beschleunigen, die Gleitdistanz bzw. Ausbreitung auf dem Untergrund zu messen und somit eine Aussage über die Rutschhemmung des Bodenbelages zu erhalten. Bei der Versuchsentwicklung wurden unterschiedliche Rutschenlängen, Rutschenquerschnitte und Neigungswinkel getestet. Außerdem wurde das Medium variiert. Mit Hilfe dieser Studien wurde eine Kombination der Einflussparameter (Rutschenlänge, Rutschenquerschnitt, Medium usw.) festgelegt, welche reproduzierbare und einfach zu vermessende Ergebnisse liefert. Der im Zuge dessen erstellte, fertige Versuchsaufbau wurde in **Kap. 4** beschrieben. Die Rutsche wird durch ein 50 cm langes PVC-Rohr mit einem Durchmesser von 25 mm gebildet. Dieses wurde mit Hilfe einer Halterung aus Holz im Winkel von 45° gegen die Horizontale montiert. Als Rutschmedium wurde handelsüblicher Filtersand mit der Korngröße

0,4 bis 0,8 mm festgelegt. Die Zuführung des Sandes in die Rutsche erfolgt mit einem Trichter. Bei der Messung wird der Sand in der Rutsche beschleunigt und breitet sich anschließend auf dem zu testenden Bodenbelag aus. Das Ausbreitungsmuster wird vermessen und ermöglicht eine Aussage über die rutschhemmenden Eigenschaften des Belages.

Mit diesem Versuchsaufbau wurde in weiterer Folge eine Versuchsserie mit 18 unterschiedlichen Fliesensorten der R-Klassen R9 bis R13 (mit bekannten μ -Werten) durchgeführt. Von jeder Fliesensorte wurden drei unterschiedliche Fliesen mit je 10 Einzelversuchen in eine Richtung getestet. Es wurde versucht, die Fugen zwischen den Fliesen auszulassen, sodass der Sand nur über die ebene Fliese gleitet. Bei einigen Fliesensorten gab es Ergänzungen im Versuchsprogramm. Beispielsweise wurden zwei Sorten einem Verschleißvorgang unterworfen und Vergleichsmessungen von neuer und verschlissener Fliesen durchgeführt. Bei jeder Messung wurden die vom Filtersand bedeckte Fläche, der Öffnungswinkel (als Maß der Verteilung des Sandes in Querrichtung) und der Abstand des Schwerpunktes des Sandmusters vom Rohrende (Rutschenende) aufgezeichnet. Eine genaue Beschreibung der Fliesen, des Versuchsprogramms, der Versuchsdurchführung und der Vermessung des Sandmusters sind in **Kap. 4** enthalten.

Im Zuge der Auswertung wurden die Versuchsergebnisse mit den vom Hersteller gegebenen μ -Werten, R-Klassen und auch ABC-Klassen verglichen. Diese Vergleiche sind in **Kap. 5** grafisch mittels Säulendiagrammen dargestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Zwischen der vom Sand bedeckten Fläche und den normativ verankerten Verfahren (μ -Wert, R-Klasse) kann kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden.
- Der Öffnungswinkel des Sandmusters korreliert weniger gut mit den normativ verankerten Verfahren (μ -Wert, R-Klasse) als der Schwerpunktabstand. Auch eine Aussage über die Rutschhemmung in Querrichtung lässt sich derzeit nicht eindeutig ableiten.
- Der Schwerpunktabstand des Sandmusters sinkt tendenziell mit zunehmender Rutschhemmung des Untergrundes. Dies bestätigt die intuitive Annahme, dass der Sand auf raueren Fliesen weniger weit gleitet als auf glatteren. Die Korrelation zwischen der R- oder ABC-Klasse und dem Schwerpunktabstand des Sandmusters ist besser als jene zwischen dem μ -Wert und dem Schwerpunktabstand.

Das im Zuge dieser Diplomarbeit entwickelte und erprobte Verfahren liefert eine einfache, rasche und kostengünstige Aussage über die rutschhemmenden Eigenschaften keramischer Bodenbeläge. Weitere Vorteile sind die Mobilität und Personenunabhängigkeit.

In Zukunft sollte diese Methode weiterentwickelt und verbessert werden, um das Spektrum der Prüfmethode von Bodenbelägen bezüglich Rutschhemmung zu erweitern und die genannten Vorteile für den Anwender nutzbar zu machen.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung einer typischen Prüfeinrichtung für barfußiges und beschuhtes Begehen einer Schiefen Ebene nach (ONR CEN/TS 16165, 2016), (Maße in Millimeter)	7
2.2	Schematische Darstellung eines Pendelprüfgerätes laut (ONR CEN/TS 16165, 2016)	10
2.3	Schematische Darstellung einer Tribometer-Prüfung, die Skizze wurde einem GMG 200 der Firma GTE Industrieelektronik GmbH nachempfunden	12
3.1	Schematische Skizze zur grundlegenden Idee der Messmethode	16
3.2	Getestete Querschnittsformen, als V-Querschnitt wurde der um 45° gedrehte Rechteckquerschnitt (rechts außen) verwendet.	17
3.3	Vorversuche mit Rechteckquerschnitt (a) und Kreisquerschnitt (b)	17
3.4	Neigungswinkel α und Austrittswinkel β	18
3.5	Testbeläge von unten nach oben: T1 ($\mu = 0,57$), T2 ($\mu = 0,61$) und T3 ($\mu = 0,66$)	19
3.6	Vorversuche mit einem Holzklotz (a) und einem Stahlklotz (b)	20
3.7	Vorversuche mit Wasser: T1 (a), T2 (b)	20
4.1	Foto des fertigen Versuchsaufbaus	23
4.2	Messrahmen (a), Vorrichtung zur Dosierung des Filtersandes (b)	24
4.3	Fliesensorte 1: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	25
4.4	Fliesensorte 2: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	25
4.5	Fliesensorte 3: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	26
4.6	Fliesensorte 4: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	26
4.7	Fliesensorte 5: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	26
4.8	Fliesensorte 6: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	27
4.9	Fliesensorte 7: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	27
4.10	Fliesensorte 8: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	27
4.11	Fliesensorte 9: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	28
4.12	Fliesensorte 10: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	28
4.13	Fliesensorte 11: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	28
4.14	Fliesensorte 12: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	29
4.15	Fliesensorte 13: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	29
4.16	Fliesensorte 14: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	29
4.17	Fliesensorte 15: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	30
4.18	Fliesensorte 16: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	30
4.19	Fliesensorte 17: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	30
4.20	Fliesensorte 18: Übersichtsfoto (a), vergrößerte Ansicht der Oberfläche (b)	31
4.21	Versuche mit Fliesensorte 2: keine Verdrehung (a), Verdrehung um 45° (b)	37
4.22	Versuche mit Fliesensorte 10: ohne Fugen (a), verfugt (b)	37
4.23	Vermessung des Sandmusters auf der Fliese 12-2 beim siebenten Versuch	39
5.1	Schematische Skizze des Sandmusters zur Erklärung der Auswertung	41
5.2	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den μ -Werten der getesteten Fliesensorten	42

5.3	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ABC-Klassen und den μ -Werten der getesteten Fliesensorten	43
5.4	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den μ -Werten und den Schwerpunktabständen X_s des Sandmusters	44
5.5	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den μ -Werten und den Öffnungswinkeln γ des Sandmusters.	45
5.6	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den μ -Werten und den vom Sand bedeckten Flächen A	46
5.7	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den Schwerpunktabständen X_s des Sandmusters	47
5.8	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klasse und den Öffnungswinkeln γ des Sandmusters	48
5.9	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den vom Sand bedeckten Flächen A	49
5.10	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ABC-Klassen und den Schwerpunktabständen X_s des Sandmusters	51
5.11	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ABC-Klassen und den Öffnungswinkeln γ des Sandmusters	52
5.12	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ABC-Klassen und den vom Sand bedeckten Flächen A	53
5.13	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den je R-Klasse gemittelten Schwerpunktabständen X_s	54
5.14	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den je R-Klasse gemittelten Öffnungswinkel γ	55
5.15	Darstellung des Zusammenhangs zwischen den R-Klassen und den je R-Klasse gemittelten Flächen A	56

Tabellenverzeichnis

2.1	<i>Komponenten des Reibungssystems zwischen Schuh und Boden beim menschlichen Gang (Wetzel, 2012)</i>	5
2.2	<i>Zuordnung des korrigierten Gesamtakzeptanzwinkels zu den Klassen der Rutschhemmung (ABC-Klassen) (DIN 51097, 2016)</i>	8
2.3	<i>Zuordnung des korrigierten Gesamtakzeptanzwinkels zu den Klassen der Rutschhemmung (R-Klassen) (DIN 51130, 2014)</i>	9
2.4	<i>Klassifizierung von Bodenbelägen nach dem Pendelwert (PTV) laut UKSRG (Wetzel et al., 2013)</i>	11
2.5	<i>Klassifizierung des Bodenbelages mithilfe des Gleitreibungskoeffizienten (ÖNORM Z 1261, 2009)</i>	13
2.6	<i>Zuordnung der Klasse des Verdrängungsraumes zu den flächenbezogenen Volumina (DIN 51130, 2014)</i>	14
3.1	<i>μ-Werte der Testbeläge für die Vorversuche</i>	18
3.2	<i>Daten des verwendeten Filtersandes</i>	21
4.1	<i>Zusammenstellung der getesteten Fliesensorten und deren Eigenschaften</i>	32
4.2	<i>Zusammenstellung des durchgeführten Untersuchungsprogramms</i>	36
4.3	<i>Koordinaten der Vermessungspunkte von Fliese 12-2</i>	39
5.1	<i>Mittelwerte und Standardabweichungen der in Kap. 5.1 erklärten Größen je Fliesensorte</i>	41
5.2	<i>Vergleich der verschlissenen Fliese 11-2-V mit der neuen Fliese 11-2</i>	57
5.3	<i>Vergleich der verschlissenen Fliese 14-2-V mit der neuen Fliese 14-2</i>	57

Literaturverzeichnis

- Arbeitsstättenverordnung (2018). *Arbeitsstättenverordnung – AStV*, Bundeskanzleramt der Republik Österreich.
- BGR 181 (2003). *Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr*, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften.
- DGUV (2017). *Statistik – Arbeitsunfallgeschehen 2016*, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV).
- DIN 51097 (2016). *Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft – Nassbelastete Barfußbereiche; Begehungsverfahren; Schiefe Ebene*, DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).
- DIN 51130 (2014). *Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft – Arbeitsräume und Arbeitsbereiche mit Rutschgefahr; Begehungsverfahren; Schiefe Ebene*, DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).
- DIN EN ISO 25178-6, t. . G. (2010). Deutsches Institut für Normung.
- Engels, M. (2014). *Neue praxisnahe Entwicklungen im Spannungsfeld Rutschhemmung und Reinigung*, Tagungshandbuch des 8. internationalen Kolloquiums „Industrieböden 2014“ Technische Akademie Esslingen.
- Fischer, H. (2005). *Beurteilung der Rutschsicherheit von Fußböden*, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Fischer, H., Görner, B., Karl, M., Mössner, T., Reyhl, H., Schatte, M., Tschöcke, E. and Weißgerber, B. (2008). *Vermeiden von Unfällen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten*, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Fischer, H., Kirchberg, S. and Moessner, T. (2009). *Biomechanical Gaint Analysis for the Extraction of Slip Resistance Test Parameters*, Industrial Health, 47. 617-625.
- Karaca, Z., Gürcan, S., Gökçe, M. and Sivrikaya, O. (2013). *Assessment of the results of the pendulum friction tester (EN 14231) for natural building stones used as floor-coverings*, Construction and Building Materials 47, 1182-1187.
- ÖNORM B 3407 (2015). *Planung und Ausführung von Fliesen-, Platten- und Mosaiklegearbeiten*, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 14231 (2003). *Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung des Gleitwiderstandes mit Hilfe des Pendelprüfgerätes*, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 14411 (2016). *Keramische Fliesen und Platten – Definitionen, Klassifizierung, Eigenschaften, Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit und Kennzeichnung*, Österreichisches Normungsinstitut.

- ÖNORM EN ISO 20345 (2012). *Persönliche Schutzausrüstung – Sicherheitsschuhe*, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN ISO 868 (2003). *Kunststoffe und Hartgummi – Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte)*, Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM Z 1261 (2009). *Begehbare Oberflächen – Messung des Gleitreibungskoeffizienten in Gebäuden und im Freien von Arbeitsstätten*, Österreichisches Normungsinstitut (NMP).
- OIB (2018). <https://www.oib.or.at/node/1616469>(14.02.2018), Österreichisches Institut für Bautechnik.
- OIB-Richtlinie 4 (2015). *Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit*, Österreichisches Institut für Bautechnik.
- ONR CEN/TS 16165 (2016). *Bestimmung des Gleitwiderstandes von Fußgängerbereichen – Ermittlungsverfahren*, CEN – Europäisches Komitee für Normung.
- Pech, A., Müller, W. and Zach, F. (2016). *Fußböden*, Birkhäuser Verlag.
- Soo-Kyung, C., Rumi, K., Junko, K., Takamasa, M., Yutaka, Y., Hiroki, T. and Hidenori, O. (2015). *A comparative evaluation of floor slip resistance test methods*, Construction and Building Materials 94, 737-745.
- Stamenković, D. and Banić, M., Nikolić, M., Mijajlović, M. and Milošević, M. (2017). *Methods and Principles of Determining the Footwear and Floor Tribological Characteristics*, Tribology in Industry Vol. 39, No. 3, 340-348.
- Terjék, A. (2013). *Slipping properties of ceramic tiles / Quantification of slip resistance*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 47.
- Terjék, A. and Dudás, A. (2018). *Ceramic Floor Slipperiness Classification – A new approach for assessing slip resistance of ceramic tiles*, Construction and Building Materials 164, 809–819.
- Wetzel, C. (2012). *Entwicklung einer Rutschhemmungsmatrix zur Auswahl von Bodenbelägen und Schuhen zur Reduzierung von Ausgleitunfällen*, Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D – Abteilung Sicherheitstechnik.
- Wetzel, C., Windhövel, U., Mewes, D. and Götte, T. (2013). *Rutschgefahren erkennen und vermeiden, Teil 1: Grundlagen, Messverfahren und Anforderungen*, [http : //www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2013_50.pdf](http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2013_50.pdf) (21.02.2018).
- Zentral-Arbeitsinspektorat (2018). [https : //www.arbeitsinspektion.gv.at/cms/inspektorat/dokument .html?channel = CH3193&doc = CMS1452696201424](https://www.arbeitsinspektion.gv.at/cms/inspektorat/dokument.html?channel=CH3193&doc=CMS1452696201424)(20.02.2018), Bundesministeriums für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz.