

## **Schlussbericht für den Zeitraum: 01.07.2005 bis 30.06.2008**

(Forschungsstellen 1, 2 und 3 von 3)

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi über die



geförderten Forschungsvorhaben

Normalverfahren

Fördervariante ZUTECH

### Forschungsthema:

**Entwicklung eines effektiven und wirtschaftlichen Laserstrahlentschichtungs-  
verfahrens zur Entfernung temporärer Pflegebeschichtungen von elastischen  
Bodenbelägen**

Für ein ZUTECH-Vorhaben sind folgende zusätzliche Angaben zu machen:

Der fortgeschriebene Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

ist beigefügt

liegt bereits vor

wird fristgerecht nachgereicht

Krefeld, den 12.09.2008

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Projektleiters der FSt 1

Aachen, den 15.09.2008

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Projektleiters der FSt 2

Freiberg, den 16.09.2008

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Projektleiters der FSt 3

## INHALTSVERZEICHNIS

	<b>Seite</b>	
<b>0</b>	<b>Kurzfassung der Ergebnisse</b>	3
<b>1</b>	<b>Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung</b>	4
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung</b>	5
2.1	Oberflächenbehandlung mit Laserstrahlung	5
2.2.	Bodenbeläge	5
2.2.1	Ausrüstung durch permanente Beschichtungen	6
2.2.2	Ausrüstung durch temporäre Beschichtungen	6
2.2.3	Grundreinigung von Bodenbelägen	6
2.3	Zusammenfassung	6
<b>3</b>	<b>Problemstellung und prinzipieller Lösungsweg</b>	7
<b>4</b>	<b>Experimenteller Teil</b>	8
4.1	Versuchsdurchführung	8
4.1.1	Eingesetzte Bodenbeläge	8
4.1.2	Eingesetzte Pflegebefilmungen	9
4.1.3	Eingesetzte Anschmutzungen	11
4.1.4	Durchführung von Grundreinigung, Beschichtung und Anschmutzung	12
4.2	Untersuchung der optischen Eigenschaften	12
4.3	Laserstrahlquellen und -parameter	13
4.4	Oberflächenrelevante Eigenschaften der Bodenbeläge	13
4.4.1	Filmhaftung	14
4.4.2	Glanz	14
4.4.3	Farbe und Helligkeit	14
4.4.4	Anschmutzung und Schmutzentfernung	14
4.4.5	Rauhigkeit	15
4.4.6	Lichtecktheit	15
4.4.7	Chemikalienbeständigkeit	15
4.4.8	Migrationsverhalten	15
4.4.9	Abrieb	15
4.4.10	Mikroelastizität	15
4.5	Mechanische Trockenreinigung	15
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion der Einzelergebnisse</b>	16
5.1	Testmonitore	16
5.1.1	Oberflächenrelevante Eigenschaften der Bodenbeläge im Ausgangszu- stand	16
5.1.1.1	Lichtecktheit	16
5.1.1.2	Chemikalienbeständigkeit	17
5.1.1.3	Migrationsverhalten	18
5.1.1.4	Abrieb	18
5.1.1.5	Mikroelastizität	19
5.1.2	Entwicklung von angeschmutzten Testmonitoren	21

---

5.2	Laserentschichtungsverfahren	21
5.2.1	Kriterien zur Laserauswahl basierend auf optischen Eigenschaften von Pflegebefilmungen und Bodenbelägen	21
5.2.2	Festlegung von Verfahrensparametern	25
5.3	Ergebnisse der Laserentschichtung	25
5.3.1	Entschichtung nicht angeschmutzter Pflegebefilmungen	26
5.3.2	Entschichtung angeschmutzter Pflegebefilmungen	27
5.3.3	Optimierung der Laser-Prozessführung auf größeren Flächen	29
5.4	Charakterisierung der Testmonitore nach fünf Reinigungszyklen (konventionell)	31
5.4.1	Filmhaftung	31
5.4.2	Glanz	31
5.4.3	Farbe	32
5.4.4	Rauhigkeit	32
5.4.5	Lichtechtheit	32
5.4.6	Chemikalienbeständigkeit	34
5.4.7	Migrationsverhalten	34
5.4.8	Abrieb	36
5.4.9	Mikroelastizität	37
5.5	Charakterisierung der Testmonitore nach Grundreinigung und Laserentschichtung	40
5.5.1	Filmhaftung	41
5.5.2	Glanz	42
5.5.3	Helligkeit	43
5.6	Optimierung von Pflegebefilmungen	43
5.6.1	Beimischung neuer Additive	43
5.6.2	Entschichten mit CO <sub>2</sub> - und Nd:YAG-Laser	44
5.7	Optimierung der Deckschichteigenschaften	45
5.8	Konzeption eines Funktionsmusters und Wirtschaftlichkeit	47
<b>6</b>	<b>Zusammenfassende Diskussion und Folgerungen für die Praxis</b>	<b>49</b>
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	49
6.2	Bedeutung des Bodenbelages	50
6.3	Bedeutung des Lasers	50
6.4	Bedeutung der Befilmung/Reinigungsverfahren	51
6.5	Folgerungen für weiterführende Untersuchungen	53
<b>7</b>	<b>Danksagung</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>Anlagen</b>		
<b>Anlage 1</b>	Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge im Ausgangszustand	56
<b>Anlage 2</b>	Mikroelastizitätsuntersuchungen an Originalbelägen vor/nach Lichtalterung	62
<b>Anlage 3</b>	Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbelägen nach fünf Reinigungszyklen	63

## 0 Kurzfassung der Ergebnisse

Temporäre polymere Pflegebeschichtungen sind eine wichtige Voraussetzung für optimale Gebrauchseigenschaften elastischer Bodenbeläge (z.B. Anschmutzverhalten, Reinigungsfähigkeit, Verschleiß). Sie besitzen jedoch eine begrenzte Lebensdauer, so dass - in Abhängigkeit von der Beanspruchung - von Zeit zu Zeit eine Grundreinigung und Neubeschichtung unumgänglich ist. Bei der herkömmlichen physikalisch-chemischen Grundreinigung werden wässrige Systeme mit hohem Chemikalieneinsatz verwendet. Vor der Neubefilmung des Bodenbelages sind lange Trocknungszeiten erforderlich. Diese führen zu erheblichen Verzögerungen im Betriebsablauf des Gebäudebetreibers (die Flächen können nicht begangen werden), so dass die Kundenakzeptanz erheblich beeinträchtigt wird. Ferner können Bereiche, die maschinell unzugänglich sind, nur mit sehr hohem Personaleinsatz wirtschaftlich grundgereinigt werden. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit der Gebäudereinigungsunternehmen stark beeinträchtigt und die Erschließung neuer Marktpotentiale erschwert.

Aufgrund dieser Problematik wurden im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens 187 ZBG Untersuchungen zur Entwicklung eines effektiven und wirtschaftlichen Laserstrahlentschichtungsverfahrens zur Entfernung temporärer Pflegebeschichtungen von elastischen Bodenbelägen durchgeführt. Dabei konnte die prinzipielle Eignung des CO<sub>2</sub>-Lasers für den Abtrag handelsüblicher (unmodifizierter) Pflegebefilmungen bzw. des Nd:YAG-Lasers für den Abtrag modifizierter Pflegebefilmungen gezeigt werden.

In Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurden repräsentative elastische Bodenbeläge (PVC, PUR, Kautschuk, Linoleum) und Pflegebefilmungen ausgewählt. Weiterhin wurden zwei PVC-Belagsvarianten mit Weichmachern auf Basis nachwachsender Rohstoffe bzw. mit erhöhter Verschleißfestigkeit aufweisender transparenten Nanokomposit-Deckschichten einbezogen.

Die Untersuchungen wurden zunächst vorwiegend mit einem CO<sub>2</sub>-Laser (100 W Laserleistung) vorgenommen, da bei der Wellenlänge der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung (10,64 µm) der Absorptionsgrad kommerziell erhältlicher Pflegedispersionen mit 40 bis 70 % ausreichend hoch ist, so dass eine Entschichtung prinzipiell möglich ist. Ein guter Filmabtrag mittels CO<sub>2</sub>-Laser beschränkt sich allerdings auf ein sehr enges Prozessfenster und ist dementsprechend anfällig gegen kleinste Änderungen der Laserparameter, aber auch der Schichtdicke, Pflegedispersion sowie Anschmutzung oder Alterung der eingepflegten Bodenbeläge. Beim Übergang von kleinen (2 x 2 cm<sup>2</sup>) auf größere Flächen (Bahnen von 10 x 40 cm<sup>2</sup>) ist eine umfassende Anpassung der Verfahrensparameter erforderlich. Hier werden gute Entschichtungsergebnisse bei bis zu 30 % höheren Laserstrahlintensitäten (bis 2100 W/cm<sup>2</sup>) und bis zu 30 % niedrigeren Scangeschwindigkeiten (1,7 bis 2,3 m/s) erzielt. Verbliebene dünne Filmrückstände mit Schmutzresten sind durch eine trockene mechanische Nachbehandlung mit Hilfe einer Scheuersaugmaschine insbesondere von PVC-Bodenbelägen gut zu entfernen. Als nachteilig erwies sich ferner die Tatsache, dass der Prozess nicht selbst begrenzend ist und Bodenbeläge infolge eines vergleichbar hohen Absorptionsgrades durch örtliche Überhitzung geschädigt werden können.

Auf Grund der niedrigen Scangeschwindigkeiten ergaben sich bei Verwendung eines CO<sub>2</sub>-Lasers relativ niedrige Flächenraten. In Abhängigkeit vom Bodenbelag und der Pflegebefilmung lagen sie im Bereich von 1,8 bis 2,5 m<sup>2</sup>/h. Als problematisch erwiesen sich hier die Überlappbereiche sowie mehrfache Wiederholungen der Laserentschichtung, da hier Schädigungen der Bodenbeläge möglich sind.

Höhere Flächenraten von bis zu 5,4 m<sup>2</sup>/h resultierten beim Entschichten der Bodenbeläge mit Nd:YAG-Laser (50 W Laserleistung). Mit IR-Absorber modifizierte Pflegebefilmungen haben für Nd:YAG-Laserstrahlung (1,064 µm) einen Absorptionsgrad von 40-50 %. Um eine Schädigung der Bodenbeläge auszuschließen, kommen prinzipiell Lasersperrschichten auf der Basis von IR-Reflektoren bzw. IR-Absorbern in Frage. Die im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens untersuchten Absorbersysteme sind jedoch als Lasersperrschicht zum Schutz der Bodenbeläge nicht geeignet, da der Transmissionsgrad mit ca. 35 - 50 % noch zu hoch und der Reflexionsgrad mit ca. 5-15 % zu niedrig ist, so dass inakzeptable Bodenbelagschädigungen resultieren. Orientierende Untersuchungen der Forschungsstellen zeigen jedoch, dass durch die Erhöhung des Reflexionsvermögens der Pflegebefilmungen mittels IR-Reflektoren (Aluminiumpigmenten) eine selbst begrenzendes Laserentschichtung möglich ist. Vor diesem Hintergrund wurde zusammen mit dem projektbegleitenden Ausschuss konstatiert, dass über die Arbeiten des AiF-Projektes 187 ZBG hinaus zusätzlicher Forschungsbedarf besteht und dass ein Anschlussantrag zur Entwicklung eines selbst begrenzenden Prozesses zur Laserstrahlentschichtung temporärer Pflegebefilmungen eingereicht werden soll.

**Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.**

## 1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Eine Grundvoraussetzung für die optimale Reinigungsfähigkeit von Bodenbelägen ist die Optimierung der Oberflächenenergie mit dem Ziel, die Schmutzadhäsion zu minimieren. Dies wird häufig durch das Aufbringen temporärer Beschichtungen erreicht. Diese Beschichtungen auf Polymerbasis (mit oder ohne Wachsanteile) verbessern die Reinigungseigenschaften und verringern den Verschleiß der Bodenbeläge, wodurch sich die Nutzungsdauer wesentlich verlängert <sup>[1]</sup>.

Solche Beschichtungen besitzen jedoch eine begrenzte Lebensdauer, die von der Belagsart, von der Beanspruchungsintensität (Anzahl der Begehungen, Art und Menge des eingetragenen Schmutzes) und den jeweiligen Qualitätsanforderungen bestimmt wird. Leichte Beschädigungen des Pflegefilms lassen sich durch Pflegefilmsanierungen (Polieren oder Spraycleanern) beheben. Nach längerer Nutzungsdauer ist aber, vor allem in Bereichen hoher Beanspruchung, eine Grundreinigung und Neubeschichtung unumgänglich, um die Bodenbeläge wieder in einen optisch einwandfreien Zustand zu versetzen und Verschleißerscheinungen zu minimieren <sup>[2]</sup>.

Die herkömmliche physikalisch-chemische Grundreinigung besteht aus drei Stufen, nämlich einem chemischen Teilschritt, bei dem aggressive Chemikalien zum Quellen und Lösen der Polymerschicht eingesetzt werden, einem mechanischen Teilschritt, bei dem mit Scheuersaugmaschinen die angelösten Inhaltsstoffe des Pflegefilms (z.B. Polymere, Wachse etc.) inklusive Schmutz abgelöst und in der Reinigungsflotte suspendiert werden und dem abschließenden Absaugen der Reinigungsflotte und Nachspülen mit Wasser. Bevor der Bodenbelag neu befilmt werden kann, muss dieser ausreichend trocknen. Die erforderlichen Trocknungszeiten führen nicht nur zu erheblichen Verzögerungen im Betriebsablauf des Gebäudebetreibers (die Flächen können nicht begangen werden), sondern auch im Arbeitsablauf des Gebäudereinigers, so dass die erzielbare Flächenrate wesentlich verringert wird. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit der Gebäudereinigungsunternehmen stark beeinträchtigt.

Ein weiteres Problem bei der Nutzung von Scheuersaugmaschinen bzw. Abschleifautomaten besteht darin, dass schwer zugängliche Bereiche wie z.B. Treppen, die Ecken von Räumen und Kanten (Übergang vom Boden zur Wand) unbearbeitet bleiben. Hier ist dann eine manuelle Entfernung der Pflegebefilmung unerlässlich, was zusätzlich hohe Kosten verursacht.

Praxistaugliche Alternativen zur physikalisch-chemischen Grundreinigung stehen derzeit nicht zur Verfügung: Rein physikalische Verfahren wie Abschleifen und abrasive Strahlverfahren führen zu irreversiblen Schädigungen der Beläge. Bei Kohlendioxid-Pellet-Strahlverfahren entstehen neben hohen Kosten durch das erforderliche Trockeneis auch hohe Geräuschemissionen, ferner sind die möglichen Flächenraten zu gering.

Ein Lösungsansatz liegt im Einsatz der Laserstrahltechnik. Diese wurde für die Entschichtung elastischer Bodenbeläge noch nicht untersucht; es ist jedoch aufgrund der Erfahrungen in anderen Anwendungsbereichen sowie aufgrund der Voruntersuchungen der Antragsteller davon auszugehen, dass die Laserstrahltechnik eine effektive und wirtschaftliche Entschichtung ermöglicht. Da es sich um ein wasserfreies Verfahren handelt, entfällt die Trocknungsphase. Da aus der europäischen Richtlinie 2000/60/EG in den nächsten Jahren auch in Deutschland eine erhebliche Steigerung der Kosten für Wasser und Abwasser resultieren wird, sind abwasserfreie Verfahren wie die Laserentschichtung von enormer wirtschaftlicher Bedeutung. Darüber hinaus besitzt das Verfahren aufgrund der wegfallenden Trocknungszeiten und der damit verbundene Beeinträchtigungen der Gebäudenutzung eine wesentlich höhere Akzeptanz bei den Gebäudebetreibern. Hierdurch wird den Gebäudereinigungsunternehmen ein erhebliches zusätzliches Marktpotential in vielen industriellen und gewerblichen Bereichen erschlossen, in denen derzeit noch keine professionelle Reinigung und Pflege der Bodenbeläge erfolgt.

## 2 Stand der Forschung

### 2.1 Oberflächenbehandlung mit Laserstrahlung

Mit Laserstrahlung können Oberflächen geometrisch (Topographie), chemisch und strukturell modifiziert werden<sup>[3-5]</sup>. Die geometrische Modifikation umfasst z. B. das Aufrauen, Glätten und Strukturieren. Chemische Veränderungen können durch das Abtragen von Pflegebefilmungen, die Induzierung chemischer Reaktionen (z. B. Oxidbildung) oder durch Beschichtung mit einem bereits abgetragenen Material (z. B. Pulsed Laser Deposition) durchgeführt werden. Strukturelle Modifikationen beinhalten z. B. Gefügeumwandlungen (Wärmebehandlungen) oder Veränderungen des Eigenspannungszustandes. Für die Problemstellung in diesem Vorhaben ist das Abtragen von Pflegebefilmungen von Bedeutung, wobei der Grundwerkstoff möglichst nicht beeinflusst werden soll. Deshalb wird nachfolgend lediglich auf diese Verfahren näher eingegangen.

Das Abtragen von Pflegebefilmungen beruht auf einem lokal begrenzten, berührungslosen Einwirken der Laserstrahlung. In Abhängigkeit von der Schichtzusammensetzung und -dicke müssen die Verfahrensparameter angepasst werden<sup>[6,7]</sup>. Absorbiert die Pflegebefilmung oder ggf. ein dafür vorgesehenes Additiv die Laserstrahlung gut und wird dabei die Schwellintensität zum Erreichen der Verdampfungs- oder Zersetzungstemperatur der Pflegebefilmung überschritten und weist das darunter liegende Grundmaterial einen geringen Absorptionsgrad sowie einen hohen Reflexionsgrad auf, so ist der Abtrag selbstbegrenzend. Je kürzer die Pulsdauer und je höher die Laserstrahlintensität, desto effektiver wird das Abtragen und desto geringer wird die thermische Beeinflussung des Substrates. Deshalb werden in der Regel Kurzpuls-Laser mit Pulsdauern im ns-Bereich für das Abtragen sehr dünner Deckschichten verwendet<sup>[8-11]</sup>. Für das Abtragen von Schichten < 1 µm kommen vorwiegend gepulste Laser mit Wellenlängen im UV-Bereich (Excimer Laser) oder frequenzkonvertierte Nd:YAG Laser zur Anwendung. Für Schichten im Bereich zwischen 1 µm und 1 mm finden insbesondere im Infrarotbereich Nd:YAG (1,06 µm) und CO<sub>2</sub>-Laser (10,6 µm) Verwendung<sup>[12]</sup>. Wesentlicher Vorteil der Nd:YAG- und Diodenlaserstrahlung ist die Möglichkeit, die Laserstrahlung mit Lichtleitfasern über große Strecken (> 50 m) nahezu verlustfrei zu transportieren. Die CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung kann mit Hilfe von Spiegelarmen transportiert werden.

Die bisherigen Schwerpunkte zum Abtragen von Schichten liegen im Werkzeug- und Formenbau (Reinigen von Vulkanisierformen und Spritzgusswerkzeugen), der Bauwerksreinigung, der Restauration kulturhistorischer Denkmäler, der Reinigung mikrotechnischer und elektronischer Bauteile sowie der Vorbehandlung von Karosseriekomponenten für nachfolgende Fertigungsverfahren (z. B. Schweißen, Beschichten)<sup>[12-16]</sup>.

Beim Arbeiten mit Laserstrahlung ist insbesondere auch der Laser-Schutz, bzw. die Laser-Sicherheit zu berücksichtigen. Zum Laserschutz sind zahlreiche Möglichkeiten (z.B. lokale Einhausung des Laserbereichs mit Schutzwänden oder Vorhängen, Kapselung des Bearbeitungsbereiches) bekannt, die auch von der Berufsgenossenschaft akzeptiert werden.

Den Antragstellern ist nicht bekannt, dass zur Zeit der Antragstellung bzw. im Bearbeitungszeitraum die Lasertechnik von anderen Stelle für das Entschichten elastischer Bodenbeläge angewendet wurde.

### 2.2 Bodenbeläge

Im Objektbereich lag im Jahr 2007 der Anteil an den gesamten verlegten Bodenbelägen (textile, elastische, Holz und holzartige) für PVC bei ca. 12 %, für Linoleum und Gummibelägen bei jeweils 4%<sup>[17]</sup>. Hier kommen Bodenbeläge nach EN 649 (homogene bzw. heterogene Kompaktbeläge) und nach EN 651 (heterogene Beläge mit Schaumschicht) zum Einsatz.

Nach Wulfert<sup>[18]</sup> bestehen elastische Bodenbeläge (verallgemeinert) aus 3 Schichten, der unteren BULK-Phase (Trägermaterial), der Nuttschicht und Beschichtungen. Ist die BULK-Phase gleichzeitig die Nuttschicht, so spricht man von homogenen Belägen.

Die Nuttschicht von unbeschichteten und nicht-eingepflegten Bodenbelägen ist in der Regel porös, so dass Feuchtigkeit, Schmutz und Reinigungsmittel in die Oberfläche eindringen und zu irreversiblen Schädigungen des Bodenbelages führen können<sup>[19]</sup>. Aus diesem Grunde wird für die Nutzung im Objektbereich in der Regel eine professionelle Einpflege der Beläge mit polymeren Versiegelungen (temporäre Beschichtungen) durchgeführt (siehe Punkt 2.2.2). Die Lebensdauer der Bodenbeläge wird im

wesentlichen durch die Deckschicht des Belages bestimmt. Der Schmutzeintrag und die Reinigung von Bodenbelägen bleiben in der Regel auf diese äußere Oberfläche beschränkt.

### 2.2.1 Ausrüstung durch permanente Beschichtungen

Ab 1998 werden Bodenbeläge zunehmend werkseitig mit einer permanenten Beschichtung ausgerüstet. Beispiele dafür sind „Protect-Oberflächenvergütung“ (Tarkett), „Protecsol®“ (Gerflor Mipolam), „Roctop-Polyurethan-Versiegelung“ oder „Protectan“ (Sommer) <sup>[20]</sup>. Der Vorteil dieser Beschichtung liegt in einer deutlichen Verminderung des Reinigungsaufwandes gegenüber Bodenbelägen ohne permanente Beschichtung.

In der Regel können aber diese permanenten Beschichtungen nach Verschleiß nicht saniert werden. Deshalb werden in der Praxis in großem Umfang temporäre Beschichtungen eingesetzt.

### 2.2.2 Ausrüstung durch temporäre Beschichtungen

Die temporären Ausrüstungen elastischer Bodenbeläge sind Beschichtungen auf Polymerbasis (mit oder ohne Wachsanteile) <sup>[21-23]</sup>, die die Reinigungseigenschaften verbessern und den Verschleiß der Bodenbeläge verringern, wodurch sich die Nutzungsdauer verlängert. Weiterhin ermöglichen sie durch Verfahren wie Polieren den Zustand des Bodenbelages über längere Zeiten auf einem hohen Qualitätsniveau zu halten. Diese Beschichtungen können direkt vor Ort durch das Reinigungspersonal aufgebracht werden. Dies erfolgt in der Regel manuell mit einem Feuchtwischbezug, der zuvor mit dem Pflegemittel getränkt wurde. Ein bis fünf Aufträge mit unterschiedlichen Pflegemittelmengen werden in bestimmten zeitlichen Abständen (z.B. 20 bis 30 Minuten) aufgebracht. Durch den Einsatz dieser sog. Selbstglanzdispersionen wird die Oberfläche des Bodenbelags gezielt verändert, um durch optimierte Oberflächeneigenschaften die Reinigung zu erleichtern und die Ästhetik zu verbessern. Diese temporär aufgetragenen Beschichtungen können nach Verschleiß nicht beliebig oft saniert werden und müssen mit Hilfe einer Grundreinigung entfernt werden. Diese Grundreinigung erfolgt derzeit in der Regel mit Hilfe physikalisch-chemischer Verfahren.

### 2.2.3 Grundreinigung von Bodenbelägen

Die Entfernung temporärer Polymerschichten wird mit Hilfe der sogenannten Grundreinigung durchgeführt. Dies kann mit Hilfe folgender Verfahren geschehen <sup>[24-26]</sup>:

- Die physikalisch-chemische Grundreinigung besteht aus drei Stufen: dem chemischen Teilschritt (Quellen und Lösen der Polymerschicht), dem mechanischen Teilschritt (Ablösung der abgelösten Polymere inklusive Schmutz mit Scheuersaugmaschinen), sowie dem anschließenden Absaugen der Reinigungsflotte und dem Nachspülen mit Wasser. Da viele der handelsüblichen Produkte als Gefahrstoffe klassifiziert sind, müssen geeignete Schutzmaßnahmen (Schutzhandschuhe, Schutzbrillen etc.) ergriffen werden. Ein weiterer Nachteil dieser Methode ist, dass die Schmutzflotte gesondert entsorgt werden muss. Bevor der Bodenbelag neubefilmt werden kann, muss dieser ausreichend trocknen. Bei Bodenbelägen mit einer relativ geschlossenen Oberfläche wie z.B. PVC oder Kautschuk liegt die Trocknungszeit in der Regel bei ca. 1 h. Bei offenporigen Belägen wie z.B. Linoleum kann die Trocknungszeit bei 4 bis 8 h liegen. Die physikalisch-chemische Grundreinigung wird routinemäßig durch die Gebäudereiniger angewendet.
- Die verschiedenen Methoden zur physikalischen Grundreinigung weisen gravierende Nachteile auf: Beim mechanischen Abschleifen mit Hilfe harter Pads (Bodenreinigungsscheiben) und schweren Maschinen schädigt die hohe Reibungswärme und die mechanische Belastung den Bodenbelag häufig irreversibel. Ferner ist die Belästigung durch Lärm und Staub sehr hoch. Wässrige Strahlverfahren stellen zwar prinzipiell eine weitere Möglichkeit dar, auf Bodenbelägen eine Grundreinigung durchzuführen, erfordern aber lange Trocknungszeiten und einen hohen Wasserverbrauch.

## 2.3 Zusammenfassung

Die erforderlichen Trocknungszeiten nach der herkömmlichen physikalisch-chemischen Grundreinigung elastischer Bodenbeläge führen nicht nur zu erheblichen Verzögerungen im Betriebsablauf des Gebäudebetreibers (die Flächen können nicht begangen werden), sondern insbesondere auch im Arbeitsablauf des Gebäudereinigers. Weiterhin kann die bisherige Grundreinigung nicht auf Treppen und in anderen schwer zugänglichen Bereichen eingesetzt werden. Hier ist dann eine manuelle Entfernung der Pflegebefilmung unerlässlich, was zusätzlich hohe Kosten verursacht. Dadurch wird die

Wirtschaftlichkeit der Gebäudereinigungsunternehmen stark beeinträchtigt. Physikalische Verfahren wie Abschleifen und Wasserstrahlverfahren weisen eine Vielzahl gravierender Nachteile auf und eignen sich nicht für eine effektive Grundreinigung elastischer Bodenbeläge. Lösungsansätze ergeben sich aus dem Bereich der Lasertechnik. Diese wurde zwar im Hinblick auf die Entschichtung elastischer Bodenbeläge bisher nicht systematisch untersucht, aufgrund der Erfahrungen in anderen Anwendungsbereichen und der orientierend durchgeführten Voruntersuchungen der Antragsteller ist ihre Eignung jedoch zu erwarten.

### **3 Problemstellung und prinzipieller Lösungsweg**

Durch die angestrebten Forschungsergebnisse wird den nahezu ausschließlich kleinen und mittelständischen Gebäudereinigungsunternehmen ein effektives und wirtschaftliches Reinigungsverfahren zur Entfernung temporärer Pflegebefilmungen von elastischen Bodenbelägen unter Einsatz neuester Lasertechnologien zugänglich gemacht. Es ist zu erwarten, dass das Verfahren auch an maschinell unzugänglichen Oberflächen eingesetzt werden kann.

Durch die Ergebnisse des Forschungsprojektes steht den Gebäudereinigungsunternehmen ein völlig neues wasserfreies, effektives und wirtschaftliches Grundreinigungsverfahren auf Basis der Laserstrahltechnik zur Verfügung, das keinerlei Trocknungszeiten vor einer Neubeschichtung erfordert.

Der Lösungsweg bestand aus folgenden Arbeitsschritten:

- Herstellung von Testmonitoren
- Herstellung von Testmonitoren mit neu entwickelten Oberflächen
- Ermittlung oberflächenrelevanter Eigenschaften an produktionsfrischen, unbefilmten Bodenbelägen
- Befilmung von Testmonitoren
- Entwicklung künstlich kontaminierter Testmonitore
- Durchführung der praxisüblichen Grundreinigung/ Wiederbefilmung und Charakterisierung
- Auswahl der Laserstrahlquelle
- Entschichtung nicht angeschmutzter/ angeschmutzter Pflegebefilmungen
- Optimierung der Laser-Prozessführung
- Grundreinigung und optimierte Laserentschichtung im Vergleich
- Optimierung von Pflegemitteln hinsichtlich der Entschichtung mit Laserstrahlung
- Untersuchungen zur Optimierung der Deckschichteigenschaften der Beläge hinsichtlich ihrer Resistenz gegenüber Laserstrahlung
- Erarbeitung der Konzeption eines Funktionsmusters einer Laser-Entschichtungsanlage mit Absaugung einschließlich technischer und wirtschaftlicher Bewertung
- Dokumentation der Ergebnisse und Abschlussbericht



## 4 Experimenteller Teil

### 4.1 Versuchsdurchführung

#### 4.1.1 Eingesetzte Bodenbeläge

**Tabelle 1** zeigt die in enger Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss ausgewählten repräsentativen elastischen Bodenbeläge, die um speziell entwickelte PVC-Bodenbeläge ergänzt wurden (**Tabelle 2**). Um die visuelle Beurteilung durch Testpersonen unbeeinflusst vornehmen zu können, erfolgte eine firmenneutrale Kodierung der Bodenbeläge.

Bodenbelag	Werkseitige Ausrüstung	Hersteller	Bezeichnung	Kodierung
PVC, homogen, einschichtig, richtungsfrei, antistatisch	PUR	Gerflor	Mipolam Flair 490, Farbe 0001	PVC-ho-PUR 1
PVC, homogen, richtungsfrei, leitfähig	PUR	Tarkett	Toro EL graubeige	PVC-ho-PUR 5
PVC, homogen	PUR-Ecosystem	DLW	Solid 520	PVC-ho-PUR 7
PVC, homogen, richtungsfrei, antistatisch, leitfähig	-	Tarkett	Granit AS mittelgrau	PVC-ho-OB 6
PVC, heterogen, Glasvliesarmierung und Vliesback	debo XPS	debolon	Liftec spezial XPS Nr. 5263 Dessin 250301	PVC-he-PUR 2
PVC, heterogen, Verbundbelag auf Polyesterfließ	-	debolon	Action VB Nr. 6302 Dessin 532310	PVC-he-OB 3
Kautschuk	-	Freudenberg	Noraplan uni, orange Farbe 2148	KAU 4
PUR	-	WPT	Indigo Star 04334C	PUR 8
Linoleum	-	Forbo	Marmoleum Sport Dessin 83121	Lino-OB 9
Linoleum	PUR (Topshield™)	Forbo	Marmoleum Walton Dessin 180	Lino-MB 10

In **Tabelle 2** sind die unter Berücksichtigung zukünftiger PVC-Bodenbelagsentwicklungen mit aufgenommenen Versuchsbeläge dargestellt. Diese wurden in Zusammenarbeit mit der Firma debolon des-sauer bodenbeläge GmbH & Co KG hergestellt und basieren auf der Integration von

- nanokomposit-haltiger transparenter Deckschicht und
- eingearbeitetes Weichmachersubstitut auf Basis nachwachsender Rohstoffe (epoxidierte Fettsäureester)

in den PVC Bodenbelag.

Die Aufbereitung der Deckschichtpasten für diese Bodenbeläge erfolgte im FILK, Freiberg, wobei die Basis-Rezepturbestandteile vom Belagshersteller zur Verfügung gestellt wurden. Bei der Aufbereitung der nanopartikel-haltigen Deckschicht wurde von Original-Deckschichtpasten ausgegangen, die mit der „Nanopaste Type A 380“ (damals Entwicklungsprodukt, heute Handelsprodukt der Cetelon GmbH, Leipzig) mit 3 % (Masseanteile) SiO<sub>2</sub>-Nanopartikeln ausgerüstet wurde. In der zweiten Deckschichtformulierung wurde der ursprünglich enthaltene Weichmacher durch eine Mischung aus DINCH und e-

poxidiertem Fettsäureester ersetzt. Für diese Varianten wurden je eine Beschichtung auf weißem bzw. mit anthrazitfarbigem Druckfonds versehenem Rohbelag aufgebracht.

**Tabelle 2: PVC-Neuentwicklungen (FILK-debolon)**

Werkseitige Ausrüstung	Bezeichnung	Kodierung
epoxidierte Öle in Deckschicht	D14 hell (gelblich)	PVC-epox 11
epoxidierte Öle in Deckschicht	D14 dunkel (grau)	PVC-epox 12
nanopartikelhaltige Deckschicht (Dicke 0,5 mm)	Nano hell (weiß)	PVC-nano 13
nanopartikelhaltige Deckschicht (Dicke 0,5 mm)	Nano dunkel (grau)	PVC-nano 14

#### 4.1.2 Eingesetzte Pflegebefilmungen

Die Bodenbeläge wurden zunächst mit den in Anlehnung an <sup>[27]</sup> handelsüblichen Pflegebefilmungen (Selbstglanzdispersionen, Abk. SGD) beschichtet (**Tabelle 3**).

**Tabelle 3: Handelsübliche eingesetzte Pflegebefilmungen**

SGD	Anwendungsbe- reich	Hauptinhaltsstoffe	Be- zeich- nung	Hersteller	Kodierung
metall- vernetzt	Krankenhaus- Grundier-Dispersion	Polyacrylat, Polyethylen (< 5 %)	Lodan Star	Ecolab	SGD-PM1
metall- vernetzt	Langzeit-Polymer- Siegel	Polyacrylat, Polyethylen (< 5 %)	Gliz Metallic	Ecolab	SGD-PM2
wachs- haltig	extrem strapazierfä- hig, für alle wasser- festen Hartbodenbe- läge	Polyethylenwachse	ON Top	Dr. SCHNELL	SGD-P
wachs- haltig	für Hartböden, ins- besondere für Lino- leum	Polymere, Wachse	Megla- Pol	Tana Chemie	SGD-PW

Um eine Verbesserung der Laserstrahlabsorption in der jeweiligen Pflegebefilmung zu erzielen, wurden unterschiedlich modifizierte Pflegebefilmungen hergestellt. Als Zusätze wurden IR-Laserabsorber (Schichtpigmente beschichtet mit Metalloxide) und nanoskalige Additive, wie Ruß (Kohlenstoffpartikel), TiO<sub>2</sub>, ZnO, Zinndioxid dotiertes Indium(III)oxid, Diantimonpentoxid dotiertes Zinndioxid, Schwespat (BaSO<sub>4</sub>) und Schichtsilikate eingesetzt. Orientierend wurden IR-Reflektoren (Aluminiumpigmente) untersucht. **Tabelle 4** gibt eine Übersicht der modifizierten Pflegebefilmungen mit Additiven zur Verbesserung der Laserstrahlabsorption.

**Tabelle 4: Modifizierte Pflegebefilmungen (SGD-PM1, SGD-P) zur Verbesserung der Laserstrahleinkopplung**

Additiv	Bezeichnung	Konzentration %(w/v)	Hersteller	Kodierung
Farbpigment	HT-Dry 91026	5 %	Treffert	HT-Dry 91026
Farbpigment	HT-Stab 11087	5 %		HT-Stab 11087
Ruß	Flammruß 101	1 %	Evonik Degussa	C
Zinkoxid	NANOBYK 3840	16,7 %	BYK Chemie	ZnO
Zinndioxid dotiertes Indium(III)oxid	LP-X-20699	10 %		ITO
Diantimonpent-oxid dotiertes Zinndioxid	LP-X-20698	10 %		ATO
TiO <sub>2</sub>	Hombitec RM 230 L	1 %	Sachtleben Chemie	TiO <sub>2</sub>
TiO <sub>2</sub> beschichtet mit Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hombitec RM 130 F	1 %	Sachtleben Chemie	Hombitec
organisch modifiziertes nano-disperses Schichtsilikat	Nanofil® 2 (Φ 100-500 nm, mittlere Partikelgröße 8 µm)	1 %	Südchemie	Nanofil 2
organisch modifiziertes nano-disperses Schichtsilikat	Nanofil® SE 3000	1 %	Südchemie	Nanofil SE
Schichtsilikat auf Basis von Montmorillonit	Nanomer® I. 31PS	1 %	Nanocor's Technical Service Group	Nanomer
hydrophile pyrogene Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> )	Aerosil® 90 (Φ 20 nm)	1 %	Evonik Degussa	Aerosil 90
hydrophobe pyrogene Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> )	Aerosil® R 812 (Φ 7 nm)	1 %	Evonik Degussa	Aerosil R812
transparentes Pigment auf Basis von Ba <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Barifine™ BF 20F (Φ 30 nm)	1 %	Halliburton Energy services Inc.	Barifine
Aluminiumpigment	Standart® PC 200 (Φ 10 µm)	1 %	Eckart GmbH	Al

#### 4.1.3 Eingesetzte Ansmutzungen

Die Ansmutzung der elastischen Bodenbeläge erfolgte mit fetthaltiger bzw. wasserlöslicher Ansmutzung (**Tabelle 5**).

<b>Tabelle 5: Eingesetzte Ansmutzungen</b>			
<b>Ansmutzung</b>	<b>Zusammensetzung</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Produkt</b>
Schuhcreme (fetthaltig, schwarz)	Naphtha (Erdöl)	SaraLee	Kiwi Shoe Polish
Antiseptikum (jodhaltig, gelbbraun)	Polyvidon-Jod-Komplex, Kaliumjodat (1,1 % Jod)	Mundipharma	Betaisodona Lösung

#### 4.1.4 Durchführung von Grundreinigung, Beschichtung und Ansmutzung

##### Grundreinigung

Die PVC- und Linoleumbodenbeläge wurden mit einem handelsüblichen Grundreiniger (Benduro forte, Ecolab) im Mischungsverhältnis 1:3 und der Kautschukbelag unverdünnt mit einem Breitwischbezug grundgereinigt. Nach etwa 30 min Einwirkzeit wurden die Bodenbeläge mit einer Einscheibenmaschine in einem ersten Zyklus bei 180 min<sup>-1</sup> mit rotem Pad (Superpad rot, 3M) (in folgenden Zyklen bei 470 min<sup>-1</sup> mit grünem Pad) behandelt und anschließend die Flotte unter Verwendung von Frischwasser mit einer Scheuersaugmaschine mehrmals bis zum Erreichen von pH 7,0 abgesaugt. Nach dem Trocknen an Raumluft wurden die Bodenbeläge zugeschnitten und auf Spanplatten mit an die Belagsart angepassten Klebstoffen aufgezo-gen.

##### Herstellung der modifizierten Dispersionen und Beschichtung

Die in **Tabelle 4** aufgeführten Additive wurden mit unterschiedlichen Methoden in die handelsüblichen Selbstglanzdispersionen (**Tabelle 3**) eingearbeitet:

- IR-Farbpigmente wurden in SGDs eingerührt (Magnetrührer) und, zum Vergleich, im Perlmölenverfahren dispergiert (Labordissolver DB13, Fa. Distec Automation. Die Dispersion wurde mit Hilfe von Zirkonmischoxidkugeln (Volumenverhältnis 1:1) 2 x 20 min. bei 4000 U/min homogenisiert. Als Entschäumer wurde 0,5 % BYK-021 (Fa. BYK-Chemie) zugegeben. Beide Einarbeitungsverfahren sind für diese Art von Additiven geeignet.
- ZnO, ITO, ATO, die Schichtsilikate, der Schwerspat (BaSO<sub>4</sub>) und die pyrogenen Kieselsäuren ließen sich am besten im Labdissolver homogenisieren.
- Aluminiumpigmente wurden mittels Magnetrührer eingemischt.
- Ruß wurde portionsweise im Ultraschallbad mit SGD vermischt. Anschließend wurde die derart erzeugte Suspension durch ein PES-Gewebe filtriert.

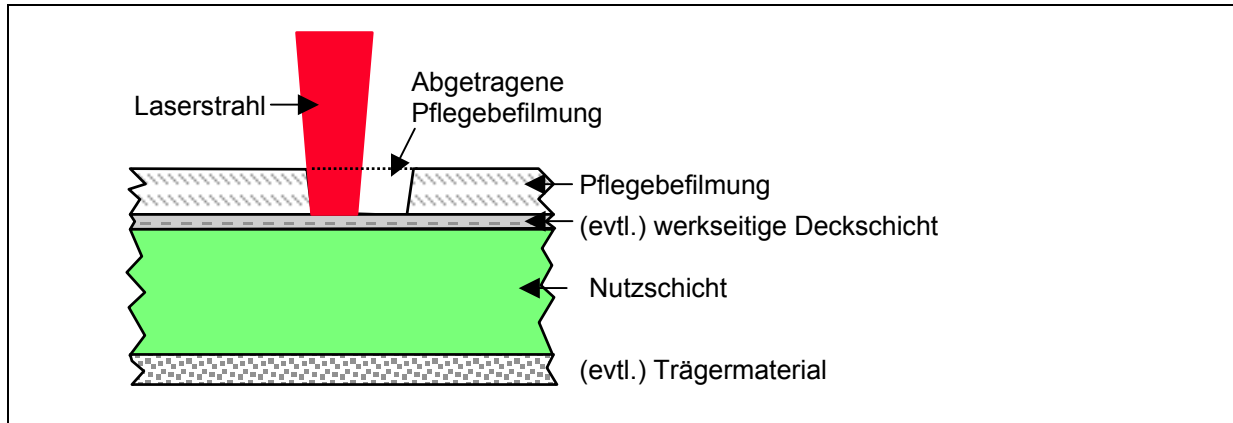
Das Beschichten mit den unmodifizierten (**Tabelle 3**) bzw. modifizierten (**Tabelle 4**) Selbstglanzdispersionen erfolgte hauptsächlich im Wischverfahren. Durch gleichmäßiges Wischen mit einem Vlies (PP-Spontex Haushaltstuch) wurden drei Schichten mit je 25 ml/m<sup>2</sup> (entspricht einer Gesamttrockenschichtdicke von ca. 20 µm) aufgetragen, wobei vor dem Aufbringen jeder neuen Schicht die Vorschicht vollständig getrocknet war (Aushärten bei Raumtemperatur, max. 60 % relative Luftfeuchte). Die aluminiumhaltigen Dispersionen wurden in einer Dicke von je 25 µm (Nassschicht) mit einer Rakel auf die jeweiligen Bodenbeläge aufgetragen.

##### Ansmutzung

Die Schuhcreme (13 g/m<sup>2</sup>) wurde mit einem gesättigten Pinsel und das Antiseptikum (13 ml/m<sup>2</sup>) durch Pipetieren und Verteilen mit einem gesättigtem Pinsel aufgebracht. Beide Schmutzarten wurden zunächst großflächig, auf jeweils einer Hälfte der zu reinigenden Bodenfliese (40 x 40 cm<sup>2</sup>), und für Laerversuche alternativ als Streifen (2 x 40 cm<sup>2</sup>), wie in **Abbildung 9** dargestellt, aufgebracht.

## 4.2 Untersuchung der optischen Eigenschaften

**Abbildung 1** verdeutlicht den Laserstrahlengang durch den mehrschichtigen Aufbau eines elastischen Bodenbelags.



**Abbildung 1: Schichtsystem des Bodenbelags und Laserstrahlengang während der Entschichtung**

Zur Entfernung der Pflegebefilmung mit Laserstrahlung ohne Schädigung der Deckschicht bzw. Nutzschicht des Bodenbelags muss die Wellenlänge der Laserstrahlung so ausgewählt werden, dass einerseits die Pflegebefilmung einen hohen Absorptionsgrad ( $A$ ) und andererseits die Deckschicht bzw. Nutzschicht einen hohen Reflexionsgrad ( $R$ ) aufweist. Der Reflexions- und Transmissionsgrad ( $T$ ) und  $T$  sind abhängig von der Wellenlänge und werden messtechnisch mit einem Spektrometer erfasst. Daraus errechnet sich der Absorptionsgrad  $A$  wie folgt:

$$(1) \quad A = 1 - (R+T)$$

Der Reflexions-, Transmissions- und damit auch der Absorptionsgrad sind weiterhin abhängig von der Schichtdicke der untersuchten Pflegebefilmung. Die Abschwächung des in die Pflegebefilmung eindringenden Anteils der Strahlung wird durch das Lambert-Beer-Gesetz beschrieben:

$$(2) \quad I(d) = I_0 \cdot e^{-\alpha d}$$

mit  $I_0$ : eingestrahelte Intensität,  $\alpha$ : Absorptionskoeffizient,  $\delta$ : optische Eindringtiefe,  $d$ : Dicke der Pflegebefilmung ( $\alpha = \delta^{-1}$ )

Die optische Eindringtiefe  $\delta$  gibt die Länge an, nach der die Intensität  $I_0$  auf den  $1/e$ -ten Teil abgefallen ist. Für Pflegebefilmungen mit großer optischer Eindringtiefe  $\delta > d$  wird ein Teil der Strahlung durch die Pflegebefilmung transmittiert.

Bei den spektrometrischen Untersuchungen muss die Schichtdicke der Proben berücksichtigt werden. Für die Transmissionsmessungen wurden daher Filme hergestellt, deren Dicke in etwa der zu erwartenden Schichtdicke der Pflegebefilmung entspricht. Die Dispersionen wurden mit einem Vierfach-Filmziehrahmen auf mit Folie versehene Acrylglasplatten als  $25 \mu\text{m}$  und als  $200 \mu\text{m}$  Film gezogen. Nach 3 Tagen wurden die Filme von der Folie abgezogen und auf Trennpapiere überführt.

Der Reflexions- und Transmissionsgrad wurden an den Selbstglanzdispersionen SGD-P, SGD-PW, SGD-PM1 und SGD-PM2 (Filmdicken:  $25$  und  $200 \mu\text{m}$ ) gemessen. Um zu prüfen, ob der Absorptionsgrad der Selbstglanzdispersionen durch Additive erhöht werden kann, wurden weiterhin die mit Additiven (**Tabelle 4**) modifizierten SGD-P und SGD-PM1 (Filmdicke:  $200 \mu\text{m}$ ) untersucht. Mit Hilfe der Messung des transmittierten und reflektierten Anteils der Laserstrahlung ist gemäß Gleichung 1 ein direkter Rückschluss auf den absorbierten Anteil der Laserstrahlung möglich.

Die Reflexions- und Transmissionsmessungen wurden für einen Wellenlängenbereich von  $400 \text{ nm}$  bis  $25 \mu\text{m}$  durchgeführt. Hierzu wurden ein UV-VIS-Spektrometer ( $\lambda$ :  $400 \text{ nm}$  bis  $3 \mu\text{m}$ ) und ein FTIR-Spektrometer ( $\lambda$ :  $2,5$  bis  $25 \mu\text{m}$ ) eingesetzt.

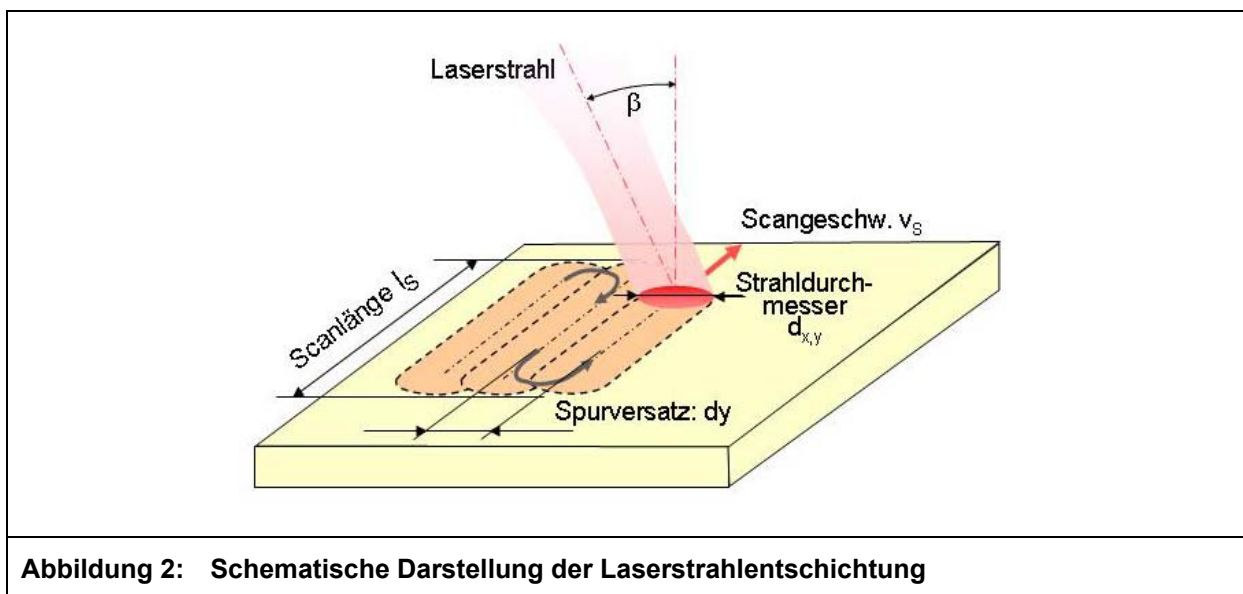
### 4.3 Laserstrahlquellen und -parameter

Auf der Grundlage der Transmissions- und Reflexionseigenschaften der Pflegebefilmungen (Punkt 4.2) wurde aus der Vielzahl der kommerziell verfügbaren Lasersysteme, wie CO<sub>2</sub>-Laser (10,6 μm), Nd:YAG-Laser (1064 nm), Diodenlaser (900 nm) und Erbiumlaser (1550 nm), der Laser mit entsprechender Wellenlänge derart ausgewählt, dass an den Pflegebefilmungen eine möglichst hohe Absorption erzielt wird (Punkt 5.2.1).

Das zur Laserentschichtung eingesetzte Verfahren ist in **Abbildung 2** schematisch dargestellt. Der Laserstrahl (Laserleistung  $P_L$ , Strahldurchmesser  $d_{x,y}$ ) wird hierbei mit einer Scangeschwindigkeit  $v_S$  mäanderförmig mit einem Spurversatz  $dy$  über die Werkstoffoberfläche bewegt. Die Intensität  $I$  der Laserstrahlung wird als

$$(3) \quad I = P_L / \pi \cdot (d_{x,y} / 2)^2$$

berechnet.



**Abbildung 2: Schematische Darstellung der Laserstrahlentschichtung**

Auch die Wechselwirkungszeit  $t_{ww}$  der Laserstrahlung mit der Pflegebefilmung ist entscheidend für den Abtragprozess. Diese ist gegeben durch

$$(4) \quad t_{ww} = d_{x,y} / v_S$$

Nach Auswahl des Lasersystems, wurden die für die Entschichtung geeigneten Verfahrensparameter bestimmt.

### 4.4 Oberflächenrelevante Eigenschaften der Bodenbeläge

Als oberflächenrelevante Eigenschaften der einbezogenen Bodenbeläge (s. Punkt 4.1.1) wurden Filmhaftung (Abreißfestigkeit), Glanz, Farbe, Schmutzentfernung, Lichtechtheit, Chemikalienbeständigkeit, Weichmachermigration, Abrieb und Mikroelastizität bestimmt.

Als Vergleichsgrundlage für konventionell bzw. lasertechnisch gereinigten und wiederbefilmten Beläge wurden diese Eigenschaften im produktionsfrischen Zustand, an konventionell grundgereinigten und an ersteingepflegten Belägen bestimmt. Neben handelsüblichen wurden modifizierte Pflegebefilmungen (Punkt 4.1.2) angewendet und die eingepflegten Beläge im Fortgang der Arbeiten künstlich angeschmutzt (Punkt 4.1.3) und nach Reinigung/Wieder-Einpfege charakterisiert.

Von praxisrelevanter Bedeutung sind die Auswirkungen von wiederholter Grundreinigung/Pflegebefilmung/Anschmutzung (Alterung) bei Vergleich der beiden konkurrierenden Grundreinigungsverfahren (nasschemisch, lasertechnisch).

#### 4.4.1 Filmhaftung

Die Bestimmung der Filmhaftung durch Abreiversuche erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 4624 nach 16 h Klimatisierung. Prüfstempel aus Edelstahl (20 mm x 20 mm) wurden mit Cyanacrylat-Klebstoff (Pattex Sekundenkleber von Henkel) flächig benetzt und nach 1 min mit Hilfe einer Schablone auf die Probe geklebt. Nach 5 bis 15 min wurde der Stempel senkrecht bis zum Abriss mit 100 mm/min gezogen.

Als Maß für die Filmhaftung dient die Abreißfestigkeit  $\sigma$ :

$$(5) \quad \sigma = F / A$$

mit F: Abreißkraft (in N), A: Fläche des Prfstempels (in mm<sup>2</sup>)

Es wurden pro Beschichtung und Bodenbelag 10 Messungen durchgeführt.

#### 4.4.2 Glanz

Da sich der Glanz von Bodenbelägen durch Beanspruchung ändern kann, wurde dieser mit einem Dreiwinkelphotometer (REFO 3-D, Dr. Lange), nach DIN 67 530 beim Winkel 60 ° gemessen. Pro Probe wurden 10 Messungen durchgeführt, wobei die Messpunkte über die gesamte Messfläche zufällig ausgewählt wurden.

#### 4.4.3 Farbe und Helligkeit

Farbveränderungen der elastischen Bodenbeläge wurden über den Gesamtfarbabstand  $\Delta E$  im Farbsystem nach CIELAB (1976) mittels sphärischem Spektralphotometer (X-Rite SP78) nach DIN 5033 Teil 3 erfasst. Hierbei beschreibt L\* die Helligkeit, a\* den Rot-/Grnwert und b\* den Gelb-/Blauwert. Diese Farbwerte wurden mit einem Sphärischen Spektralphotometer (X-Rite SP78 Speher Spectralphotometer X-Rite GmbH, Köln), nach DIN 5033 Teil 3 gemessen.

Ein L\*-Wert von „100“ ist ideal weiß und einer von „0“ ideal schwarz. Gemessen wurde mit der Lichtart D65 und dem Winkel des Normalbeobachters von 10° mit Glanzanteil. Pro Probe wurden 10 Messungen durchgeführt. Die Messpunkte wurden über die gesamte Messfläche zufällig ausgewählt.

#### 4.4.4 Anschmutzung und Schmutzentfernung

Als messtechnische Größe zur Beurteilung von Anschmutzung und Schmutzentfernung bzw. Restschmutz wurde für die Schuhcreme-Anschmutzung der L\*-Wert im Farbsystem nach CIELAB (1976) verwendet.

Aus den Messwerten wurden folgende Differenzen der L\*-Werte berechnet:

$$(6) \quad \text{Anschmutzung:} \quad \Delta L_{AN}^* = L_{NW}^* - L_{AS}^*$$

mit L\*<sub>NW</sub>: L-Wert sauber (Ausgangswert), L\*<sub>AS</sub>: L-Wert angeschmutzt

$$(7) \quad \text{Schmutzentfernung:} \quad \Delta L_{SR}^* = L_{RE}^* - L_{AS}^*$$

mit L\*<sub>AS</sub>: L-Wert angeschmutzt, L\*<sub>RE</sub>: L-Wert gereinigt

$$(8) \quad \text{Restschmutz:} \quad \Delta L_{RS}^* = L_{NW}^* - L_{RE}^*$$

mit L\*<sub>NW</sub>: L-Wert sauber (Ausgangswert), L\*<sub>RE</sub>: L-Wert gereinigt,

mit Restschmutz:  $\Delta L_{RS}^* = L_{NW}^* - L_{RE}^*$ , Anschmutzung:  $\Delta L_{AN}^* = L_{NW}^* - L_{AS}^*$

Für die Jodanschmutzung wurde der b\*-Wert im Farbsystem nach CIELAB (1976). Es wurden die gleichen Differenzen wie bei der Schuhcremeanschmutzung berechnet.

$$(9) \quad \text{Anschmutzung:} \quad \Delta b_{AN}^* = b_{NW}^* - b_{AS}^*$$

mit b\*<sub>NW</sub>: b-Wert sauber (Ausgangswert), b\*<sub>AS</sub>: b-Wert angeschmutzt

$$(10) \quad \text{Schmutzentfernung:} \quad \Delta b_{SR}^* = b_{RE}^* - b_{AS}^*$$

mit b\*<sub>AS</sub>: b-Wert angeschmutzt, b\*<sub>RE</sub>: b-Wert gereinigt

$$(11) \quad \text{Restschmutz:} \quad \Delta b_{RS}^* = b_{NW}^* - b_{RE}^*$$

mit b\*<sub>NW</sub>: b-Wert sauber (Ausgangswert), b\*<sub>RE</sub>: b-Wert gereinigt

Als zweiter Parameter für beide Anschmutzungen diente der Gesamtfarbabstand  $\Delta E$  im Farbsystem nach CIELAB (1976). Dieser errechnet sich aus folgender Formel

(12) Gesamtfarbabstand: 
$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Die Reinigungsversuche wurden mit dem Scheuerprüfgerät Wet Abrasion Scrub Tester 903PG (Sheen Instruments) mit 5 Doppelhüben unter Verwendung vom zugeschnittenen 10,6 cm x 3,6 cm Breitwischbezug Ecolab rasan TEC Mono bei einem Anpressdruck von 0,11 N/cm<sup>2</sup> und einer Vorschubgeschwindigkeit von 33,3 cm/s durchgeführt. Die Reiniger wurden in der empfohlenen mittleren Anwendungskonzentration eingesetzt (0,3 ml/cm<sup>2</sup> Tuchfläche).

#### 4.4.5 Rauigkeit

Die Rauigkeitsmessungen der gereinigten Oberflächen nach DIN 4762 wurden mit dem Gerät Diavite Modell DT-100 (Hahn & Kolb) an 10 verschiedenen Stellen der jeweiligen Oberfläche vorgenommen. Ausgewertet wurde der arithmetische Mittelrauhwert  $R_a$ -Wert (Mittelwert der 5 höchsten Amplitudenwerte abzüglich des Mittelwertes der 5 niedrigsten Amplitudenwerte).

#### 4.4.6 Lichtechtheit

Die Lichtechtheit beschreibt die Konstanz von Farben, Lacken aber auch sonstigen Oberflächen bei längerer Beleuchtung. Insbesondere Sonnenlicht mit seinem hohen UV-Licht-Anteil hat auf viele Materialien eine stark zersetzende Wirkung, was zu einer sichtbaren Farbveränderung führen kann. In der Farb- und Textilindustrie wird der Grad der Lichtechtheit mit dem Blaumaßstab gemessen. Die Lichtechtheit der elastischen Bodenbeläge wurde nach ISO 105 B02 bestimmt (Skala von 1: sehr gering bis 7: hervorragend).

#### 4.4.7 Chemikalienbeständigkeit

Die Chemikalienbeständigkeit der elastischen Bodenbeläge wurde nach EN 423 bestimmt. Dazu wurden alle Proben gegenüber Einwirksubstanzen aus den Gruppen Lösungsmittel, aggressive Chemikalien sowie öl- bzw. farbstoffhaltige Substanzen bei Einwirkzeiten von 2 min sowie 1 und 24 h untersucht. Eingesetzt wurden Ethylacetat, Toluol, Jodlösung (2 %), Wasserstoffperoxid, Olivenöl, Ketchup, blaue Tinte, rote Schuhcreme, Gemisch aus Ketchup, Öl und Paprika sowie roter Permanentstift (Edding).

#### 4.4.8 Migrationsverhalten

Das Migrationsverhalten von Weichmachern aus elastischen Bodenbelägen wurde entsprechend DIN 53405 charakterisiert. Die Belagsprobe wurde dabei 15 Tage in einer Wärmekammer (50 °C) zwischen zwei weichmacherfreien Kontaktfolien platziert und danach der Gewichtsverlust des Prüfkörpers bestimmt.

#### 4.4.9 Abrieb

Der Abrieb der elastischen Bodenbeläge wurde nach DIN EN 660-2 bestimmt.

#### 4.4.10 Mikroelastizität

Diese mittels Universal Surface-Tester, Hersteller Innowep, Würzburg, vorgenommene Prüfung stellt eine statische Eindruck-Erholungsprüfung bei sehr geringen Belastungen dar, so dass bereits geringfügige Veränderungen im elastischen Verhalten (Versprödung) der Beläge detektiert werden. Sie dient der Erkennung von Alterungsvorgängen durch die Reinigungszyklen.

Gearbeitet wurde mit einem 90 °-Diamantkegel als Tastspitze. Die aufgebrachte Kraft betrug 100 mN, wobei jeweils 30 s belastet und 30 s nach Entlastung die permanente Verformung bestimmt wurde.

### 4.5 Mechanische Trockenreinigung

Für den Einsatz eines 2-stufigen bzw. 3-stufigen Reinigungsverfahren wurde eine praxisübliche Scheuersaugmaschine mittlere Größe (Arbeitsbreite von ca. 52 cm; Floormatic 522 BT Fa. Ecolab, Düsseldorf) eingesetzt. Der Hauptanteil von Scheuersaugmaschinen liegt mit 80-90 % im Bereich der kleinen und mittleren Reinigungsmaschinen, d.h. bis zu einer Arbeitsbreite von ca. 50 cm (AiF-



Forschungsprojekt Nr. 13132 N). Die Reinigungsgeschwindigkeit war langsam (ca. 0,3 m/s). Die Gewichtauflage der Pads betrug ca. 30 kg. Der Pad-Durchmesser betrug 2 x 27 cm. Es wurden beige Pads ("mittel" abrasiv) und grüne Pads ("mittelstark" abrasiv) der Fa. 3 M, Düsseldorf verwendet.

## 5 Ergebnisse und Diskussion der Einzelergebnisse

### 5.1 Testmonitore

#### 5.1.1 Oberflächenrelevante Eigenschaften der Bodenbeläge im Ausgangszustand

Die in den **Tabellen 1** und **2** angeführten Belagsmaterialien wurden mit den handelsüblichen (**Tabelle 3**) bzw. modifizierten Selbstglanzdispersionen (**Tabelle 4**) beschichtet und angeschmutzt (**Tabelle 5**). Somit wurden Testmonitore entwickelt, die neben der Schaffung einer Bezugsbasis für die Eigenschaften nach fortgesetzter Beanspruchung durch die Anschmutz-Reinigungszyklen (konventionell/lasertechnisch im Vergleich) auch Aussagen über die Beeinflussung der Oberflächeneigenschaften durch den Einsatz verschiedener Pflegebefilmungen ermöglichen

Die oberflächenrelevanten Eigenschaften, wie Filmhaftung, Glanz und Farbe, werden an dieser Stelle nicht gesondert ausgewertet. Diese sind Bestandteil der Charakterisierung der Testmonitore nach fünf Reinigungszyklen (Punkt 5.4) bzw. nach Grundreinigung und Laserentschichtung (Punkt 5.5). Im Folgenden werden Lichteinheit, Chemikalienbeständigkeit, Migrationsverhalten, Abrieb und Mikroelastizität im produktionsfrischen Zustand und die Tendenzen ihrer Änderung durch Grundreinigung und Ersteinpflege mit den verschiedenen Pflegebefilmungen beschrieben.

##### 5.1.1.1 Lichteinheit

Die Lichteinheitswerte der produktionsfrischen, grundgereinigten und eingepflegten Beläge zeigt **Tabelle 6**. Die vergebenen Noten richten sich nach der Blaumaßstab-Skala und haben folgende Bedeutung: 4 ziemlich gut, 5 gut, 6 sehr gut, >7 hervorragend.

<b>Tabelle 6: Lichteinheitswerte der Bodenbeläge im Ausgangszustand</b>						
Probe	Lichteinheitswerte [Note Blaumaßstab]					
	Produktionsfrisch	Grundgereinigt	Eingepflegt SGD-P	Eingepflegt SGD-PM1	Eingepflegt SGD-PM2	Eingepflegt SGD-PW
PVC-ho-PUR - 1	>7	>7	>7	>7	>7	>7
PVC-he-PUR - 2	>7	>7	>7	>7	>7	>7
PVC-he-OB - 3	>7	>7	>7	>7	>7	>7
KAU - 4	5	5	4	4	5-6	5
PVC-ho-PUR - 5	>7	>7	>7	>7	>7	>7
PVC-ho-OB - 6	>7	>7	>7	>7	>7	-
PVC-ho-PUR - 7	6	>7	>7	>7	>7	>7
PUR - 8	>7	>7	>7	>7	>7	>7
Lino-OB - 9	>7	>7	>7	>7	>7	>7
Lino-MB - 10	6	5	>7	6-7	6	6
PVC-epox 11	(>7; entfärbt)	(entfärbt)	(entfärbt)	(entfärbt)	(entfärbt)	(entfärbt)
PVC-nano 13	>7	>7	>7	>7	>7	>7

Leicht zu erkennen ist, dass sowohl die Grundreinigung als auch die verschiedenen Pflegebefilmungen die Lichteinheit nur unwesentlich beeinflussen.

Die Bewertung der Lichtechtheit für die FILK-Neuentwicklungen mit alternativem Weichmacher auf Basis nachwachsender Rohstoffe (PVC-epox 11, PVC epox 12) gestaltete sich schwierig, da die Beläge unter der Lichteinwirkung eine Entfärbung erfuhren (abgedeckter Bereich vergilbte aufgrund Wärmeeinwirkung leicht, während belichtete Bereiche entfärbt wurden). Dies ist jedoch kein mit der Reinigung/Einpfege in Zusammenhang stehendes Phänomen, sondern der Rezeptur der Neuentwicklung (Weichmacherbasis) zuzuschreiben.

Die für die Pflegebefilmungen ermittelten Werte liefern neben dem Grundanliegen der Beurteilung der Reinigungseinflüsse Anhaltspunkte für die Auswahl der Pflegebefilmungen für besonders lichtbelastete Beläge (z.B. KAU).

### 5.1.1.2 Chemikalienbeständigkeit

Die Noten für die Chemikalienbeständigkeiten nach EN 423 für die untersuchten Beläge sind in **Anlage 1, Blatt 1 bis 6** aufgeführt (0 = sehr gut bis 4 = sehr schlecht).

Das Auswerteverfahren zur Gewinnung einer Gesamtcharakteristik für die jeweils besten/widerstandsfähigsten bzw. schlechtesten/angreifbarsten Beläge ist in Blatt 1, Tabelle für Einwirkzeit 1 h verdeutlicht. Für das jeweilige Lösungsmittel (in Tabelle zeilenweise) wurden die erreichten Bestnoten grün bzw. die erreichten Schlechtestnoten rot gekennzeichnet. Aus der Senkrechtt-Summierung (belagsbezogen) der grünen bzw. roten Felder wurde für die verschiedenen Einwirkzeiten auf die jeweils besten bzw. schlechtesten Beläge in der Gesamtcharakterisierung geschlossen.

Die Beständigkeiten bzw. Einflüsse der Grundreinigung und nachfolgenden Einpflege auf die Beständigkeiten sind im Überblick wie folgt auszuwerten:

#### Auswirkung der Grundreinigung auf die Chemikalienbeständigkeit

- widerstandsfähigster Belag: PUR
- stärkster Chemikalienangriff auf Lino-MB, PVC-epox 11, KAU

#### Auswirkung der SGD-P auf die Chemikalienbeständigkeit

- kommerzielle Beläge: tendenzielle Verbesserungen insbes. bei Schuhcreme, Ketchup/Öl/Paprika
- Entwicklungsmuster (PVC-epox 11, PVC-nano 13): deutliche Verschlechterungen
- keine Verbesserungen bei stark wirkenden Substanzen: Jodlösung, Tinte, Edding
- widerstandsfähigste Beläge: PVC-he-PUR, PUR
- stärkster Chemikalienangriff auf PVC-he-OB, PVC-nano 13

#### Auswirkung der SGD-PM1 auf die Chemikalienbeständigkeit

- allgemein graduelle Verschlechterung gegenüber Lösungsmittel
- kommerzielle Beläge: tendenzielle Verbesserungen nur für Schuhcreme, Ketchup/Öl/Paprika
- Entwicklungsmuster (PVC-epox 11, PVC-nano 13): deutliche Verschlechterungen
- keine Verbesserungen bei stark wirkenden Chemikalien: Jodlösung, Tinte, Edding
- widerstandsfähigste Beläge: PVC-ho-PUR, PVC-he-PUR
- stärkster Chemikalienangriff auf PVC-he-OB, PVC-nano 13

#### Auswirkung der SGD-PM2 auf die Chemikalienbeständigkeit

- Lösungsmittelangriff bereits nach 2 min noch stärker als bei PM1
- tendenzielle Verschlechterung gegenüber Originalbelägen
- kommerzielle Beläge: Verbesserungen nur für Olivenöl, Ketchup/Öl/Paprika
- widerstandsfähigste Beläge: PVC-ho-PUR, PVC-he-PUR
- stärkster Chemikalienangriff auf PUR, PVC-epox 11

#### Auswirkung der SGD-PW auf die Chemikalienbeständigkeit

- Lösungsmittelangriff bereits nach 2 min hoch
- tendenziell verschlechternd gegenüber Originalbelägen
- kommerzielle Beläge: teilweise Verbesserungen für Olivenöl, Ketchup/Öl/Paprika
- widerstandsfähigster Belag: PVC-he-PUR
- stärkster Chemikalienangriff auf PVC-he-OB, PVC-nano 13

Die ermittelten Werte stehen als Vergleichsbasis für die Eigenschaftsermittlung nach der Durchführung von Anschmutz-/Reinigungszyklen (Punkt 5.4.6) zur Verfügung.

### 5.1.1.3 Migrationsverhalten

Die Werte für das Migrationsverhalten der Weichmacher in den Originalbelägen sind in **Tabelle 7** aufgeführt:

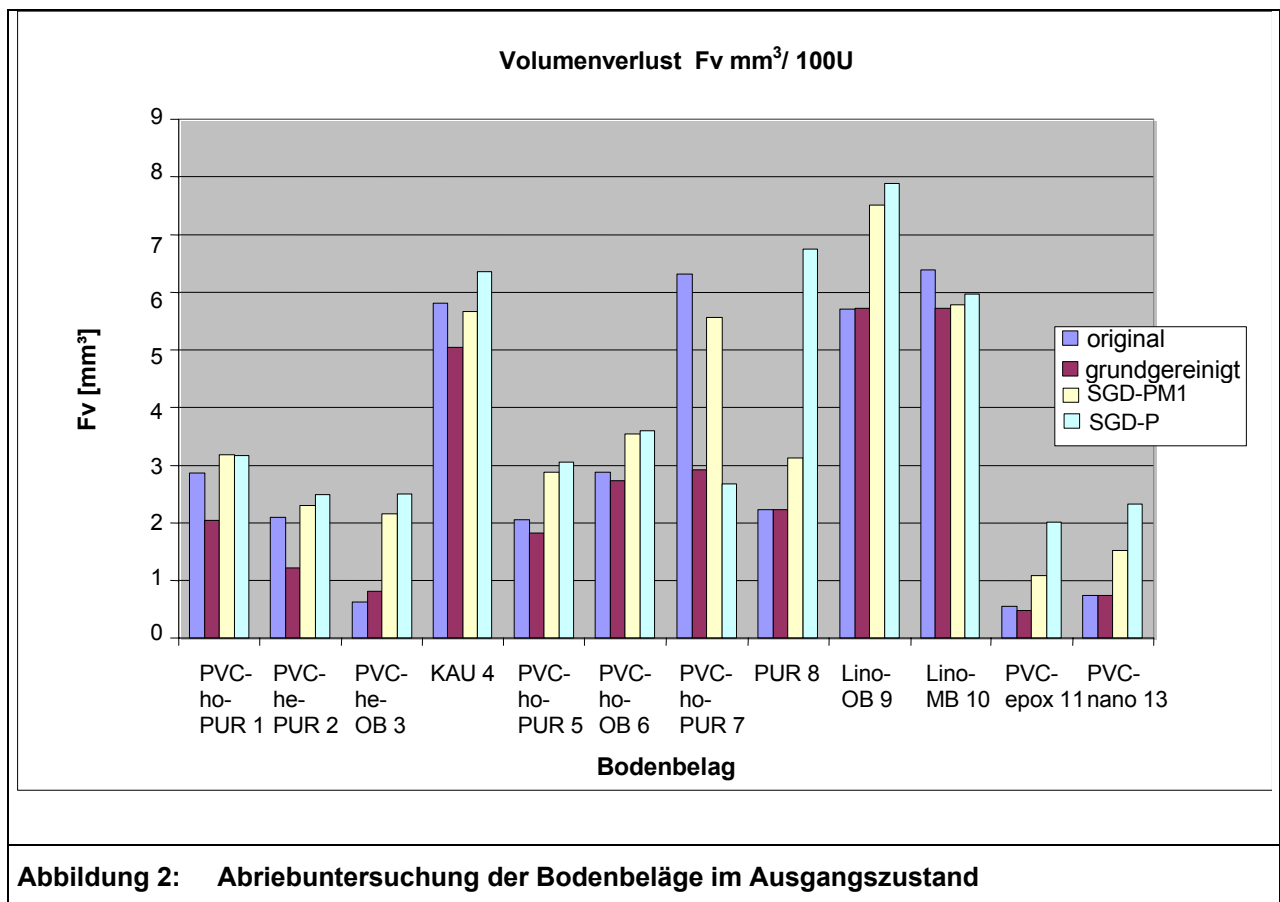
<b>Tabelle 7: Migrationswerte der Bodenbeläge im Ausgangszustand</b>						
<b>Probe</b>	<b>15 Tage-Migrationswert [mg ]</b>					
	<b>Produktionsfrisch</b>	<b>Grundgereinigt</b>	<b>Eingepflegt SGD-P</b>	<b>Eingepflegt SGD-PM1</b>	<b>Eingepflegt SGD-PM2</b>	<b>Eingepflegt SGD-PW</b>
PVC-ho-PUR 1	2,90	2,60	3,27	3,23	3,40	3,07
PVC-he-PUR 2	6,57	6,25	8,70	8,67	8,43	8,93
PVC-he-OB 3	4,90	5,13	8,87	5,53	7,27	16,27
KAU 4	21,10	21,93	19,57	20,60	22,87	21,40
PVC-ho-PUR 5	4,60	4,63	3,67	4,73	4,60	3,77
PVC-ho-OB 6	15,50	15,27	12,77	15,53	15,53	-
PVC-ho-PUR 7	5,20	6,70	5,50	5,27	6,40	5,33
PUR 8	44,90	48,60	35,47	39,20	42,03	38,93
Lino-OB 9	286,40	241,43	179,50	204,20	208,13	198,80
Lino-MB 10	187,53	185,03	137,97	150,27	163,60	151,80
PVC-epox 11	14,80	11,67	11,00	9,30	8,87	8,27
PVC-nano 13	16,17	15,53	13,57	21,13	17,03	14,13

Daraus können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- die Grundreinigung beeinflusst die Migrationseigenschaften nur sehr gering
- die Pflegebefilmungen wirken stattdessen migrationsmindernd bei hohen Werten (zurückzuführen auf eine Minderung der Migrationsgeschwindigkeit) bzw. migrationserhöhend bei niedrigen Werten für den Originalbelag (zurückzuführen auf einen Übergang von Pflegefilmbestandteilen in die migrierende Masse).

### 5.1.1.4 Abrieb

In **Abbildung 2** sind die Abriebwerte für die Originalbeläge dargestellt:

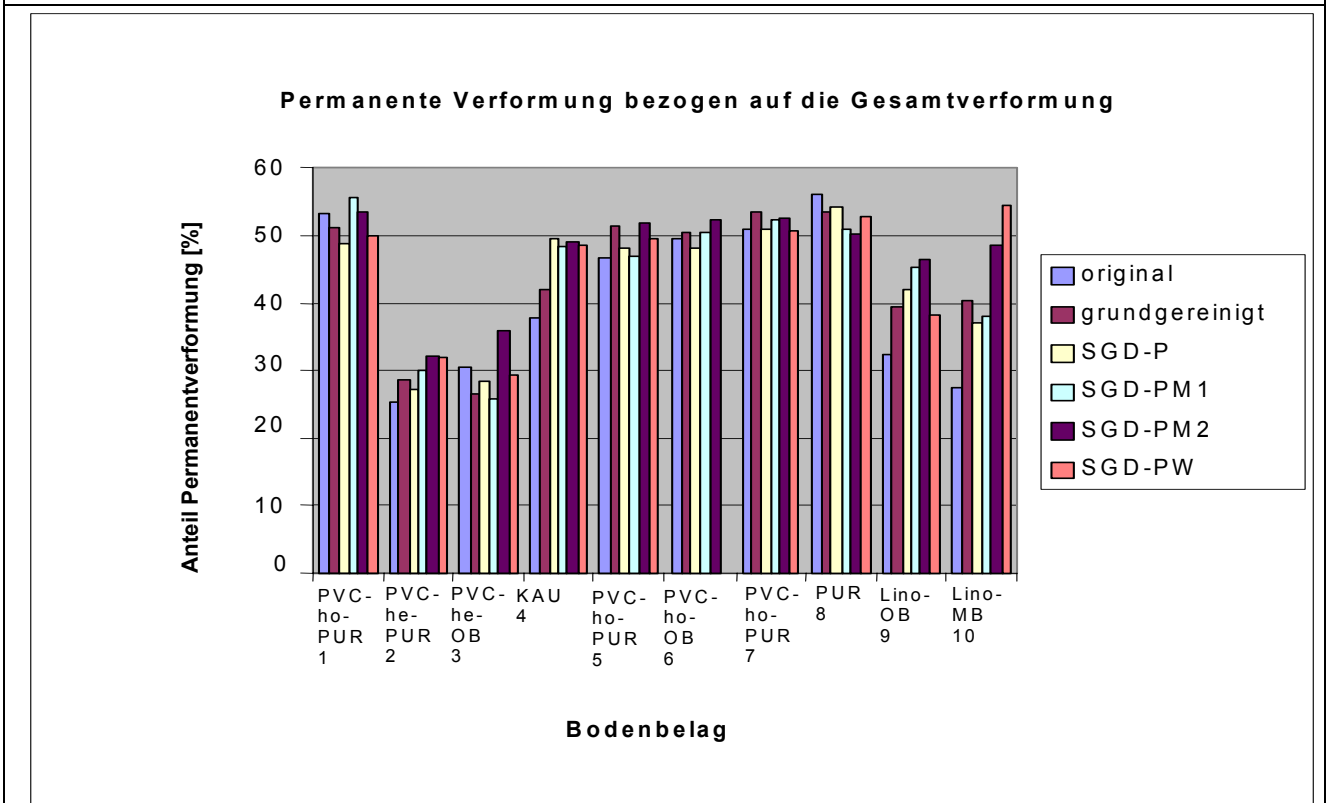
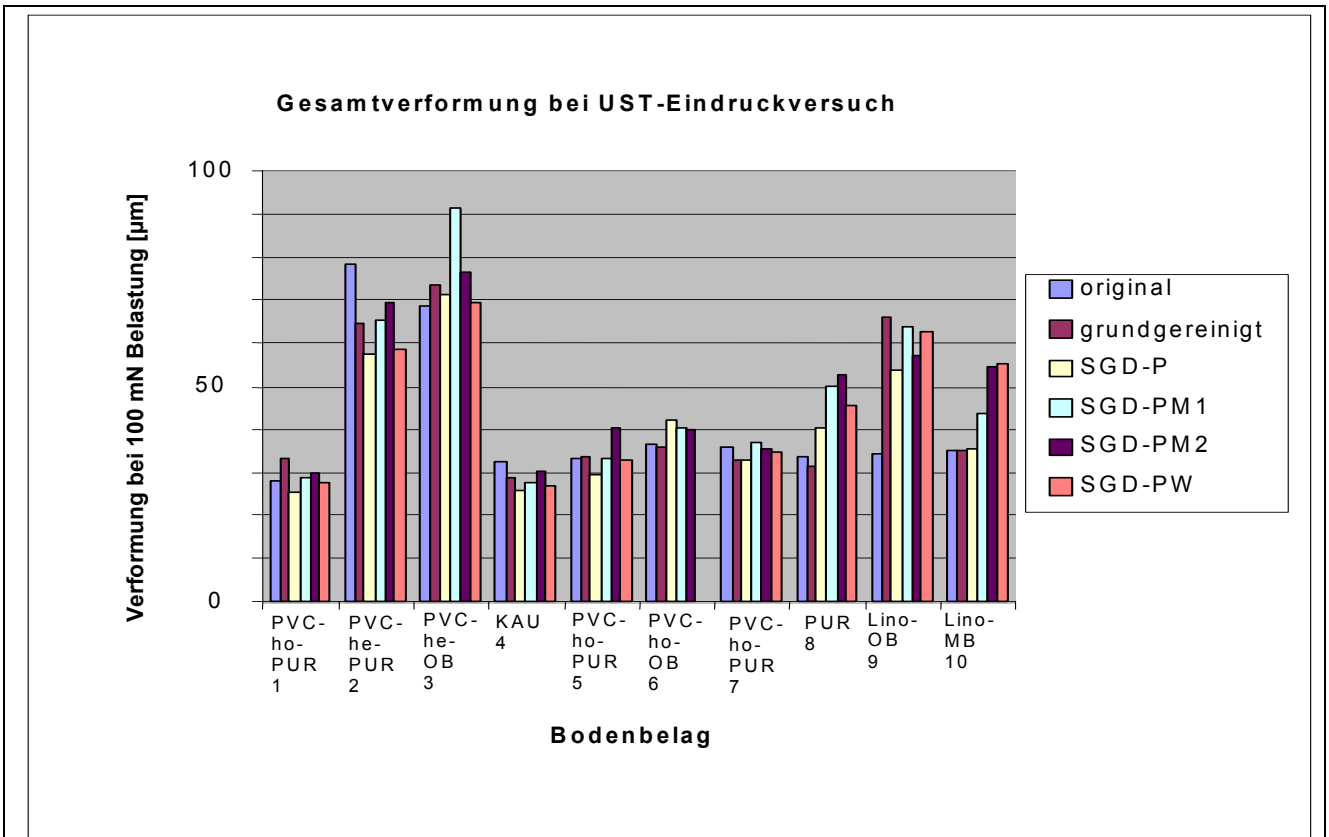


Die Werte sind stark unterschiedlich und werden durch herstellerseitige Oberflächenvergütungen nicht immer positiv beeinflusst. Es ist zu erkennen, dass in der Tendenz die Grundreinigung zu einer Verminderung der Abriebwerte führt, während für die eingepflegten Beläge in der Mehrzahl der Fälle ein Ansteigen des Abriebwertes zu verzeichnen ist.

Die oben dargestellten Werte stellen die Vergleichsbasis für die nach fünf Reinigungszyklen (Punkt 5.4.8) zu beurteilenden Abriebeigenschaften dar.

### 5.1.1.5 Mikroelastizität

Die Ergebnisse der Mikroverformungsversuche an den kommerziellen Bodenbelägen mittels Universal Surface Tester sind in **Abbildung 3** dargestellt. Ausgewertet wurden die bei der gewählten Belastung von 100 mN bewirkten Gesamtverformungen, die Auskunft über die Weichheit des Belages geben sowie der prozentuale Anteil der permanenten Verformung (nach Entlastung) an der Gesamtverformung, der die Elastizität des Belages kennzeichnet.



**Abbildung 3: Mikroelastizitätsuntersuchung der Bodenbeläge im Ausgangszustand**  
*oben: Gesamtverformung nach 100 mN Belastung*  
*unten: prozentueller Anteil der Permanentverformung*

Auswertend ist aus dem Diagramm für die Gesamtverformung (**Abbildung 3**, oben) abzulesen, dass sich die PVC – und Kautschukbeläge durch die Grundreinigung und Einpflege im wesentlichen nur graduell verändern. Stark beeinflusst werden hingegen die PUR und Linoleum-Beläge (vor allem ohne die permanente Topshield®-Ausrüstung), insbesondere durch die Einpflegedispersionen. Die Beläge werden weicher (da größere Gesamtverformung).

In der nach der Entlastung permanent verbleibenden Verformung (**Abbildung 3**, unten) besitzen vor allem die Linoleum-Beläge die höheren Werte, d.h. diese Beläge werden durch die Grundreinigung/Einpflege nicht nur weicher sondern auch unelastischer.

Die Verformungswerte für die im Rahmen der Arbeiten hergestellten Belagsarten PVC-epox 11 und PVC-nano 13 mit modifiziertem Weichmachersystem bzw. mit Nano-Fillern modifizierter Deckschicht wurden nur an den unbehandelten Originalbelägen ermittelt. Die Werte lagen in der Größenordnung der unmodifizierten PVC-Beläge PVC-he-PUR 2, so dass auf eine analoge Beeinflussung der Werte durch die Grundreinigungs- bzw. Einpflegevorgänge geschlossen wurde.

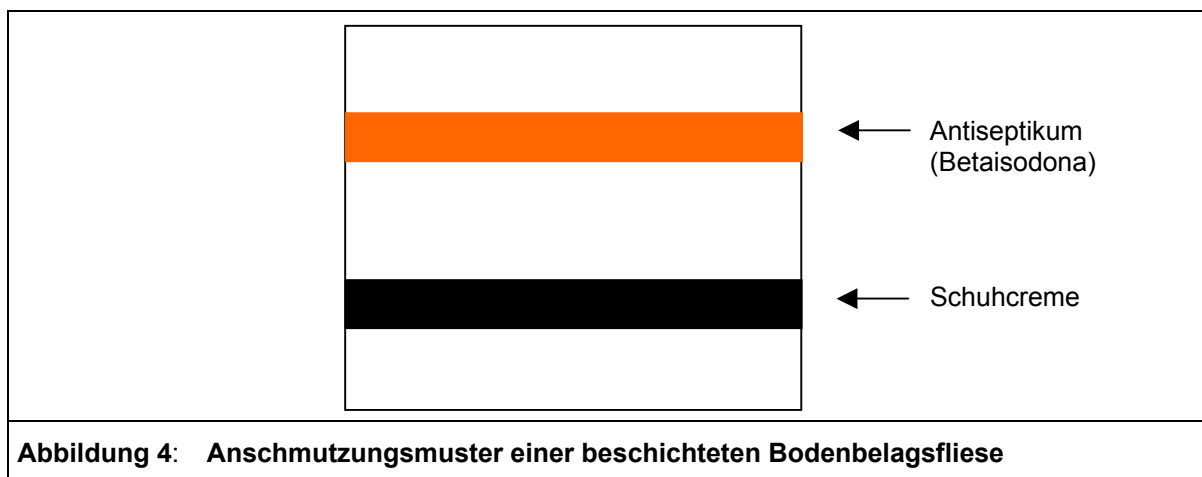
### Nachweis von Alterungsvorgängen durch Bestimmung der Mikroelastizität

Zur Feststellung der Tauglichkeit der Mikroelastizitätsprüfung wurden die kommerziellen Beläge (1 bis 10) im produktionsfrischen und im grundgereinigten Zustand Lichtalterungsuntersuchungen (entsprechend Lichtechtheitsprüfung nach ISO 105 B02) unterzogen. Nach jeder Alterung wurden die Mikroelastizitäten mittels UST bestimmt.

Wie in **Anlage 2** zu sehen, ist bei einmaliger Lichtalterung die Gesamtverformung gegenüber dem Originalbelag unverändert. Im Gegensatz dazu, sinkt die Gesamtverformung bei zweimaliger Lichtalterung, während die permanente Verformung steigt. So erklärt sich, warum nach zweimaliger Lichtalterung die Beläge härter und unelastischer werden. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde das Verfahren zur Aufdeckung von Alterungsvorgängen bei den Reinigungsverfahren eingesetzt.

#### 5.1.2 Entwicklung von angeschmutzten Testmonitoren

Die Schuhcreme (13 g/m<sup>2</sup>) wurde mit einem gesättigten Pinsel und das Antiseptikum (13 ml/m<sup>2</sup>) durch Pipetieren und Verteilen mit einem gesättigtem Pinsel aufgebracht. Beide Schmutzarten wurden zunächst großflächig, auf jeweils einer Hälfte der zu reinigenden Bodenfliese (40 x 40 cm<sup>2</sup>), und für Laserversuche alternativ als Streifen (2 x 40 cm<sup>2</sup>), wie in **Abbildung 4** dargestellt.

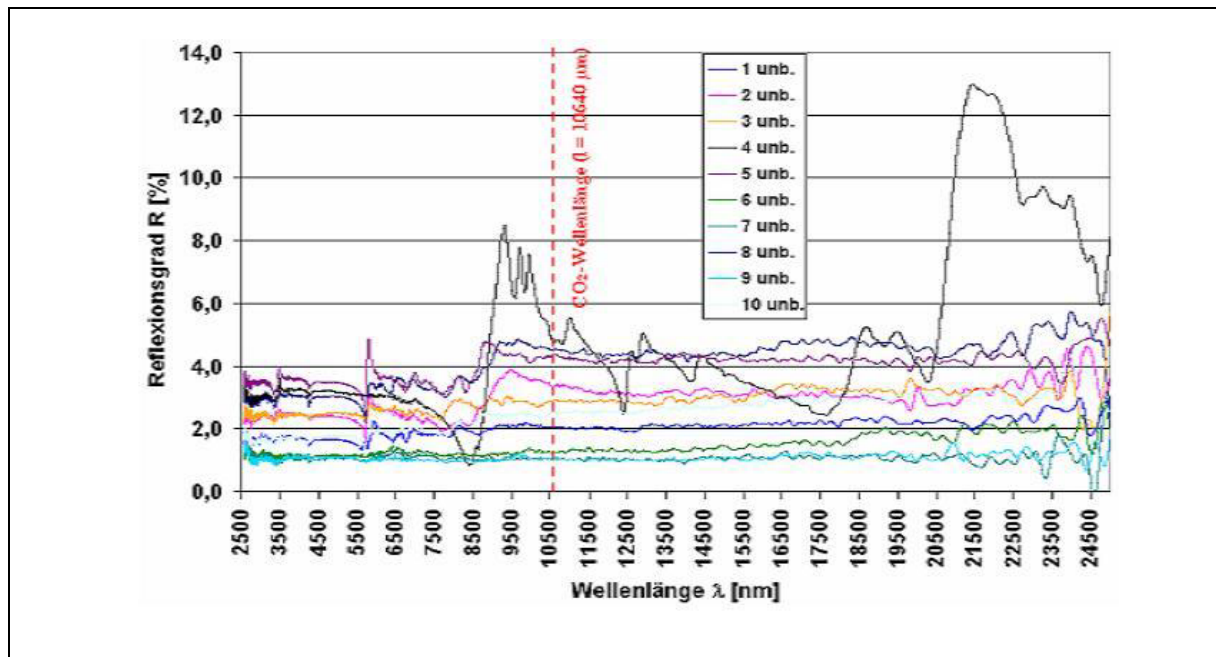


## 5.2 Laserentschichtungsverfahren

### 5.2.1 Kriterien zur Laserauswahl basierend auf optischen Eigenschaften von Pflegebefilmungen und Bodenbelägen

Die Auswahl des für die Entschichtungsversuche am besten geeigneten Lasersystems erfolgte über die Bestimmung der optischen Eigenschaften der Pflegebefilmungen (Punkt 4.2). Als Voraussetzungen für eine effiziente Entschichtung einer Pflegebefilmung mit Laserstrahlung gelten ein hohes Absorptionsvermögen und ein hohes Reflexionsvermögen an der Deckschicht bzw. Nutzsicht.

Als Erstes wurden die unbeschichteten Bodenbeläge (**Tabelle 1**) spektrometrisch untersucht. Wie in **Abbildung 5** gezeigt, ist der Reflexionsgrad der unterschiedlichen Bodenbelagsmaterialien für die Wellenlänge der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung (10640 nm) im Bereich von 1-5 %.



**Abbildung 5: Reflexion von Bodenbelägen in Abhängigkeit von der Wellenlänge im mittleren Infrarotbereich**

Die UV-VIS-Messungen im nahen Infrarotbereich (800 bis 2000 nm) mit dem Dioden- bzw. Nd:YAG-Laser (**Abbildung 6**) zeigen, dass der Transmissionsgrad T der unmodifizierten Pflegebefilmungen (**Tabelle 3**) im Mittel ca. 92 % beträgt. Bei typischen Reflexionsverlusten von ca. 4 % an jeder Grenzfläche (Vorder- und Rückseite) der Probe (vergl. **Abbildung 5**) resultiert daraus ein Absorptionsgrad von ca. 0 %, so dass beim Einsatz von Dioden- bzw. Nd:YAG-Lasern nahezu keine Laserstrahlung an den modifizierten Pflegebefilmungen absorbiert wird. Laserstrahlung im Wellenlängenbereich von 800 – 1100 nm (Dioden- und Nd:YAG-Laser) würde in diesem Fall mit nahezu der ursprünglichen Leistung auf den Bodenbelag einstrahlen und möglicherweise zu Schädigungen führen.

Nur durch Modifikation der Pflegebefilmung (mit z.B. absorbierenden Additiven) ist ein ausreichender Absorptionsgrad zu realisieren, so dass eine Bearbeitung mit Dioden- und Nd:YAG-Laserstrahlung möglich ist. Hierzu wurden weitere Versuche durchgeführt.

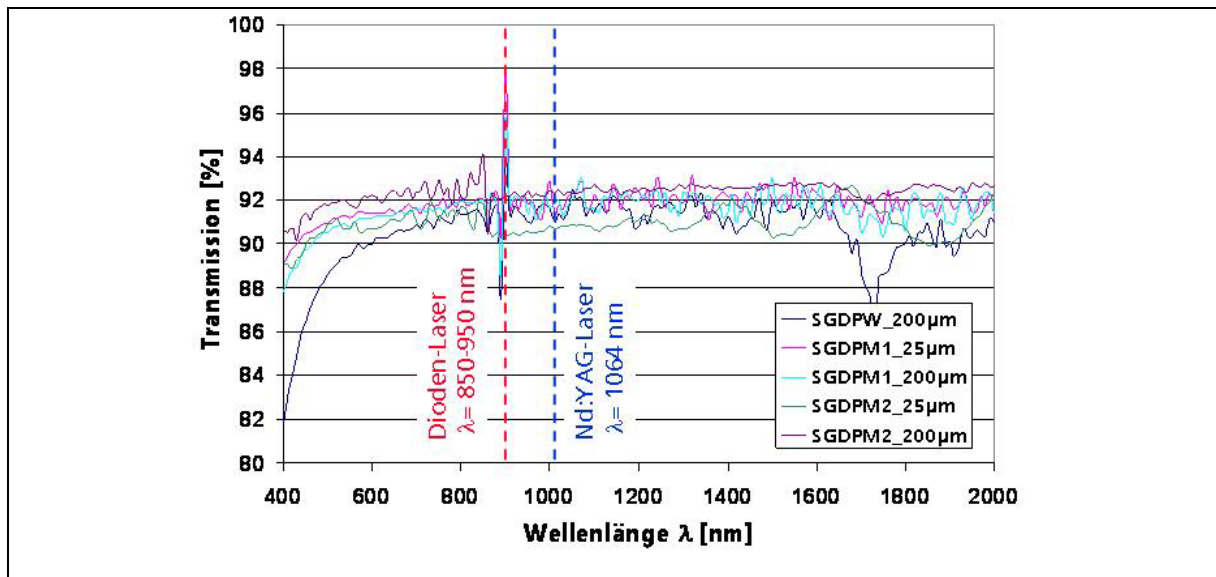


Abbildung 6: UV-VIS-Messungen unmodifizierter Pflegebefilmungen (Filmdicke 25 bzw. 200 µm)

Die Ergebnisse der FTIR-Spektrometrie im mittleren Infrarotbereich (2,5 bis 25 µm) an SGD-P (stellvertretend für alle unmodifizierten Pflegebefilmungen, **Abbildung 7**) zeigten dagegen Wellenlängenbereiche (2500 – 2600 nm und 3500 – 4700 nm) mit bis zu 90 % Absorptionsgrad. Für diese Wellenlängenbereiche sind allerdings entweder keine Laserstrahlquellen oder nur Laserstrahlquellen mit niedrigen Ausgangsleistungen (< 10 W) verfügbar. Auf Grund der angestrebten Flächenrate sind aber Lasersysteme mit einer mittleren Ausgangsleistung von >> 10 W erforderlich.

Für die Wellenlänge der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung (10640 nm) betrug der Absorptionsgrad ca. 40 % bei einer Schichtdicke von 25 µm, bzw. ca. 70 % bei einer Schichtdicke von 200 µm. Auf Grund der größeren Schichtdicke von 200 µm wurde auch ein größerer Absorptionsgrad gemessen (vgl. Lambert-Beersches Gesetz, Gleichung 2).

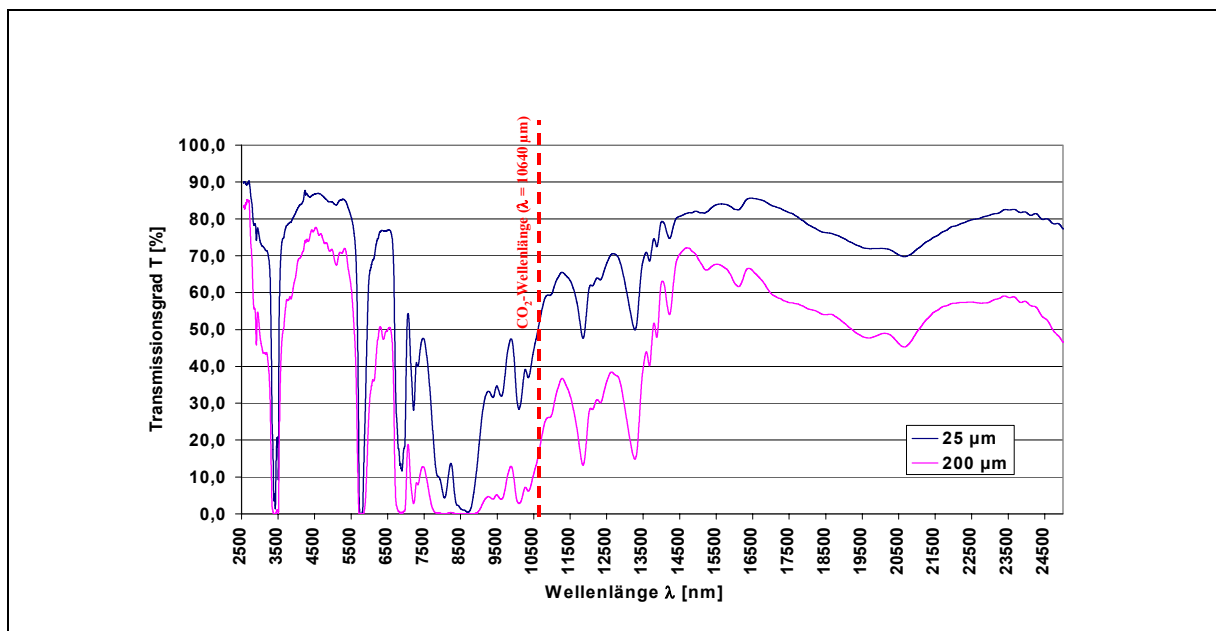


Abbildung 7: FTIR-Messung von Pflegebefilmungen (Filmdicke 25 bzw. 200 µm) am Beispiel von SGD-P



**Tabelle 8** gibt einen zusammenfassenden Überblick der spektrometrisch bestimmten Reflexions- und Transmissionsgrade, sowie dem rechnerisch daraus resultierendem Absorptionsgrad für unmodifizierte (**Tabelle 3**) bzw. modifizierte (**Tabelle 4**) Pflegebefilmungen. Die Tabelle ist weiterhin unterteilt in den Wellenlängenbereich (900 – 1064 nm), der für Dioden- und Nd:YAG-Laserstrahlung relevant ist, und der Wellenlänge des CO<sub>2</sub>-Lasers (10,64 µm). Je größer der Absorptionsgrad bei einer der Wellenlängen ist, desto besser kann damit voraussichtlich eine Entschichtung erzielt werden. In der letzten Spalte ist die Laserstrahlquelle angegeben, die auf Basis der spektrometrischen Messungen am besten für die Entschichtung geeignet ist.

Eine Entschichtung der kommerziell erhältlichen (unmodifizierten) Pflegebefilmungen (**Tabelle 8**, Zeilen 1 bis 4) mit Nd:YAG-Laserstrahlung ist wegen der geringen Absorption von ca. 0 % demnach nicht möglich. Um dies unter realen Bedingungen zu prüfen, wurden unmodifizierte Pflegebefilmungen in typischen Schichtdicken auf Glasscheiben aufgetragen und Versuche zum Entschichten mit Nd:YAG-Laserstrahlung durchgeführt. Auch bei der Bearbeitung mit fokussierter Laserstrahlung und der größten einstellbaren Laserleistung (100 W) konnten keine Veränderungen oder ein Abtrag der Pflegebefilmung beobachtet werden.

Für die unmodifizierten Pflegebefilmungen ist daher nur eine Bearbeitung mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung möglich. Die Absorptionsgrade liegen im Mittel bei 50 %.

Der höchste Absorptionsgrad wurde für SGD-PM1 mit dem Additiv Ruß erzielt. Aufgrund der sehr dunklen Färbung ist diese Pflegebefilmung allerdings ungeeignet für den Einsatz auf Bodenbelägen. Die handelsüblichen Pflegebefilmungen sowie einige der modifizierten Pflegebefilmungen auf Basis von SGD-PM1 konnten mit dem CO<sub>2</sub>-Laser entfernt werden.

Für andere modifizierten Pflegefilme, wie SGD-P/HT-Stab 11087, SGD-PM1/ATO und SGD-PM1/HT-Stab 11087, wurden im Wellenlängenbereich von 900 – 1064 nm Absorptionsgrade von 40-50 % gemessen. Demnach eignen sich diese Pflegebefilmungen für das Entschichten mit Dioden- oder Nd:YAG-Laserstrahlung.

**Tabelle 8: Reflexions- und Transmissionswerte mit daraus berechnetem Absorptionsgrad mittels UV-VIS und FTIR-Spektrometrie**

		Dicke [µm]	UV-VIS (λ = 900nm bzw. 1064 nm)			FTIR (λ = 10,6 µm)			Eignung für Laser
			R [%]	T [%]	A [%]	R [%]	T [%]	A [%]	
Pflege-schicht	SGD-P	25; 200	≈ 2-6	≈ 90-92	0	≈ 2 - 6	≈ 20-50	≈ 40-70	CO <sub>2</sub> (10,6 µm)
	SGD-PW	"	"	"	0	"	≈ 40 - 50	≈ 50	"
	SGD-PM1	"	"	"	0	"	"	≈ 50	"
	SGD-PM2	"	"	"	0	"	"	≈ 50	"
	SGD-PM1 + HT-Dry 91026	200	≈ 8	≈ 90	0	< 0,03	40	≈ 50	CO <sub>2</sub> (10,6 µm)
	SGD-PM1 + TiO <sub>2</sub>	"	≈ 12-15	≈ 85	0	"	20	≈ 80	"
	SGD-PM1 + Flammruß	"	≈ 5	≈ 10	≈ 80 - 85	"	5	≈ 90	Nd:YAG (1064 nm); CO <sub>2</sub> (10,6 µm)
	SGD-P + ITO	"	-	-	-				
	SGD-P + ATO	"	-	≈ 80	< 10				
	SGD-P + HAT-Stab 11087	"	≈ 5-15	≈ 40-50	≈ 40 - 50				Diode (900 nm); Nd:YAG (1064 nm)
	SGD-PM1 + ITO	"	"	≈ 75-85	< 10				
	SGD-PM1 + ATO	"	"	≈ 35	≈ 50 - 60				Erbium (1550 nm)
	SGD-PM1 + HAT-Stab 11087	"	"	≈ 40-50	≈ 40 - 50				Diode (900 nm); Nd:YAG (1064 nm)
	SGD-PM1 + ZnO	"	"	80-90	0				
Deck-schicht	DSD 1 PVC-W	200; 400	≈ 10	≈ 80-90	< 10	1 - 4	< 2	≈ 80-90	ungeeignet für alle Wellenlängen

Weiterhin wurden die optischen Eigenschaften einer neu entwickelten Deckschicht DSD 1 PVC-W (Dicke 200 und 400  $\mu\text{m}$ ) untersucht. Die Deckschicht soll zwischen Bodenbelag und Pflegebefilmung aufgetragen werden und eine Wechselwirkung der Laserstrahlung mit dem Bodenbelag verhindern. Die gemessenen Reflexionsgrade  $R$  betragen ca. 10% für Dioden- und Nd:YAG-Laserstrahlung bzw. lagen im Bereich von 1 – 4 % für  $\text{CO}_2$ -Laserstrahlung. Sie ist somit für den Einsatz als Reflexionschicht bzw. zur Vermeidung von Belagszerstörungen voraussichtlich ungeeignet.

**Zusammenfassend** ergab sich aus den optischen Untersuchungen der eingesetzten Pflegebefilmungen, dass die weiteren Untersuchungen zur Laserentschichtung aufgrund der deutlich höheren Absorptionsgrade bei der Wellenlänge der  $\text{CO}_2$ -Laserstrahlung (10,64  $\mu\text{m}$ ) durchgeführt werden. Dementsprechend wurde ein  $\text{CO}_2$ -Laser FEHA SM 400 P mit einer maximalen Ausgangsleistung  $P_W$  von 340 W und einer Strahlführung mittels Scanner für die Entschichtungsversuche eingesetzt.

### 5.2.2 Festlegung von Verfahrensparametern

Zur Bestimmung der optimalen Parameter des  $\text{CO}_2$ -Lasers wurden zuerst kleine Flächen (Felder mit Abmessungen von  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ) und im Anschluss größere Flächen ( $10 \times 40 \text{ cm}^2$ , im Weiteren „Bahnen“ bezeichnet) untersucht (entschichtet). Es wurde wie folgt vorgegangen:

1. In einem ersten Schritt wurde mit konstanten Strahldurchmesser  $d_{x,y}$  (2,4 mm) und Scangeschwindigkeit  $v_s$  (5 m/s) eine Variation der Laserleistung  $P_L$  von 80 bis 340 W (entspricht einer Variation der Intensität  $I$  von 1 bis 1,5  $\text{kW/cm}^2$ ) und eine Variation des Spurversatzes  $dy$  (0,3 bis 3 mm) auf kleinen Flächen vorgenommen.
2. Da im ersten Schritt nicht der gewünschte Abtrag erzielt wurde, erfolgte in einem zweiten Schritt eine sukzessive Vergrößerung des Strahldurchmessers  $d_{x,y}$  (von 2,4 bis 3 mm) und entsprechende Anpassung der Intensität  $I$  und des Spurversatzes  $dy$ .

Aus dieser Vorgehensweise ergab sich ein Strahldurchmesser  $d_{x,y}$  von 3 mm und ein Spurversatz  $dy$  von 0,3 mm als geeignete Parameter für das Entschichten.

3. Mit diesen Parametern wurde weiterhin an allen Bodenbelägen mit der Beschichtung SGD-P eine Variation der Intensität  $I$  vorgenommen.
4. Die Ergebnisse dieser Parametervariation wurden auf alle Bodenbeläge mit den Pflegebefilmungen SGD-PW, SGD-PM1 und SGD-PM2 übertragen und durch eine Variation der Scangeschwindigkeit  $v_s$  (0,4 bis 4 m/s) weiter angepasst (kleine Flächen).

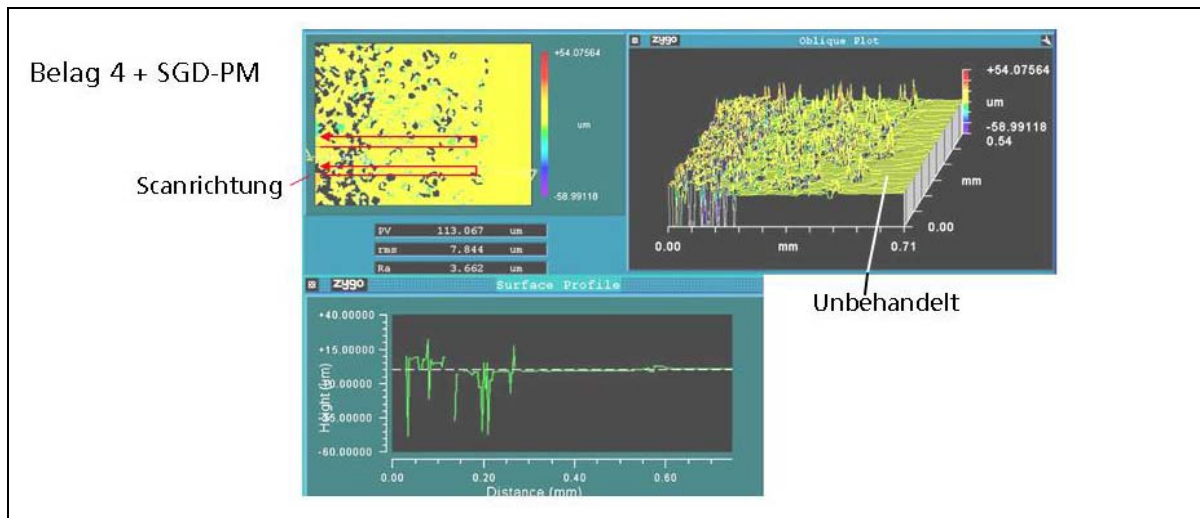
Zur Erhöhung der Flächenrate und zur Annäherung an die praxisrelevanten Arbeitsbedingungen wurde eine großflächigere Entschichtung (Bahnen) angestrebt.

5. Die bisherigen Verfahrensbedingungen und auch der Versuchsaufbau mussten an die neuen Randbedingungen angepasst werden. Höhere Laserintensitäten (bis 2,1  $\text{kW/cm}^2$ ) und relativ niedrige Scangeschwindigkeiten (1,7 bis 2,3 m/s) waren erforderlich. Die Bahnen wurden jeweils von zwei Blechen flankiert. Während des mäanderförmigen Scans befanden sich somit die Laserstrahl-Umkehrpunkte außerhalb des Bodenbelags.

### 5.3 Ergebnisse der Laserentschichtung

Die mit dem Laserstrahl behandelten Proben wurden mittels Weißlichtinterferometrie, Rauheitsmessung bzw. Lichtmikroskopie und visuell analysiert.

Die Weißlichtinterferometrie ließ, genau wie die Rauheitsmessungen, keine Aussage über den Abtrag zu. **Abbildung 8** zeigt ein Beispiel für den Bodenbelag KAU 4 mit SGD-PM1 in Draufsicht mit der eingezeichneten Scanrichtung (oben links), eine isometrische Darstellung (oben rechts) und den zugehörigen Querschnitt (unten).

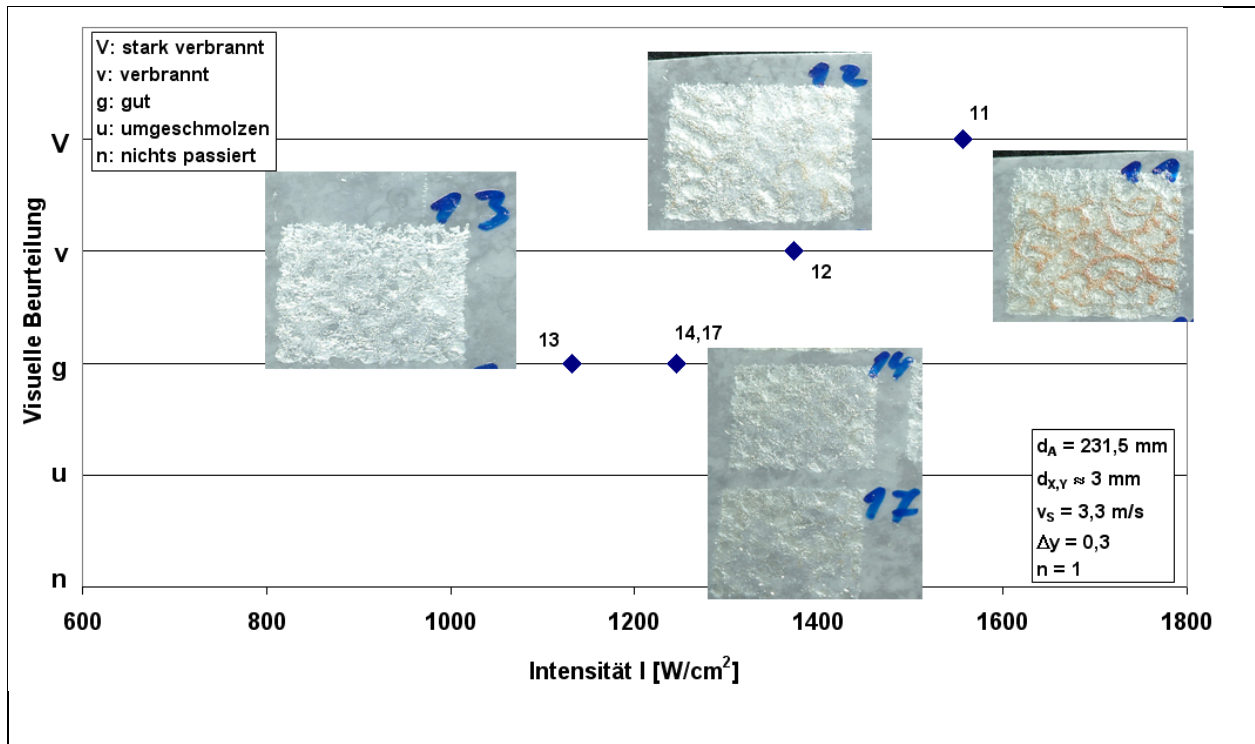


**Abbildung 8: Weißlichtinterferometrie nach Laserentschichtung (Belag KAU 4 + SGD-PM1)**

Die visuelle Beurteilung ist eine erste subjektive nicht quantifizierbare Beurteilung. Eine Bestätigung, ob eine Entschichtung stattgefunden hat, konnte nur durch die lichtmikroskopische Beurteilung erfolgen.

### 5.3.1 Entschichtung nicht angeschmutzter Pflegebefilmungen

Zunächst wurde der Abtrag der Pflegebefilmungen ohne Anschmutzung untersucht. In **Abbildung 9** ist das Entschichtungsergebnis auf kleinen Flächen (2 x 2 cm<sup>2</sup>) in Abhängigkeit der Intensität bei einem sonst konstanten Parametersatz beispielhaft am Bodenbelag PVC-ho-PUR 1 mit SGD-P dargestellt.



**Abbildung 9: Entschichtung kleiner Flächen (2 x 2 cm<sup>2</sup>) in Abhängigkeit der Intensität am Beispiel des Bodenbelags PVC-he-PUR 1 mit SGD-P (d<sub>xy</sub>: 3 mm; dy: 0,3 mm; P<sub>L</sub>: 80 - 340 W; v<sub>s</sub>: 3,3 m/s)**

In **Tabelle 9** werden zusammenfassend die Entschichtungsergebnisse kleiner Flächen nach visueller Beurteilung dargestellt.

Die besten Ergebnisse sind farbig unterlegt und wurden an KAU 4 sowie Lino-MB 10 erzielt. An PVC-ho-PUR 2 und PUR 8 wurden noch akzeptable Ergebnisse erzielt, wobei jedoch zum Teil Reste und umgeschmolzene sowie aufgequollene Anteile der Pflegebefilmung zurück bleiben.

**Tabelle 9: Bewertung der Entschichtung befilmter und nicht angeschmutzter Bodenbeläge (kleine Flächen)**

	SGD-P	SGD-PW	SGD-PM1	SGD-PM2
PVC-ho-PUR 1	u	g/v	g	u/g
PVC-he-PUR 2	u/v	u/g	u/g	g
PVC-he-OB 3	u/v	u	u/v	u
KAU 4	g	g	g	g
PVC-ho-PUR 5	g / v	u	g	u
PVC-ho-OB 6	u / v	u/v	u	u/g
PVC-ho-PUR 7	u/v	u	g	g
PUR 8	g	g	u	u/g
Lino-OB 9	u/v	g	g	g
Lino-MB 10	g	g	g	g

g: gut  
 v: verbrannt  
 u: umgeschmolzen

### 5.3.2 Entschichtung angeschmutzter Pflegebefilmungen

Erste Untersuchungen zum Entschichten mit den ohne Anschmutzung erarbeiteten Verfahrensparametern für kleine, bzw. große Flächen zeigten keine Übertragbarkeit der Entschichtungsergebnisse auf Bedingungen mit Anschmutzungen.

**Abbildung 10** zeigt beispielhaft die Entschichtungsergebnisse in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit an Bodenbelag PUR 8 mit SGD-PM1 und der Anschmutzung Schuhcreme (Kiwi) für kleine Bodenbelagsflächen. Durch eine Reduzierung der Geschwindigkeit  $v_s$  von 5,0 auf 2,5 m/s wurde der Abtrag verbessert. Die auf dem Belag verbliebene Pflegebefilmung ließ sich nach der Laserstrahlbehandlung mit dem Fingernagel abkratzen. In weiteren Untersuchungen wurde daher überprüft, ob sich die mit Laserstrahlung behandelten Schichten durch mechanische Behandlung (z.B. Bürsten) vollständig entfernen lassen (siehe Punkt 5.3.9). Hierzu wurde der Einsatz einer praxisüblichen Scheuersaugmaschine untersucht.

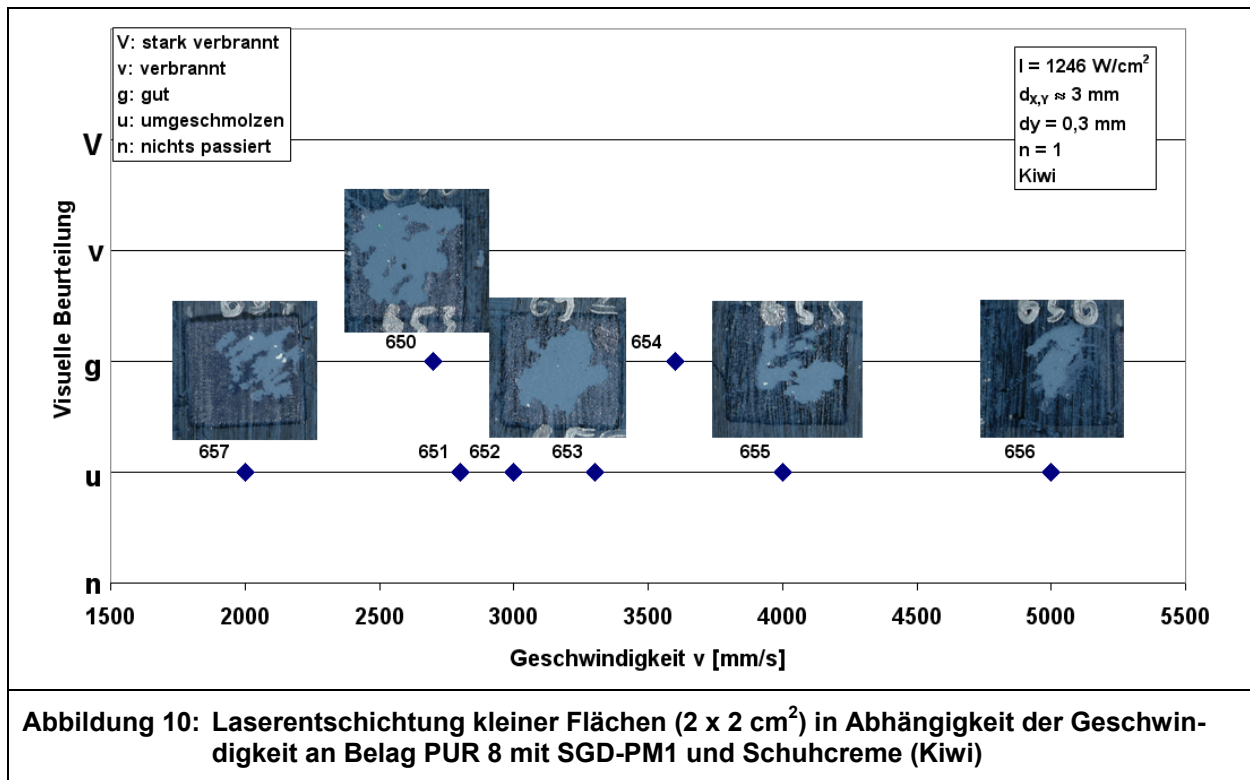
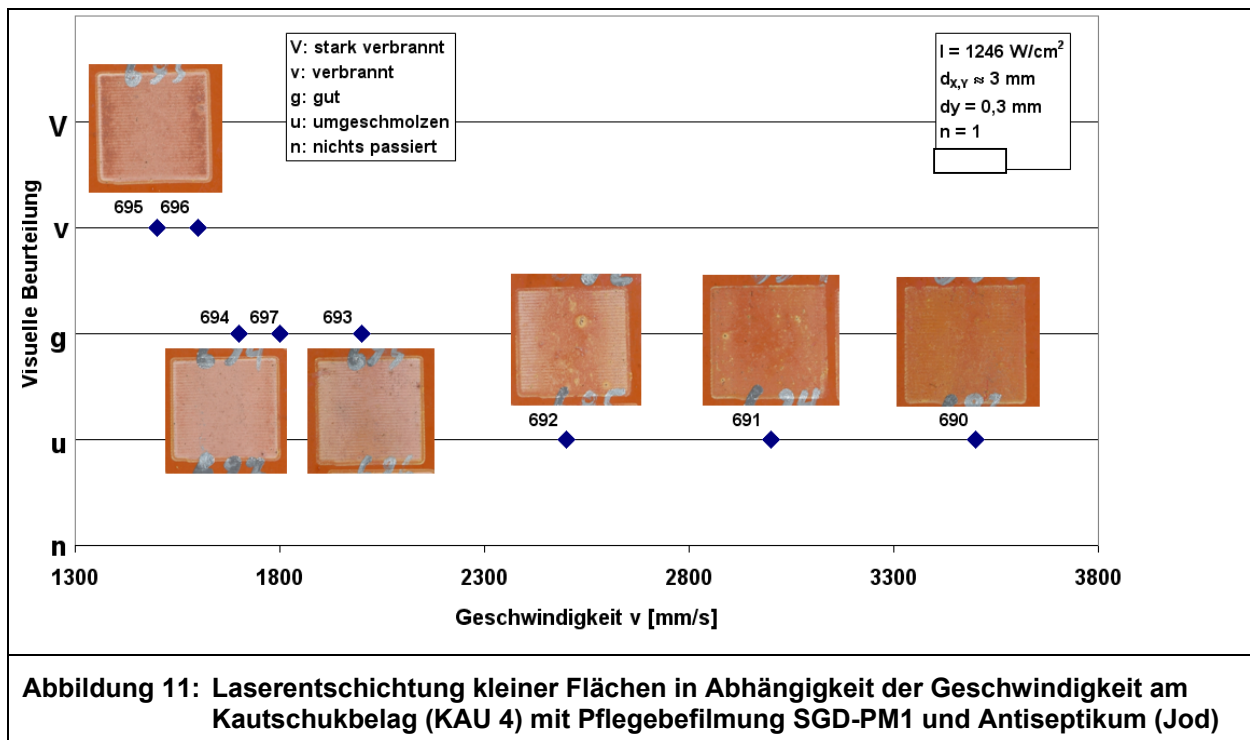


Abbildung 11 stellt das Ergebnis der Laserentschichtung am Kautschukbelag (KAU 4) mit Pflegefilm SGD-PM 1 und Jodanschmutzung dar. Bei einer konstanten Laserstrahlintensität wurde eine Geschwindigkeitsvariation von 1300 -3400 mm/s durchgeführt. Auf Grund der Anschmutzung wird bei einer Geschwindigkeit von 3400 mm/s (Parameter für nicht angeschmutzte Bodenbeläge) lediglich ein An- bzw. Umschmelzen der Pflegebefilmung, aber keine Entschichtung des Bodenbelags erzielt. Erst durch eine Reduzierung der Geschwindigkeit wird im Bereich von 1700 – 2000 mm/s eine gute Entschichtung realisiert. Wird die Geschwindigkeit noch weiter reduziert ( $< 1700 \text{ mm/s}$ ), führt dies zu Verbrennungen am Bodenbelag.



In **Tabelle 10** sind die Ergebnisse der Entschichtung mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung von mit SGD-P und SGD-PM1 befilmten und angeschmutzten Belägen (kleine Flächen) zusammenfassend dargestellt. Die farbig hinterlegten Felder stellen die besten Ergebnisse dar, wobei besonders die Möglichkeit einer mechanischen Abtragung (z.B. durch Kratzen mit dem Fingernagel) berücksichtigt wurde. Diese Ergebnisse zeigen, dass bei einem ansonsten festen Parametersatz nur durch Variation der Scangeschwindigkeit ein Abtrag an den meisten Bodenbelägen und Pflegebefilmungen möglich war. Die mit Antiseptikum angeschmutzten Pflegebefilmungen ließen sich danach grundsätzlich besser abtragen als die mit Schuhcreme angeschmutzten.

**Tabelle 10: Laserentschichtung kleiner Flächen (2 x 2 cm<sup>2</sup>) bei konstantem Parametersatz (I: 1246 W/cm<sup>2</sup>; d<sub>x,y</sub>: 3 mm; d<sub>y</sub>: 0,3 mm; n = 1)**

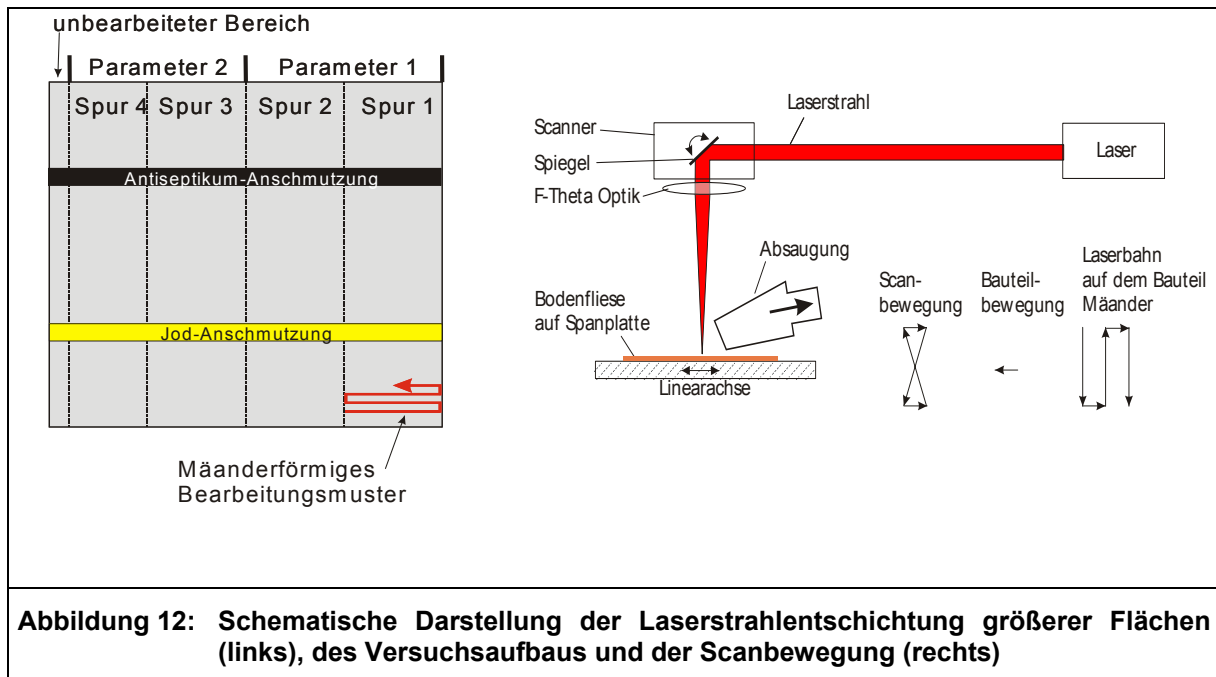
Bodenbelag	Schmutz	SGD-P			SGD-PM1		
			mech. Abtrag	vS (m/s)		mech. Abtrag	vS (m/s)
PVC-ho-PUR 1	Antiseptikum	g	g	2,3	g	g	2,0
	Schuhcreme	p	g	2,4	p	g	1,8
PVC-he-PUR 2	Antiseptikum	g	u / f	2,4	g	u / f	2,6
	Schuhcreme	u	g	2,4	p	u	2,8
KAU 4	Antiseptikum	g	u	2,4	g	u / f	1,7
	Schuhcreme	g	u/f	1,0	g	u	2,0
PVC-ho-OB 6	Antiseptikum	u	g	2,5	g	g	3,0
	Schuhcreme	u	gg	2,3	g	p	2,4
PUR 8	Antiseptikum	g	g	2,0	g	u / f	2,3
	Schuhcreme	g	u / f	2,0	g	g	2,7
Lino-MB 10	Antiseptikum	g	gg	2,0	g	u / f	2,2
	Schuhcreme	g	g	2,0	g	u / f	2,3
PVC-nano 13	Antiseptikum	u	g	2,5	g	p	2,75
	Schuhcreme	u	g	2,6	u	p	2,6
PVC-nano 14	Antiseptikum	u	g	3,6	g	p	2,4
	Schuhcreme	u	g	3,0	u	u	2,0

g: gut  
v: verbrannt  
u: umgeschmolzen  
p: partiell abgetragen  
f: fest

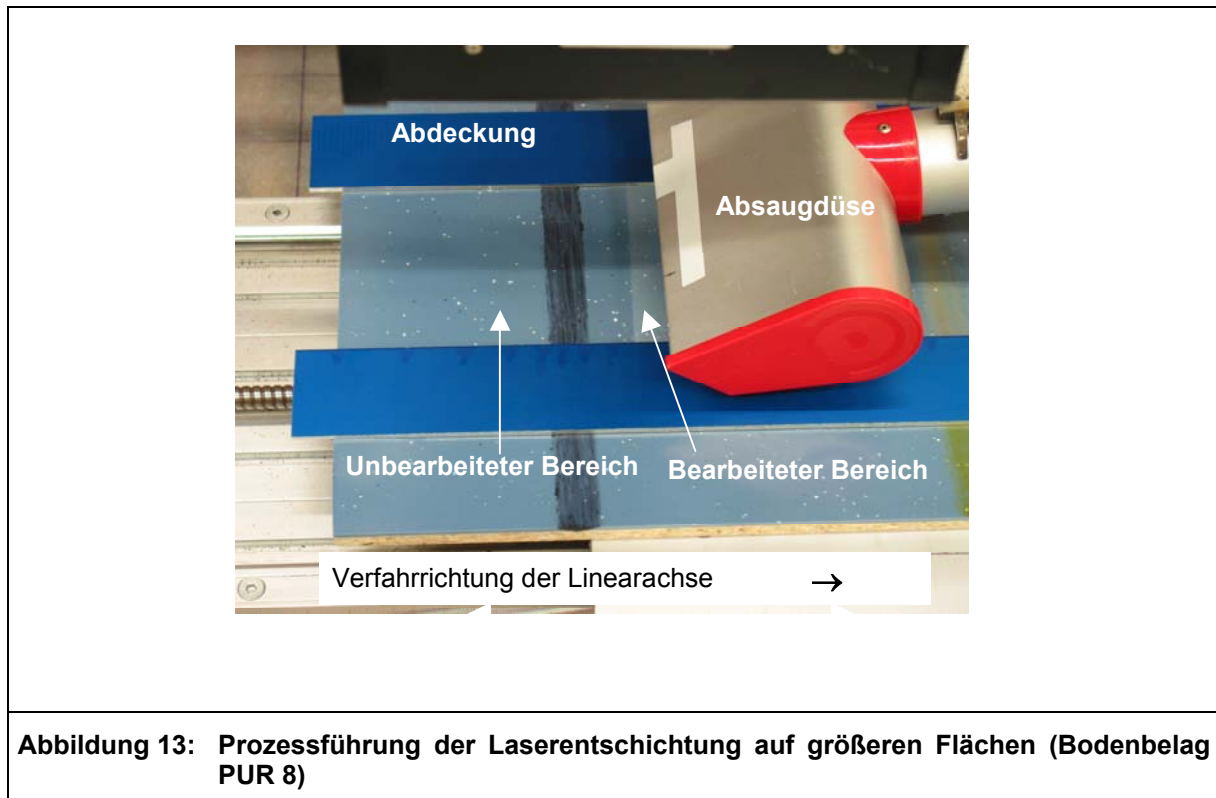
Günstige Entschichtungsbedingungen bei kleinen Flächen lagen somit bei konstanten Werten der Intensität (1246 W/cm<sup>2</sup>), des Strahldurchmessers (3 mm), des Spurversatzes (0,3 mm) und einmaligem Überfahren des Belags vor. Angepasst werden musste dabei die Scangeschwindigkeit, die – abhängig von Pflegefilmart, Belagmaterial und Schmutzart – zwischen 2,0 und 3,6 m/s lag. Schon geringe Änderungen der Scangeschwindigkeit (im Bereich von 10 %) führten zu einem signifikant unterschiedlichen Entschichtungsergebnis.

### 5.3.3. Optimierung der Laser-Prozessführung auf größeren Flächen

Die bisherigen Untersuchungen zum Entschichten mit Laserstrahlung wurden auf Feldern mit Abmessungen von 2 x 2 cm<sup>2</sup> durchgeführt. Für weiterführende Untersuchungen (Auswirkungen wiederholter Zyklen von Grundreinigung/Pflegebefilmung/Anschmutzung) sind Bodenfliesen mit Abmessungen von 40 x 40 cm<sup>2</sup> hergestellt worden. Da die Größe des Bearbeitungsfeldes durch den eingesetzten Scanner auf ca. 12 x 12 cm<sup>2</sup> begrenzt ist, wurde eine zusätzliche Linearachse mit einem Verfahrensweg von 500 mm in den Aufbau integriert und Felder mit ca. 10 cm Breite bearbeitet (**Abbildung 12**, links). In **Abbildung 12** ist auf der rechten Seite eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus abgebildet. Durch die Überlagerung der Scanbewegung in Form einer „Acht“ und der Probenbewegung, die durch die Linearachse ausgeführt wird, entsteht auf der Probe wieder die mäanderförmige Bearbeitung.



Die Umkehrpunkte des Mäanders wurden durch Bleche abgedeckt (**Abbildung 13**), so dass ein Bereich von ca. 3 – 6 mm um die Umkehrpunkte herum ausgeblendet wurde. Die Abtragprodukte wurden effektiv von der Absaugdüse erfasst. Der Spurversatz betrug 0,3 mm und der Strahldurchmesser 2,58 mm.



Hierbei wurde festgestellt, dass sich die Verfahrensparameter von kleinen auf größeren Flächen (Bahnen) mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung nicht übertragen ließen. Diese Unübertragbarkeit ist einerseits durch ungleichmäßige Scangeschwindigkeiten (Abweichungen an den Umkehrpunkten des Mäanders durch Brems- und Beschleunigungsvorgänge des Scanners), andererseits durch unterschiedliche Tempera-

tur-Zeit Zyklen zu erklären. Die Temperatur-Zeit Zyklen sind abhängig von den eingestellten Laserparametern und den thermophysikalischen Eigenschaften (Wärmekapazität, -leitfähigkeit) der Belagsoberfläche. Durch das größere Scanfeld (10 cm Breite gegenüber 2 cm) ergeben sich 5-fach längere Abkühlzeiten. Auf Grund des exponentiellen Temperaturabfalls ergab sich im Vergleich zu den kleinen Scanfeldern eine deutlich kleinere Temperatur in der Mitte des Scanfeldes, so dass die vom Laser zugeführte Energie nicht mehr ausreicht um die Verdampfungsschwelle zu überschreiten.

Daher wurde eine umfassende Anpassung der Parameter auf die entsprechenden Bodenbeläge und Pflegebefilmungen notwendig. Zusätzlich musste berücksichtigt werden, dass in der neuen Versuchsanordnung lediglich ein (für alle Bereiche der Bodenfliese einheitlicher) Parametersatz eingesetzt werden konnte, während in den bisherigen Versuchen die Parameter für die zwei verschiedenen Schmutzarten (Antiseptikum bzw. Schuhcreme) und die jeweiligen Pflegebefilmungen separat optimiert werden konnten.

Bei einem Treffen der Forschungsstellen<sup>[28]</sup> wurde beschlossen, die Untersuchungen auf die Bodenbeläge 2, 4, 8, 10 mit der Beschichtung SGD PM1 zu konzentrieren.

Im Vergleich zu den kleinen Flächen, wurden bei größeren Flächen (Bahnen) gute Entschichtungsergebnisse bei bis zu 30 % höheren Laserintensitäten (bis  $2,1 \text{ kW/cm}^2$ ) und bis zu 30% niedrigeren Scangeschwindigkeiten (1,7 bis 2,3 m/s) erzielt. Hierbei konnten je nach Bodenbelag Flächenraten im Bereich von 1,8 bis 2,5  $\text{m}^2/\text{h}$  erreicht werden.

#### 5.4 Charakterisierung der Testmonitore nach fünf Reinigungszyklen (konventionell)

Zur Charakterisierung der in Punkt 5.1 hergestellten Testmonitore wurden die in Punkt 4.4 beschriebenen Messmethoden angewandt. In einem fünffach ausgeführten konventionell nasschemischen Reinigungszyklus, bestehend aus Grundreinigung/Pflegebefilmung/Anschmutzung, wurde die Beanspruchung der Bodenbeläge in der Praxis simuliert.

Die Ermittlung der Qualität der Neu-Befilmung bei Reinigungsfähigkeit/Wiederanschmutzverhalten nach praxisüblicher Grundreinigung in Bezug auf:

- Bestimmung des Restschmutzes
  - maschinelle Reinigung (Laborsimulation), Antiseptikum/Schuhcreme
  - manuelle Reinigung (Laborsimulation), Schuhcreme
- Migration von Schmutz (durch die Befilmung in den Bodenbelag)
- Filmhaftung

ergab die im folgenden diskutierten Ergebnisse. Da die Ergebnisse teilweise sehr inhomogen waren, wird auf eine detaillierte Auflistung aller Einzelergebnisse daher verzichtet

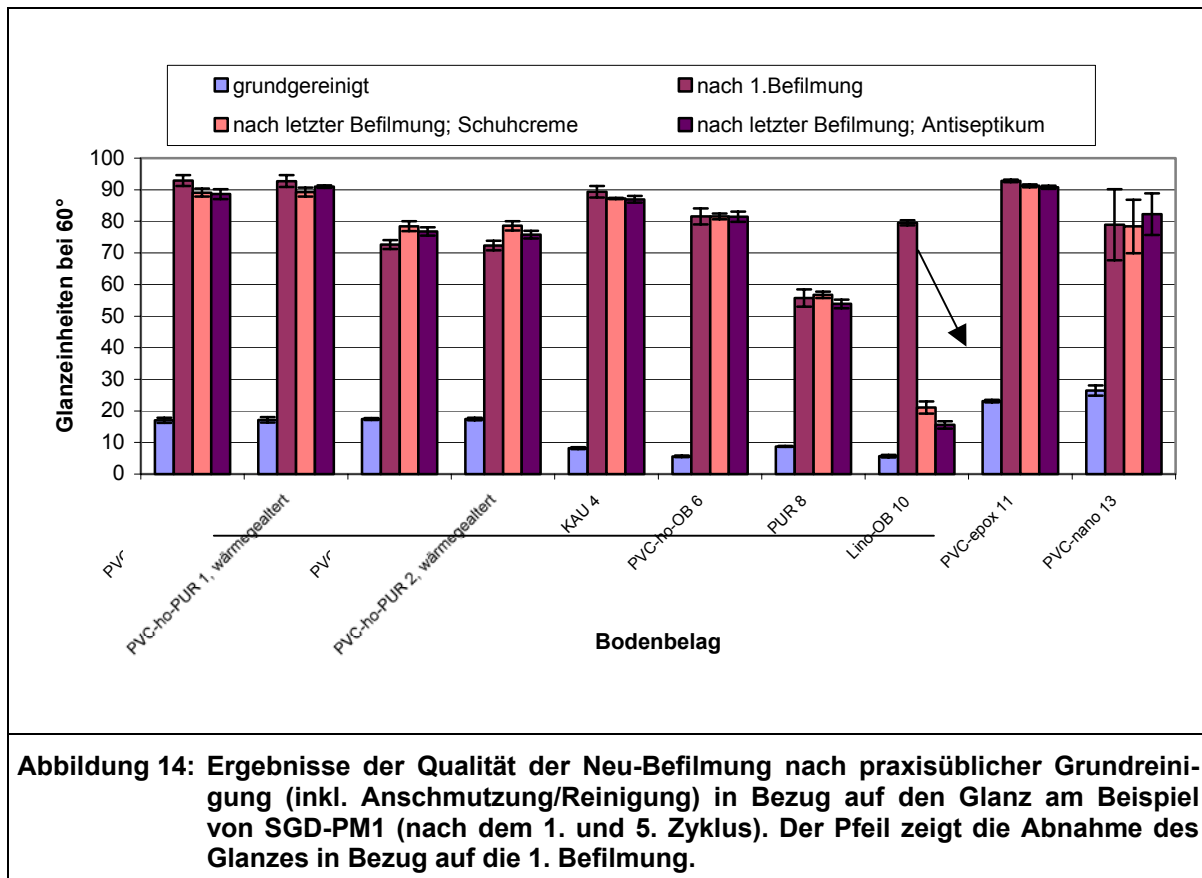
##### 5.4.1 Filmhaftung

Beim Vergleich vom 1. Zyklus zum 5. Zyklus waren die Ergebnisse der Filmhaftung generell uneinheitlich, hier konnte keine direkte Korrelation zur Art des Bodenbelages bzw. Art der Befilmung und Anschmutzung erkannt werden.

##### 5.4.2 Glanz

Generell ist bei allen Bodenbelägen unter den gewählten Versuchsbedingungen eine signifikante Erhöhung des Glanzes nach der 1. Befilmung bezogen auf die grundgereinigten (unbefilmten) Bodenbeläge, unabhängig von der verwendeten Pflegedispersion, gemessen. Überwiegend ist keine Änderung des Glanzes in Bezug auf die Zyklenzahl (Grundreinigung, Befilmung, Anschmutzung, Reinigung mit einem praxisüblichen Reinigungsmittel, abhängig von der Empfehlung des Bodenbelagherstellers- und anschließende Grundreinigung) zu verzeichnen. Ausnahmsweise bei Lino-MB 10 ist ein deutlicher Glanzverlust als Folge der durchgeführten Reinigungszyklen festgestellt. Die **Abbildung 14** zeigt am Beispiel der SGD-PM1 die Ergebnisse.





### 5.4.3 Farbe

Generell ist bei allen Bodenbelägen unter den gewählten Versuchsbedingungen in Bezug auf den 1. Zyklus (Grundreinigung, Befilmung, Anschmutzung, Reinigung mit einem praxisüblichen Reinigungsmittel, abhängig von der Empfehlung des Bodenbelagherstellers) ein Einfluss auf den Farbabstand zu erkennen. Bei der Anschmutzung mit Antiseptikum vergilben die Bodenbeläge in der Regel, bei der Anschmutzung mit Schuhcreme werden die Bodenbeläge in der Regel dunkler.

### 5.4.4 Rauigkeit

Generell können unter den gewählten Versuchsbedingungen folgende Aussagen, unabhängig von der verwendeten Pflegedispersion und Schmutzart, bezogen auf die Rauigkeit und Zyklenzahl (Grundreinigung, Befilmung, Anschmutzung, Reinigung mit einem praxisüblichen Reinigungsmittel, abhängig von der Empfehlung des Bodenbelagherstellers und anschließende Grundreinigung) über die Rauigkeit getroffen werden (siehe **Abbildung 15**):

Abnahme der Rauigkeit (Bodenbelag wird glatter) in Bezug auf den unbehandelten Bodenbelag: PVC-he-PUR 2 (nicht-wärmebehandelt und wärmebehandelt)

Zunahme der Rauigkeit: Lino-MB 10

keine Änderung der Rauigkeit: KAU 4 und PUR 8

### 5.4.5 Lichtechtheit

Bezüglich des Einflusses der Grundreinigung und der ersten Befilmung wurden sehr geringe Abweichungen der Lichtechtheit gemessen (Punkt 5.1.1.1). Nach fünf Reinigungszyklen allerdings veränderte sich die Lichtechtheit, wie **Tabelle 11** zu entnehmen ist. Die Schuhcreme trug stärker als das Antiseptikum zu dieser Veränderung bei. Die stärkste Beeinträchtigung erfuhr der Belag PVC-he-PUR 1 (von >7 auf 3-4) mit der Einpflege SGD-P und der Anschmutzung mit Schuhcreme, wohingegen der gleiche Belag mit Betaisodona-Anschmutzung die Blaumaßstab-Note >7 halten konnte.

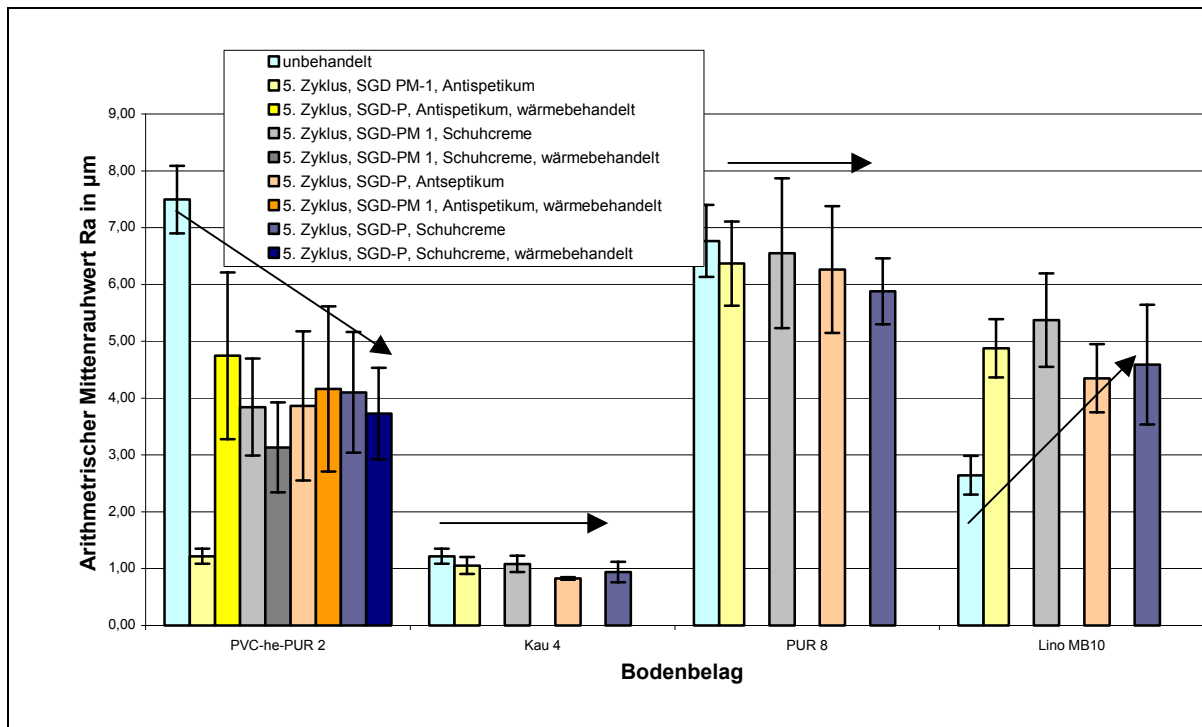


Abbildung 15: Ergebnisse der Qualität der Neu-Befilmung nach praxisüblicher Grundreinigung (inkl. Anschmutzung/Reinigung) in Bezug auf die Rauigkeit am Beispiel von SGD-P/SGD-PM1 (nach dem 1. und 5. Zyklus). Die Pfeile zeigen die Tendenz der Rauigkeit in Bezug auf den unbehandelten Bodenbelag.

Tabelle 11: Lichtechtheitswerte von Bodenbelägen nach fünf Reinigungszyklen

Bodenbelag	Anschmutzung	Lichtechtheitswerte [Note Blaumaßstab]	
		Eingepflegt mit SGD-P	Eingepflegt mit SGD-PM1
PVC-ho-PUR - 1	Schuhcreme	6	3-4
	Betaisodona	5-6 (entfärbt)	>7
PVC-he-PUR - 2	Schuhcreme	7	>7
	Betaisodona	7	>7
KAU - 4	Schuhcreme	5	5 (Dunklung)
	Betaisodona	5	5 (Dunklung)
PVC-ho-OB - 6	Schuhcreme	7	6
	Betaisodona	7	>7
PUR - 8	Schuhcreme	>7	>7
	Betaisodona	>7	>7
Lino-MB - 10	Schuhcreme	6	6
	Betaisodona	6	6
PVC-epox 11	Schuhcreme	6	5-6
	Betaisodona	6	7
PVC-nano 13	Schuhcreme	6	5-6
	Betaisodona	7	>7

Die stärkste Beeinträchtigung erfuhr der Belag PVC-ho-PUR 1 (von >7 auf 3-4) mit der Einpflege SGD-P und der Anschmutzung mit Schuhcreme, wohingegen der gleiche Belag mit Betaisodona-Anschmutzung die Blaumaßstab-Note >7 halten konnte.

#### 5.4.6 Chemikalienbeständigkeit

Im Unterschied zur Bestimmung der Beständigkeiten an den Ausgangsmaterialien (Punkt 5.1.1.2) wurde die Prüfung dieser „gealterten“ Beläge aufgrund verminderter Probenmaterialmenge nur mit sieben statt zehn Prüfsubstanzen durchgeführt. Ausgespart blieben Olivenöl, Toluol und Ketchup. Darüber hinaus musste die Serie mit 24 h Einwirkzeit weggelassen werden. **Anlage 3** zeigt die erzielten Ergebnisse.

Folgende **allgemeine Tendenzen** zur Veränderung der Chemikalienbeständigkeit nach fünffach zyklischem Verschmutzungs-Reinigungsvorgang werden im Vergleich zum Ausgangsmaterial ersichtlich:

- Zeiteinfluss: teilweise geringfügige Verstärkung des Effektes (2 min – 1 h)
- spezifischer Prüfsubstanz-Einfluss :
  - teilweise leichte Effektverringerng bei Tinte blau
  - bei SGD-PM1: leichte Effektverstärkung bei Schuhcreme

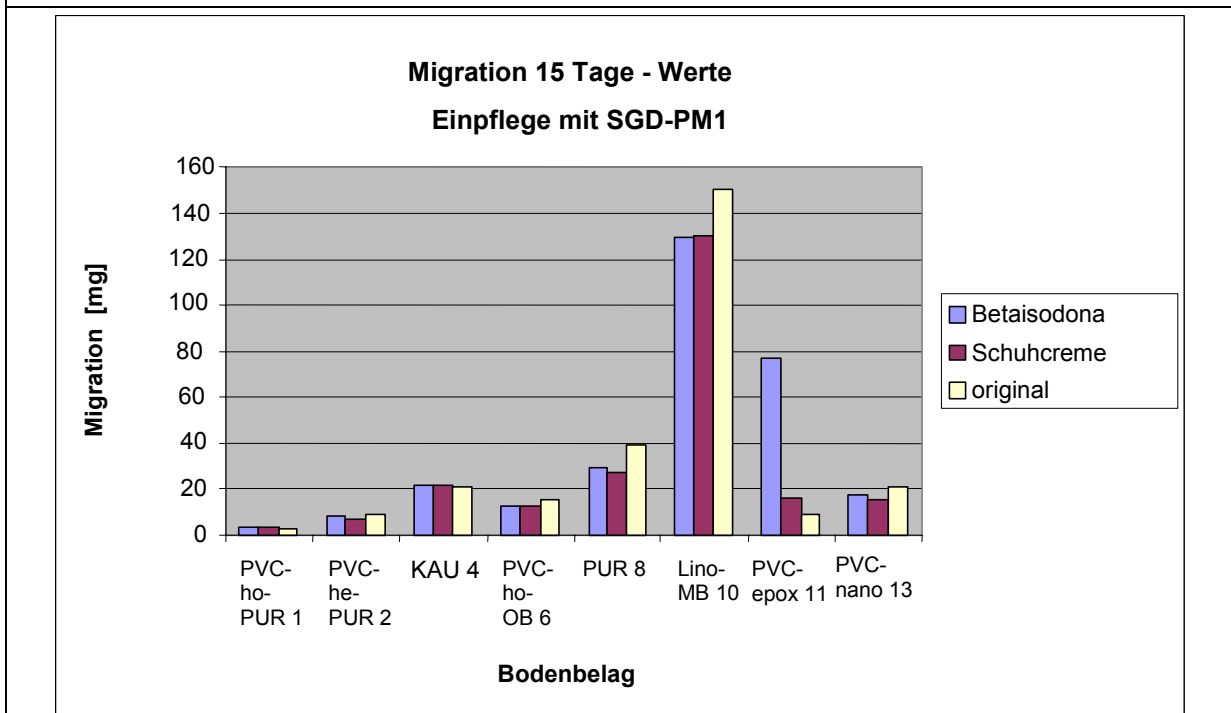
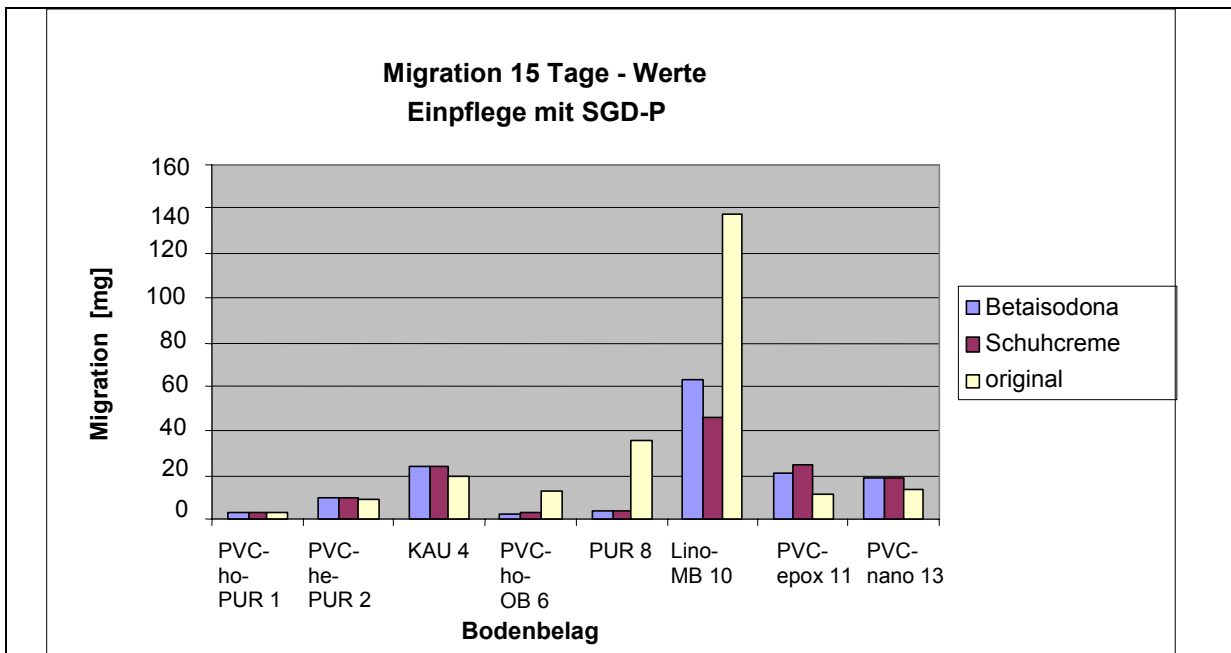
Folgende **spezifische Auswertung** (Vergleich mit Beständigkeiten im Ausgangszustand) ist möglich:

- Einpflege mit **SGD-P**
  - Tendenz zur Erhöhung der Anfälligkeit gegenüber Lösungsmittel, Schuhcreme
  - teilweise Verringerung (nach Zeiteinfluss) bei Wasserstoffperoxid und Ketchup/Öl/Paprika
  - PVC-epox 11 und PVC-nano 13: Verminderung der Anfälligkeit (z. T. stark!) gegenüber Lösungsmittel, Schuhcreme
- Einpflege mit **SGD-PM1**
  - Tendenz zur Erhöhung der Anfälligkeit gegenüber Lösungsmittel, ferner gegenüber Schuhcreme, seltener Wasserstoffperoxid
  - PVC-ho-OB 6: Verminderung der Anfälligkeit gegenüber Schuhcreme
  - PVC-epox 11 und PVC-nano 13: Verminderung der Anfälligkeit gegenüber Schuhcreme und Ketchup/Öl/Paprika, ferner Wasserstoffperoxid

Der chemikalienresistentester Belag bei Einpflege sowohl mit SGD-P als auch SGD-PM1 ist PVC-he-PUR 2.

#### 5.4.7 Migrationsverhalten

Analog zur Prüfung im Ausgangszustand (Punkt 5.1.1.3) wurde für das Migrationsverhalten nach fünf Reinigungszyklen der 15 Tage-Wert bestimmt und ausgewertet. Die Ergebnisse der Untersuchungen der Bodenbelagsmaterialien, eingepflegt mit SGD-P bzw. SGD-PM1 sind in **Abbildung 16** dargestellt. Es wurden jeweils die Werte für die mit Betaisodona bzw. mit Schuhcreme angeschmutzten Beläge denen der Originalbeläge gegenübergestellt.



**Abbildung 16: Vergleich der Migrationswerte der mit SGD-P bzw. SGD-PM1 beschichteten und angeschmutzten Beläge nach fünf Reinigungszyklen mit dem Originalzustand des jeweiligen Bodenbelags**

Wie aus den Darstellungen zu entnehmen, bleiben Trends im Vergleich der Migrationswerte der Beläge untereinander im wesentlichen erhalten. Die Pflegebefilmungen wirken auf die Migrationswerte wie bei den Originalbelägen eher vermindernd bei hohen Werten des Belages und erhöhend bei niedrigen Werten des Originalbelags. SGD-P bewirkt dabei gegenüber SGD-PM1 eine eher geringere Migration. Nach der 5 Zyklen-Belastung erfolgt eine z. T. starke Migrationsminderung bei den Belägen PVC-ho-OB 6, PUR 8 und Lino-MB 10, offensichtlich aufgrund von Auswascheffekten bei den Grundreinigungen.

5.4.8 Abrieb

Die Ergebnisse der Taber-Abriebprüfungen an den Belägen mit den Pflegebefilmungen SGD-P und SGD-PM1 nach fünf Reinigungszyklen sind in **Abbildung 17** den Werten für die jeweiligen Originalbeläge gegenübergestellt.

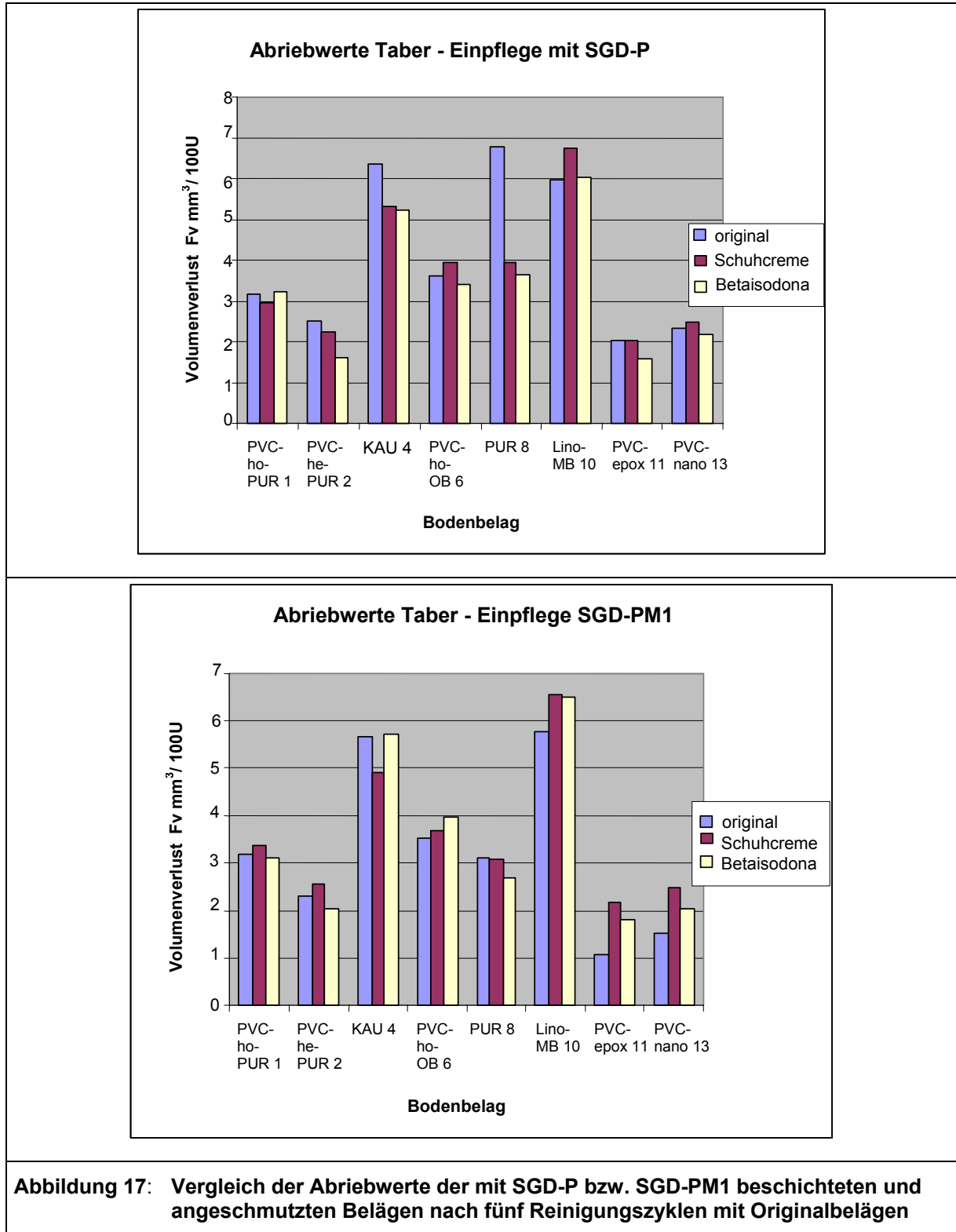


Abbildung 17: Vergleich der Abriebwerte der mit SGD-P bzw. SGD-PM1 beschichteten und angeschmutzten Belägen nach fünf Reinigungszyklen mit Originalbelägen

Im Allgemeinen unterscheiden sich die Abriebwerte nach fünf Reinigungszyklen wenig von denen im Ausgangszustand. Die Abriebwerte sind im Falle der Anschmutzung mit Antiseptikum (Betaisodona) bis zu 25 % geringer als bei Anschmutzung mit Schuhcreme. Ausnahmen bilden:

- KAU 4 und PUR 8 beschichtet mit SGD-P: 15 % bzw. 50 % Abnahme der Abriebwerte gegenüber dem Original, unabhängig von der Anschmutzart
- PVC-epox 11 und PVC-nano 13 mit SGD-PM1: 30 bis 100 % Zunahme der Abriebwerte gegenüber dem Original, unabhängig von der Anschmutzart.

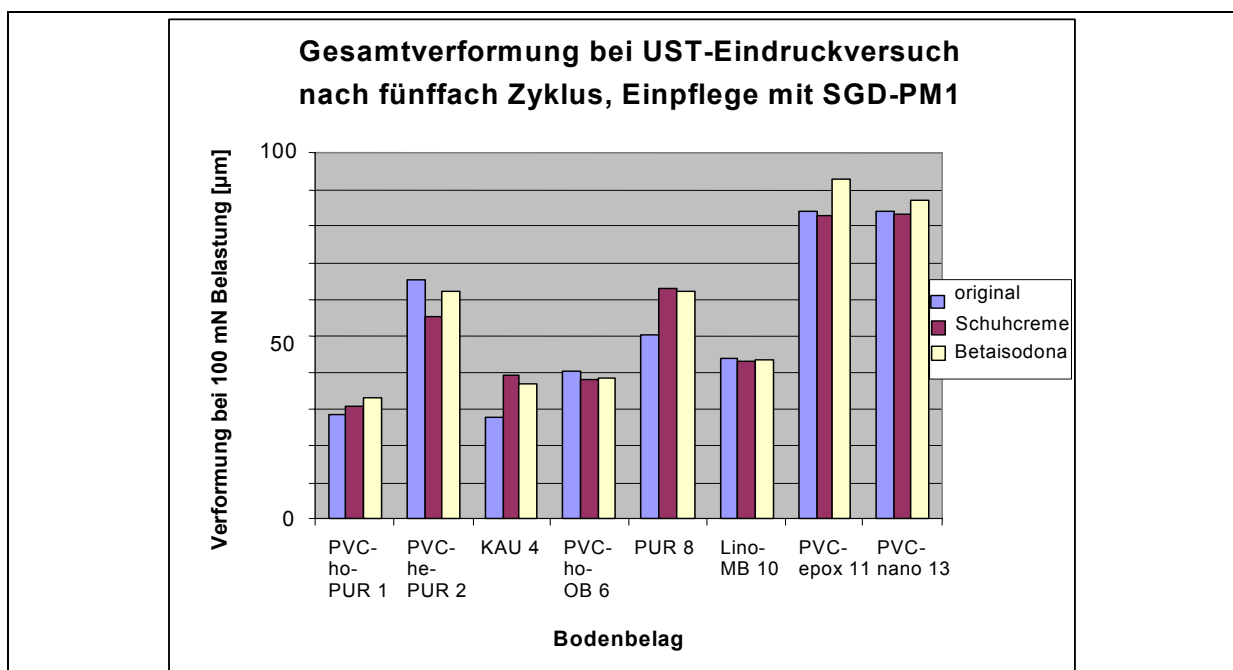
#### 5.4.9 Mikroelastizität

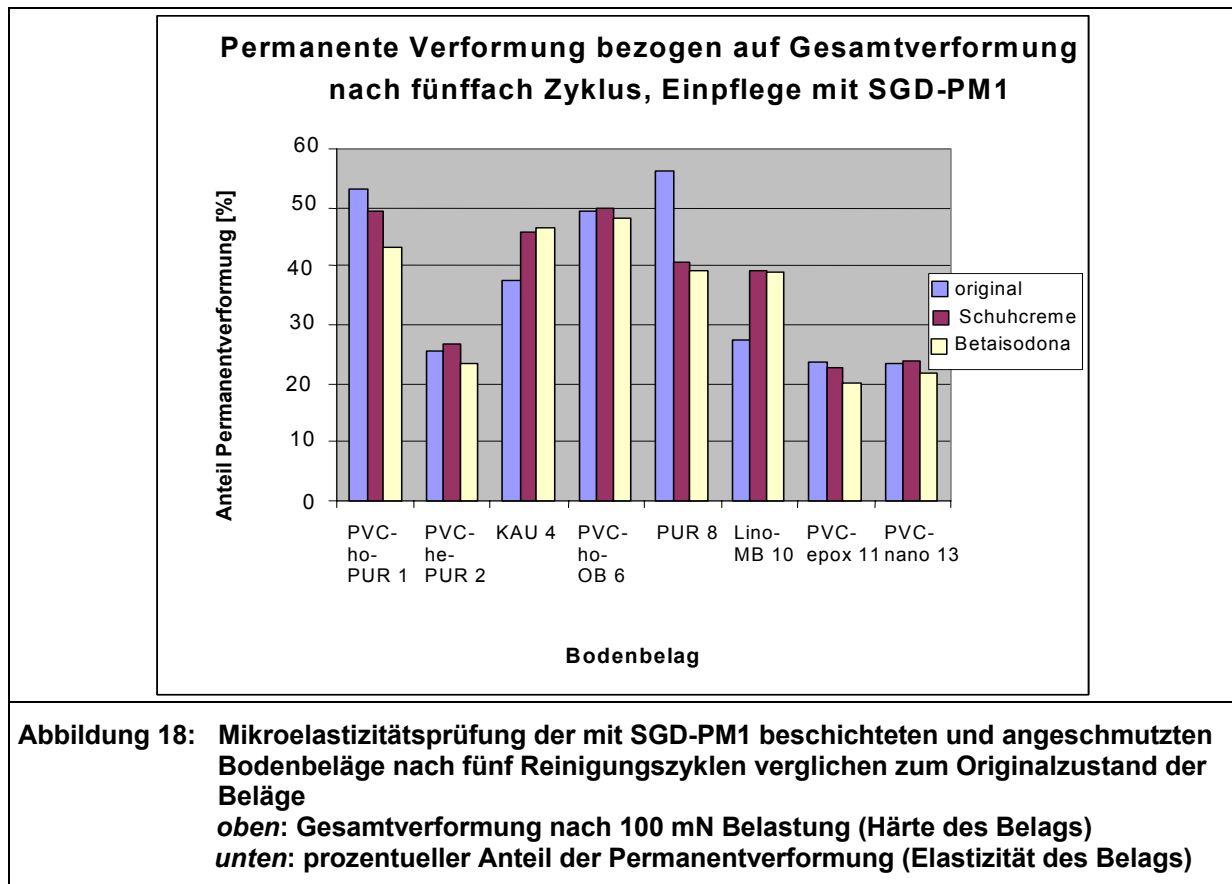
Die Ergebnisse der Mikroelastizitätsuntersuchungen an den Belägen nach fünffach zyklischer Belastung wurden wie bei den Ausgangsmaterialien (Punkt 5.1.1.5) hinsichtlich der Gesamtverformung (Härte des Belags) und hinsichtlich des Anteils der permanenten Verformung an der Gesamtverformung (Elastizität des Belags) ausgewertet.

Da für PVC-epox11 und PVC-nano 13 keine Originalwerte an den PM1- bzw. P-eingepflegten Belägen ermittelt wurden, wurden die Werte der produktionsfrischen Originalbeläge gegenübergestellt.

Für die PM1-eingepflegten Beläge sind anhand der Darstellung der Gesamt- bzw. Permanentverformung (**Abbildung 18**) folgende Aussagen zu treffen:

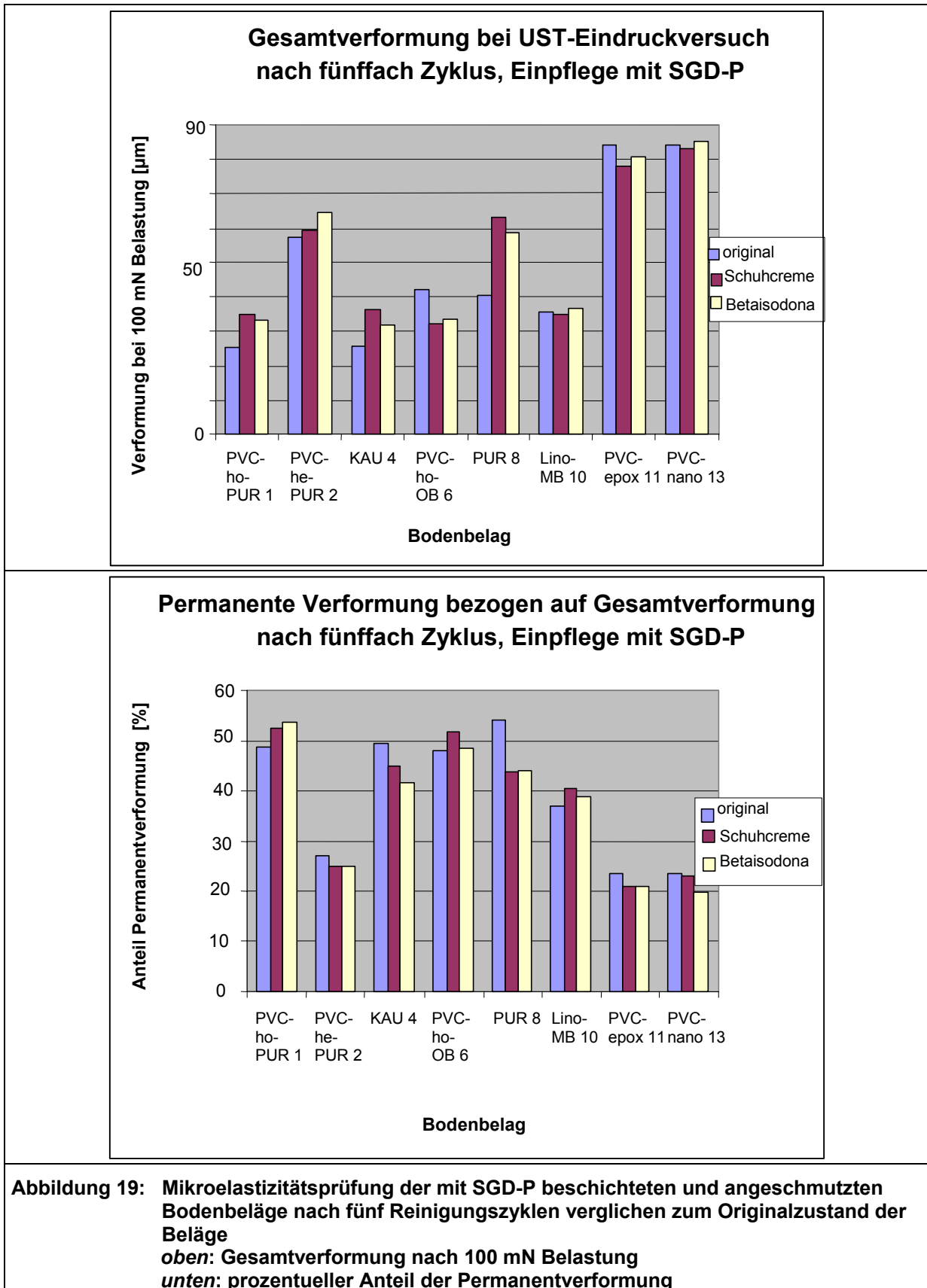
- Die meisten Beläge zeigen nach fünf Reinigungszyklen nur geringfügige Veränderungen in der permanenten Verformbarkeit bzw. elastischen Rückstellung.
- Kautschuk und PUR werden weicher, verbunden mit einem Elastizitätsrückgang bei Kautschuk (höherer Anteil permanente Verformung) und einer Zunahme der Elastizität bei PUR.





Wie **Abbildung 19** zu entnehmen ist, reagieren die mit SGD-P beschichtete Beläge wie folgt auf die fünf Reinigungszyklen:

- Für PUR 8 ergibt sich eine Erweichung wie bei SGD-M1.
- PVC-ho-PUR 1 und KAU 4 werden auch graduell weicher, verbunden mit ebenso graduellem Elastizitätsrückgang beim PVC-Belag und leichter Elastizitätsverbesserung bei KAU 4.
- Bei PVC-ho-OB 6 tritt eine leichte Verhärtung bei unveränderter Elastizität ein.



**Abbildung 19: Mikroelastizitätsprüfung der mit SGD-P beschichteten und angeschmutzten Bodenbeläge nach fünf Reinigungszyklen verglichen zum Originalzustand der Beläge**

*oben:* Gesamtverformung nach 100 mN Belastung

*unten:* prozentueller Anteil der Permanentverformung



## 5.5 Charakterisierung der Testmonitore nach Grundreinigung und Laserentschichtung

Im Rahmen der weitergeführten Untersuchungen wurde die praxisübliche Grundreinigung in Bezug auf die Helligkeit, Glanz und Filmhaftung der behandelten Bodenbeläge mit der optimierten Laserentschichtung auf größeren Flächen verglichen. Aufgrund der Ergebnisse der optimierten Laserentschichtung in Punkt 5.3.3 wurde nun der Einsatz einer praxisüblichen Scheuersaugmaschine zur Vor- bzw. Nachreinigung untersucht. Die Anschmutzung erfolgte wie in **Abbildung 4** gezeigt. Dabei wurden die folgenden beiden Vorgehensweisen angewendet:

### 2-stufiges Laserentschichtungsverfahren

1. praxisübliche Grundreinigung, anschließend mit SGD PM1 beschichtet, mit Antiseptikum/Schuhcreme angeschmutzt
2. Laserentschichtung
3. trockene Nachreinigung (praxisübliche Scheuersaugmaschine, siehe Punkt 4.6)
4. Neubefilmung (mit SGD PM1)

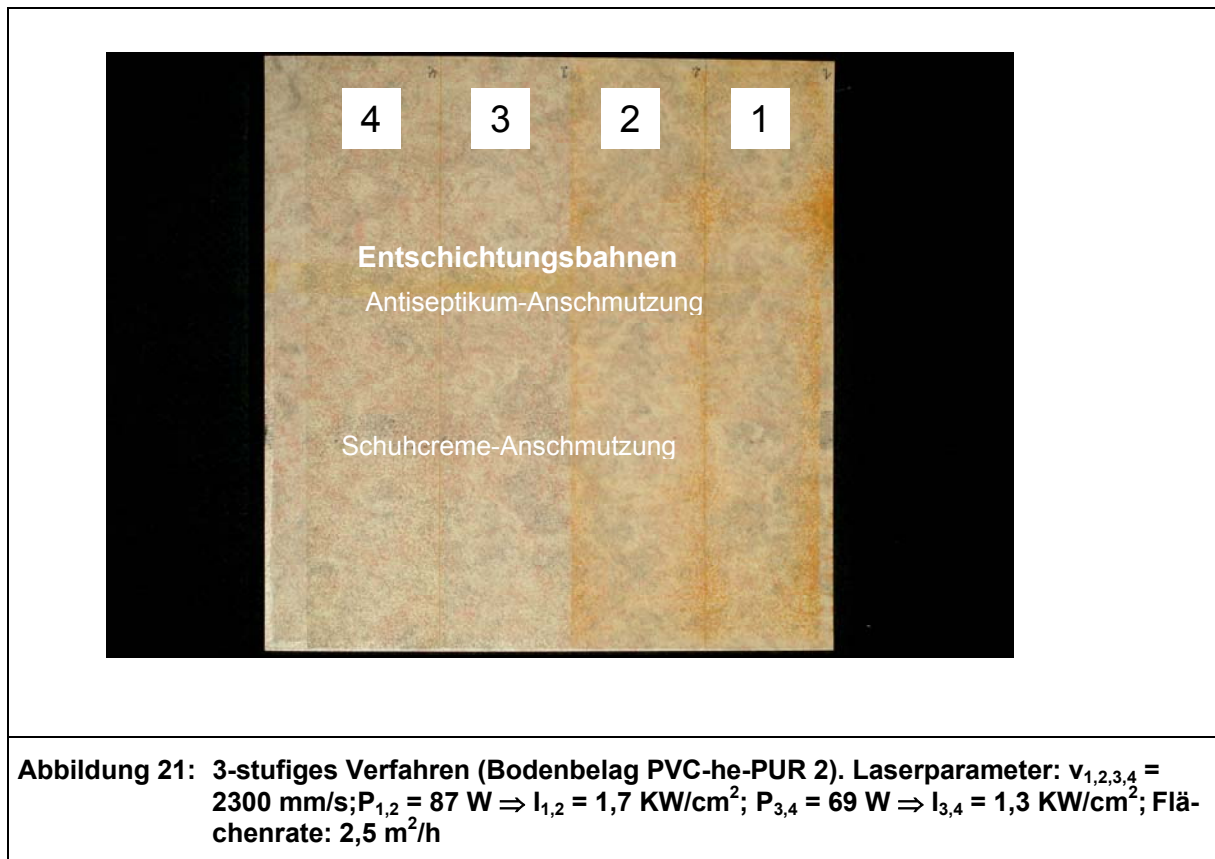
### 3-stufiges Laserentschichtungsverfahren

1. praxisübliche Grundreinigung, anschl. mit SGD PM1 beschichtet, mit Antiseptikum/Schuhcreme angeschmutzt
2. trockene Vorreinigung (praxisübliche Scheuersaugmaschine, siehe Punkt 4.5)
3. Laserentschichtung
4. trockene Nachreinigung (praxisübliche Scheuersaugmaschine, siehe Punkt 4.5)
5. Neubefilmung (mit SGD PM1)

Die **Abbildungen 20** und **21** zeigen die Ergebnisse der beiden Verfahren am Beispiel von Bodenbelag PVC-he-PUR 2.



**Abbildung 20:** 2-stufiges Verfahren (Bodenbelag PVC-he-PUR 2). Laserparameter:  $v_{1,2,3,4} = 2300 \text{ mm/s}$ ;  $P_{1,2} = 97 \text{ W} \Rightarrow I_{1,2} = 1,8 \text{ KW/cm}^2$ ;  $P_{3,4} = 98 \text{ W} \Rightarrow I_{3,4} = 1,9 \text{ KW/cm}^2$ ; Flächenrate:  $2,5 \text{ m}^2/\text{h}$



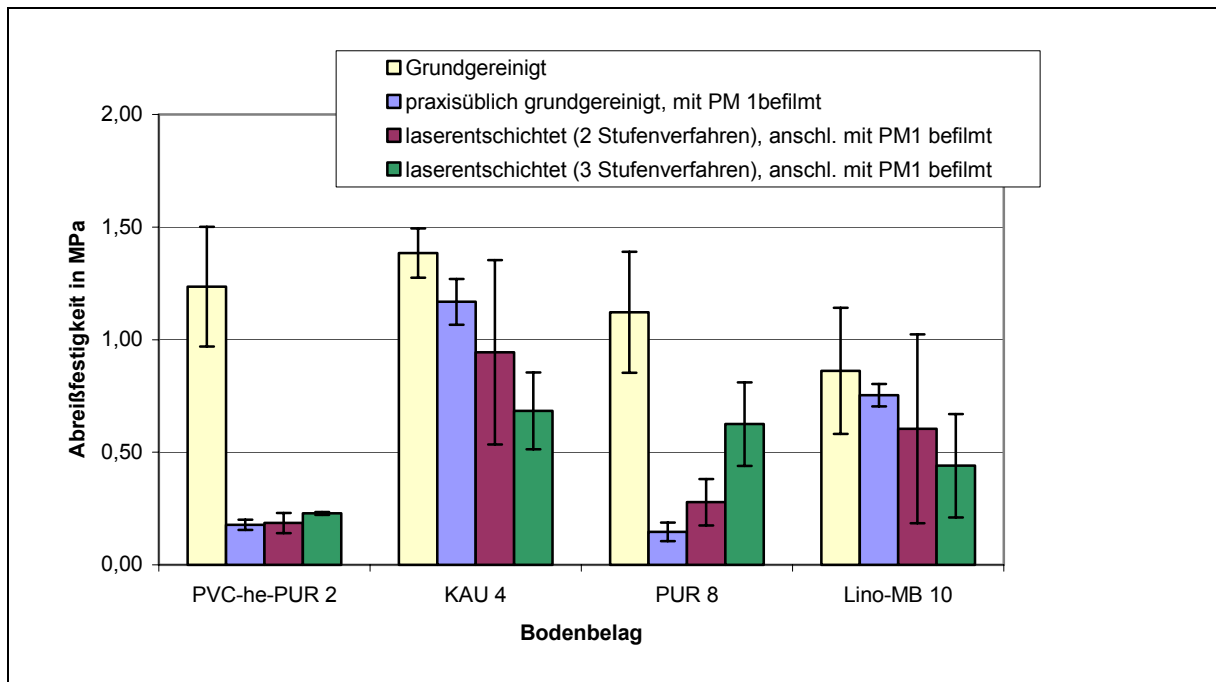
Aufgrund der hohen Materialschädigung (am Beispiel von Bodenbelag PVC-he-PUR 2, **Abbildung 21**) wurde das 3-stufige Verfahren nicht mehr weiter untersucht. Außerdem wurden nur die Laser-Entschichtungsbahnen vermessen, die visuell die geringste Schädigung aufwiesen.

### 5.5.1 Filmhaftung

Der Einfluss der Entschichtungsmethode auf die Filmhaftung wird in **Abbildung 22** gezeigt. Die Ergebnisse der Haftkraft einer ausgewählten Pflegebefilmung (SGD PM1) nach unterschiedlichen Entschichtungsverfahren werden mit der Haftkraft des Cyanacrylat-Klebers (Prüfstempel) auf den ausgewählten Bodenbeläge verglichen. Die Art des Entschichtungsverfahrens hat auf die Filmhaftung in allen Fällen einen Einfluß.

Bei der Probe 2 (PVC-he-PUR) und Probe 8 (PUR) ist eine deutliche Abnahme der Filmhaftung (der 3 Entschichtungsverfahren) im Vergleich zur Haftkraft des des Cyanacrylat-Klebers zu verzeichnen.

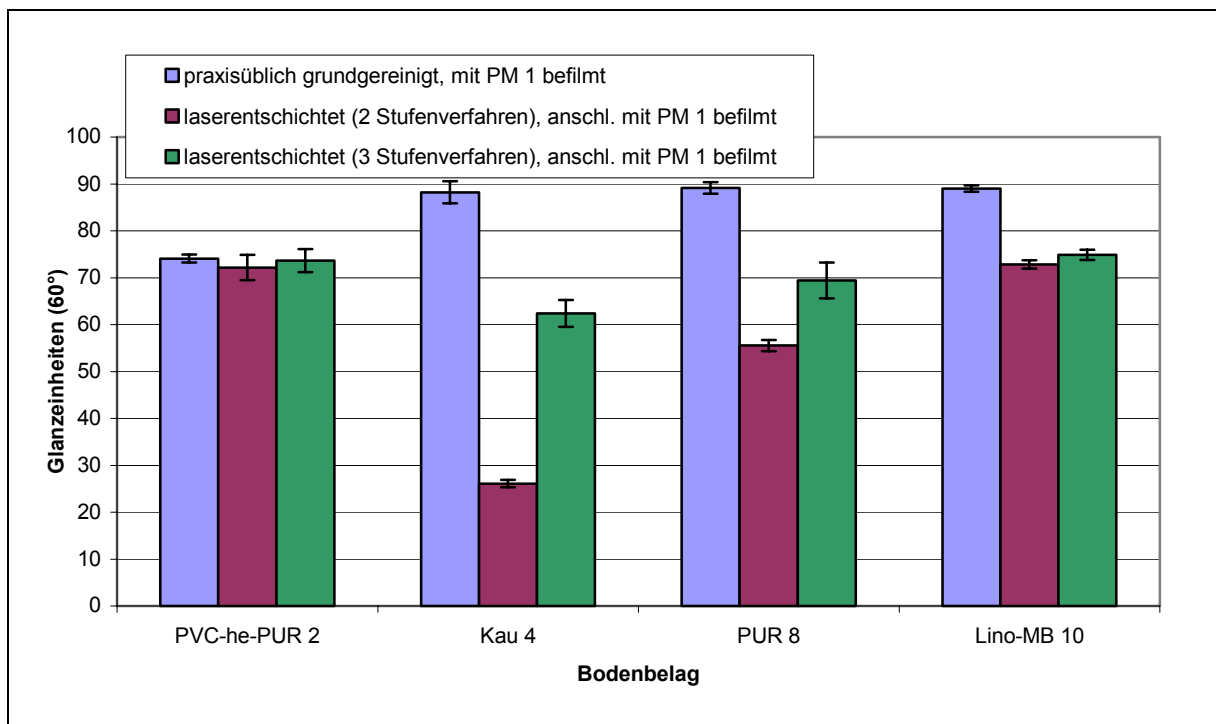
Vergleicht man die Ergebnisse der Haftkraft der 3 unterschiedlichen Entschichtungsverfahren miteinander, so hat die Art des Entschichtungsverfahrens nur bei Probe 2 (PVC-he-PUR) **keinen Einfluss**.



**Abbildung 22: Einfluss der Entschichtungsmethode (herkömmliche Grundreinigung gegenüber Laserentschichtung) auf die Abreißfestigkeit bei ausgewählten mit SGD-PM1 beschichteten Bodenbelägen (Cyanacrylatkleber als Referenz)**

**5.5.2 Glanz**

Die Laserentschichtung hat auf den Glanz der Bodenbeläge im Vergleich zur praxisüblichen Grundreinigung nur bei PVC-he-PUR 2 keinen Einfluss (**Abbildung 23**). Bei allen anderen Bodenbelägen ist ein deutlicher Glanzverlust zu verzeichnen.

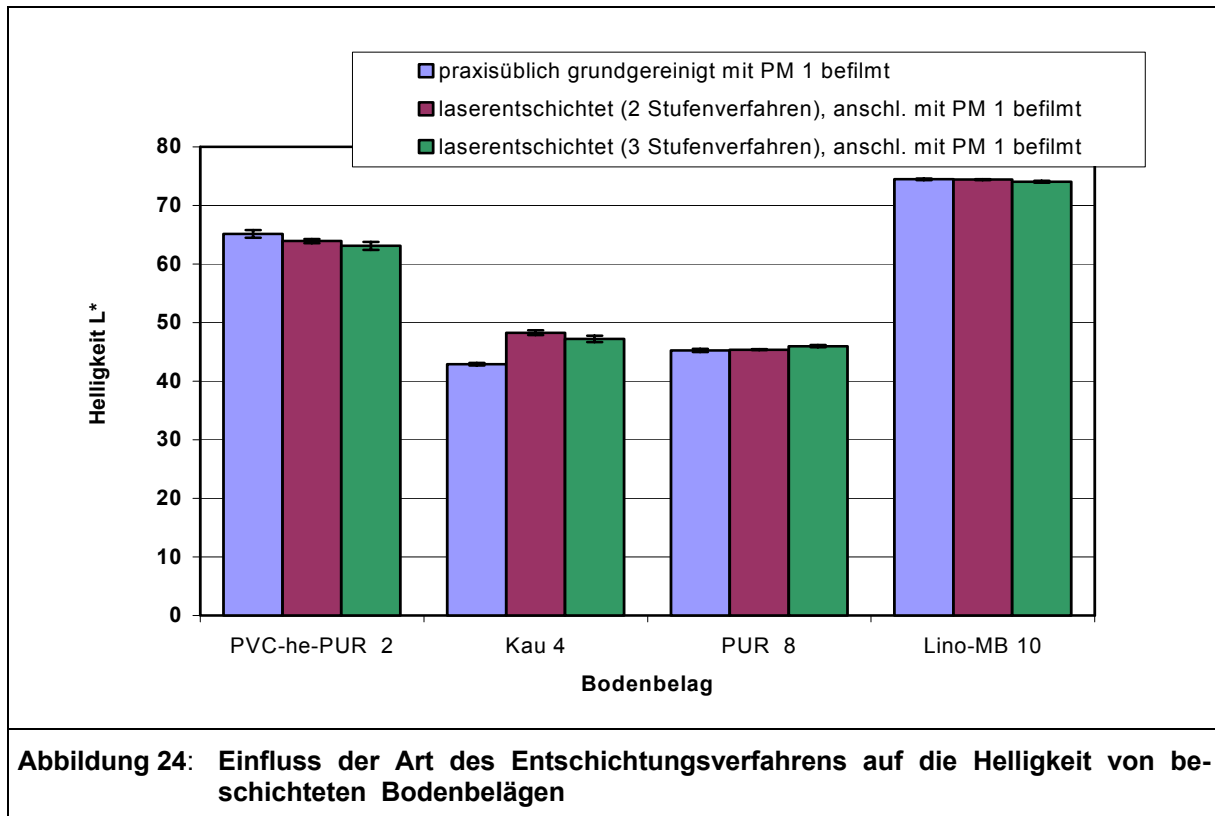


**Abbildung 23: Einfluss der Art des Entschichtungsverfahrens auf den Glanz (60°) von beschichteten Bodenbelägen**

### 5.5.3 Helligkeit

Der Einfluss des Entschichtungsverfahrens auf die Helligkeit der beschichteten Bodenbeläge wird in **Abbildung 24** gezeigt.

Die Laserentschichtung hat auf die Helligkeit der Bodenbeläge im Vergleich zur praxisüblichen Grundreinigung nur bei KAU 4 einen Einfluss. Hier wird der Bodenbelag heller.



### Fünffach-Zyklus

Der praxisübliche fünffach wiederholte Reinigungszyklus wurde bereits in Punt 5.4 analysiert. Weiterhin wurden vergleichende Untersuchungen an konventionell gereinigten und laserstrahlentschichteten Bodenbelägen durchgeführt.

Mit dem 2-stufigen Laserstrahlentschichtungsverfahren wurde mehrmalig der fünffache Zyklus begonnen. Spätestens nach dem dritten Zyklus musste die Versuchsreihe abgebrochen werden, da die Bodenbeläge infolge von Verbrennungen mit jedem Zyklus zunehmend geschädigt wurden. Ursache dafür sind Mikrorisse im Bodenbelagsmaterial, die mit jedem weiteren Zyklus größer werden. Nach visueller Beurteilung sind die Beläge zunehmend braun verfärbt und der Glanz nimmt ab.

Um dies zu verhindern, müssen weitere Schritte unternommen werden, um die Resistenz der Bodenbeläge gegenüber der Laserstrahlung zu verbessern (ggf. durch eine laserstrahlreflektierende Schicht).

## 5.6 Optimierung von Pflegebefilmungen

### 5.6.1 Beimischung neuer Additive

Zur Verbesserung der Laserstrahlabsorption wurden bislang die IR-Absorber HT-Dry 91026 und HT-Stab 11087 (Schichtpigmente beschichtet mit Metalloxid), Ruß (Kohlenstoffpartikel), TiO<sub>2</sub>, ZnO, ITO und ATO eingesetzt (**Tabelle 4**). Diese zeigten keine ausreichend selektive Einkopplung der IR-Laserstrahlung in der Pflegebefilmung (**Tabelle 8**).

Durch die Integration von anorganischen Nanopartikeln als Füllstoffe (aktive Nanofüllstoffe) können i.A. klassische Kunststoffe mit neuen Eigenschaften und Funktionen ausgestattet werden <sup>[29-31]</sup>. So

können z.B. das mechanische Verhalten (Viskosität, Härte), die Chemikalien- oder Wärmebeständigkeit, die thermische Stabilität, aber auch das Absorptions- und Reflexionsvermögen von IR-Strahlung in der Polymermatrix verbessert werden.

In **Tabelle 4** sind Additive/Modifikatoren aufgeführt, die an dieser Stelle zur Optimierung der Pflegebefilmungen im Hinblick auf eine bessere Laserstrahleinkopplung und dementsprechend zu einer besseren Entschichtung beitragen. Es handelt sich hierbei um:

- nanodisperse Schichtsilikate (Nanofil 2, Nanofil SE, Nanomer), quellfähig und somit als Verdickungsmittel eingesetzt
- hochdisperse pyrogene Kieselsäuren (Aerosil 90, Aerosil R812), als Verdickungs- und Antisiedimentationsmittel eingesetzt
- hochdisperse transparente Pigmente (Barifine), Schwerspat
- TiO<sub>2</sub> beschichtet mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Stearinsäure (Hombitec), führt in Kombination mit anderen Pigmenten zu geringen Transmissionswerten im nahen IR-Bereich
- Aluminiumpigmente, Metallpigment mit hohem IR-Absorptions- und Reflexionsvermögen

Wie unter Punkt 4.1.4 beschrieben, wurden diese Additive in SGD-PM1 dispergiert und im Wischverfahren auf die Bodenbelagsproben PVC-he-PUR (Probe 2) und KAU (Probe 4) aufgetragen. Untersucht wurde die prinzipielle Eignung dieser Modifikationen für eine selektive Einkopplung der IR-Laserstrahlung ohne Bodenbelagsschädigung.

### 5.6.2 Entschichten mit CO<sub>2</sub>- und Nd:YAG-Laser

Zunächst wurden die Entschichtungsversuche mit zwei unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Lasersystemen durchgeführt: Typ SM-400-P (Laserleistung 100 W, Fa. FEHA) und Field-CO<sub>2</sub>-100W (10 bis 30 % Laserleistung, cleanlaser). Diese wurden mit zwei Nd:YAG-Laser (20W, bzw. 50 W) verglichen. In **Tabelle 12** sind die daraus resultierenden Erkenntnisse mit der Kennzeichnung der bestgeeignetsten Additive zusammenfassend aufgeführt.

<b>Tabelle 12: Übersicht der besten Ergebnisse nach der 1. Entschichtung mit unterschiedlichen CO<sub>2</sub>- bzw. Nd:YAG-Lasersystemen von PVC- bzw. KAU-Proben unter Einsatz modifizierter Pflegebefilmungen</b>				
Belagsprobe	CO <sub>2</sub> -Laser (10-30 W)	CO <sub>2</sub> -Laser (100 W)	Nd:YAG-Laser (20 W)	Nd:YAG-Laser (50 W)
PVC	<b>Schichtsilikate</b>  relativ dicke Restfilme, mechanisch <i>sehr schwer</i> zu entfernen	<b>HT-Dry 91026, HT-Stab 11087</b>  dünne Restfilme mit Mikrorissbildung, mechanisch <i>schwer</i> zu entfernen	<b>HT-Stab 11087</b>  dünne Restfilme, mechanisch <i>schwer</i> zu entfernen  <b>Al-Pigmente</b>  sehr guter Abtrag, lokal dünne Restfilme, mechanisch <i>leicht</i> zu entfernen	-  <b>Al-Pigmente</b>  dünne Restfilme, unterschiedliche "Porositäten", mechanisch <i>sehr leicht</i> zu entfernen
KAU	<b>alle Modifikatoren (außer Aluminium-Pigmente)</b>  punktuelle Rückstände, mechanisch <i>sehr schwer</i> zu entfernen	<b>HT-Dry 91026, HT-Stab 11087</b>  punktuelle Rückstände, mechanisch <i>sehr schwer</i> zu entfernen	<b>HT-Dry 91026, Schichtsilikate, Barifine, Aerosile</b>  blasenförmige Rückstände (Inselbildung), mechanisch <i>sehr leicht</i> zu entfernen  <b>Al-Pigmente</b>  dünne Restfilme, mechanisch <i>leicht</i> zu entfernen	-  <b>Al-Pigmente</b>  punktuelle Rückstände, mechanisch <i>schwerer</i> zu entfernen

In Abhängigkeit vom Bodenbelag, von der aufgetragenen Pflegebefilmung und nicht zuletzt vom eingesetzten Lasersystem ergaben sich ganz unterschiedliche Entschichtungsergebnisse. Auf PVC-Böden sind insbesondere geschlossene Restfilme (mit/ohne Bildung von Mikrorissen) oder poröse Restfilme sichtbar, auf Kautschuk-Belägen hingegen überwiegen punktuelle oder blasenförmige Rückstände (Kochern). Diese „Formationen“ waren teilweise mechanisch sehr leicht zu entfernen.

Mit dem 100 W-CO<sub>2</sub>-Laser wurden Flächenraten von maximal 2,5 m<sup>2</sup>/h erreicht. Mit dem 50 W-Nd:YAG-Laser konnte die Flächenrate (5,4 m<sup>2</sup>/h) mehr als verdoppelt werden.

### 5.7 Optimierung der Deckschichteigenschaften

Wie im Ergebnis der Projektbearbeitung abzuleiten, ist es erforderlich, ein Gesamtverfahren zur Laserentschichtung zu entwickeln, das unabhängig von der Restschichtdicke des Pflegefilms, vom Verschmutzungsgrad und von Umgebungsbedingungen als stabiler Prozess eine konstante Pflegefilm-entschichtung gewährleistet ohne den Fußbodenbelag zu schädigen. Ein wichtiger Aspekt der zusammenwirkenden Komponenten Lasertechnik, Pflegefilm und Bodenbelag(sdeckschicht) ist die Widerstandsfähigkeit der Belagoberfläche. Für PVC-Beläge, die heute den Großteil der im Objektbereich verlegten Bodenbeläge ausmachen, wurde deshalb untersucht, inwieweit durch Einarbeitung von nanodispersen Füllstoffen in die transparente PVC-w Deckschicht eine Erhöhung der Laserstrahlresistenz des Belages möglich ist. Ziel war dabei, die Reflexion der PVC-w-Schicht in den Lichtwellenlängenbereichen der Laser zu erhöhen. Es wurde eine an praxisübliche PVC- Deckschichtrezepturen für Fußbodenbeläge angelehnte PVC-w Rezeptur als Grundlage für die einzuarbeitenden Nanopartikel ausgewählt:

**Grundrezeptur** (Angaben in Masseteile):

70 MT PVC Vestolit P 1430 K 90	- PVC-Basis
30 MT Vinnolit C 100 V	- Extender- PVC
35 MT Jayflex DINP	- Weichmacher
10 MT Unimoll BB	- Sekundärweichmacher
2 MT LCZ 261	- Stabilisator

Dieser Rezeptur wurden die in **Tabelle 13** aufgeführten Nanofüllstoffe in unterschiedlicher Menge bzw. auch nach unterschiedlicher Intensität der Aufbereitung zugesetzt:

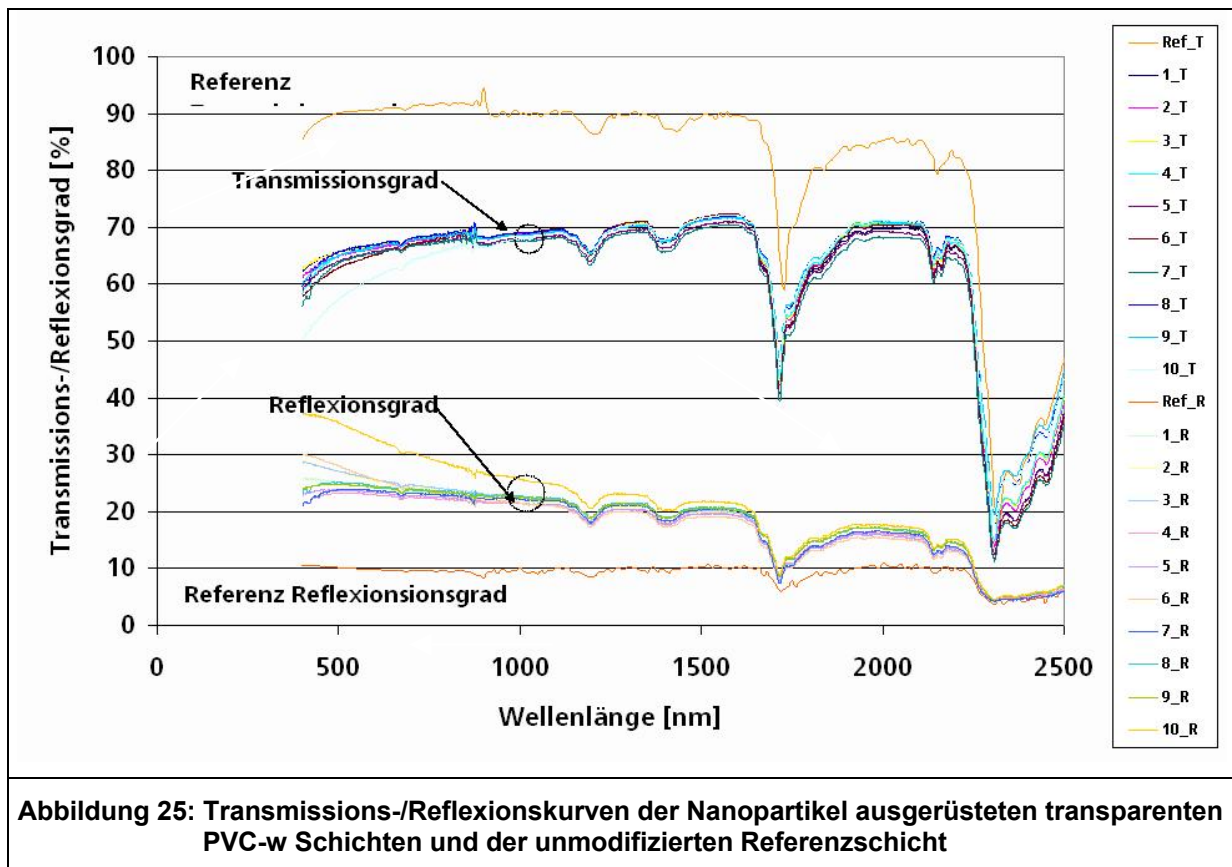
Lfd Nr.	Füllstoff	Anteil [Masseteile]	Aufbereitung
1	Barifine BF 20 F – Bariumsulfat (Schwerspat)	5	Einrühren in PVC-w Plastisol
2	Aerosil 90 – Kieselsäuregel	5	Einrühren in PVC-w Plastisol
3	Aerosil R 812 – Kieselsäuregel, hydrophobiert	5	Einrühren in PVC-w Plastisol
4	Nanofil 2 – Nano Clay (Schichtsilikat Montmorillonit)	3	Einrühren in PVC-w Plastisol
5	Nanomer I.31.PS – Nano Clay, silanisiert	5	Einrühren in PVC-w Plastisol
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> in Weichmacher (Dispersion)	1,7	Einrühren in PVC-w Plastisol
7	Nanofil 2 – Nano Clay (Schichtsilikat Montmorillonit)	3	Intensive Vordispersierung in Weichmacher
8	Nanofil SE 3000 – Nano Clay (Schichtsilikat Montmorillonit), polare Aufbereitung	3	Intensive Vordispersierung in Weichmacher
9	Nanomer I.31.PS – Nano Clay, silanisiert	5	Intensive Vordispersierung in Weichmacher
10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> in WM-Dispersion	5	Einrühren in PVC-w Plastisol

Die PVC-Plastisole wurden nach der Herstellung, dem Zusatz der Nano-Füllstoffe und Entlüftung am Mathis-Labortrockner auf Tennpapier S/K Bor Supermatte, Fa. Sappi Ltd., gestrichen, bei 130 °C zwei Minuten geliert und anschließend zwei Minuten bei 180 °C ausgeheizt.

Die entstandenen PVC-Filme wurden auf dem Trennpapier belassen und dem LLT Aachen zur Bestimmung der optischen Kennwerte zugesandt.

**Abbildung 25** zeigt die aufgenommenen Transmissions- und Reflexionskurven für die hergestellten PVC-w Schichten mit Nanopartikel-Ausrüstung sowie die Kurve für das Referenzmaterial, d. h. die unmodifizierte PVC-w Schicht.

Es zeigt sich, dass insbesondere durch nanodisperse Einarbeitung von  $Al_2O_3$  in den Weichmacher der PVC-Plastisol-Formulierung der Reflexionsgrad (Kurve 10\_R) von ca. 10 % (Referenz) auf nahezu 25 % angehoben werden konnte. Aufgrund der durch die Fa. BYK-Chemie vorgenommenen hochdispersen Einarbeitung und der homogenen Verteilung der Aluminiumoxid-Nanopartikel in der PVC-Paste kommt es zu praktisch keinen visuellen Beeinträchtigungen der transparenten Deckschicht. Die Deckschicht besitzt jedoch im interessierenden Wellenlängenbereich von 1064 nm (Nd-YAG-Laser) eine deutlich verbesserte Reflexion, was im Falle der Laserentschichtung einen verbesserten Schutz der Belagsoberfläche bedeutet.



Dieses Ergebnis stellt einen guten Ansatz für weiterführende Untersuchungen zur Laserstrahlentschichtung von modifizierten Bodenbelägen mittels Nd-YAG-Laser dar.

## 5.8 Konzeption eines Funktionsmusters und Wirtschaftlichkeit

Ausgehend von den im Projekt durchgeführten Versuchen ergeben sich unterschiedliche Konzepte zur Realisierung eines mobilen Entschichtungssystems. Neben der Laserstrahlquelle, inklusive der Strahlführung und -formung als zentralem Element, ist noch eine Absauganlage, sowie eine Steuerung und ein fahrbares Gehäuse vorgesehen. Ausgehend von den realisierten Flächenraten (2,5 m<sup>2</sup>/h bei 100 W CO<sub>2</sub>-Laserleistung, 5,4 m<sup>2</sup>/h bei 50 W Nd:YAG-Laserleistung) werden die voraussichtlich erreichbaren Flächenraten bei der maximalen Laserleistung der aufgeführten Systeme linear extrapoliert. Die Effizienz (Verhältnis von Flächenrate zu eingesetzter Laserleistung) der Laserstrahlent-schichtung ist bei Verwendung von Nd:YAG-Laserstrahlung um mehr als einen Faktor 4 besser. In **Tabelle 14** sind drei verschiedene Laserstrahlquellen aufgeführt, die sich insbesondere hinsichtlich der Wellenlänge unterscheiden.

<b>Tabelle 14: Geeignete Lasersysteme zur Realisierung eines mobilen Entschichtungssystems: relevante Laserparameter und voraussichtlich erreichbare Flächenraten</b>			
<b>Laser-System Bauart</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Laser, sealed</b>	<b>Nd:YAG-Laser</b>	<b>Faserlaser</b>
Bezeichnung, Hersteller	SCx60, Rofin	RSY100D, Rofin	YLP-10-400-20-200, IPG
Wellenlänge	10,64 µm	1,064 µm	ca. 1,065 µm
Wirkungsgrad $\eta$	0,10	0,10	0,20
Laserleistung PL	600 W	100 W	200 W
Extrapolierte Flächenrate	14,9 m <sup>2</sup> /h	10,8 m <sup>2</sup> /h	21,6 m <sup>2</sup> /h

Unabhängig von der Wellenlänge sind die Systeme so konzipiert, dass eine Arbeitsbreite von ca. 60 cm erreicht wird. Dies kann mit einem Scanner und einer F-Theta Linse mit langer Brennweite von ca. 800 mm realisiert werden. Die Entschichtungssysteme sind zunächst für das Reinigen von größeren ebenen Flächen (> einige 10 m<sup>2</sup>) ausgelegt. Für das Reinigen von Treppen ergeben sich in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Strahlquelle verschiedene Möglichkeiten. Um einen handgeführten Bearbeitungskopf mit der Strahlquelle zu koppeln, ist bei der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlquelle ein aufwändig zu fertigender und dementsprechend kostenintensiver Spiegelgelenkarm erforderlich. Im Vergleich dazu kann bei der Nd:YAG-Laserstrahlquelle ein handgeführter Bearbeitungskopf über eine flexible Lichtleitfaser mit der Strahlquelle gekoppelt werden. Die Preise für die zusätzliche Option sind nicht in der **Tabelle 14** enthalten.

Bei der Auswahl der Strahlquellen wurde weiterhin darauf geachtet, dass diese den speziellen Erfordernissen der Anwendung (insbesondere Kompaktheit und Gewicht, sowie Handhabbarkeit) angepasst sind. So ist die in **Tabelle 14** aufgeführte **CO<sub>2</sub>-Laserstrahlquelle** (Rofin SC x60) nicht die preiswerteste am Markt verfügbare Strahlquelle. Im Vergleich zu anderen CO<sub>2</sub>-Strahlquellen ist diese jedoch relativ kompakt und hat Vorteile in der Handhabung, da es um ein sogenanntes „Sealed-Off“ System handelt, das sich dadurch auszeichnet, dass der Resonator gekapselt ist und deshalb eine externe Gasversorgung entfällt. In der Tabelle sind weiterhin zwei **Laserstrahlquellen (Nd:YAG- und Faserlaser)** aufgeführt, die im Wellenlängenbereich von ca. 1060 – 1070 nm emittieren. Der Nd:YAG-Laser „RSY 100 D“ ist vergleichbar zu dem System mit dem die Versuche zum Entschichten im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführt wurde. Der Faserlaser „YLP-10-400-20-200“ ist eine vergleichsweise preiswerte und von den drei aufgeführten Laserstrahlquellen mit Abmessungen von 482 x 286 x 563 mm<sup>3</sup> (B x H x T) die kompakteste Laserstrahlquelle. Im Vergleich zu der Strahlquelle „RSY 100 D“ mit Top-Hat Intensitätsverteilung, hat dieser Laser eine gaussförmige Intensitätsverteilung. Ob die gaussförmige Strahlverteilung für das Entschichten geeignet ist, kann noch nicht beurteilt werden, da mit diesem Laser bisher noch keine Versuche durchgeführt wurden.

Basierend auf den im Projekt erzielten Ergebnissen wird die Wirtschaftlichkeit des Laserstrahlent-schichtens für die beiden Konzepte (Nd:YAG- und CO<sub>2</sub>-Laser) geprüft. Mit den extrapolierten Flächen-



raten und den in der Konzeption ausgewählten Strahlquellen (**Tabelle 14**) wird die Wirtschaftlichkeit des Laserstrahlentschichtens in **Tabelle 15** berechnet.

<b>Tabelle 15: Kostenkalkulation beim Einsatz von drei unterschiedlichen Laser-Systemen zur Entschichtung elastischer Bodenbeläge (praxisüblicher Zweischichtbetrieb <sup>[31]</sup>)</b>					
Lfd.Nr.	Laser-System Bauart	Kalkulation	CO <sub>2</sub> -Laser sealed	Nd:YAG-Laser	Faserlaser
	<b>Kosten</b>				
A	Laserstrahlquelle		90000	72300	50000
B	Strahlführung, -formung		13000	3000	12000
C	Absauganlage		2000	2000	2000
D	Steuerung/Gehäuse		3000	3000	3000
1	Investitionskosten K <sub>B</sub> [€]	A+B+C+D	108000	80300	67000
2	Abschreibungsdauer T [Jahre]		5	5	5
3	Abschreibung [€]	K <sub>B</sub> / T	21600	16060	13400
4	Kapitaldienst [€]	K <sub>B</sub> x 0,5 x 8%	4320	3212	2680
5	Wartung [€]	K <sub>B</sub> x 2%	2160	1606	1340
6	Versicherung [€]	K <sub>B</sub> x 0,1%	108	80	67
7	Raumkosten [€] (Fläche F)	F x 50 €/ m <sup>2</sup>	300	300	300
8	Fixe Maschinenkosten pro Jahr [€]	(3)+(4)+(5)+(6)+(7)	28488	21258	17787
9	Fixer Maschinenstundensatz [€]	(8) / (3520 h/Jahr)	8,1	6,0	5,0
10	Strom x h (Laser) [€/ h]	PL / η x 0,20 €/kWh	1,2	0,2	0,2
11	Strom x h (Kühler) [€/ h]	PL / η x (1-η) x 0,20 €/ kWh	1,1	0,2	0,2
12	Variabler Maschinenstundensatz [€/ h]	(10)+(11)	2,3	0,4	0,4
13	Maschinenstundensatz [€/ h]	(9) + (12)	10,4	6,4	5,4
14	Flächenrate IST [m <sup>2</sup> / h]		14,9	10,8	21,6
15	Kosten pro m <sup>2</sup> [€/ m <sup>2</sup> ]	(13) / (14)	0,7	0,6	0,25
16	Personalkosten [€/ m <sup>2</sup> ]	25 [€/ h]/ (14)	1,7	2,3	1,2
17	Gesamtkosten IST [€/m <sup>2</sup> ]	(15)+(16)	2,4	2,9	1,45
18	Gesamtkosten optimiert * [€/m <sup>2</sup> ]		1,1	1,4	0,7

\* Auf der Basis einer Reduktion der Investitionskosten um 30 % bei zukünftiger Serienproduktion sowie einer Verdopplung der Flächenrate durch zukünftige Optimierung der Lasertechnik

Bei Personalkosten in Höhe von 25 €/h ergeben sich für den Faserlaser Gesamtkosten von 1,45 €/m<sup>2</sup>, für den CO<sub>2</sub>-Laser Kosten von 2,40 €/m<sup>2</sup> und für den Nd:YAG-Laser Kosten von 2,90 €/m<sup>2</sup>. Es ist davon auszugehen, dass bei zukünftiger Serienproduktion die Investitionskosten um ca. 30 % abnehmen werden. Ferner ist davon auszugehen, dass weitere Optimierungen der Lasertechnik eine Verdopplung der in **Tabelle 15** genannten Flächenraten ermöglichen werden. Hieraus resultieren für den Faserlaser Gesamtkosten von 0,70 €/m<sup>2</sup>, für den CO<sub>2</sub>-Laser Kosten von 1,10 €/m<sup>2</sup> und für den Nd:YAG-Laser Kosten von 1,40 €/m<sup>2</sup> (**Tabelle 15**).

Geht man von den in **Tabelle 15** für den gegenwärtigen Stand genannten Daten aus, ergibt sich Folgendes: Die Gesamtkosten für die konventionelle Grundreinigung auf mechanisch-chemischer Basis liegen unter Berücksichtigung einer gegenwärtig im Durchschnitt praxisüblichen Flächenrate von 12 m<sup>2</sup>/h <sup>[32]</sup> bei ca. 3 €/m<sup>2</sup>. Hierbei wurde berücksichtigt, dass nach Schätzungen aus der Gebäudereini-

gerbranche <sup>[32]</sup> ca. 15 % (22 Mio. m<sup>2</sup>) der derzeit gewerblich gereinigten elastischen Bodenbeläge aufgrund komplexer Geometrien (z.B. Treppen, Ecken, Kanten) nicht maschinell (insbesondere mit Scheuersaugmaschinen) bearbeitet werden können, so dass ein erhöhter Personalaufwand (manuelle Grundreinigung) und daher erhöhte Kosten von 4,75 €/m<sup>2</sup> resultieren (maschinelle Grundreinigung offener Flächen: ca. 2,65 €/m<sup>2</sup>). Dies bedeutet, dass durch die Lasertechnik im Vergleich zur konventionellen Entschichtungstechnik bereits jetzt enorme Einsparungen im zweistelligen Millionenbereich möglich sind. Diese Einsparungsmöglichkeiten werden bei aufgrund von Serienfertigung verringerten Investitionskosten und durch Optimierung der Lasertechnik erhöhten Flächenraten weiter zunehmen.

## 6 Zusammenfassende Diskussion und Folgerung für die Praxis

Temporäre polymere Pflegebeschichtungen sind eine wichtige Voraussetzung für optimale Gebrauchseigenschaften elastischer Bodenbeläge (z.B. Anschmutzverhalten, Reinigungsfähigkeit, Verschleiß). Sie besitzen jedoch eine begrenzte Lebensdauer, so dass - in Abhängigkeit von der Beanspruchung - von Zeit zu Zeit eine Grundreinigung und Neubeschichtung unumgänglich ist. Bei der herkömmlichen physikalisch-chemischen Grundreinigung werden wässrige Systeme mit hohem Chemikalieneinsatz verwendet. Vor der Neubefilmung des Bodenbelages sind lange Trocknungszeiten erforderlich. Diese führen zu erheblichen Verzögerungen im Betriebsablauf des Gebäudebetreibers (die Flächen können nicht begangen werden), so dass die Kundenakzeptanz erheblich beeinträchtigt wird. Ferner können Bereiche, die maschinell unzugänglich sind, nur mit sehr hohem Personaleinsatz wirtschaftlich grundgereinigt werden. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit der Gebäudereinigungsunternehmen stark beeinträchtigt und die Erschließung neuer Marktpotentiale erschwert.

Aufgrund dieser Problematik wurden im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens 187 ZBG Untersuchungen zur Entwicklung eines effektiven und wirtschaftlichen Laserstrahlentschichtungsverfahrens zur Entfernung temporärer Pflegebeschichtungen von elastischen Bodenbelägen durchgeführt.

### 6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen zeigen die Eignung von CO<sub>2</sub>- bzw. Nd:YAG-Lasersystemen zur Entfernung temporärer Pflegebefilmungen von elastischen Bodenbelägen.

In Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurden repräsentative elastische Bodenbeläge (PVC, PUR, Kautschuk und Linoleum) und Pflegebefilmungen ausgewählt. Zur Einbeziehung von modernen Bodenbelagsentwicklungen mit Weichmachern auf Basis nachwachsender Rohstoffe bzw. mit erhöhter Verschleißfestigkeit aufweisender transparenten Nanokomposit-Deckschichten wurden bei der Fa. debolon zwei entsprechende PVC-Belagsvarianten, jeweils in einer hellen bzw. einer dunklen Farbstellung, hergestellt.

Die größten Absorptionsgrade für unmodifizierte Pflegebefilmungen wurden mit einem CO<sub>2</sub>-Laser (100 W Laserleistung) erzielt. Da diese Befilmungen für die derzeitige Praxis höhere Bedeutung haben, wurden die weiteren Optimierungsuntersuchungen mit dem CO<sub>2</sub>-Laser vorgenommen. Weitere spektrometrische Messungen an modifizierten (nanokomposit-haltigen) Pflegebefilmungen zeigten, dass eine Entschichtung auch mit Nd:YAG- oder Dioden-Lasern möglich ist.

Geeignete Verfahrensparameter für eine CO<sub>2</sub>-Laserentschichtung kleiner Flächen (2 x 2 cm<sup>2</sup>) lagen bei konstanten Werten der Intensität (1246 W/cm<sup>2</sup>), des Strahldurchmessers (3 mm), des Spurversatzes (0,3 mm) und einmaligem Überfahren des jeweiligen Belags vor. Dabei musste die Scangeschwindigkeit in Abhängigkeit von Pflegedispersion, Bodenbelag und Anschmutzung angepasst werden (2,0 bis 3,6 m/s).

Ein guter Filmabtrag beschränkt sich bisher allerdings auf ein sehr begrenztes Prozessfenster und ist dementsprechend anfällig gegen kleine Änderungen der Verfahrensparameter, aber auch der Schichtdicke, Pflegedispersion (unmodifiziert/modifiziert) sowie Anschmutzung oder Alterung der eingepflegten Bodenbeläge. Als problematisch erwiesen sich weiterhin Überlappbereiche sowie mehrfache Wiederholungen der Laserentschichtung. Nachteilig ist ebenfalls die geringe Effizienz (Verhältnis von Flächenrate zur eingesetzten Laserleistung) der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlentschichtung, die im Vergleich zur Nd:YAG-Laserstrahlentschichtung um mehr als einen Faktor 4 niedriger ist. Außerdem ist der CO<sub>2</sub>-Laser aufgrund der im Vergleich zu Nd:YAG-Lasern großen Abmessungen und einem für das Entschichten von Ecken und Kanten notwendigen Spiegelgelenkarmes, der eine aufwendige und komplizierte Strahlführung beinhaltet, für den mobilen Einsatz wenig geeignet.

Bei der Anwendung der Entschichtungsparameter auf praxisrelevante größere Flächen wurde eine umfassende Anpassung der obigen Behandlungsparameter notwendig. Bei größeren Flächen (Bahnen von  $10 \times 40 \text{ cm}^2$ ) wurden gute Entschichtungsergebnisse bei bis zu 30 % höheren Laserstrahlintensitäten (bis  $2100 \text{ W/cm}^2$ ) und bis zu 30 % niedrigeren Scangeschwindigkeiten (1,7 bis 2,3 m/s) erzielt. Höhere Laserintensitäten verstärken jedoch die Gefahr der Belagschädigung aufgrund örtlicher Überhitzung. Auf Grund der niedrigen Scangeschwindigkeiten ergeben sich gleichzeitig relativ niedrige Flächenraten (in Abhängigkeit vom Bodenbelag und der Pflegebefilmung im Bereich von 1,8 bis  $2,5 \text{ m}^2/\text{h}$ ). Höhere Flächenraten von bis zu  $5,4 \text{ m}^2/\text{h}$  resultieren beim Entschichten der Bodenbeläge mit Nd:YAG-Laser (50 W Laserleistung). Diese Entschichtungsart erfordert jedoch sowohl Anpassungen der Pflegedispersionen als auch technische Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz der Bodenbeläge gegenüber der Laserstrahlung.

## 6.2 Bedeutung des Bodenbelags

Hauptanliegen der Reinigung und Pflege ist es, den Gebrauchswert und die ästhetischen Eigenschaften des Bodenbelages über einen möglichst langen Zeitraum auf höchstem Niveau zu halten. Der Belag sollte also in seinen Oberflächeneigenschaften unter anderem hinsichtlich einer hohen Resistenz gegenüber den Einwirkungen einer Reinigung angepasst sein. Als materielle Basis einer Verbesserung der Laserstrahlresistenz bieten sich bei den heute im Objektbereich eingesetzten elastischen Fußbodenbelägen die herstellerseitig auf dem weit überwiegenden Teil aller Beläge aufgebraachte Deckschicht bzw. bei den PVC-w Belägen die unter der auch hier meist applizierten Deckschicht liegende transparente PVC-w Nutzschiicht an.

In einem anzustrebenden selbstbegrenzenden Prozess der Laserstrahlentschichtung sollte der Bodenbelag gegenüber der Laserstrahlung resistent genug eingestellt sein, so dass das Prozessfenster für die Parameter der Laserstrahlentschichtung möglichst groß gehalten werden kann. Der Belag darf im Extremfall auch dann keinen Schaden nehmen, wenn nach der Beanspruchungsphase, d. h. zum Zeitpunkt der Reinigung die Pflegebefilmung durch den Begehprozess vollständig abgenutzt ist. Da auch die herstellerseitig aufgebraachten Lackschichten von wenigen  $\mu\text{m}$  Dicke in der Nutzung der Beläge teilweise bis vollständig abgenutzt werden, sollten die für die Reflexion der Laserstrahlung und damit den Schutz des Fußbodenbelags verantwortlichen Bestandteile aus heutiger Sicht auch in die transparente Nutzschiicht des Belags eingearbeitet werden. Dazu sind gegenüber dem heutigen technischen Stand Entwicklungsarbeiten an den Fußbodenbelägen erforderlich.

## 6.3 Bedeutung des Lasers

Aus der Vielzahl der kommerziell verfügbaren Lasersysteme, wie  $\text{CO}_2$ -Laser ( $10,6 \mu\text{m}$ ), Nd:YAG-Laser ( $1064 \text{ nm}$ ), Diodenlaser ( $900 \text{ nm}$ ) oder Erbiumlaser ( $1550 \text{ nm}$ ), kommt derjenige Laser in Frage, der auf der Grundlage der Transmissions- und Reflexionseigenschaften der Pflegebefilmungen möglichst hohe Absorptionsgrade vorweist. Eine weitere Randbedingung ist, dass sich bei der jeweiligen Wellenlänge der Laserstrahlung die optischen Eigenschaften des Bodenbelags und der Pflegedispersion signifikant unterscheiden müssen, damit eine optimale Entschichtung bei minimaler Bodenbelagschädigung gewährleistet wird.

Eine Entschichtung der kommerziell erhältlichen (unmodifizierten) Pflegebefilmungen (**Tabelle 8**) mit  $\text{CO}_2$ -Laserstrahlung ist wegen des hohen Absorptionsgrades von ca. 50 % möglich. Problematisch ist dabei, dass der Prozess nicht selbst begrenzend ist und der Bodenbelag infolge eines vergleichbar hohen Absorptionsgrades geschädigt werden kann. Für Nd:YAG-Laserstrahlung zeigen die unmodifizierten Pflegebefilmungen sehr geringe Absorption (Absorptionsgrade von nahezu 0 %), weswegen sich der Nd:YAG-Laser hierfür nicht eignet.

Auf Basis der spektrometrischen Untersuchungen wurde somit ein  $\text{CO}_2$ -Laser als Laserstrahlquelle ausgewählt. Zur Festlegung der weiteren Verfahrensparameter (Laserleistung, Strahldurchmesser, Laserstrahlintensität, Verfahrgeschwindigkeit, Spurversatz) wurde ein Versuchsstand mit dieser Strahlquelle und einem schnellen Strahlablesensystem (Scanner mit maximal 5 m/s Verfahrgeschwindigkeit) aufgebaut. Die mit diesem Versuchsstand realisierbaren Verfahrensparameter wurden in einem iterativen Prozess mit dem Ziel einer schädigungsfreien und vollständigen Entschichtung systematisch variiert. Zunächst wurde an Hand von Einzelspuren der Zusammenhang zwischen Laserstrahlintensität und Verfahrgeschwindigkeit, bzw. die daraus resultierende Wechselwirkungszeit und Schädigung der Bodenbeläge analysiert. Aus diesen Untersuchungen wurden erste Grenzen für die Intensitäten und Geschwindigkeiten gewonnen, bei denen keine Schädigung der Bodenbeläge stattfindet. Die Versuche wurden auf die Bearbeitung kleiner Felder mit Abmessungen von  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  aus-

geweitet, in denen durch Variation des Spurversatzes vornehmlich die Vollständigkeit der Entschichtung bewertet wurde. In iterativen Schritten mussten wegen auftretender Schädigung der Bodenbeläge die Parameter für die Intensität und Verfahrensgeschwindigkeit angepasst werden. Die Grenzen für die jeweiligen Parameter sind einerseits durch die Schädigung des Bodenbelags und andererseits durch eine unvollständige Entschichtung oder gar keine Entschichtung vorgegeben. Mit dieser Vorgehensweise wurden die einzelnen Parameter oder Parameterbereiche bestimmt, in denen eine vollständige Laserstrahlentschichtung möglich ist. Dies wurde für eine Auswahl an praxisrelevanten Bodenbelägen in Kombination mit unterschiedlichen Pflegedispersionen durchgeführt. Weiterhin ist der Einfluss von Anschmutzungen untersucht worden. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass kein einheitlicher Parametersatz existiert, mit dem alle Kombinationen von Bodenbelag, Pflegefilm und Anschmutzung bearbeitet werden können. Vielmehr ist eine Anpassung auf die jeweils vorliegende Kombination erforderlich. Im Hinblick auf die spätere Praxis wurden die Parametersätze so erarbeitet, dass lediglich die Anpassung von nur einem Parameter (Scangeschwindigkeit) erforderlich ist.

Zur Annäherung an die praxisrelevanten Arbeitsbedingungen wurde als Nächstes eine großflächigere Entschichtung (Bahnen mit Abmessungen von  $10 \times 40 \text{ cm}^2$ ) angestrebt. Da die Größe des Bearbeitungsfeldes durch den eingesetzten Scanner auf ca.  $12 \times 12 \text{ cm}^2$  begrenzt ist, wurde eine zusätzliche Linearachse mit einem Fahrweg von 500 mm in den Aufbau integriert und Felder mit ca. 10 cm Breite bearbeitet (**Abbildung 12**). Durch die Überlagerung der Scanbewegung in Form einer „Acht“ und der Probenbewegung, die durch die Linearachse ausgeführt wird, entsteht auf der Probe wieder die mäandrierende Bearbeitung. Die Umkehrpunkte des Mäanders wurden durch Bleche abgedeckt, so dass ein Bereich von ca. 3 – 6 mm um die Umkehrpunkte herum ausgeblendet wurde (**Abbildung 13**).

Hierbei wurde festgestellt, dass sich die Verfahrensparameter von kleinen auf größere Flächen (Bahnen) mit  $\text{CO}_2$ -Laserstrahlung nicht übertragen ließen. Diese Unübertragbarkeit ist einerseits durch ungleichmäßige Scangeschwindigkeiten (Abweichungen an den Umkehrpunkten des Mäanders durch Brems- und Beschleunigungsvorgänge des Scanners), andererseits durch unterschiedliche Temperatur-Zeit Zyklen zu erklären. Die Temperatur-Zeit Zyklen sind abhängig von den eingestellten Laserparametern und den thermophysikalischen Eigenschaften (z.B. Wärmekapazität, -leitfähigkeit, Schmelz-, Verdampfungs-, Zersetzungstemperatur) der Pflegedispersion und der darunter liegenden Belagsoberfläche. Durch das größere Scanfeld (10 cm Breite gegenüber 2 cm) ergeben sich 5-fach längere Abkühlzeiten. Auf Grund des exponentiellen Temperaturabfalls ergeben sich im Vergleich zu den kleinen Scanfeldern deutlich kleinere Temperaturen in der Mitte des Scanfeldes, so dass die vom Laser zugeführte Energie nicht mehr ausreicht um die Verdampfungsschwelle zu überschreiten.

Daher wurde eine umfassende Anpassung der Parameter auf die entsprechenden Bodenbeläge und Pflegebefilmungen notwendig. Im Vergleich zu den kleinen Flächen wurden bei größeren Flächen (Bahnen) auf Grund der Wärmeleitungsverluste gute Entschichtungsergebnisse bei bis zu 30 % höheren Laserintensitäten (bis  $2,1 \text{ kW/cm}^2$ ) und bis zu 30 % niedrigeren Scangeschwindigkeiten (1,7 bis  $2,3 \text{ m/s}$ ) erzielt. Hierbei konnten je nach Bodenbelag Flächenraten im Bereich von 1,8 bis  $2,5 \text{ m}^2/\text{h}$  erreicht werden.

Durch Einarbeitung von Additiven werden die Eigenschaften handelsüblicher Pflegedispersionen so modifiziert, dass auch eine Entschichtung mit Nd:YAG-Laserstrahlung möglich ist. Die modifizierten Pflegebefilmungen haben für Nd:YAG-Laserstrahlung einen Absorptionsgrad von 40 - 50 %. Diese Pflegebefilmungen sind aber nicht als Lasersperrschicht zum Schutz der Bodenbeläge geeignet, da der Transmissionsgrad mit ca. 35 - 50 % noch zu hoch und der Reflexionsgrad mit ca. 5-15 % zu niedrig ist. Beim Entschichten der Bodenbeläge mit Nd:YAG-Laser (50 W Laserleistung) resultieren Flächenraten von bis zu  $5,4 \text{ m}^2/\text{h}$ .

#### 6.4 Bedeutung der Befilmung und des Reinigungsverfahrens

Die untersuchten oberflächenrelevanten Eigenschaften der Bodenbeläge, wie Filmhaftung, Glanz, Farbe, Rauigkeit, Lichtechtheit, Chemikalienbeständigkeit, Migrationsverhalten, Abrieb und Mikroelastizität, werden sowohl von der Zusammensetzung der eingesetzten Pflegedispersion und den verwendeten Additiven als auch von der Art des Reinigungsverfahrens beeinflusst.

Im vorgelegten Abschlussbericht sind die oberflächenrelevanten Eigenschaften der Testmonitore im produktionsfrischen Zustand und nach Grundreinigung und Ersteinpflege (Kap. 5.1.1) sowie nach fünf-facher konventioneller Reinigung (Kap. 5.4) anhand von Filmhaftung, Glanz, Farbe, Rauigkeit, Lichtechtheit, Chemikalienbeständigkeit, Migrationsverhalten, Abrieb und Mikroelastizität ausführlich beschrieben. Diese Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Filmhaftung:** Beim Vergleich vom 1. zum 5. Zyklus (Grundreinigung/Befilmung) waren die Ergebnisse der Filmhaftung generell uneinheitlich, hier konnte keine direkte Korrelation der Filmhaftung mit der Art des Bodenbelages bzw. der Art der Befilmung und Anschmutzung ermittelt werden.
- **Glanz:** Bei allen Bodenbelägen wurde eine signifikante Erhöhung des Glanzes nach der 1. Befilmung, bezogen auf die grundgereinigten (unbefilmten) Bodenbeläge, unabhängig von der verwendeten Pflegedispersion gemessen (**Abbildung 14**). Überwiegend war keine Änderung des Glanzes in Bezug auf die Zyklenzahl zu verzeichnen. Nur bei Lino-MB 10 wurde ein deutlicher Glanzverlust als Folge der wiederholten Reinigungszyklen festgestellt.
- **Farbe:** Bei allen Bodenbelägen war in Bezug auf den 1. Zyklus (Grundreinigung/Befilmung) ein Einfluss auf den Farbabstand zu erkennen. Bei der Anschmutzung mit Antiseptikum vergilben die Bodenbeläge in der Regel, bei der Anschmutzung mit Schuhcreme werden die Bodenbeläge in der Regel dunkler.
- **Rauhigkeit:** Probe PVC-he-PUR 2 wird nach dem 5. Reinigungszyklus glatter im Vergleich zum Ausgangszustand (**Abbildung 15**). Keine Änderung der Rauhigkeit ist bei KAU 4 und PUR 8 festzustellen, während Lino-MB 10 an Rauhigkeit gewinnt.
- **Lichtechtheit:** sowohl die Grundreinigung als auch die verschiedenen Pflegebefilmungen beeinflussen die Lichtechtheit der Bodenbeläge im Ausgangszustand nur unwesentlich (**Tabelle 6**). Die Bewertung der Lichtechtheit für die FILK-Neuentwicklungen mit alternativem Weichmacher auf Basis nachwachsender Rohstoffe gestaltete sich schwierig, da die Beläge unter der Lichteinwirkung eine Entfärbung erfuhren. Nach fünf Reinigungszyklen veränderte sich die Lichtechtheit (**Tabelle 11**). Die Schuhcreme trug stärker als das Antiseptikum zu dieser Veränderung bei.
- **Chemikalienbeständigkeit:** Der chemikalienresistentester Belag bei Einpflege sowohl mit SGD-P als auch SGD-PM1 ist PVC-he-PUR 2. Eine allgemeine Tendenz zur Erhöhung der Anfälligkeit gegenüber Lösungsmittel und Schuhcreme ist festgestellt worden. Der Einfluss der Zeit und spezifischer Prüfsubstanzen auf die Chemikalienbeständigkeit der untersuchten Fußbodenbeläge im Ausgangszustand und nach fünf Reinigungszyklen ist in **Anlage 1** bzw. **Anlage 3** verdeutlicht.
- **Migrationsverhalten:** Die Grundreinigung beeinflusst die Migrationseigenschaften der Weichmacher nur sehr gering. Stattdessen wirken die Pflegebefilmungen sowohl bei den Originalbelägen als auch nach fünf Reinigungszyklen migrationsmindernd bei hohem Weichmachergehalt des Originalbelags (zurückzuführen auf eine Minderung der Migrationsgeschwindigkeit) bzw. migrationserhöhend bei niedrigem Weichmachergehalt (zurückzuführen auf einen Übergang von Pflegefilmbestandteilen in die migrierende Masse) (**Tabelle 7, Abbildung 16**).
- **Abrieb:** Bei den Bodenbelägen im Ausgangszustand führt die Grundreinigung zu einer Verminderung bzw. die Pflegebefilmung zu einem Anstieg der Abriebwerte (**Abbildung 2**). Im Allgemeinen unterscheiden sich die Abriebwerte nach fünf Reinigungszyklen wenig von denen im Ausgangszustand. Die Abriebwerte sind im Falle der Anschmutzung mit Antiseptikum (Betaisodona) geringer als bei Anschmutzung mit Schuhcreme (**Abbildung 17**).
- **Mikroelastizität:** Durch Grundreinigung und Ersteinpflege werden insbesondere Linoleumbeläge weicher (da größere Gesamtverformung) und unelastischer (da höhere Permanentverformung) (**Abbildung 3**). Nach fünf Reinigungszyklen zeigen die meisten Beläge nur geringfügige Veränderungen in der permanenten Verformbarkeit bzw. elastischen Rückstellung (**Abbildung 18 und Abbildung 19**). In **Anlage 2** ist der Einfluss der Lichtalterung auf die Gesamtverformung gezeigt. Erst nach zweimaliger Lichtalterung werden die Beläge härter und unelastischer.

Für modifizierte Pflegebefilmungen ergeben sich in Abhängigkeit von den Additiven und Bodenbelägen unterschiedliche Entschichtungsergebnisse. Beim Einsatz von Additiven, wie IR-Absorbieren (Schichtpigmente beschichtet mit Metalloxid), nanodispersen Schichtsilikaten, pyrogenen Kieselsäuren, Schwerspat oder Aluminiumpigmenten, sind auf PVC-Böden insbesondere geschlossene Restfilme (mit/ohne Bildung von Mikrorissen) oder poröse Restfilme sichtbar, während auf Kautschuk-Belägen überwiegend punktuelle oder blasenförmige Rückstände (Kochern) vorhanden sind. Diese Reste sind mechanisch sehr leicht zu entfernen. Die bisher getesteten Modifizierungen der Pflegebefilmungen weisen eine relativ starke Trübung resp. Beeinflussung des optischen Erscheinungsbildes des Bodenbelages auf.

Was den Einfluss des Reinigungsverfahrens auf das Entschichtungsergebnis betrifft, ist festgestellt worden, dass unmodifizierte Pflegebefilmungen in einem 2-stufigen Verfahren, bestehend aus einer

CO<sub>2</sub>-Laserstrahlbehandlung und anschließendem Trockenreinigen mit Hilfe einer Scheuersaugmaschine, am besten abgetragen werden. Dieses Verfahren zeigte auf dem Bodenbelag PVC-he-PUR 2 zufriedenstellende praxisrelevante Ergebnisse. Probleme aufgrund mangelnder Laserstrahlresistenz der Beläge entstehen jedoch auch hier bei Mehrfach-Überfahrungen mit dem Laser bzw. in Überlappungsbereichen.

## 6.5 Folgerungen für weiterführende Untersuchungen

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass zusätzlicher Forschungsbedarf besteht. Der Forschungsbedarf liegt in der Entwicklung eines Verfahrens zur vollständigen Laserstrahlentschichtung auf der Basis selbst begrenzender Prozesse. Um eine Bodenbelagsschädigung zu verhindern, sind Lasersperrschichten mit hohem Laser-Reflexionsgrad notwendig. Die Sperrschichten dürfen weiterhin die visuelle Erscheinung des Bodenbelags nicht beeinträchtigen. Für die dafür notwendige Modifikation der Pflegebefilmung bieten sich u.a. Aluminiumpigmente an. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie IR-Strahlung (z.B. Nd:YAG-Laserstrahlung) reflektieren. Die meisten Metalle reflektieren dagegen UV- bzw. VIS-Strahlung. Eine Übertragung des Verfahrens in die Praxis der Gebäudereinigung erscheint problemlos, da auch bisher während der Reinigung/Pflege mehrere Schichten an Pflegemitteln aufgebracht werden. Vorstellbar ist auch eine direkte Aufbringung derartiger Schutzschichten bei der Belagsproduktion.

## 7 Danksagung

Wir danken der Europäischen Forschungsgemeinschaft Reinigungs- und Hygienetechnologie e.V. (FRT) und dem Verein zur Förderung des Forschungsinstitutes für Leder und Kunststoffbahnen (FILK) Freiberg/Sachsen e. V. für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens AiF-Nr. 187 ZBG), das im Initiativprogramm "Zukunftstechnologien für kleine und mittlere Unternehmen" (ZUTECH) aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) erfolgte.

Ferner danken wir zahlreichen Mitgliedsunternehmen für die intensive Begleitung der Arbeiten mit Beratung und Hilfe beim Transfer. Den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses danken wir für die hilfreichen Diskussionen und Anregungen zur erfolgreichen Bearbeitung des Forschungsvorhabens.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Krüssmann, H., Garvens, H. J.  
Optimierung von Verfahrensparametern beim maschinellen Polieren und Cleanern von elastischen Bodenbelägen  
Abschlussbericht zum AiF-Forschungsprojekt 10254 N, 1997
2. Liko, C., Bohnen, J.  
Optimierung der Reinigungsdienstleistung von Gebäudereinigungsbetrieben hinsichtlich der Nutzungsdauer von Hygienebeschichtungen und Bodenbelägen - Erfassung der Optimierung der Verschleißigenschaften von Hygienesystemen  
Abschlussbericht zum AiF-Forschungsprojekt 12346 N, 2002
3. Herziger, G., Poprawe, R., Weber, H (Eds.)  
Landolt-Börnstein new series, Group 8: Advanced Materials and Technologies  
Vol. VIII/1C: Laser Physics and Applications/ Laser Fundamentals/ Laser Applications, 2005
4. Wehner, M., Grötsch, G., Kreutz, E.W., Schulz, W., Wissenbach, K.  
Ablation of oxide layers on metallic surfaces by excimer laser radiation  
Proceedings ECLAT '90, 917, 1990
5. Arnold, J., Dausinger, F.  
Surface structures produced by excimer lasers during ablation of metals  
Proceedings ECLAT '90, 859, 1990
6. Präzisionsabtragen mit Lasern  
Laser in der Materialbearbeitung, Band 12, VDI Verlag, 2000
7. Abtragen mit CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasern  
Laser in der Materialbearbeitung, Band 10, Punkt 2.2, VDI Verlag, 1998
8. Krupke, W.F.  
Characteristics of Laser Sources  
CRC Handbook of Chemistry and Physics, 88th edition, David R. Lide (ed.), 2008

9. Reutzel, E.W., Sills, C.A.  
An Investigation of Laser Based Coating Removal  
Proceedings ICALEO, Section B, 138, 1999
10. Reitz, W.  
Surface Cleaning and Coating Removal with Lasers  
Lasers in Surface Engineering, ASM International, 43, 1998
11. Stollenwerk, J., Barkhausen, W.  
Potenzial der Laserstrahl-Reinigungstechnik für die Automobil- und Automationstechnik  
Tagungsband Rohbauexpertenkreis, Fellbach, 1998
12. Wissenbach, K., Johnigk, C., Willenborg, E.  
Innovative Entwicklungen im Bereich des Laserstrahlreinigens - ein Überblick -  
Proceedings Aachener Kolloquium für Lasertechnik, 497, 2002
13. Beyer, E., Wiedemann, G., Hauptmann, J.  
Rutschhemmung durch Laser vor Ort  
Stone plus Nr. 5, 54-55, 2003
14. Lee, S.H., Park, J.G., Lee, J.M., Cho, S.H., Cho, H.K.  
Si wafer surface cleaning using laser-induced shock wave: a new dry cleaning methodology  
Surface and Coatings Technology, Volumes 169-170, 178-180, 2003
15. Feng, Y., Liu, Z., Vilar, R., Yi, X.-S.  
Laser surface cleaning of organic contaminants  
Applied Surface Science, Volume 150 Issues 1-4, 131-136, 1999
16. Knöppel, W.  
Untersuchungen des Abtragens von Deckschichten mit Laserstrahlung und Beurteilung des Verfahrens unter wirtschaftlichen Aspekten  
Diplomarbeit RWTH Aachen, 1996
17. Verbrauch Bodenbeläge Deutschland 2005 bis 2008  
boden wand decke 6-7, 16, 2007
18. Wulfert, R.W.  
Beschichtung oder Pflegefilm  
Reinigung & Service 09, 30-32, 1995
19. Lutz, W.  
Linoleum und PVC-Beläge im Objekt, Unterschiede und reinigungstechnische Merkmale  
Reinigung & Service 03-04, 23-25, 1989
20. Neuheiten – Bodenbeläge  
Bodenbeläge Tapeten Heimtextilien, Heft 11, S. 64, 70, 71, 1998
21. Pitt, W.A.  
Beschichtung ist nicht gleich Beschichtung  
boden wand decke 6-7, 64-65, 2007
22. Mischke, P.  
Filmbildung in modernen Lacksystemen  
Farbe und Lack Edition, Vincentz Network, Hannover, 2007
23. Brock, T., Grotklaes, M., Mischke, P.  
Lehrbuch der Lacktechnologie  
Coatings Compendien, Curt R. Vincentz Verlag, Hannover, 2000
24. Lutz, W., Steinberger, R.  
Fachbuch Gebäudereinigung  
Rosemarie Lutz Verlag, 1. Auflage, 2000
25. Fachwissen Gebäudereinigung  
Verlag Europa-Lehrmittel, 2. Auflage, 2005
26. Kollektionsübersichten der Zeitschriften BTH Heimtex, Parkett Magazin Fussboden Technik,  
Band 2: Elastische Bodenbeläge, Jahrbuch 2003  
SN-Verlag Michael Steinert, Hamburg
27. Garvens, H.J., Krüssmann, H..  
Entwicklung eines abwasserfreien und materialschonenden Verfahrens zur Entfernung von Polymer- und Wachsbeschichtungen von Bodenbelägen  
Abschlussbericht zum AiF-Forschungsprojekt 11067 N, 1999
28. Sitzung der 3 Forschungsstellen am 02.10.2007
29. Sepour, S.  
Nanotechnologie: Grundlagen und Anwendungen  
Farbe und Lack Edition, Vincentz Network, Hannover, 2008

30. Kaskel, S.  
Unsichtbare Helfer für neue Funktionalitäten  
Evonik Science Newsletter 21, 2007
31. Preuß, T.  
Nanofüllstoffe in der Kunststofftechnik  
KTP-Jahrestagung, Kunststofftechnologie e.V. Paderborn, 2003
32. Persönliche Mitteilung Herr Kurda, Clean Gebäudereinigungs GmbH & Co. KG, September 2008



**Anlage 1: Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge im Ausgangszustand**

**Blatt 1: produktionsfrisch, unbeschichtet**

**Einwirkzeit: 2 min**

Belag Prüfsubst.	PVC-ho- PUR	PVC-he- PUR	PVC-he- OB	KAU	PVC-ho- PUR	PVC-ho- OB	PVC-ho- PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC- nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
Toluol	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	1-2	1-2
Jodlösung, 2% ig	4	4	2-3	2	4	4	2-3	4	4	4	3	3
Wasserstoffperoxid	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Olivenöl	0-1	0	1	2-3	0	1	1-2	1-2	0	1	1	1
Ketchup	1	1	1-2	2-3	0	1-2	1	1	1-2	1	1	2
Tinte, blau	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	3	2	3	2	4	4	4	2-3	4	4	0-1	2
Ketch./ Öl / Paprika	1	0	2	2	0	2-3	2-3	1-2	2	1	1-2	2
permanent Stift, rot	4	3	3	2-3	3	4	4	1	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 1 h**

Belag Prüfsubst.	PVC-ho- PUR	PVC-he- PUR	PVC-he- OB	KAU	PVC-ho- PUR	PVC-ho- OB	PVC-ho- PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC- nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1,5	1,0
Toluol	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	1,5	1,0
Jodlösung, 2% ig	4	4	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4,0	4,0
Wasserstoffperoxid	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
Olivenöl	1,5	0,5	1	2,5	0	0,5	1	1	0	1	1,0	1,0
Ketchup	2,5	2	2	2,5	0	2,5	3	1	2,5	2,5	1,0	2,0
Tinte, blau	4	4	4	4	4	4	4	3,5	4	4	4,0	4,0
Schuhcreme, rot	4	3	3	3,5	4	4	4	2,5	4	4	1,5	2,0
Ketch./ Öl / Paprika	1	1	3	2,5	1	2,5	3	1,5	2,5	2	3,0	3,5
permanent Stift, rot	4	2,5	4	2,5	3,5	4	4	1	4	4	4,0	4,0

**Einwirkzeit: 24 h**

Belag Prüfsubst.	PVC-ho- PUR	PVC-he- PUR	PVC-he- OB	KAU	PVC-ho- PUR	PVC-ho- OB	PVC-ho- PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC- nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1-2	1
Toluol	0	0	0	2-3	0	0	0	0	1-2	0	1-2	1
Jodlösung, 2% ig	4	4	3-4	4	4	4	3-4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Olivenöl	0-1	0-1	1-2	2-3	0	0	0	1-2	1	1-2	1	1
Ketchup	1	1-2	3	3	2-3	3	2	1	2-3	1-2	2	2
Tinte, blau	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	4	3	4	2	4	4	4	3	4	4	3	4
Ketch./ Öl / Paprika	1	1	4	3-4	2-3	4	4	2	3	1	4	4
permanent Stift, rot	4	3-4	4	2	3-4	4	4	1	4	4	4	4

**Anlage 1: Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge im Ausgangszustand**

**Blatt 2: grundgereinigt, unbeschichtet**

**Einwirkzeit: 2 min**

Belag Prüfsubst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	0	0	3	4	2	2	3	2	2	3	0-1	0-1
Toluol	0	0	2	3	1	2	3	2	1	3	0-1	0-1
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0-1	0-1
Wasserstoffperoxid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Olivenöl	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0
Ketchup	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Tinte, blau	4	4	4	4	3-4	4	4	3	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	2	2	1	2	3	4	4	0-1	4	3-4	4	4
Ketch./ Öl / Paprika	1	1	2	3	1	2	3	1	2	1	3-4	3-4
permanent Stift, rot	3	2	2-3	3	4	4	4	1	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 1 h**

Belag Prüfsubst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	0	0	0	2	1	0	0	0	1	3	0-1	0-1
Toluol	0	0	0	3	1	0	1	2	2	2-3	0-1	0-1
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3-4	0
Olivenöl	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0
Ketchup	1	1	1	3	1-2	2	2	1	1	2	4	2
Tinte, blau	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	4	3	3	3	4	4	4	1	4	4	4	3-4
Ketch./ Öl / Paprika	2	1	3	2	1	2	3	1	3	2	4	4
permanent Stift, rot	3	2-3	2	3	3	4	4	2	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 24 h**

Belag Prüfsubst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	0	0	0	2	0	0	2	1	1	3	0-1	0-1
Toluol	0	0	0	3	0	0	1	0-1	1	2	0-1	0-1
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	4	3-4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid	0	0	0	2-3	0	0	0	0	0	0	3-4	0
Olivenöl	1-2	1	1	2-3	0-1	0	1	1	1-2	2	0	1
Ketchup	1-2	1	2-3	3-4	1	2-3	2-3	1	2	1-2	4	3-4
Tinte, blau	4	4	4	4	4	4	4	3-4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	3-4	3	3	3	4	4	4	1-2	4	4	4	4
Ketch./ Öl / Paprika	0	1	4	2-3	1-2	4	4	0	3-4	1	4	4
permanent Stift, rot	4	3	3	4	4	4	4	1-2	4	4	4	4

**Anlage 1: Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge im Ausgangszustand**

**Blatt 3: grundgereinigt, eingepflegt mit SGD-P**

**Einwirkzeit: 2 min**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		1-2	0	4*	0-1	0-1	0	0	0	0	0	0-1	4*
Toluol		1-2	0	4*	0-1	0-1**	0	1-2	0	0	0-1	4*	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4	4*	4	4	4	4	4	4	4	4*	4
Wasserstoffperoxid		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Olivenöl		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ketchup		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		0	0-1	0	0	0	0-1	0	0	0	4	2-3	3
Ketch./ Öl / Paprika		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3-4
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 1 h**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		1-2	0	4*	0-1	0-1	0	0	0	0	4*	1	4*
Toluol		1-2	0	4*	0-1	0-1**	0	1	0	0-1	0-1	4*	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4	4*	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid		0	0	0	1-2	0	0	1	0	0	0	4*	4*
Olivenöl		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ketchup		1	0	1	0	0	1	0	1	0	0-1	3	2-3
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		0	0-1	1	0	0	3	2	0	1	0-1	2-3	3-4
Ketch./ Öl / Paprika		0	0	1-2	0	0	0-1	0	0	0	0	2-3	4
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 24 h**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		1-2	0	4*	0-1	0-1	1	0	0	0	4*	1	4*
Toluol		1-2	0	4*	0-1	0-1**	0	1	1-2	0	0-1	2-3	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid		0	0	0	3	0	0	1	2	0	0	3-4	1-2
Olivenöl		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1-2	1
Ketchup		1	0	2	0	0	2	1	2-3	0	2-3	3-4	3-4
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		2	0-1	2	0	1	3	2	0	4	0-1	2-3	3-4
Ketch./ Öl / Paprika		2	0	3-4	0	0	3	0	0	0	0-1	4	4
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

\* Pflegebefilmung zerstört; \*\* Pflegebefilmung angegriffen

**Anlage 1: Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge im Ausgangszustand**

**Blatt 4: grundgereinigt, eingepflegt SGD-PM1**

**Einwirkzeit: 2 min**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		0-1	4**	4*	1-2	4**	4*	4*	4*	0-1	4*	4*	4*
Toluol		4**	4**	4*	0-1	4**	4*	4*	4*	0-1	0-1	4*	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4**	4*	4	4	4*	4	4*	4	4	4*	4*
Wasserstoffperoxid		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0-1
Olivenöl		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ketchup		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0-1	0-1	1-2
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		0	0	0-1	0	2	3	0-1	0	3-4	1-2	2-3	3-4
Ketch./ Öl / Paprika		0	0	0-1	0	0-1	0-1	0	0	0	0	1-2	1-2
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 1 h**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		0-1	4**	4*	1-2	3-4**	4*	4*	3	1	4	4*	4*
Toluol		4**	3*	4*	0-1	3-4**	4*	4*	3	1	4*	4*	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4**	4*	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid		0	0	0	0-1	0	0	0	0	0	0	4*	4*
Olivenöl		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0-1	0
Ketchup		0	0	0	0	0	0-1	0	0-1	0	0-1	2-3	4
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		2-3	0	4	0-1	3	3	2-3	0-1	4	1-2	4	4
Ketch./ Öl / Paprika		0	0	1	0-1	0	0-1	0	0	0	0-1	3	3-4
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 24 h**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		0-1	4**	4*	1-2	3-4**	4*	4*	3	1	4	4*	4*
Toluol		4**	3**	4*	0-1	3-4**	4*	4*	3	1	4*	4*	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4**	4*	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid		0	0	0	0-1	0	0	0-1	1-2	0	0	4*	4*
Olivenöl		0	0	0	0-1	0	0	0	0	0	0	1-2	2
Ketchup		0	0	1-2	1	1-2	1-2	0	0-1	0	2	4	4
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		4	4	4	3-4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ketch./ Öl / Paprika		0	0	3-4	0-1	0	3-4	0	0	0	0-1	3-4	4
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

\* Pflegebefilmung zerstört; \*\* Pflegebefilmung angegriffen

**Anlage 1: Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge im Ausgangszustand**

**Blatt 5: grundgereinigt, eingepflegt SGD-PM2**

**Einwirkzeit: 2 min**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*
Toluol		4	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	1	4*	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4	4*	4*
Wasserstoffperoxid		0	0	0	0	0	0	0	0-1	0	0	0	0
Olivenöl		0	0	0	0-1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ketchup		0	0	0	0-1	0	2-3	0	0-1	0	1	0-1	0
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		0	0	0	0	0	2-3	2	0	1-2	1-2	2-3	2
Ketch./ Öl / Paprika		0	0	1	0	0	0	0-1	0	0	1	0	0
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 1 h**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4	4*	4*
Toluol		0-1	4	4*	1	1	4*	4*	4*	4*	1	4*	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4	4	4*	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid		1	4*	4*	3-4	4*	1	4*	4	0	4	4*	3-4
Olivenöl		0	0	0	0-1	0	0	0	0	0	0	0-1	0
Ketchup		3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	2	3-4	3-4	3-4	3	4	4
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		4	3-4	3-4	4*	4	3-4	4	4	4	4	4	4
Ketch./ Öl / Paprika		1	0	0-1	0-1	1	0-1	0-1	1	0	1	0	0
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 24 h**

Prüfsubst.	Belag	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat		4*	4*	4*	1-2	4*	4*	4*	4*	4*	4	4*	4*
Toluol		0-1	4	4*	1	1	4*	4*	4*	4*	1	4*	4*
Jodlösung, 2% ig		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid		1	4*	4*	4*	4*	1-2	4*	4*	0	4	4	3-4
Olivenöl		0	0	0	0-1	0	0	0	0	0	1	1	0-1
Ketchup		3-4	1	2	3-4	3-4	2	3-4	4	3-4	4	4	4
Tinte, blau		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot		4	3-4	4	4*	4	4	4	4	4	4	4	4
Ketch./ Öl / Paprika		0	0	2	0-1	0	1	0-1	1-2	0	1	0	0
permanent Stift, rot		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

\* Pflegebefilmung zerstört

**Anlage 1: Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge im Ausgangszustand**

**Blatt 6: grundgereinigt, eingepflegt SGD-PW**

**Einwirkzeit: 2 min**

Belag Prüfsubst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	1	0	4*	1	4*	-	4*	4*	4*	4*	4*	4*
Toluol	4**	4*	4*	4*	4*	-	4*	4*	4*	4*	4*	4*
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4*	-	4*	4*	4*	4*	4*	4*
Wasserstoffperoxid	0	0	0	0	0	-	0	0-1	0	0-1	0-1	0
Olivenöl	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Ketchup	0	0-1	0	0	0	-	0	0	0	0	1	1
Tinte, blau	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	0-1	0	0	0	0	-	0	1	0	0-1	3-4	4
Ketch./ Öl / Paprika	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	1	1-2
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 1 h**

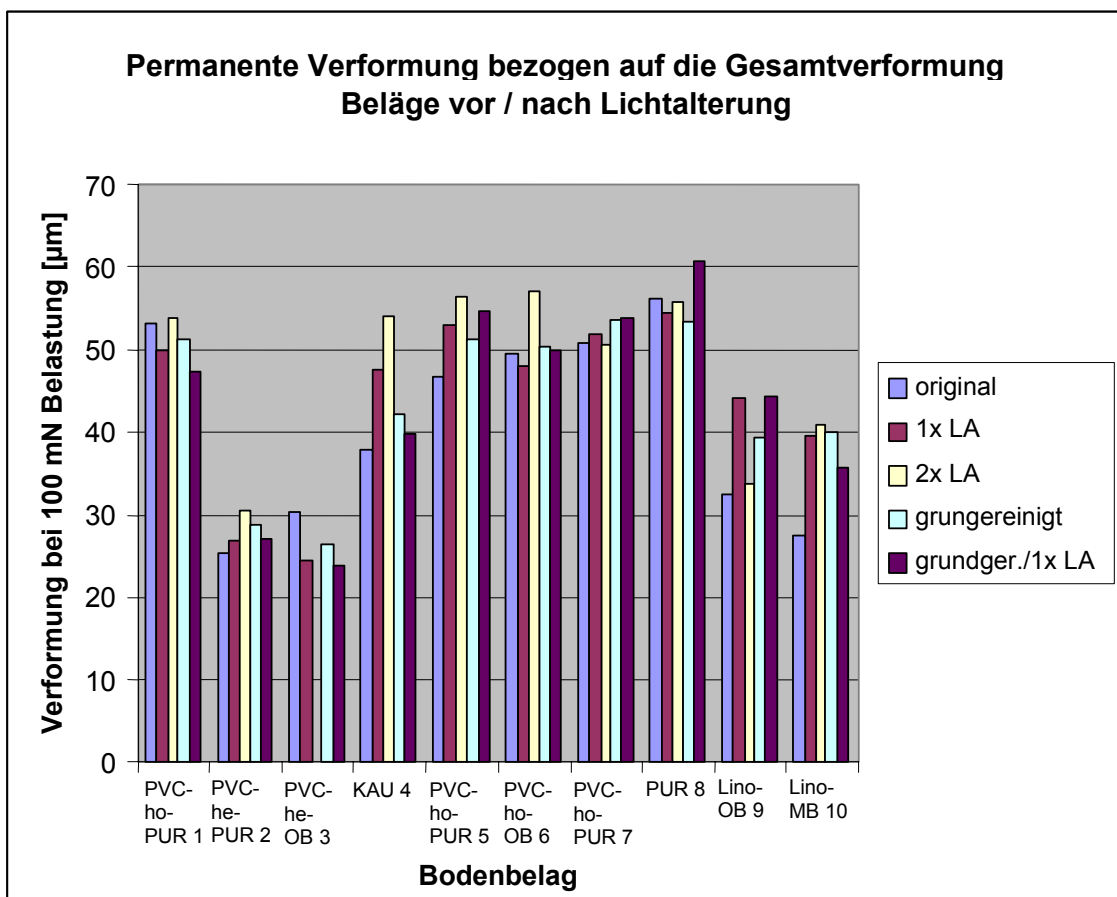
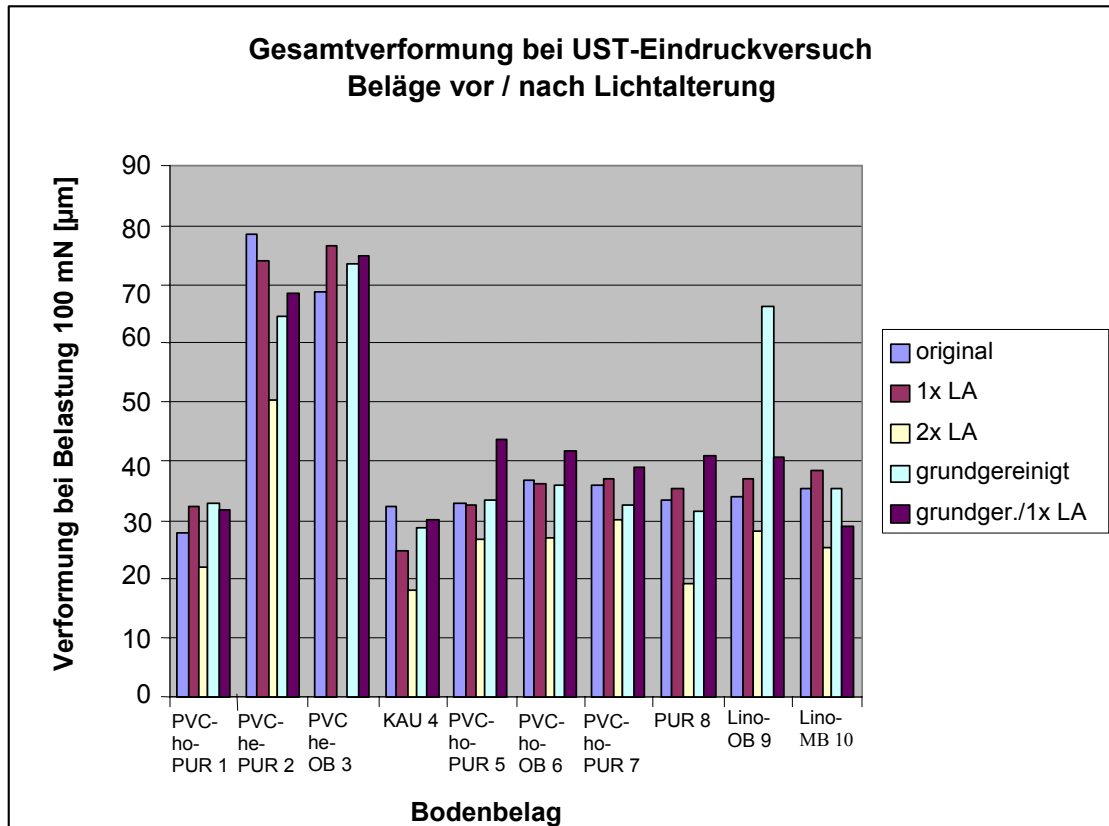
Belag Prüfsubst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	1	0	4**	1	4**	-	0-1	4**	4**	4**	4*	4*
Toluol	1	0	4**	0	4**	-	4**	0-1	4**	2	4*	4*
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid	4**	4**	4**	1	4**	-	4**	4	0-1	4	4*	4
Olivenöl	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Ketchup	1	0-1	4	4	0	-	3-4	3-4	3-4	2	3-4	4
Tinte, blau	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	4	4	4	3	4	-	3	2-3	4	3	4	4
Ketch./ Öl / Paprika	0	0	1-2	0	0	-	1	0	0	1	3	3-4
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4

**Einwirkzeit: 24 h**

Belag Prüfsubst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	PVC-he-OB	KAU	PVC-ho-PUR	PVC-ho-OB	PVC-ho-PUR	PUR	Lino-OB	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ethylacetat	1	0	4**	1	4**	-	0-1	0-1	4**	4**	4*	4*
Toluol	1	0	4**	0	4**	-	4**	0-1	4**	2	4*	4*
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid	1	1	4**	2-3	4**	-	4**	4	0-1	4	4	4
Olivenöl	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	1	1
Ketchup	3	3-4	4	4	4	-	3-4	4	3-4	4	4	4
Tinte, blau	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4
Ketch./ Öl / Paprika	0	0	3	0-1	3	-	2-3	0-1	0	3-4	4	4
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4

\* Pflegebefilmung zerstört; \*\* Pflegebefilmung angegriffen

Anlage 2: Mikroelastizitätsuntersuchungen an Originalbelägen vor/nach Lichtalterung



### Anlage 3: Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge nach fünf Reinigungszyklen

#### Blatt 1: Einpflege mit SGD-P

#### Anschmutzung Schuhcreme Einwirkzeit: 2 min

Belag / Prüfsbst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	KAU	PVC-ho-OB	PUR	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	4	6	8	10	11	13
Ethylacetat	4*	0	2	1-2	1-2	0	1	0
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	4	3-4	4
Wasserstoffperoxid	0	0	0	0	0	3	0	0
Tinte, blau	4	3	3-4	4	3-4	4	4	4
Schuhcreme, rot	2	1	1-2	2	1	3	2	2
Ketch./ Öl / Paprika	0	0	2	0	0-1	0	0	0
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	4	4	4

#### Anschmutzung Betaisodona Einwirkzeit: 2 min

Belag / Prüfsbst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	KAU	PVC-ho-OB	PUR	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	4	6	8	10	11	13
Ethylacetat	2	0	2	2	2	0	1	0
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid	0	0	0	0	0	2-3	0	0-1
Tinte, blau	4	3	3-4	4	3-4	3-4	4	4
Schuhcreme, rot	2	0	1-2	1	1	2-3	2	2-3
Ketch./ Öl / Paprika	0	0	1-2	0	1	0	1-2	1-2
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	4	4	4

#### Anschmutzung Schuhcreme Einwirkzeit: 1h

Belag / Prüfsbst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	KAU	PVC-ho-OB	PUR	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	4	6	8	10	11	13
Ethylacetat	4*	2	2	1-2	1-2	0	4	1
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid	0	0	2	0	0	3	0	0
Tinte, blau	4	4	3-4	4	3-4	4	4	4
Schuhcreme, rot	3	2	1-2	3	1	3-4	2-3	2
Ketch./ Öl / Paprika	1	0	1-2	0	2	0	1-2	0
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	4	4	4

#### Anschmutzung Betaisodona Einwirkzeit: 1h

Belag / Prüfsbst.	PVC-ho-PUR	PVC-he-PUR	KAU	PVC-ho-OB	PUR	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC-nano 13
	1	2	4	6	8	10	11	13
Ethylacetat	2	0	2	2-3	2	0	2	1
Jodlösung, 2% ig	4	4	4	4	4	4	4	4
Wasserstoffperoxid	0	0	2	0	0	2-3	0	0-1
Tinte, blau	4	4	3-4	4	3-4	4	4	4
Schuhcreme, rot	3	1	1-2	2	2-3	3-4	2-3	2-3
Ketch./ Öl / Paprika	0	0	1-2	0	1	0	1-2	1-2
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	4	4	4

\*Oberfläche angegriffen



### Anlage 3: Chemikalienbeständigkeit der Fußbodenbeläge nach fünf Reinigungszyklen

#### Blatt 2: Einpflege mit Selbstglanzdispersion PM1

##### Anschmutzung Schuhcreme Einwirkzeit: 2 min

Belag Prüfsubst.	PVC-ho- PUR	PVC-he- PUR	KAU	PVC-ho- OB	PUR	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC- nano 13
	1	2	4	6	8	10	11	13
Ethylacetat	3-4*	4**	3-4	4**	4**	4**	4**	4**
Jodlösung, 2% ig	3-4*	3-4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*
Wasserstoffperoxid	0	0	0	0	0	0	0	0
Tinte, blau	4	3-4	4	4	3	3	4	3
Schuhcreme, rot	2-3	0	1-2	1	0	1	0	0
Ketch./ Öl / Paprika	1	0	1	1	0	0	0	0
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	4	4	4

##### Anschmutzung Betaisodona Einwirkzeit: 2 min

Belag Prüfsubst.	PVC-ho- PUR	PVC-he- PUR	KAU	PVC-ho- OB	PUR	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC- nano 13
	1	2	4	6	8	10	11	13
Ethylacetat	3*	3-4*	3-4*	4**	4**	4**	4**	4**
Jodlösung, 2% ig	4**	3**	4**	4*	4*	4*	4*	4*
Wasserstoffperoxid	0	0	0	0	0	0	0	0
Tinte, blau	4	3	3-4	4	3	3	4	4
Schuhcreme, rot	0	0	0	0	0	0-1	1-2	1-2
Ketch./ Öl / Paprika	0	0	0	0	0	0	0	0
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	4	4	4

##### Anschmutzung Schuhcreme Einwirkzeit: 1h

Belag Prüfsubst.	PVC-ho- PUR	PVC-he- PUR	KAU	PVC-ho- OB	PUR	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC- nano 13
	1	2	4	6	8	10	11	13
Ethylacetat	3	3	3	3-4*	4*	4*	4*	4*
Jodlösung, 2% ig	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*
Wasserstoffperoxid	0	0	0	0	0	0-1	1	0
Tinte, blau	4	4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	3	0	1-2	3	1	2-3	1-2	2
Ketch./ Öl / Paprika	1	0	2	1	0	0	0	0
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	4	4	4

##### Anschmutzung Betaisodona Einwirkzeit: 1h

Belag Prüfsubst.	PVC-ho- PUR	PVC-he- PUR	KAU	PVC-ho- OB	PUR	Lino-MB	PVC-epox 11	PVC- nano 13
	1	2	4	6	8	10	11	13
Ethylacetat	4**	3*	2-3	4*	4*	4*	4*	4*
Jodlösung, 2% ig	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*
Wasserstoffperoxid	2	2	0	0	0	0-1	2	1
Tinte, blau	4	3-4	4	4	4	4	4	4
Schuhcreme, rot	2	0	2	2	1	2-3	3	2-3
Ketch./ Öl / Paprika	0	0	0	2-3	0	0	0-(1)	0
permanent Stift, rot	4	4	4	4	4	4	4	4

\*Oberfläche angegriffen; \*\*Oberfläche zerstört