

Name der Forschungsstelle:

Technische Hochschule Darmstadt
Versuchsanstalt für Straßenwesen
Petersenstraße 30
64287 Darmstadt

AiF-Vorhaben-Nr.: 10711 N

01.07.1996 bis 30.04.1997
Bewilligungszeitraum

Schlußbericht für den Zeitraum: 01.07.1996 bis 31.04.1997

Forschungsthema:

***Erhöhung der Anfangsgriffigkeit von Asphaltdeckschichten
- Pilotstudie -***

Darmstadt, den 29.09.97

Ort, Datum



Dr.-Ing. G. Suß
Akademischer Direktor

dai

Deutsches Asphaltinstitut e. V.
Schieffelingsweg 6
D-53123 Bonn
Tel.: (02 28) 9 79 65-0
Fax: (02 28) 9 79 65-11

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung

1 Einleitung	3
2 Technische Regelwerke	4
2.1 Definitionen	4
2.2 Bestehende Anforderungen an die Griffigkeit	5
2.3 Griffigkeitsmessungen	8
2.3.1 Meßverfahren und Meßgeräte	8
2.3.2 Laboruntersuchungen zur Einschätzung der Griffigkeit	10
2.3.3 Bewertung der Griffigkeit	11
3 Anfangsgriffigkeit von Asphaltdeckschichten	16
3.1 Zeitliche Entwicklung der Griffigkeit	16
3.2 Bisherige Erkenntnisse zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit	17
3.2.1 Mechanische Verfahren zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit	17
3.2.1.1 Die Streutechnik beim Absplitten	20
3.2.1.2 Erfahrungen mit abgestreuten Decken im Ausland	21
3.2.2 Der Einfluß der Mischgutzusammensetzung	22
3.2.3 Bearbeitung von Straßenoberflächen	25
3.2.3.1 Griffigkeitserhöhende Maßnahmen mit Materialauftrag	25
3.2.3.2 Griffigkeitserhöhende Maßnahmen durch Nachbearbeitung der Straßenoberfläche	25
4 Nutzung elektromagnetischer Wellen zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit	32
4.1 Eigenschaften elektromagnetischer Wellen	32
4.2 Entwicklung von Verfahren	39

5 Labortechnische Versuche zur Erhöhung der Anfangsgiffigkeit	41
5.1 Verwendete Materialien	41
5.2 Durchgeführte Untersuchungen	42
5.2.1 Mechanische Verfahren	42
5.2.2 Versuche mit elektromagnetischen Wellen	44
5.3 Darstellung der Ergebnisse	46
5.3.1 Mechanische Verfahren	46
5.3.1.1 Mechanische Bearbeitung	46
5.3.1.2 Flämmen	52
5.3.1.3 Trockeneis-Strahlverfahren	54
5.3.2 Ergebnisse mittels elektromagnetischer Wellen	57
5.3.2.1 UV-Licht	57
5.3.2.2 Bearbeitung der Platten mittels Laser	58
6 Diskussion der Ergebnisse	64
7 Zusammenfassung	66
8 Ausblick	68
Literaturverzeichnis	70
Abbildungsverzeichnis	76
Anhang	

Kurzfassung

Asphaltdeckschichten, die unter Beachtung derzeit gültiger Regelwerke gebaut wurden, weisen im "normalen" Gebrauchszustand eine gute Griffigkeit auf. Unmittelbar nach Herstellung einer neuen Deckschicht kommen wegen des noch vorhandenen Bindemittelfilms an der Gesteinsoberfläche die für die Griffigkeit bedeutsamen Mikrorauheiten des Gesteins noch nicht voll zur Wirkung. Häufig wird der angestrebte Zustand erst einige Zeit nach der Verkehrsübergabe erreicht, indem der Bindemittelfilm durch den überrollenden Verkehr abgerieben wird. Dieser Erscheinung begegnet man heute hauptsächlich durch Abstumpfungsmaßnahmen. Problematisch ist jedoch, daß nach dem Abstreuen durch herausgerissene Splittkörner Windschutzscheiben von Fahrzeugen zerstört werden können, was auch zu Unfällen führen kann.

Ziel der Pilotstudie war es, die Thematik der Erhöhung der Anfangsgriffigkeit aus wissenschaftlicher Sicht erneut aufzugreifen und neue Möglichkeiten zur Entwicklung dafür geeigneter Verfahren zu erörtern.

Im Rahmen einer Literaturstudie wurden zunächst der Stand der Technik und die Grundlagen zur Nutzbarmachung hochenergetischer elektromagnetischer Wellen für die Entwicklung griffigkeitserhöhender Verfahren dokumentiert.

Prinzipiell werden in der Pilotstudie zwei Möglichkeiten zu Erhöhung der Anfangsgriffigkeit von Asphaltstraßen aufgezeigt. Eine Möglichkeit ist der Ausbau praktizierter Verfahren bei der Herstellung neuer Asphaltstraßen. Es werden verschiedene Varianten zur Verbesserung der Abstreutechnik genannt. Diese Verfahren bieten den großen Vorteil, daß durch eine im Herstellungsprozeß von Asphaltstraßen ausreichend erzielte Griffigkeit eine Nachbearbeitung überflüssig wird. Damit ist sichergestellt, daß die Asphaltdeckschicht nicht im nachhinein geschädigt wird.

Die zweite Möglichkeit, die Anfangsgriffigkeit einer Straße zu erhöhen, besteht in der Nachbearbeitung ihrer Oberfläche. Die in der Pilotstudie aufgeführten Verfahren beruhen größtenteils auf einem mechanischen Abtragen des Bitumenfilms von der Mineralstoffoberfläche. Nachteile der aufgeführten Verfahren bestehen zum einen in der möglichen Schädigung des Asphaltverbundes und zum anderen können Spuren gebildet werden, wodurch die Sicherheit, vor allem für Zweiradfahrer einschränkt werden kann.

Dritter Schwerpunkt war es, verschiedene Verfahren im Rahmen von Voruntersuchungen bezüglich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis zu untersuchen. Hier galt es auch zu prüfen, inwieweit die Nutzung hochenergetischer Wellen für neue Verfahren zur Verbesserung der Anfangsgriffigkeit möglich ist. In Zusammenarbeit mit

dem Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik in Dresden wurden Versuche mit verschiedenen Lasern durchgeführt. Es hat sich gezeigt, daß mittels Laserbearbeitung eine Abtragung des Bitumen- / Asphaltmörtelfilms von der Gesteinsstoffoberfläche möglich ist. Der Abtrag erfolgte augenscheinlich im Zehntelmillimeterbereich, so daß mit Freilegung der Mineralstoffoberfläche weder eine Schädigung des Asphaltverbundes, noch der Mineralstoffkörner selbst entstand. Gleichzeitig wird mit der Freilegung der Mineralstoffoberfläche zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit ein Aufhellungseffekt erzielt.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

1 Einleitung

Der Griffigkeit kommt im Straßenbau aus Sicherheitsgründen eine besondere Bedeutung zu. Asphaltdeckschichten, die unter Beachtung derzeitig gültiger technischer Regelwerke gebaut wurden, weisen im Gebrauchszustand eine gute Griffigkeit auf. Unmittelbar nach der Herstellung von neuen Deckschichten oder nach Instandsetzungsmaßnahmen sind diesbezüglich die Oberflächenverhältnisse jedoch ungünstiger. Man spricht von dem Problem der Anfangsgriffigkeit. Ursache einer Anfangsglätte von neuen Asphaltstraßen ist die Tatsache, daß es in den ersten Wochen an flächenhafter Schärfe der Mineralstoffoberfläche mangelt. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß während des Überwalzens der zu verdichtenden Deckschicht ein Teil des Bindemittels und Asphaltmörtels an die Deckschichtoberfläche gedrückt wird und den für eine hohe Griffigkeit erforderlichen freigelegten Mineralstoff auf der Fahrbahnoberfläche zudeckt. Trockene, saubere Asphaltstraßen besitzen in der Regel eine ausreichende Griffigkeit. Laut Hiersche /32/ besteht jedoch ein enger Zusammenhang zwischen der Griffigkeit verschiedener Fahrbahnoberflächen bei Nässe und der Verkehrssicherheit. So erhöht sich das Unfallrisiko auf das Doppelte bei nasser Fahrbahn. Nach Untersuchungen von Schulze, Dames und Lange /57/ bewirken hohe Reibungsbeiwerte eine Verringerung des Unfallrisikos bei Nässe und umgekehrt. Um sicherzustellen, daß bei Verkehrsübergabe neuer oder instandgesetzter Asphaltstraßen eine ausreichende Griffigkeit vorliegt, sind Maßnahmen zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit erforderlich. In den siebziger Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, die speziell eine Erhöhung der Anfangsgriffigkeit zum Ziel hatten. Prinzipiell werden in der Fachliteratur drei Möglichkeiten aufgezeigt:

- Mechanische Verfahren (Abstumpfungsmaßnahmen)
- Zusammensetzung des Mischgutes
- Nachbehandlungen der Straßenoberfläche.

Ein Großteil der Erkenntnisse konnte erfolgreich in die Praxis umgesetzt werden. So werden beim Bau neuer Asphaltstraßen heute hauptsächlich Abstumpfungsmaßnahmen mittels Sand oder Splitten durchgeführt, um bei der Verkehrsübergabe eine ausreichende Anfangsgriffigkeit zu gewährleisten. Diese Verfahren sind jedoch nur bedingt einsetzbar (z. B. ungeeignet bei offenporigen Asphalten) und es besteht die Gefahr, daß durch herausgerissene Splittkörner Windschutzscheiben von Fahrzeugen zerstört werden können. Aus diesen Gründen ist das Ziel dieser Pilotstudie, die Thematik "Erhöhung der Anfangsgriffigkeit" unter Berücksichtigung der bisherigen Erkenntnisse erneut aufzugreifen und neue Möglichkeiten zu diskutieren.

2 Technische Regelwerke

2.1 Definitionen

Von der Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV) wurde 1994 ein "Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten" /20/ herausgegeben, in dem die Griffigkeit als „die Wirkung der Rauheit auf den Reibungswiderstand im Zusammenspiel mit dem Reifen kennzeichnet. Diese Wirkung läßt sich durch Griffigkeitsmessungen darstellen, bei denen die übrigen am Reibungswiderstand beteiligten Faktoren konstant gehalten werden, oder wie bei der Meßgeschwindigkeit ... in relevanten Abstufungen variiert werden.“ Die Größe der übertragbaren Reibung hängt neben der Griffigkeit von folgenden Faktoren ab :

- Wetter: Nässe, Schnee, Eis
- Fahrzeug: Radlast, Federung
- Reifen: Breite, Profil, Material, Luftdruck
- Fahrverhalten: Geschwindigkeit.

Die Griffigkeit einer Deckschicht wird durch die Rauheit ihrer Oberfläche bestimmt. Dabei wird zwischen Mikro-, Makro- und Megarauheit in Abhängigkeit von der Wellenlänge unterschieden (Abb. 2-1).

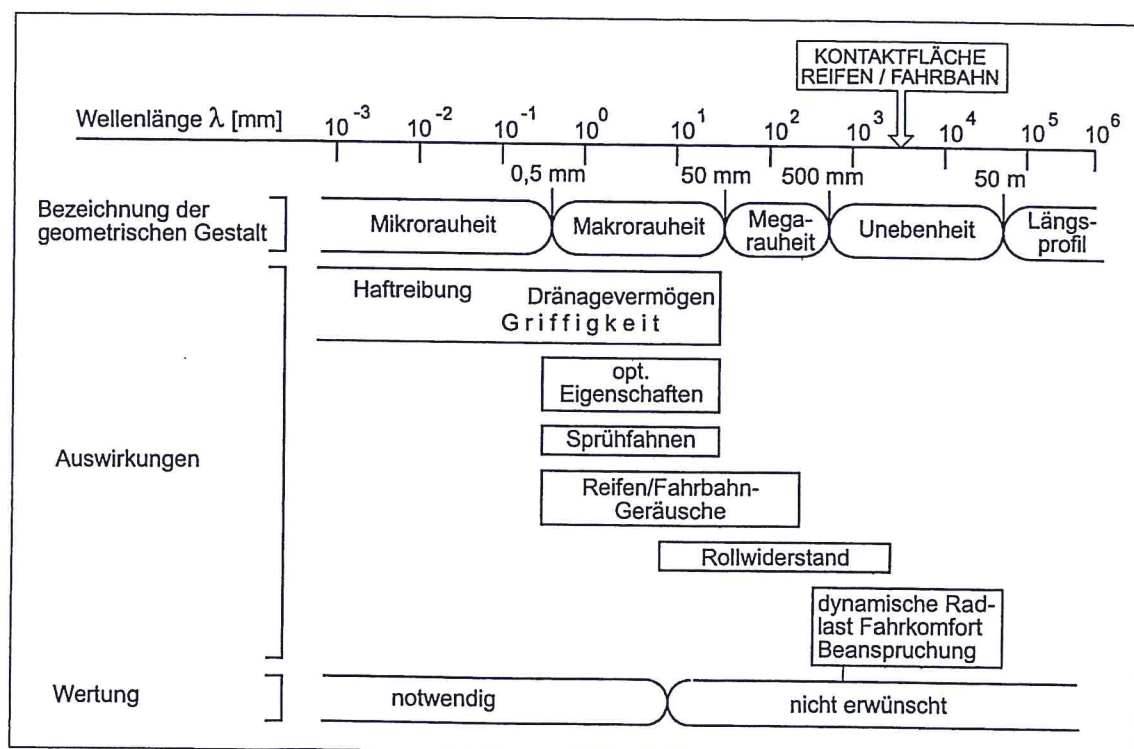


Abb. 2-1: Wellenspektrum der Fahrbahnoberfläche /32/

Die Mikrorauheit (Feinrauheit) ist durch die Kanten- und Flächenschärfe der Mineralstoffkörner charakterisiert. Sie ermöglicht dem Reifen, den letzten noch verbliebenen dünnen Wasserfilm zu durchbrechen. Diese Funktion ist unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit.

Die Makrorauheit (Grobrauheit) wird durch die Größe und Anordnung der an der Oberfläche befindlichen Mineralstoffe gebildet. Die Rauhtiefe, die zwischen den einzelnen Gesteinskörnern an der Fahrbahnoberfläche gebildet wird, kennzeichnet das Drainagevermögen einer Straße. Die Makrorauheit kommt bei höheren Fahrgeschwindigkeiten zur Wirkung. Sie unterstützt auf nasser Fahrbahn das Reifenprofil beim Abführen des Wassers aus der Kontaktfläche Reifen - Fahrbahn.

Der Übergang zwischen diesen Rauheitsformen ist fließend, wobei laut "Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten" /20/ eine formale Abgrenzung erfolgt. Danach werden in der Horizontalen Wellenlängen $< 0,5$ mm der Feinrauheit und Wellenlängen $> 0,5$ mm der Grobruheit zugeordnet. In der Vertikalen liegt die angegebene Grenze bei einem Höhenunterschied von 0,4 mm.

2.2 Bestehende Anforderungen an die Griffigkeit

Im Asphaltstraßenbau gelten zur Zeit für den Bau von Asphaltdeckschichten die "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 94)" /21/. Hinweise zur Erzielung griffiger Fahrbahnoberflächen liefert das "Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten" /19/. Im Rundschreiben des BMV ARS Nr.27/1994 vom 10.10.94 Az.: StB 26/38.56.05-20/43 BAST 94 werden Anforderungen an die Polierresistenz von Mineralstoffen aufgeführt, die als Abstreumaterial verwendet werden. In bestehenden Regelwerken sind derzeit noch keine festen Anforderungen an die Griffigkeit in Form von Richt- oder Grenzwerten aufgeführt, die eine neue Asphaltdeckschicht bei der Verkehrsübergabe aufweisen muß. Erstmals werden im Entwurf der "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Asphaltbauweisen" (ZTV BEA-StB 97, März 1997) /22/ für Dünne Schichten im Kalteinbau Griffigkeitskennwerte aufgeführt. Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen hat 1995 eine "Richtlinie zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe" /23/ als Entwurf erarbeitet, mit der eine Zustandsbewertung von Deckschichten möglich ist.

Die ZTV Asphalt-StB 94 führt die verschiedenen Deckschichtarten auf. Folgende Anforderungen und Hinweise aus den oben genannten Richtlinien werden aufgestellt:

Gußasphalt

Gemäß den Anforderungen der ZTV Asphalt-StB 94 sind Deckschichten aus Gußasphalt in den Fahrstreifen beim Einbau an der Oberfläche mit Splitt aufzurauben. Andere Flächen können auch mit Sand abstumpft werden. Die Oberflächenbearbeitungen sind nach den Abschnitten 5.5.1, 5.5.2 oder 5.5.3 auszuführen /20/ :

- 5.5.1 Zum Aufrauen wird leicht mit Bindemittel umhüllter Edelsplitt 2/5 auf die heiße Oberfläche aufgebracht (Menge 5 - 8 kg/m²) und mit Walzen angedrückt.
- 5.5.2 Zum Aufrauen wird leicht mit Bindemittel umhüllter Edelsplitt 2/5 od. / u. 5/8 auf die heiße Oberfläche aufgebracht (Menge 15 - 18 kg/m²) aufgebracht. Der Splitt muß mit Gummirad- und Glattmantelwalzen angedrückt werden.
- 5.5.3 Zum Abstumpfen wird staubarmer, trockener, ggf. erhitzter oder leicht bituminierter Sand auf die heiße Oberfläche aufgestreut und eingerieben.

Das "Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten" /20/ verweist auf die Forderungen der ZTV Asphalt-StB 94, wobei das Verfahren nach Abschnitt 5.5.2 zu bevorzugen ist.

Asphaltbeton und Splittmastixasphalt

Für Asphaltdeckschichten aus Asphaltbeton und Splittmastixasphalt werden in den ZTV- Asphalt-StB 94 keine detaillierten Forderungen gestellt.

Gemäß ZTV Asphalt-StB 94 müssen diese Deckschichtarten

- eine dem Verwendungszweck angemessene Rauheit aufweisen
- bei außergewöhnlichen Einbau- u. / od. Verkehrsbedingungen sollten Abstumpfungsmaßnahmen bei mörtelreichen Deckschichten erfolgen (z. B. Abstreuen und Einwalzen von rohem oder bituminierten Edelbrechsand u. / od. -splitt).

Das "Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten" liefert folgende Empfehlungen /20/:

Bei Straßen mit sehr hohem Verkehrsaufkommen und Straßen, bei denen eine ausreichende Anfangsgriffigkeit nicht eindeutig gewährleistet werden kann, wird die Durchführung von Abstumpfungsmaßnahmen empfohlen. Es werden besondere Hinweise bezüglich der Anforderungen an das Abstreumaterial genannt:

- Das Streumaterial soll trocken und rieselfähig, sowohl roh, als auch leicht bituminiert sein.
- Die Abstreumenge soll gering gehalten werden (zwischen 1,0 und 2,0 kg/m², bei Körnung 1/3 0,5 bis 1,0 kg/m²).
- Das Streugut ist in die noch heiße Deckschicht einzubringen.
- Loses Material ist vor der Verkehrsübergabe zu entfernen.

Offenporige Asphaltdeckschichten

Problematisch zeigt sich die Erzielung einer ausreichenden Anfangsgriffigkeit bei offenporigen Asphaltdeckschichten. Gemäß ZTV Asphalt-StB 94 werden keine Anforderungen hinsichtlich der Griffigkeit aufgeführt.

Das Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten liefert den Hinweis, daß die Anfangsgriffigkeit bei offenporigen Asphaltdeckschichten nicht durch Abstreumaßnahmen erhöht werden darf, um ein Zusetzen von Poren zu vermeiden. Auch im Merkblatt für den Bau offenporiger Asphaltdeckschichten sind keine Anforderungen aufgeführt.

Oberflächenschutzschichten

Oberflächenschutzschichten sind dünne Schichten, die als Oberflächenbehandlungen oder Schlämmen ausgeführt werden. Dabei wird als Oberflächenbehandlung das Anspritzen der Unterlage mit einem Bindemittel und das anschließende Abstreuen mit rohem oder bituminiertem Edelsplitt verstanden. Schlämmen dagegen sind Gemische aus feinkörnigem Mineralstoff, Bindemitteln und Wasser. Sie dienen der Versiegelung und Beschichtung von Verkehrsflächen /21/.

Gemäß ZTV Asphalt-StB 94 wird die Anforderung gestellt, daß die Edelsplitt einen hohen Polierwiderstand aufweisen müssen.

Im "Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten" werden folgende Anforderungen an die Mineralstoffe gestellt:

- Sie müssen einen ausreichenden Polierwiderstand aufweisen.
- Sie sollen gut in die Mörtel / Bitumen - Matrix eingebettet sein.
- Sie dürfen unter Verkehrsbelastung nicht in der Mörtel / Bitumen - Schicht ertrinken.

2.3 Griffigkeitsmessungen

2.3.1 Meßverfahren und Meßgeräte

Zur Zeit besitzt das "Merkblatt über die Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Ausgabe 1968" /16/ noch Gültigkeit. Es liegt jedoch eine Neufassung als Entwurf ("Richtlinie zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe", 1995) /23/ bei der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen in Köln vor.

In Deutschland werden derzeit im wesentlichen die drei mobilen Meßgeräte **Stuttgarter Reibungsmesser**, **SCRIM** und **Grip - Tester** zur Ermittlung der Griffigkeit eingesetzt (Tab. 2-1).

Tab. 2-1: Mobile Meßsysteme zur Beurteilung der Griffigkeit

Stuttgarter Reibungsmesser (SRM)	Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine (SRCIM)	Grip Tester
<u>Meßgröße:</u> μ_{SRM} [-]	<u>Meßgröße:</u> μ_{SCRIM} [-]	<u>Meßgröße:</u> μ_{GRIP} [-]
<u>Kurzbeschreibung:</u> - basiert auf Prinzip des blockierten Schlepprades - Vollbremsung auf nasser Fahrbahn wird simuliert - Während Griffigkeitsmessung durch gebremstes Meßrad Einzelbremsungen auf definierter Länge (20-40 m) - Meßergebnis bezogen auf gewählte Radlast stellt Griffigkeitskenngröße = Gleitbeiwert dar /32/	<u>Kurzbeschreibung:</u> - Meßprinzip beruht auf schräggestelltem Meßrad - Meßrad erzeugt seitliche Reibungskraft S, die Rad aus dem Schräglaufwinkel zurück in die Fahrtrichtung drängen will - der Schräglaufwinkel beträgt 20° /32/	<u>Kurzbeschreibung:</u> - Verfahren zur dynamischen Griffigkeitsmessung und für lokal begrenzte Messungen im Handbetrieb - Prinzip des gebremsten Rades mit konstantem Schlupf (14,5%) /27/

Laut "Richtlinie zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe" /23/ sind Griffigkeitsmessungen zwischen Anfang Mai und Ende Oktober durchzuführen, wobei von Messungen bei Außentemperaturen unter 5°C abzusehen ist.

In der Regel werden Griffigkeitsmessungen in der rechten Rollspur vorgenommen. Die maßgebende Meßgeschwindigkeit richtet sich dabei nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit der untersuchten Straße /36/.

Neben den mobilen Meßgeräten gibt es stationär arbeitende Meßgeräte zur Beurteilung der Griffigkeit. Dazu zählen der **Skid Resistance Tester** (SRT - Gerät) und

der **Ausflußmesser** (AM). Die Gerätebeschreibungen sowie die Durchführung der Messungen sind in den "Arbeitsanweisungen für kombinierte Griffigkeits – und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser" /17/ aufgeführt. Tabelle 2-2 stellt beide Meßgeräte gegenüber.

Tab. 2-2: Stationäre Meßgeräte zur Beurteilung der Griffigkeit

Ausflußmesser (AM)	Skid Resistance Tester (SRT)
<u>Meßgröße:</u> Ausflußzeit t [s]	<u>Meßgröße:</u> SRT-Wert [-] (Steighöhe des Pendels durch den Schleppzeiger)
<u>Kurzbeschreibung:</u> Ausflußmesser besteht aus genormten Glaszylinder mit einem Gewichtsring. Es wird die Zeit, die zum Passieren zwischen zwei Markierungen benötigt wird, gemessen.	<u>Kurzbeschreibung:</u> Das Maß für die Griffigkeit ist der Verlust an potentieller Energie ΔE , den das Pendel durch Gleiten der Gummikante über einer definierten Länge der vorgenassten Prüfoberfläche erfährt.
für beide Meßverfahren gilt:	
• es müssen mindestens fünf Meßpunkte gewählt werden • Mittelwert der Ergebnisse gilt als Einzelwert für ein Meßfeld (20 m Streckenlänge)	

Ein Verfahren zur Bestimmung der Rauhtiefe ist die **Sandeinfüllmethode**. Dabei werden die Vertiefungen zwischen den Rauheitselementen mit einem definierten Feinsand durch Abstreichen der Fahrbahnoberfläche aufgefüllt. Das Verhältnis zwischen Sandmenge und bedeckter Fläche wird ermittelt. Die Texturtiefe T ergibt sich nach Gast /26/ aus:

$$T = \frac{4V}{\pi d^2}$$

V - Sandvolumen

d - mittlerer Durchmesser des Sandfleckes

Die Sandeinfüllmethode liefert Durchschnittswerte für die Grobrauheit und eignet sich zur Unterscheidung von Oberflächen mit wenig und viel Grobrauheit. Das Unterscheidungsvermögen eignet sich jedoch nicht mehr, sobald der Grad der Grobrauheit zu gering wird. Nach Huscek /34/ ist für eine optimale Makrorauheit ein Rauhtiefenbereich zwischen 0,5 und 1,0 mm anzustreben. Eine detaillierte Charakterisierung der Fahrbahnoberfläche im Makrobereich mit Hilfe der Sandfleckmethode hat sich als nicht ausreichend erwiesen.

Ein neues Verfahren zur Rauheitsmessung ist das System des **Triangulationslasers**. Dabei handelt es sich um eine berührungslose Rauheitsmessung, die stationär oder während der Fahrt erfolgen kann. Mit einer Laser-Rauheitssonde kann ein Wellenspektrum von ca. 1 mm bis 500 nm erfaßt werden, was den Bereichen der Makro- und Mikrorauheit entspricht /34/ /48/.

2.3.2 Laboruntersuchungen zur Einschätzung der Griffigkeit

Ein anzustrebendes Ziel von Laboruntersuchungen ist es, die Griffigkeit anhand der Mischgutzusammensetzung für Asphaltdeckschichten vorherzusagen. Einen Beitrag hierzu bietet eine Abschätzung des zu erwartenden Griffigkeitsniveaus anhand der Bestimmung des Widerstandes der Zuschlagstoffe gegen Polieren. In der Literatur werden verschiedene Untersuchungsergebnisse zur Aufstellung dieses Zusammenhanges aufgeführt. Im Wesentlichen werden die in Tabelle 2-3 aufgeführten Meßverfahren genutzt.

Tab. 2-3: Labormeißverfahren zur Einschätzung der Griffigkeit

Meßverfahren	Kurzbeschreibung
Innentrommelprüfstand	Nach Kollmeier /41/ werden im Innentrommelprüfstand die Materialeigenschaften der Gesteine geprüft, die für die Aufrechterhaltung der Griffigkeit maßgebend sind. Aufgrund gezielt veränderbarer und wirklichkeitsnaher „Fahrbahnoberflächen“ können realistische Abnutzungerscheinungen nachgeahmt werden. Vor und nach dem Versuch werden mittels SRT - Gerät Griffigkeitsmessungen vorgenommen.
Poliermaschine nach Wehner/Schulze	Bei der Poliermaschine handelt es sich um eine Gerätekombination aus einem Poliergerät und einem Griffigkeitmeßgerät (SRT). Die Proben sind eben und kreisförmig ($\varnothing$ 22,5 cm). Konische Gummirollen befahren unter definierter Auflast und Geschwindigkeit die Prüfkörperoberfläche. Stark polierbare Gesteine können von einer Verwendung im Fahrbahndeckenbau ausgeschlossen werden. Seitens Wehner /66/, Dames /11/ und Zieger /67/ wurde darauf hingewiesen, daß im Labor hergestellte Proben sich in der Oberflächen- ausbildung von gewalzten Asphaltdeckschichten unterscheiden.
Circular track machine	Prinzipiell ist diese Versuchsanordnung dem Aufbau der Poliermaschine ähnlich. Vier profillose Reifen laufen über 12 Probekörper, die ringförmig angeordnet sind. Die Bindemittelfilme werden mit Lösungsmitteln von der Probenoberfläche entfernt. Nach 16 Stunden Versuchsdurchführung werden Griffigkeitsmessungen mittels SRT - Gerät durchgeführt /49/.

Jar mill machine	Bei diesem Verfahren werden in einer Mühle 1000 g loser Zuschlag mit 1000g Kieselsteinen als abreibendes Material bis zu 120 Stunden mit 52 U/min gemischt. Die gesiebte Zuschlagfraktion wird vor dem Versuch gewaschen und ofengetrocknet. Meßbare Veränderungen ergeben sich nach Mullen /49/ erst nach einer Laufzeit von 20 Stunden. Nach Ablauf des Versuches wird die Zuschlagmenge erneut gesiebt, gewaschen und getrocknet. Anschließend wird der Gewichtsverlust ermittelt. Aus dem polierten Material werden Probekörper hergestellt und die Griffigkeit mittels SRT - Gerät bestimmt.
Laborreibungsmesser	Sudbrack /59/ stellte 1978 den Laborreibungsmesser zur Vorhersagung der Veränderung der Reibkräfte bei Asphaltdeckschichten unter Verkehrseinwirkung vor. Mit Hilfe des Laborreibungsmessers kann der Einfluß unterschiedlicher Wasserfilmdicken berücksichtigt werden. Es ist grundsätzlich möglich, den Einfluß unterschiedlicher Gesteinsarten auf die Griffigkeit zu untersuchen. Der Einfluß des Bindemittelgehaltes wirkt sich bei dieser Meßvorrichtung maßgebend aus. Eine optimale Mischgutzusammensetzung kann jedoch allein durch Versuche mit dem Laborreibungsmesser nicht gefunden werden.

2.3.3 Bewertung der Griffigkeit

Mit Hilfe der aufgeführten mobilen Griffigkeitsmeßgeräte werden Gleitbeiwerte ermittelt. Sie geben, wie bereits erwähnt, die Höhe der zwischen Reifen und Fahrbahn übertragbaren Reibungskräfte an. Diese Werte sind erst aussagekräftig, wenn ein Bewertungshintergrund vorliegt. Aus diesem Grund wurde in den 60'er Jahren ein erster Bewertungshintergrund geschaffen. Dazu wurden Gleitbeiwerte bei den Geschwindigkeiten 20, 40, 60 und 80 km/h ermittelt und ein Häufigkeitsverteilungsbild erstellt (Abb. 2-2a). In dieser Darstellung wird der Gleitbeiwert μ_{SRM} in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit dargestellt. Die Linien geben dabei die Häufigkeitsgrenzen an, wobei die große Spannweite durch Straßen mit extrem guter bzw. extrem schlechter Griffigkeit entsteht. Die Anforderung an die Griffigkeit wurde pragmatisch an der 90 % Grenze der Häufigkeitsverteilung festgelegt und dementsprechend Richtwerte im "Merkblatt über die Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe" /16/ aufgeführt.

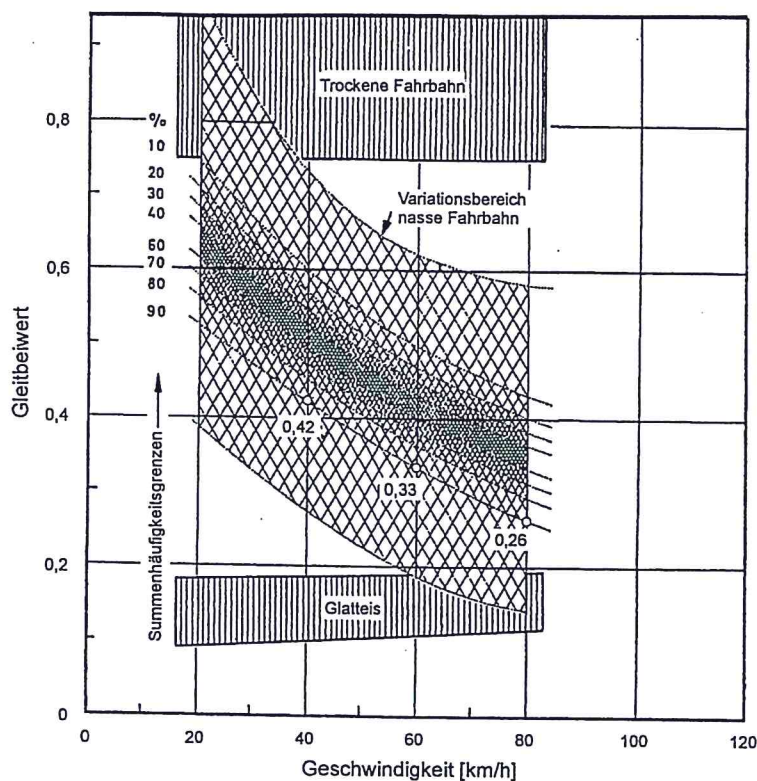


Abb. 2-2a: Häufigkeitsverteilungsbild, Bewertungshintergrund für Griffigkeitsmessung SRM /9/ (alter Bewertungshintergrund)

Im Rahmen der Vereinheitlichung der Meßverfahren innerhalb Europas wurde der in Deutschland verwendete Phönix Meßreifen durch den PIARC-Meßreifen ersetzt. Dadurch wurde die Aufstellung eines neuen Bewertungshintergrundes erforderlich. Dieser Bewertungshintergrund wurde an der Technischen Universität Berlin im Rahmen einer Forschungsarbeit neu ermittelt und ist in Abb. 2-2b. dargestellt. Als neuer Bewertungshintergrund wurden Schwellenwerte bei 95 % Häufigkeitsverteilung gewählt. Diese neuen Schwellenwerte liegen zahlenmäßig über den alten Richtwerten. Dadurch ist keine Verschärfung der Richtwerte eingetreten, da mit den höheren Zahlenwerten nur meßtechnisch bedingte höhere Meßanzeigen bei Gleitbeiwertsmessungen des PIARC Meßreifens gegenüber dem alten Phönix-Reifen ausgeglichen werden /9/.

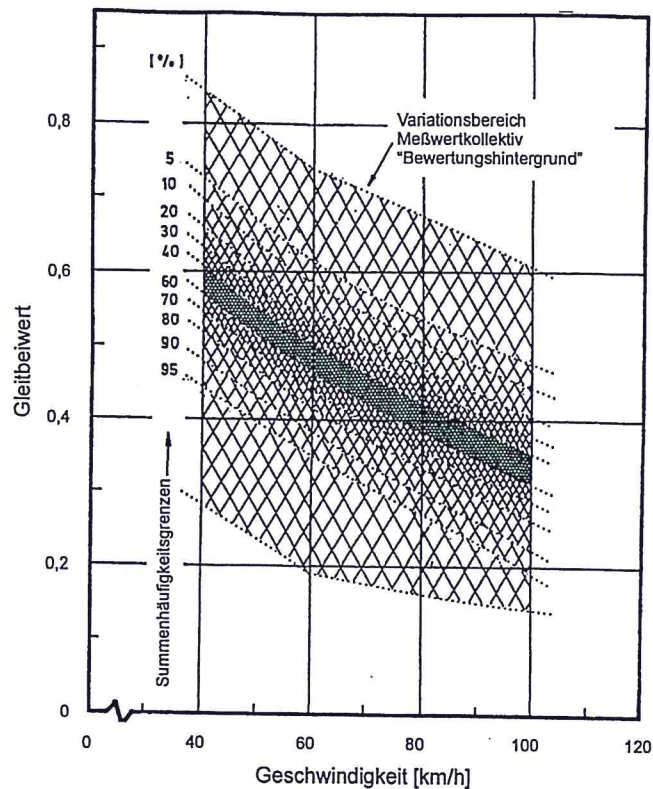


Abb. 2-2b: Häufigkeitsverteilungsbild, Bewertungshintergrund für Griffigkeitsmessung SRM /9/ (neuer Bewertungshintergrund)

Eine geschwindigkeitsunabhängige Umrechnungsfunktion wird als Ergebnis der o. g. Forschungsarbeit angegeben:

$$\mu_{g,PIARC} = 0,016 + 1,126 \cdot \mu_{g,PHOENIX}$$

Untersuchungen haben gezeigt, daß es insgesamt keine Anhaltspunkte für eine merkliche Erhöhung des generellen Niveaus der Griffigkeit in Deutschland in den letzten 20 Jahren gibt. In diesem Zusammenhang weisen Durth/Lippold /14/ auf eine aktualisierte Berechnung der 95 %- Summenhäufigkeit der Gleitbeiwerte hin, die inzwischen in der RAS - L aufgenommen wurde:

$$\max f_T = 0,241 \cdot \left(\frac{V}{100} \right)^2 - 0,721 \cdot \left(\frac{V}{100} \right) + 0,708$$

$\max f_T$ [-]: maximaler tangentialer Karftschlußbeiwert (95 % - Wert)

V [km/h]: Geschwindigkeit

In dieser Arbeit werden die entwurfstechnischen Neuerungen jedoch nicht näher beschrieben.

Im Jahr 1995 wurde von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen eine Richtlinie zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe erarbeitet, die eine Zustandsbewertung von Deckschichten hinsichtlich der Griffigkeit ermöglichen soll.

In Anlehnung an Vergleichsmessungen mittels SRM und SRCIM wurden für den ungünstigen Griffigkeitsbereich Warn- und Schwellenwerte festgelegt. Laut o. g. Richtlinie ist mit Erreichen des Warnwertes eine intensive Beobachtung der Fahrbahn erforderlich. Die Ursachen der reduzierten Griffigkeit sind zu klären und gegebenenfalls Maßnahmen zu planen. Mit Erreichen des Schwellenwertes muß die Einleitung von baulichen und verkehrsbeschränkenden Maßnahmen geprüft werden. Die vorläufigen Warn- und Schwellenwerte zur Beurteilung von Straßenoberflächen sind in Tabelle 2 - 4 zusammengefaßt.

Tab. 2-4: Beurteilung Griffigkeit mittels SRM und SCRIM /23/

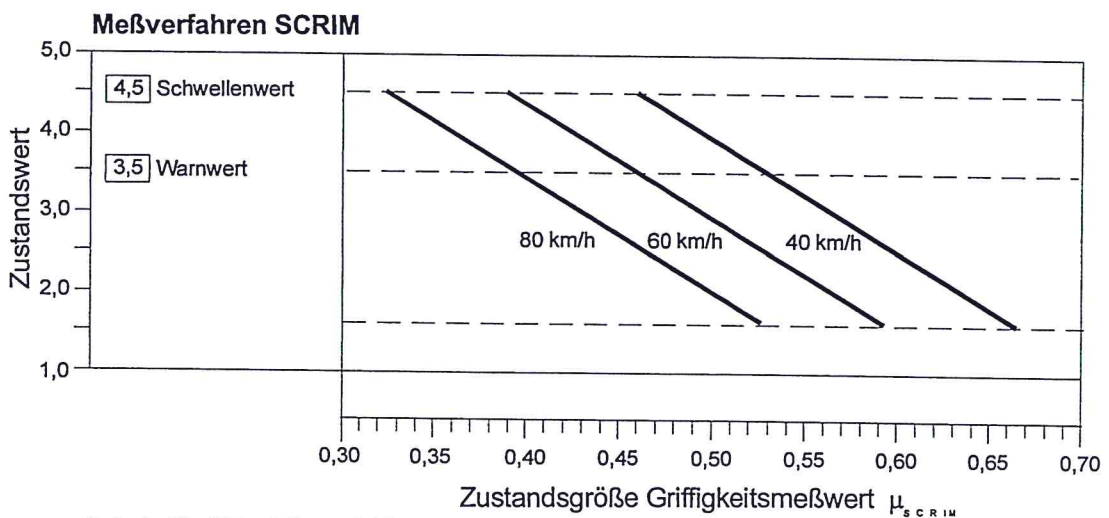
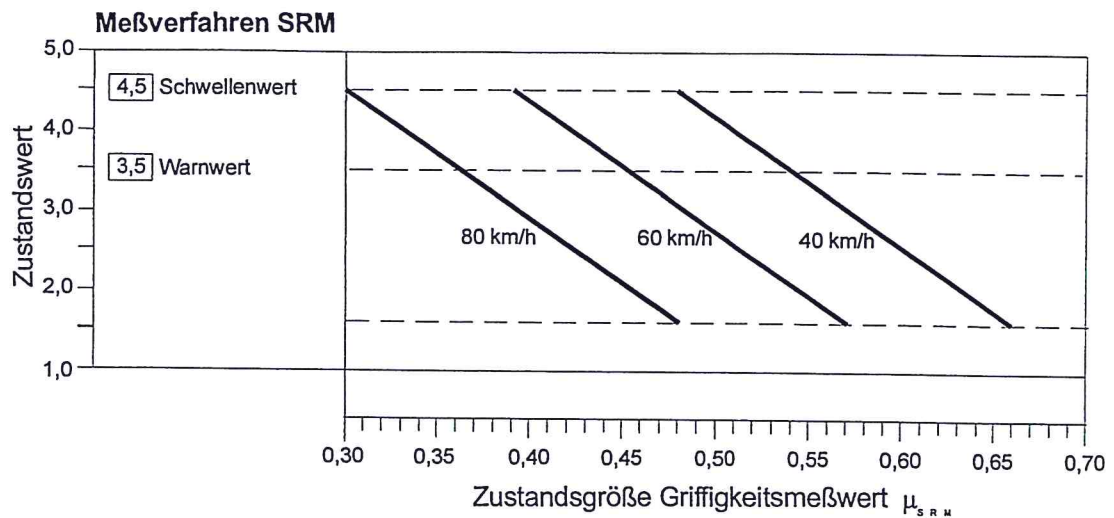
	Meßgeschwindigkeit [km/h]	Griffigkeitkennwert	
		μ_{SRM}	μ_{SCRIM}
Warnwert	80	0,36	0,39
	60	0,45	0,46
	40	0,54	0,53
Schwellenwert	80	0,30	0,32
	60	0,39	0,39
	40	0,48	0,46

Tab. 2-5: Beurteilung Griffigkeit mittels SRT und AM¹ /23/

	SRT-Wert	Ausflußzeit
	[-]	[-]
Warnwert	55	60
Schwellenwert	50	120

Ebenfalls in den "Richtlinien zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe" werden die Griffigkeitkennwerte in Zustandswerte überführt, wodurch eine Vergleichbarkeit unter den verschiedenen Meßmethoden erzielt wird. Die folgenden Abbildungen zeigen die Bewertungsmöglichkeit mittels SRM und SCRIM - Gerät.

¹ bedingte Streuungen sind in diesen Werten berücksichtigt



Zustandsgrößen (Meßwerte) besser als 1,5
werden mit der Note 1,0 normiert

Zustandsgrößen (Meßwerte) schlechter als 4,5
werden mit der Note 5,0 normiert

Abb. 2-3: Bewertung der Griffigkeit /23/

Die Zustandsgrößen bis 1,5 werden der Note 1,0 zugeordnet. Man hat die Vorstellung, die dazugehörigen Griffigkeitskennwerte beim Neubau von Straßen zu erreichen. Die Zustandsgrößen ab 3,5 werden dem Warnwert und die Zustandsgrößen ab 4,5 dem Schwellenwert zugeordnet.

3 Anfangsgriffigkeit von Asphaltdeckschichten

3.1 Zeitliche Entwicklung der Griffigkeit

Die Ursachen mangelnder Anfangsgriffigkeit wurden unter Punkt 1 erläutert. Die Griffigkeit einer Straßenoberfläche ändert sich im Laufe der Zeit, wobei sie von Faktoren wie der Verkehrsdichte und der Witterung beeinflusst wird. Doyen /12/ hat die zeitliche Entwicklung der Griffigkeit in drei Phasen unterteilt und diese in einem Schaubild veranschaulicht (Abb. 3-1).

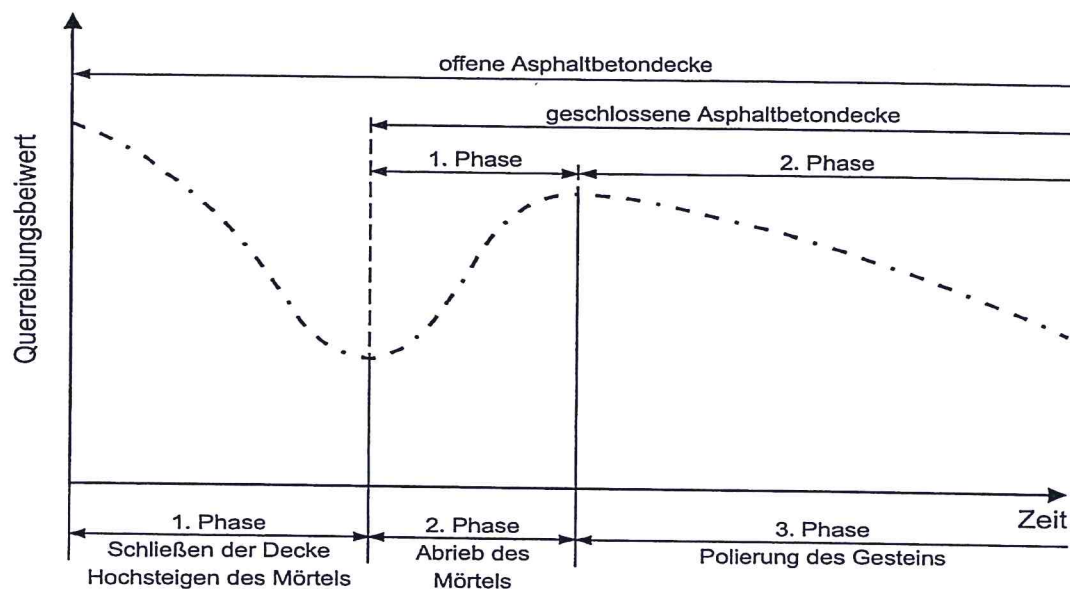


Abb. 3- 1: Zeitliche Entwicklung der Griffigkeit /12/

In der ersten Phase wird durch den nach oben drängenden Mörtel die Oberfläche geschlossen und der ursprüngliche Reibungswert fällt erheblich ab. Die Folge ist eine gefährliche Anfangsglatte bei Nässe.

Bedingt durch den Abrieb des Bindemittelfilms, sowie durch Alterung des Bitumens ist ein deutliches Ansteigen der Griffigkeit in der zweiten Phase zu beobachten.

Ein fortschreitendes Absinken der Reibungsbeiwerte infolge des Polierens des Gesteins durch überrollende Fahrzeuge tritt in Phase 3 auf. Je nach Witterung und Verkehrsbelastung kann sich die Griffigkeit auch zwischendurch wieder verbessern. Der ursprüngliche Maximalwert wird jedoch nicht wieder erreicht.

3.2 Bisherige Erkenntnisse zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit

Die Fachliteratur zeigt prinzipiell drei Möglichkeiten zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit auf, die in Abbildung 3-2 dargestellt sind.

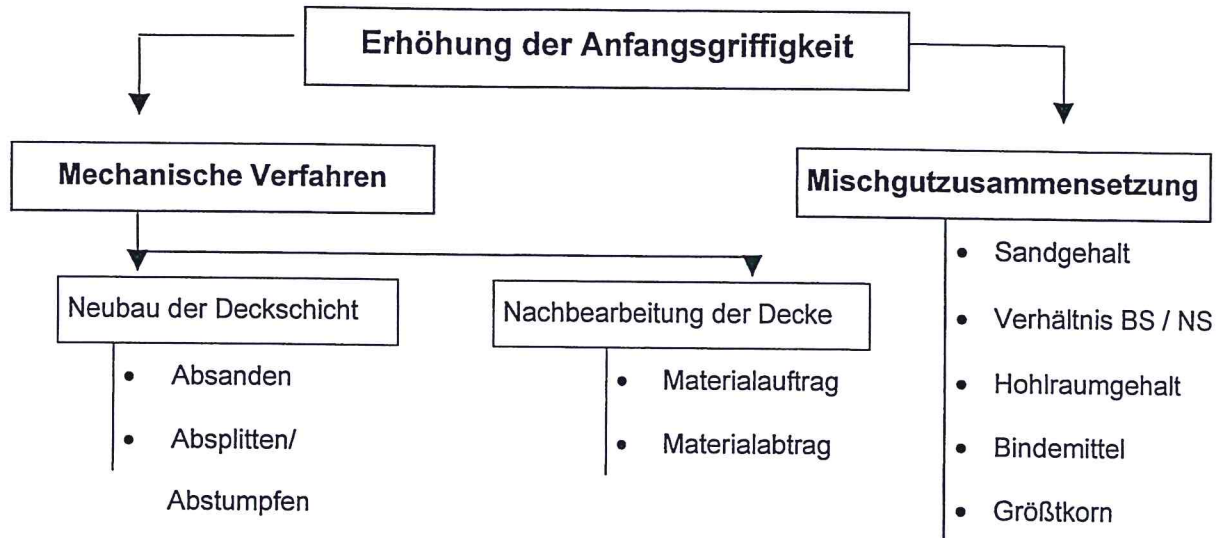


Abb. 3-2: Möglichkeiten zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit

3.2.1 Mechanische Verfahren zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit

Bergler /1/ und Schulze /55/ beschreiben Möglichkeiten zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit von Asphaltdeckschichten mit Hilfe von zwei Verfahren, die in den Jahren 1970 und 1973 näher untersucht wurden.

1. Das Verfahren des Absandens

Seit den siebziger Jahren wird in Deutschland das einfache Absandungsverfahren angewandt. Auf den üblichen Einbauvorgang durch den Fertiger folgen eine leichte und schwere Glattmantelwalze. Im Anschluß daran werden ca. 1,5 kg/m² bituminierter heißer Brechsand aufgestreut und eingewalzt. Nach Bergler /1/ entsteht dabei eine sandpapierartige Feinstruktur mit verbesserter Feinrauhigkeit. Der Sand besteht aus scharfkantigem Brechsand 0/2.

Heininger /30/ berichtet von einem Verfahren, bei dem mit 2 % Bitumen umhüllter Brechsand 0/3 bei einer Streudichte von 1,5 kg/m² verwendet wurde. Es wird angenommen, daß dieser Brechsand einen gleichmäßigen Abrieb des Mörtelfilms ohne große Verluste des Größtkorns als Feinsplitt allein ermöglicht.

2. Das Verfahren des Absplittens (Abstumpfen¹)

Im Rahmen eines Forschungsprojektes an der TU in Berlin sollten folgende Fragen zum Abstreuverfahren mit Splitt geklärt werden:

1. Wirksamkeit bezüglich der Anfangsgriffigkeit sowie die langfristige Bewährung
2. Zweckmäßige Ausführung hinsichtlich Material, Streudichte, Anwalztechnik u. a.
3. Nebenwirkungen
4. Kosten².

Anhand der Untersuchungsergebnisse konnten folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

zu 1) Die Anfangsgriffigkeit zeigte stets höhere Griffigkeitswerte im Vergleich zu den nicht abgestreuten Versuchsfeldern, trotzdem die zunächst erzielte hohe Griffigkeit in den ersten Tagen geringfügig abnahm. Vergleichsmessungen auf allen untersuchten Versuchsstrecken 1973 und 1974 ergaben laut Schulze /55/ einen mittleren Gleitbeiwert von 0,29 ($V = 80 \text{ km/h}$) und bei Feldern mit Abstreuerung von 0,40. Es konnte festgestellt werden, daß Absplittungen mit einem Größtkorn bis 5 mm die Gleitbeiwerte anheben. Diese bessere Anfangsgriffigkeit wurde über Wochen und Monate aufrechterhalten.

zu 2) Für eine sinnvolle Ausführung sollten drei Grundsätze eingehalten werden /55/:

- Größtkorn 2 oder 3 mm, max. 5 mm
- Temperatur beim Aufstreuen und Einwalzen mind. 80°C
- Streudichte max. $1,0 \text{ kg/m}^2$

zu 3) Schulze /55/ konnte keine schnellere Verschlechterung der abgestreuten Versuchsfelder gegenüber den Nullfeldern beobachten. Insgesamt kann festgehalten werden, daß unter Berücksichtigung der angegebenen drei Grundsätze, keine negativen Auswirkungen durch das Abstreuverfahren mittels Splitt auftreten.

In Belgien wurden nach Doyen /12/ gute Erfahrungen mit einer Streudichte von $2,0 \text{ kg/m}^2$ bei einem Größtkorn von 8 mm gemacht. Für das Einwalzen wird hierbei eine Temperatur von $110 - 115^{\circ}\text{C}$ gefordert. Vizi/Büttner /65/ geben zur Vereinfachung der erforderlichen Walztemperatur folgende Formel als einen gewogenen Mittelwert der Anfangs- und Endtemperatur an:

¹ Heute ist der Begriff Abstumpfen geläufiger.

² Auf diesen Punkt wird in der Studie nicht näher eingegangen, da die Kosten heute nicht mehr als relevant betrachtet werden können.

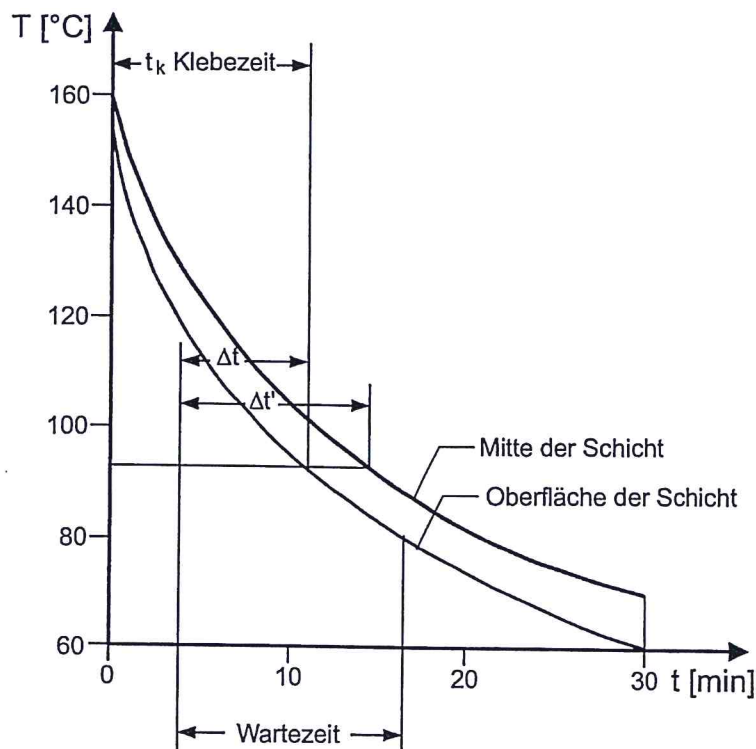
$$T = 0,4 \cdot T_B + 0,6 \cdot T_E$$

T_B - Anfangstemperatur

T_E - Endtemperatur

Da die Verdichtung mit Walzen und das Einstreuen von Splitt in Walzstreifen erfolgt, während sich der Fertiger fortbewegt, kann die Anfangstemperatur nur durch einen Mittelwert sinnvoll beschrieben werden. Dieser Mittelwert hängt von der Einbautemperatur, der Bahnbreite, der Walzfeldlänge sowie den Eigenschaften der Walze ab. Die Endtemperatur ist diejenige Temperatur am Ende des Walzfeldes, die durch die Einbautemperatur, die wärmetechnischen Eigenschaften der Deckschicht, die Witterung beim Einbau, die Schichtdicke, die Walzfeldlänge sowie die Geschwindigkeit des Fertiglers maßgeblich beeinflusst wird.

Heininger /30/ stellte den Zeitraum Δt in Abhängigkeit des Temperaturverlaufes, in dem aufgestreutes Material erfolgreich eingewalzt werden kann, graphisch dar (Abb. 3-3).



Δt = Zeit, in der aufgestreutes Material noch erfolgreich, d.h. dauerhaft, eingewalzt werden kann

$\Delta t'$ = Zeit, in der das aufgetreute Mineral erfolgreich in den anstehenden Mörtelfilm eingebunden werden kann

t_k = Zeit, bis zu der das Bindemittel an der Oberfläche noch klebfähig ist

Abb. 3-3 Temperaturverlauf in einer Asphaltbetondeckschicht beim Walzen /30/

Grundsätzlich kann als Abstreusplitt sowohl roher als auch leicht bituminierter Mineralstoff verwendet werden. Bei Verwendung von hellem Abstreusplitt wird neben der Erhöhung der Anfangsgriffigkeit eine Aufhellung der Decke erzielt.

Negative Nebenwirkungen der Maßnahmen zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit durch Absplitten konnten bei den 1974 im Rahmen des Forschungsprojektes an der TU Berlin durchgeführten Untersuchungen nicht beobachtet werden /55/. Ein möglicher Einfluß des Abstreuens auf das Verschleißverhalten erwies sich als so gering, daß er von anderen Einflußfaktoren überlagert wurde und vernachlässigbar ist. Damit kann festgehalten werden, daß Abstreumaßnahmen keine negativen Einflüsse auf die Ebenheit und das Verformungs- und Verschleißverhalten von Asphaltdeckschichten ausüben.

Bei zu großen Streudichten besteht jedoch die Gefahr, daß nicht korrekt verdichtete Bereiche durch die dichte Lage der Körner zugedeckt werden. Diese Gefahr des Verbergens unzureichend verdichteter Zonen besteht nach Schulze /55/ jedoch lediglich bei ungleichmäßigem Materialauftrag.

3.2.1.1 Die Streutechnik beim Absplitten

Streuvarianten sind:

- Winterdienstfahrzeuge mit Tellerstreuern
- Einfacher Düngerstreuer, angebaut am Heck eines LKW mit schräg gestellter Pritsche. Die Verteilung des Mineralstoffes wird dabei mit einer horizontal liegenden Welle in der Breite der Ladefläche erreicht.
- Direkt vom Fertiger gezogenes Streugerät
- Leichte und wendige Splittstreumaschine.

Der Einsatz von Winterdienstmaschinen ermöglicht durch die exakte Dosierbarkeit des Mineralstoffes auf gewählter Fahrbahnbreite bei vorgegebener Fahrgeschwindigkeit einen sehr gleichmäßigen Materialauftrag. Nachteilig ist jedoch, daß Unimogs nur eine geringe Ladekapazität besitzen und dadurch eventuell ein Zwischenlagern von Splitt erforderlich wird. Das im Gegensatz zum großen Lastkraftwagen geringere Gewicht in Verbindung mit den Breitreifen und abgesenktem Luftdruck läßt nach Schulze /55/ keine tiefen Spureindrücke entstehen. Beim Abstreuen von noch heißem Streugut ergaben sich auf verschiedenen Versuchsstrecken Probleme mit den Transportbändern, die aufgrund der Wärmedehnung den Materialtransport blockierten. Unimogs neueren Baujahrs ermöglichen mittlerweile Kriechgeschwindigkeiten auch bei Rückwärtsfahrt, so daß Streufahrzeuge mit den Tellerstreuern in Fahrtrichtung

rückwärts fahren könnten. Damit würden die Fahrzeugräder auf die schon abgestreute Fahrbahn treffen. Unter Berücksichtigung der Unfallverhütungsvorschriften (z. B. Rückfahrkameras), wäre dies ein weiterer denkbarer Schritt, um eine gleichmäßige Abstreuerung zu erzielen.

Spureindrücke werden gering gehalten, wenn die Streugeräte die Deckschicht erst befahren, nachdem die dem Fertiger folgende Walze ihre Verdichtung abgeschlossen hat. Es muß jedoch darauf geachtet werden, daß die Deckschichttemperatur noch mindestens 90°C beträgt, um eine ausreichende und dauerhafte Verankerung der Splittkörner zu erreichen.

Ein angebautes Streugerät an der ersten leichten Vibrationswalze erscheint als geeignet, da hierbei der Abstreuvorgang und ein erstes Verdichten kombiniert werden. Der Mineralstoff wird im heißmöglichen Zustand der Deckschicht aufgestreut und sogleich angedrückt. Um die guten Eigenschaften von gegenläufig drehenden Tellerstreuern von Winterdienstfahrzeugen für die Praxis nutzen zu können, sollten diese auch bei Anbaustreuern an Walzen Verwendung finden.

In der Praxis haben sich leichte Vibrationswalzen bewährt, die Spureindrücke des Streufahrzeuges restlos beseitigen. Danach folgen Gummirad- und schwere Glattmantelwalze für die endgültige Verdichtung. Wenn das Einstreuen auf die noch mindestens 90°C heiße Deckschicht erfolgt, braucht die jeweilige Walzenfolge laut Schulze /55/ nicht verändert zu werden.

Denkbar ist ebenfalls ein sofortiges Abstreuen nach dem Einbau durch am Fertiger angebrachte Streuvorrichtungen. Zu beachten wäre, daß ein zu starkes Eindrücken bis zum Versinken der Splittkörner in die Deckschichtoberfläche auftreten könnte.

3.2.1.2 Erfahrungen mit abgestreuten Decken im Ausland

In den Niederlanden müssen bereits seit 1960 Asphaltbetondeckschichten nach den ersten Walzübergängen mit Edelsplitt 2/5 abgestreut werden /62/. Versuche mit grobem Splitt (5/8) haben gezeigt, daß Splitt, der nicht mit Bitumen umhüllt ist, größtenteils lose an der Fahrbahnoberfläche liegen bleibt. Außerdem zeigten Untersuchungen, daß der mit ca. 1% bituminierte grobe Splitt die holländischen Mindestanforderungen an die Griffigkeit nicht erfüllt. Die Gefahr des Glasbruches, der durch das Aufwirbeln loser Splittkörner durch den vorausfahrenden Verkehr verursacht werden kann, ist bei 8 mm Größtkorn gegenüber 5 mm deutlich höher.

Positive Erfahrungen wurden in den Niederlanden mit polierresistenten Splitten der Körnung 2/5 als Abtreumaterial gemacht. Seit einigen Jahren werden in den Niederlanden bei ungenügenden Reibungsbeiwerten der Fahrbahnoberfläche hohe Preisabzüge verhängt.

Mahone et al. /46/ berichten über eng gestufte Asphaltbetondecken, bei denen in den USA (Virginia) die Zuschläge aus relativ polierempfindlichem Gestein mit niedrigen PSV-Werten bestehen. Bevor die Walzen mit der Verdichtung beginnen, werden Splitte mit hohen PSV-Werten in die heiße Deckschicht mit Druck aufgesprüht. Man verspricht sich davon einen gleichmäßigen und kontrollierten Materialauftrag. Die Anfangsgriffigkeit wird bei diesem Verfahren ("sprinkle-mix") als sehr hoch beschrieben. Ein Vorteil gegenüber dem herkömmlichen maschinellen Absplitten mit Streugeräten wird in der Literatur nicht beschrieben.

Daines /5/ berichtet von einer Bauweise, bei der sofort beim Einbau mit Bindemittel vorbehandelter Splitt ("precoated chippings") eingestreut wird. Bei derart vorbituminierten Mineralstoffen haben sich polierresistente Splitte mit einem Größtkorn von 20 mm bewährt. Aufgrund technischer Einbauschwierigkeiten werden in Belgien "precoated chipping – Decken" nicht mehr gebaut. Stattdessen werden Asphaltdecken mit einem Feinsplitt 4/8 mm abgestreut /12/. Die ebenfalls angewandte Absplittung mit Grobsplitt erscheint trotz sehr guter Reibungsbeiwerte als nicht geeignet. Ursache dafür ist, daß bei einem losgelösten und hochgeschleuderten Splittkorn mit einem Korndurchmesser von 12 mm Größe die Gefahr von Glasbruch sehr hoch ist.

Vom Standpunkt der Grobrauheit und der Dauerhaftigkeit her ist ein möglichst großes Zuschlagkorn wünschenswert. Dies ist nur möglich, wenn die Asphaltoberfläche ausreichend Asphaltmörtel enthält, um die Körner fest einzubinden. Durch die flächenhafte Schärfe polierresistenter Feinsplitte wird die Mikrorauigkeit auf ein hohes Niveau gebracht. Das Verfahren wird nach Leyer / Van Heystraeten /43/ in Belgien, Frankreich, Colorado und Indiana wegen der deutlich griffigkeitserhöhenden Wirkung hinsichtlich der Anfangsglätte bevorzugt. In Deutschland, England und verschiedenen Staaten der USA werden precoated chipping-Decken dagegen für kleine, örtlich begrenzte Baulose nur in Ausnahmefällen verwendet, da eine mangelnde Haftung der Splittkörner befürchtet wird.

3.2.2 Der Einfluß der Mischgutzusammensetzung

Im Jahre 1975 wurde an der TU Berlin in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (bast) ein Forschungsprojekt durchgeführt, das den Einfluß der wichtigsten Mischgutparameter auf die Anfangsgriffigkeit untersuchen sollte. Es wurden insgesamt fünf, über das Bundesgebiet verteilte, Versuchsstrecken angelegt. Laut Untersuchungsbericht /55/ wurden folgende Mischgutparameter variiert bzw. Abhängigkeiten und Einflüsse untersucht:

- Einfluß der Sandkomponente über das Verhältnis Brechsand / Natursand (BS / NS) und des absoluten Sandanteils.
- Einfluß des veränderten Hohlraumgehaltes bei wenig unterschiedlicher Korngrößenverteilung.
- Es wurde der Einfluß der Bindemittelhärte bzw. Mörtelsteifigkeit bei einem sehr dicht aufgebautem Asphaltbeton und der Einfluß des Größtkornes untersucht.
- Änderung des Hohlraumgehaltes durch eine Änderung des Verhältnisses BS / NS und des Bindemittelgehaltes.
- Änderung des Verhältnisses BS / NS bei gleichbleibender Körnungslinie.

Zum Einfluß der Sandkomponente

Der Einfluß des Sandes wurde zum einen über den gesamten Sandanteil, und zum anderen über das Verhältnis BS / NS ermittelt. Schulze /55/ kommt zu der Schlußfolgerung, daß eine Erhöhung des BS / NS Verhältnisses von 1:1 auf 3:1 einen deutlichen Anstieg der Gleitbeiwerte zur Folge hat. Die Untersuchungsergebnisse haben weiterhin gezeigt, daß eine ausreichende Anfangsgriffigkeit erreicht wird, wenn ein absolut hoher Brechsandanteil (hier über 40 Gew.-%) verwendet wird.

Untersuchungen, ausschließlich Brechsand zu verwenden, zeigten laut Dames /7/ keine weitere Erhöhung der Anfangsgriffigkeit.

Zum Einfluß des Hohlraumgehaltes

Ausgehend von nur wenig unterschiedlichen Kornverteilungen mit ca. 50 Gew.-% Splitt und 7 bis 9 Gew.-% Füller, ergaben sich hinsichtlich des Hohlraumgehaltes zwei Varianten: A mit einem Hohlraumgehalt von 1,3 Vol.-% und B mit einem Hohlraumgehalt von 3,5 Vol.-%. Nach Schulze /55/ wurde bei diesem Versuch das Verhältnis von BS / NS von 1:1 (A) auf 2:1 (B) heraufgesetzt, sowie der Diabas-Brechsand durch Brechsand aus Hochofenschlacke ersetzt. Auf diese Weise konnte der Hohlraumgehalt erhöht werden, ohne ein völlig neues Mischgut zu erhalten. Der Bindemittelgehalt betrug 6,2 - 6,3 Gew.-%. Es konnte beobachtet werden, daß die Variante A eine niedrigere Anfangsgriffigkeit aufwies. Nach Dames /7/ ist der niedrige Anfangswert bei Variante A auf das Zusammenwirken verschiedener ungünstiger Faktoren zurückzuführen:

1. hoher Anteil der mit Bindemittel ausgefüllten Hohlräume
2. Verhältnis BS / NS nur 1:1 gegenüber 2:1 bei Mischgutvariante B
3. geringer Hohlraumgehalt von nur 1,3 Vol. -%.

Versuchsstrecken, die einen hohen Brechsandanteil aufwiesen, zeigten gute Anfangsgriffigkeiten, auch in der gesamten Spanne des zulässigen Hohlraumgehaltes.

Zum Einfluß der Bindemittelhärte und -menge

Schulze /54/ konnte bei den 1975 an verschiedenen Versuchsstrecken in Deutschland variierten *Bindemittelhärten* keinen Einfluß auf die Anfangsgriffigkeit feststellen.

Zu der gleichen Schlußfolgerung kommt Daines /5/ nach Versuchen in England, bei der sieben Bitumen unterschiedlicher Härte verwendet wurden. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Bindemittelhärte und Anfangsgriffigkeit beobachtet werden.

Die *Bindemittelmenge* hat einen wesentlich größeren Einfluß auf die Anfangsgriffigkeit. Die negativen Auswirkungen zu bindemittelreicher Mischgüter auf die Anfangsgriffigkeit sind offensichtlich und werden an dieser Stelle nicht mit Hilfe der Fachliteratur diskutiert.

Zum Einfluß des Größtkornes

Nach Dames /7/ ist kein besonderer Einfluß des Größtkornes auf die Anfangsgriffigkeit gegeben. Es ist anzunehmen, daß weniger das Größtkorn an sich, sondern viel mehr Eigenschaften wie der PSV-Wert oder die Bruchflächigkeit Einfluß auf die Anfangsgriffigkeit haben.

Neue Erkenntnisse zeigen, daß Asphaltdeckschichten mit abnehmendem Größtkorn bessere Griffigkeiten aufweisen /20/. Nach dem Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten ist mit kleiner gewählten Korndurchmessern ein Ansteigen des Polierwiderstandes der Splitte durch Zunahme des Anteils an Kantenschärfe im Verhältnis zur flächenhaften Schärfe verbunden.

Zusammenfassend wurden im Abschlußbericht /55/ im wesentlichen folgende Schlußfolgerungen hinsichtlich der Mischgutzusammensetzung gezogen :

- Hohlraumreiche Mischgutzusammensetzungen zeigen im allgemeinen eine ausreichende Anfangsgriffigkeit.
- Die Anfangsgriffigkeit wird durch einen hohen Brechsandanteil günstig beeinflusst.
- Gesteinsarten mit einem hohem Schärfegrad für den Brechsand wirken sich günstig auf die Anfangsgriffigkeit aus.
- Mit dichten Mischgutzusammensetzungen läßt sich nicht immer eine ausreichende Anfangsgriffigkeit erzielen.

3.2.3 Bearbeitung von Straßenoberflächen

Eine griffigkeitserhöhende Nachbehandlung wird dann erforderlich, wenn nach Fertigstellung einer Asphaltdeckschicht eine ungenügende Anfangsgriffigkeit vorliegt. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Verfahren mit Materialauftrag und -abtrag.

3.2.3.1 Griffigkeitserhöhende Maßnahmen mit Materialauftrag

Es sollen zwei Maßnahmen beschrieben werden, die sich als Nachbehandlungsverfahren einer gerade fertiggestellten Deckschicht in der Praxis bewährt haben.

Einwalzen heißen Splittes in die erkaltete Deckschicht

Hierbei wird laut Wehner /66/ bituminierter, auf bis zu 250 °C erhitzter Splitt 2/5 bei einer Streudichte von 2-5 kg/m² maschinell aufgestreut und anschließend mit Hilfe einer schweren Glattmantelwalze oder Vibrationswalze angedrückt. Das Einbringen von heißem Splitt in die Oberfläche ist als problematisch zu betrachten, da nur bei ausreichender Streumenge ein ausreichender Wärmeeintrag möglich ist. Demgegenüber steht die Feststellung von Wehner /43/, daß nur dann eine erfolgreiche Erhöhung der Griffigkeit erzielt werden kann, wenn das Korn spärlich gestreut wird. Nach Dübner /13/ haben sich diese Verfahren nicht bewährt. Die entstandenen kleinen Vertiefungen täuschten eine gewisse Rauigkeit vor, die jedoch nicht lange anhielt. Der Splitt war nicht fest gebunden. Ausgehend von diesen Vorgaben wurde eine 2. Methode entwickelt:

Das Erhitzen der Fahrbahnoberfläche und Eindrücken von Abstreusplitt

Die Asphaltdeckschicht wird mittels Heizeinrichtung auf ca. 90°C erwärmt und roher Splitt 2/5 bei gleichmäßiger Streudichte (1 kg/m²) eingebracht. Nach Wehner /66/ werden auf diese Weise gute Resultate erzielt. Das Verfahren ist jedoch aufwendig, da Spezialgeräte mit geringer Flächenleistung zum Einsatz kommen.

3.2.3.2 Griffigkeitserhöhende Maßnahmen durch Nachbearbeitung der Straßenoberfläche

Wie bereits erläutert, ist es bei Anwendung von Abstumpfungsmaßnahmen problematisch, daß durch herausgerissene, aufgewirbelte Splittkörner Windschutz-

scheiben zerstört und Unfälle verursacht werden können. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren Verfahren entwickelt, die den Bitumen-/Asphaltmörtelfilm von der Mineralstoffoberfläche der fertigen Asphaltstraße entfernen. Die heute bekannten Verfahren beruhen größtenteils auf einem mechanischen Abtragen dieses Films.

Hinsichtlich der nachfolgend aufgeführten Verfahren zum Abtragen des Bitumen-/Asphaltmörtelfilms bestehen derzeit keine Verfahrensbeschreibungen in Form von Technischen Regelwerken. Grund dafür sind die bereits erwähnten fehlenden Anforderungen an die Griffigkeit in Form von Kennwerten, die eine Fahrbahnoberfläche bei Verkehrsübergabe laut Technischer Regelwerke aufweisen muß.

In der Fachliteratur sind hinsichtlich der Vor- und Nachteile dieser Verfahren kaum Angaben zu finden. Es bedarf hier erst konkreter Untersuchungen, die Auskunft über die bestehenden Vor- und Nachteile geben. Die folgenden Ausführungen sind mit Hilfe entsprechender ausführender Firmen zusammengetragen worden, wobei kaum detaillierte Aussagen zu Vor- und Nachteilen der Verfahren und bisherigen Erfahrungen getroffen wurden. Nachteile, die denkbar wären und sich in der Praxis oftmals ergeben, werden im Zusammenhang mit den Verfahren genannt.

Rillierung

Durch Einschneiden von Längs- und Querrillen kann das Kraftschlußangebot von Straßenoberflächen bei Nässe erhöht werden. Dem Oberflächenwasser werden zusätzliche Fluchtwege geboten, so daß dem Aquaplaning-Effekt entgegengewirkt wird. Verfahren zur Herstellung von Rillen sind das "Trockenfräsen" und das "Naßschneiden". Erreicht wird eine wirksame Verbesserung der Makrorauhigkeit, ohne daß dabei die Feinrauhigkeit negativ beeinflusst wird /6/ /10/ /60/.

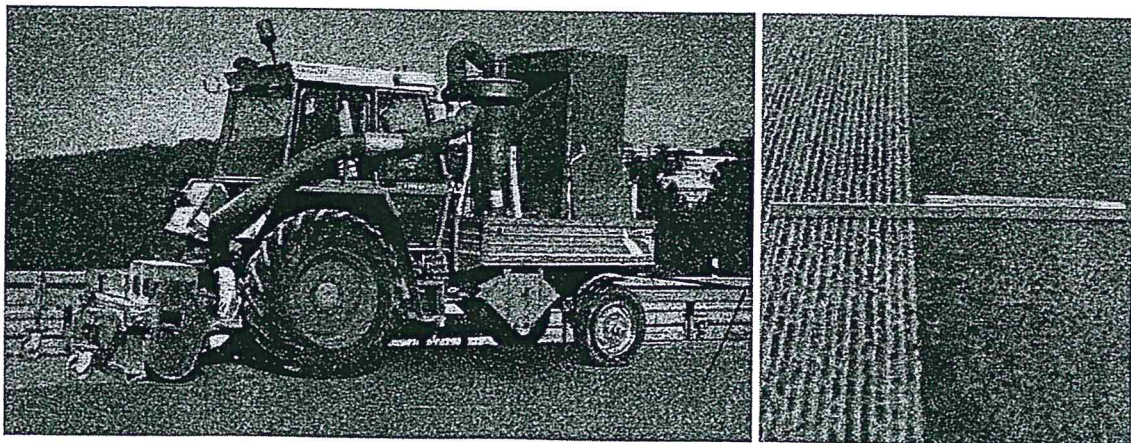


Abb. 3-4: Rillierung mit rotierenden Werkzeugen /32/

Beide Verfahren sind im Hinblick auf Gewinn an Griffigkeit als gleichwertig zu betrachten /10/. Da bei trocken gefrästen Rillen die Kanten jedoch schneller ihre Schärfe verlieren, ist dem Naßschneiden der Vorzug zu geben. Insgesamt handelt es sich jedoch bei diesen Verfahren um eine sehr drastische Nachbehandlungsmaßnahme zur Erhöhung der Griffigkeit. Diese sollte bei neuen Asphaltdecken nur in Ausnahmefällen angewandt werden.

Negativ bei Anwendung dieses Verfahrens könnte ebenfalls sein, daß durch das Einschneiden von Rillen Spuren auf der Fahrbahn entstehen, die vor allem für Zweiradfahrer die Sicherheit herabsetzen können (siehe Abb. 3-4).

Hochdruck-Wasser-Technik

Bei diesem Verfahren wird Wasser mit hohem Druck (bis zu 1000 bar /32/) über Spezialdüsen auf die Straßenoberfläche gespritzt, wodurch die weniger festen Bestandteile der Oberfläche abgelöst werden. Griffigkeitsmindernde Mörtelanreicherungen werden zum Teil beseitigt /32/. Durch eine Abstimmung von Fahrgeschwindigkeit, Druck und Drehzahl des Düsensystems kann die Intensität der Aufrauung bestimmt werden. Eine zu hohe Aufrauung würde zwar die Grobrauheit erhöhen, jedoch durch Entmörtelung die verbleibenden Splittkörner einer exponierten Lage und damit einem erhöhten Abrieb aussetzen. Da Mörtelanreicherungen in der Regel ungleichmäßig auftreten, ist ein sehr sorgfältiges Arbeiten erforderlich. Ein zu starkes Bearbeiten kann verursachen, daß Splittkörner anschließend vom Verkehr herausgerissen werden.

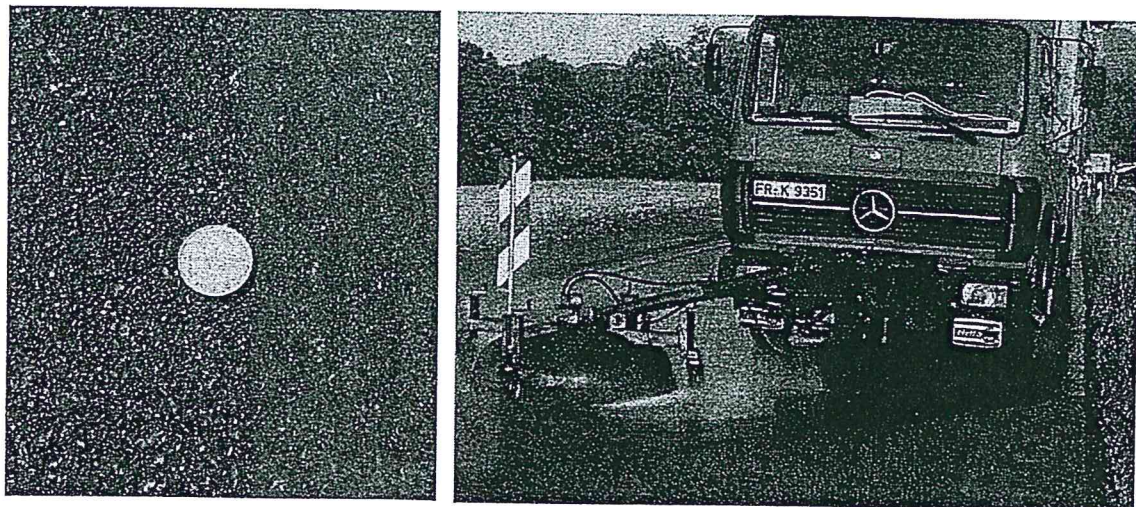


Abb. 3-5: Hochdruck-Wasser-Technik /32/

"Helmus Grip Verfahren (Grip 1)"

Durch das Aufrauungsverfahren "Helmus Grip" werden die Splittkörner der Straßenoberfläche angebrochen. Die Decke wird dazu mit einer schweren Gummiradwalze überfahren, die mit speziellen Bandagen, ähnlich einer Schaffußwalze, versehen ist. Der Mörtelfilm wird dadurch strukturiert, aber nicht vollständig entfernt. Daher scheint das Verfahren nur bedingt einsetzbar. In Fällen unzureichender Grobrauheit kann der Effekt dadurch erhöht werden, daß vor der Bearbeitung mit der Walze Brechsand oder Feinsplitt aufgestreut wird. Die Feinrauigkeit kann durch dieses Verfahren nur dann verbessert werden, wenn zuvor der dünne Bindemittelfilm oberflächlich entfernt wird /45/. Damit erscheint dieses Verfahren speziell zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit als ungeeignet.

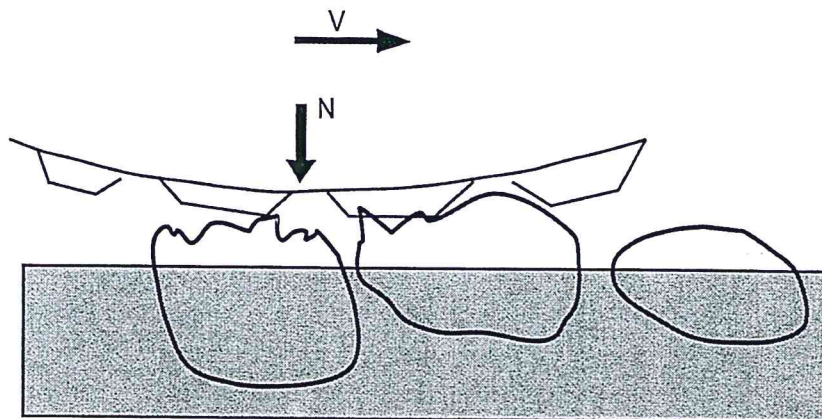


Abb. 3-6: Anbrechvorgang beim Überfahren mit der bandagierten Walze /45/

"Grip 2" (Aufschlagende Meißel)

Das Verfahren "Grip 2" ist eine Weiterentwicklung des Verfahrens "Grip 1". Dafür wurde ein spezielles Aufraugerät aus Trägern, die mit Hartmetall-Meißeln bestückt sind, konzipiert. Die Werkzeuge dringen wenige Millimeter in die Straßenoberfläche ein, dadurch werden die Splittkörner angebrochen /5/. Es können sowohl Asphaltoberflächen, als auch Betondecken bearbeitet werden. Der Oberflächenabtrag wird abgesaugt. Durch Kippbewegungen der Werkzeugelemente werden auch Spurrinnen und andere Unebenheiten aufgerauht. Laut Technischem Merkblatt sind Arbeitsbreiten zwischen 2,5 und 3,65 m bei Arbeitsgeschwindigkeiten von 1,2 bis 5 m/min möglich.

Bei Anwendung dieses Verfahren ist zu untersuchen, inwieweit eine Kornzertrümmerung eintreten kann. Ähnlich wie bei der Rillierung ist auch hier die Bildung von Spuren denkbar und muß geprüft werden.

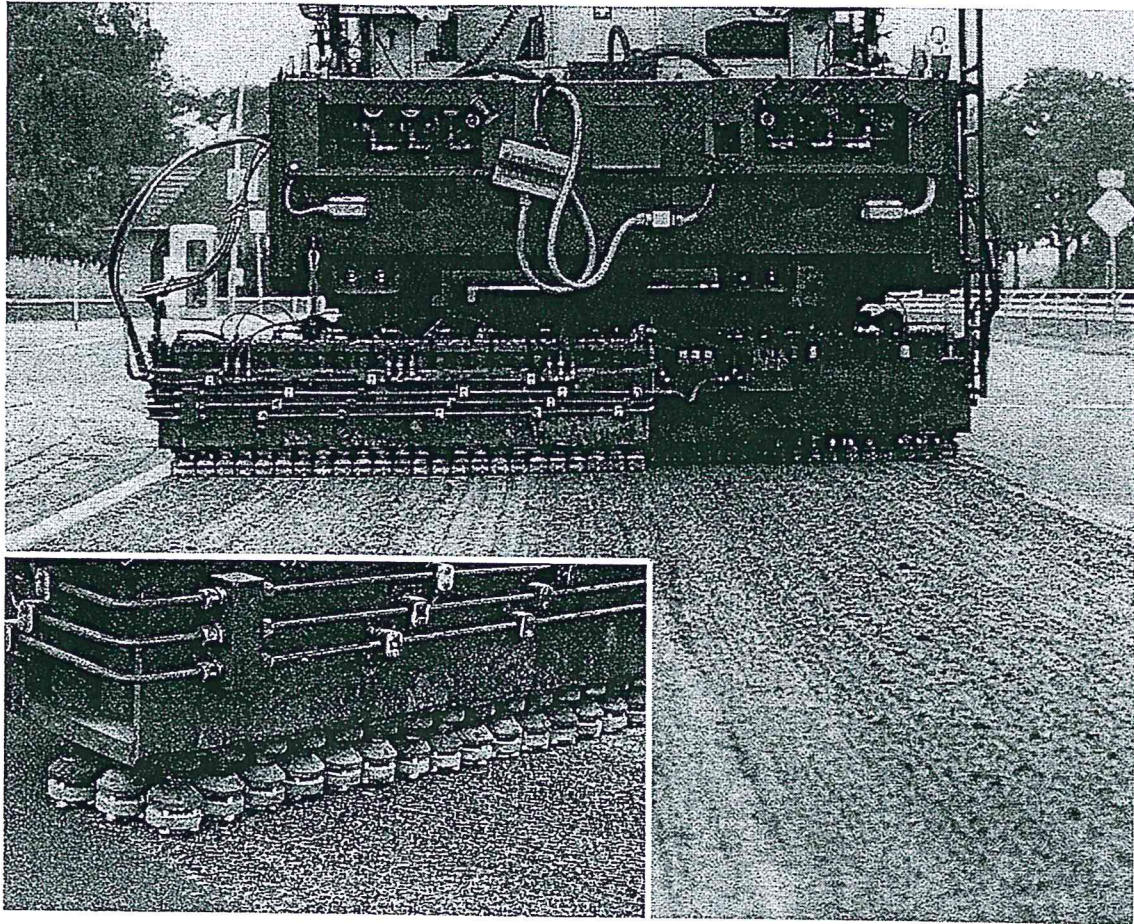


Abb. 3-7: Bearbeitung der Straßenoberfläche mit Hartmetall-Meißeln /5/

Klaruwx 190

Das Klaruwx - Verfahren ähnelt im Prinzip dem Verfahren "Grip 2". Die Aufraumaschine besteht aus vielen hämmernden Meißeln, wobei die Meißel frei rotieren. Laut Beschreibung im Technischen Merkblatt /38/ ist ein Einsatz auf Asphalt und Betondecken möglich. Je nach Beschaffenheit der Oberfläche können bis zu 800 m²/h bearbeitet werden. Für Asphaltoberflächen mit starken Bitumenanreicherungen liefert das o. g. Merkblatt den Hinweis, daß andere Verfahren eingesetzt werden sollten. Prinzipiell können die gleichen Probleme hinsichtlich der Zerstörung der Deckschicht auftreten, wie beim oben aufgeführten "Grip 2" - Verfahren erwähnt.

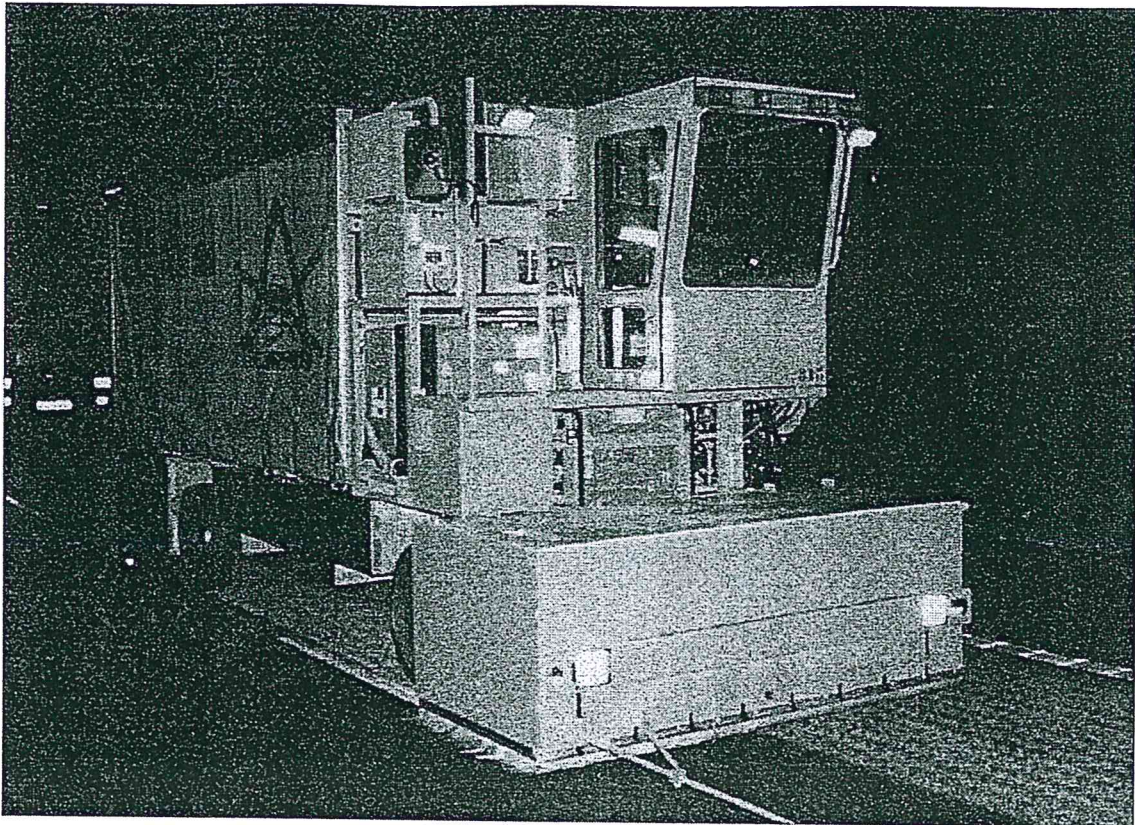


Abb. 3-8: Griffigkeits- und Texturverbesserung durch Aufrauung mittels Meißel /38/

Sandstrahlen

Beim Sandstrahlen wird trockenes Schleifmittel auf die Straßenoberfläche mit Hochdruck geblasen und anschließend abgesaugt. Trotzdem entsteht eine hohe Staubentwicklung, so daß dieses Verfahren heute nicht mehr angewandt wird.

Ein ähnlich wirkendes Verfahren, welches heute noch Anwendung findet, ist das Kugelstrahlverfahren.

"Whisper Grip"

"Whisper-Grip" (Produktbezeichnung) ist eine Reaktionsharz-Oberflächenbehandlung, die auf die Deckschicht aufgebracht wird. Dabei wird zunächst ein Zweikomponenten-Reaktionsharzbindemittel aufgetragen. Der frische Bindemittelfilm wird unmittelbar nach dem Aufbringen mit Feinsplitt (< 4 mm) abgestreut. Nach Aushärten des Harzes wird der nicht gebundene Splitt mit Kehrmaschinen abgenommen. Sowohl Mikro-, als auch Makrorauigkeit sollen dadurch verbessert werden /47/. Es sind Tagesleistungen, je nach Objekt, bis zu 20.000 m² möglich.

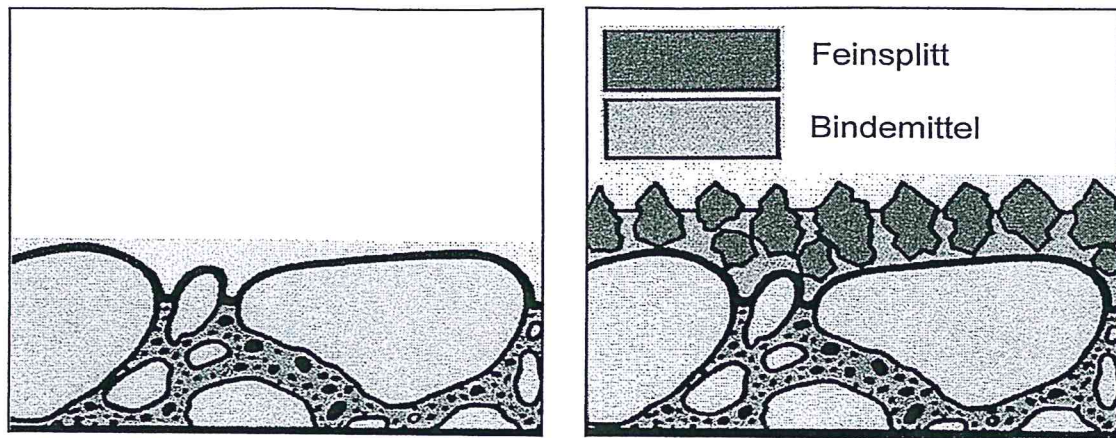


Abb. 3-9: Verbesserung der Rauigkeit mittels Whisper-Grip /47/

Dabei handelt es sich um ein sehr neues Verfahren. An dieser Stelle können keine Aussagen über Erfahrungen, vor allem zur Haltbarkeit dieser Oberflächenbehandlung in der Praxis, gemacht werden. Vorstellbar ist auch hier, daß durch herausgerissene Splittkörner Windschutzscheiben zerstört werden können.

4 Nutzung elektromagnetischer Wellen zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit

4.1 *Eigenschaften elektromagnetischer Wellen*

Im Rahmen der Pilotstudie soll untersucht werden, inwieweit mittels hochenergetischer elektromagnetischer Wellen eine Abtragung des Bindemittelfilms von der Mineralstoffoberfläche möglich ist, um eine Erhöhung der Anfangsgriffigkeit zu erzielen. Denkbar sind der Einsatz von UV-Licht, Ultraschallwellen, Mikrowellen und Laser. An dieser Stelle sollen die Eigenschaften dieser elektromagnetischen Wellen aufgezeigt werden.

Elektromagnetische Wellen sind elektromagnetische Felder, die sich im Raum ausbreiten. Sie werden erzeugt durch beschleunigt bewegte Ladungen und können sich im Vakuum, Dielektrika, sowie entlang von Drähten und Hohlräumen ausbreiten. Die mathematische Beschreibung elektromagnetischer Wellen erfolgt auf der Grundlage der Maxwellschen Theorie des elektromagnetischen Feldes /4/. Elektromagnetische Wellen existieren in verschiedenen Wellenlängenbereichen. Sie unterscheiden sich nach Art ihrer Entstehung und Art der Anwendung. Allen elektromagnetischen Wellen sind jedoch Eigenschaften wie Brechung, Beugung, Reflexion und Polarisierung gemeinsam.

Die folgenden Ausführungen und Darstellungen wurden mit Hilfe der entsprechenden Fachliteratur /2/ /15/ /40/ /42/ /52/ erarbeitet. Bei der Erarbeitung der Theorie zur Lasertechnik wurden auch Fachleute des Fraunhofer Institutes in Dresden zu Rate gezogen.

UV-Licht bzw. UV-Strahlung ist laut Brockhaus /4/ „die im elektromagnetischen Spektrum jenseits vom violett liegende kurzwellige unsichtbare Strahlung“. Sie erstreckt sich über ein Wellenlängenintervall von 5-400 nm. UV-Strahlung wird mit der Strahlung hoch erhitzter fester Körper (Temperaturstrahler) oder elektrisch angeregten Dämpfen oder Gasen erzeugt /4/. Die zur Erzeugung von UV-Strahlung wichtigste Gasentladung ist die Quecksilberentladung. Als Strahlungsempfänger für UV-Strahlung dienen sensibilisierte Photoelemente, Photozellen und sekundärelektrische Vervielfacher. UV-Licht weist eine gute Bündelungsfähigkeit auf. Größtenteils wird es in der Technik aufgrund seiner photochemischen Wirkung genutzt (z. B. Farbechtheitsprüfung, Bleichen und Altern von Lacken).

Ultraschallwellen sind Schallwellen im Frequenzbereich von $2 \cdot 10^4$ Hz bis 10^{10} Hz. Die Tabelle 4-1 zeigt die auftretenden Ultraschallwellen in verschiedenen Medien mit den dazugehörigen Schallgeschwindigkeiten /4/.

Tab. 4-1: Ultraschallwellen in verschiedenen Medien

Medium	Wellenlänge [cm]	Schallgeschwindigkeit [m/s]
Luft	$1,6 - 0,3 \cdot 10^{-4}$	330
Flüssigkeit	$6 - 1,2 \cdot 10^{-4}$	1200
Festkörper	$20 - 4 \cdot 10^{-4}$	4000

Die hohen Frequenzen, in denen man Ultraschallwellen technisch erzeugen kann führen zu besonderen Eigenschaften /4/:

- Man kann Ultraschallwellen mit einer mittleren Stromdichte von 400 kW/m^2 erzeugen.
- Der Schallwechseldruck liegt im MPa – Bereich.
- Die Beschleunigung erreicht Werte, die über der Erdbeschleunigung liegen.
- Die Wellenlänge ist extrem klein, so daß eine gute Bündelung und geringe Beugung möglich ist.

Ultraschall wird vielfach in der Materialprüfung eingesetzt. Mit Hilfe von Impulsdurchstrahlverfahren und Impulsechoverfahren werden Impulsformungen gebildet und Ultraschallimpulse mit konstanter Impulsfrequenz ausgesandt. Bei auftretenden Materialfehlern und Phasengrenzen werden zusätzliche Empfangsimpulse ausgesandt, die Rückschlüsse auf Ort und Größe der Fehlstellen zulassen /4/.

Aus der Restaurierung von Steindenkmälern sind Verfahren mittels Ultraschall zur Reinigung von Steinoberflächen bekannt /68/. Es wird ein Ultraschallmeißel verwendet, dessen Generator elektrische Schwingungen von 20 kHz in mechanische Schwingungen umsetzt und über einen Schallkopf auf einen Meißel überträgt. Das Gerät ist luftgekühlt, d.h. man benötigt einen Staubsauger, um den Dauerbetrieb aufrechtzuerhalten /68/. In der Zahnmedizin wird ein mit 40 kHz laufendes Ultraschallgerät mit Wasserkühlung verwendet. Dieses Gerät wurde ebenfalls zur Bearbeitung von Steinoberflächen umfunktioniert.

Unter **Mikrowellen** versteht man elektromagnetische Schwingungen zwischen 300 MHz und 300 GHz. Nach Kohlrausch /40/ bilden die Mikrowellen im elektromagnetischen Spektrum die Brücke zwischen den Hochfrequenzschwingungen, der Wärmestrahlung und den nachfolgenden optischen Schwingungen. Der

Frequenzbereich der eigentlichen Mikrowellentechnik liegt zwischen 3 und 300 GHz. Für die Erzeugung von Mikrowellen ist der sogenannte „Laufzeiteffekt“¹ bedeutend. Eine nutzbare Energieübertragung kann entweder durch Abstrahlung und Fortleitung im freien Raum oder durch Führung der Wellen zwischen Leiterwänden erfolgen. Der in die Wandung eindringende Anteil wird absorbiert und bestimmt die Leitungsdämpfung. Mikrowellen zeigen ein quasioptisches Verhalten, d.h. eine direkte Sende-Empfangsverbindung ist normalerweise nur zwischen Orten erreichbar, die in optischer Sichtweite liegen. Mikrowellen besitzen eine gute Bündelungsfähigkeit.

Immer größere Bedeutung in der Technik wird dem **Laser** beigemessen. Da im Rahmen dieser Forschungsarbeit Untersuchungen mittels verschiedener Laser durchgeführt wurden, soll das Prinzip des Lasers an dieser Stelle ausführlicher erläutert werden.

Das Wirkprinzip des Lasers (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) beruht auf quantenmechanischen Vorgängen der Wechselwirkung eines Strahlungsfeldes mit der Materie. Es wird die Tatsache genutzt, daß Atome, Ionen und Moleküle in verschiedenen Energiezuständen vorliegen können [2] [42]. Zum Verständnis der Funktionsweise eines Lasers sind Begriffserklärungen zur spontanen und simulierten Emission sowie zur Besetzungsinversion erforderlich.

Trifft ein resonantes Lichtquant auf ein Atom im Grundzustand, wird es absorbiert, wobei man unter Absorption die Umwandlung von Strahlungsenergie in andere Energieformen versteht. Dabei geht das Atom in den angeregten Zustand über. Unter Aussendung eines Lichtquants kehrt es spontan zu einer unbestimmten Zeit in den ursprünglichen Zustand zurück (spontane Emission). Trifft dagegen ein resonantes Lichtquant auf ein Atom im angeregten Zustand, so erzwingt es dessen Übergang in den Grundzustand. Zu dem eintreffenden kommt ein emittiertes Lichtquant hinzu. Dieser Prozeß entspricht der Lichtverstärkung durch simulierte Emission. Aufgrund des Energieerhaltungssatzes müssen die Energien der Atome bzw. des atomaren Zustandes und die der Lichtquanten vor und nach den genannten Prozessen übereinstimmen. Da durch resonante Einstrahlung maximal eine Gleichbesetzung der beiden Niveaus erreicht werden kann, ist im Zwei-Niveau-System keine Lichtverstärkung möglich. Für eine Verstärkung ist mindestens ein Drei-Niveau-System nötig. Die Abbildung 4-2 zeigt das Energieniveauschema eines Vier-Niveau-Lasers (z.B. Nd:YAG-Laser²).

¹ Die Laufzeiten der Ladungsträger liegen in der gleichen Größenordnung wie die Periodendauer der Bewegung der Träger verursachenden Schwingungen [15].

² Yttrium-Aluminium-Granat- Laser (laseraktive Y^{3+} -Ionen und Nd^{3+} -Ionen sind im Laseraktiven Material in einer Konzentration von 0,5% bis 3,0 % vorhanden)

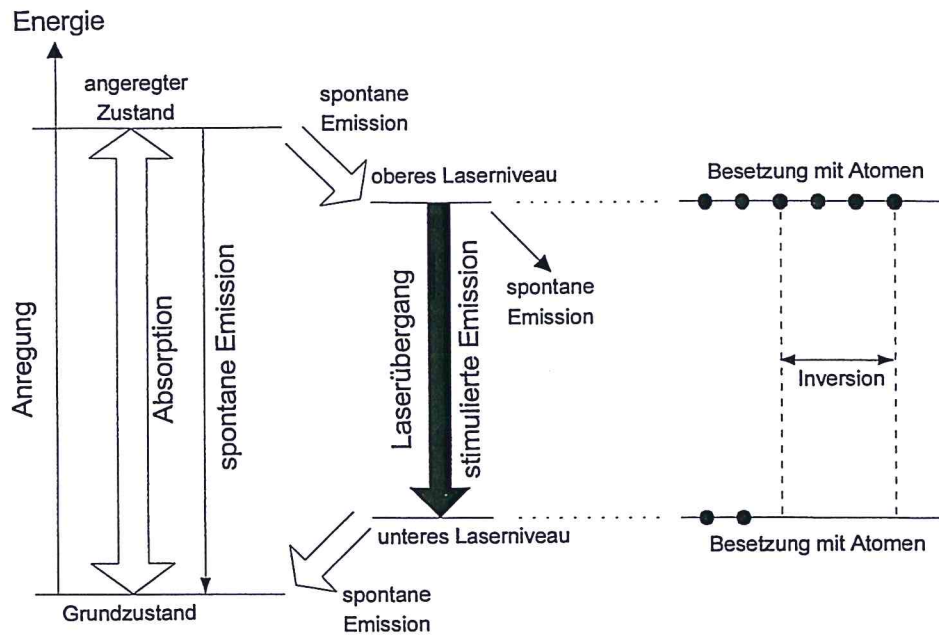


Abb. 4-1: Energieniveauschema eines Vier-Niveau-Lasers /42/

Vom Grundzustand erfolgt die Anregung durch Absorption des Pumplichtes (zugeführte Energie) in den angeregten Zustand. Über spontane Emission wird das obere Laserniveau besetzt. Durch Wechselwirkung mit dem Strahlungsfeld wird infolge simulierter Emission der Laserübergang in das untere Laserniveau erreicht. In den Grundzustand gehen die Atome durch spontane Emission über. Notwendig ist eine hohe Übergangswahrscheinlichkeit durch spontane Emission in das obere Laserniveau und ebenso vom unteren Laserniveau in den Grundzustand. Der Kreislauf kommt zum Erliegen, wenn die Besetzung des unteren Laserniveaus größer als die des oberen ist. Durch den optischen Pumpprozess wird im oberen Laserniveau eine höhere Besetzung als im unteren erreicht. Die Differenz der Anzahl der Teilchen in der Besetzung des Niveaus wird Inversion oder Besetzungsinversion genannt.

Die Einteilung der heute gebräuchlichen Laser kann nach verschiedenen Aspekten erfolgen. Üblich ist es, sie nach dem aktiven Medium zu unterteilen. In Tabelle 4-2 sind verschiedene Lasersysteme zusammengefaßt /42/.

Tab. 4-2: Einteilung Lasersysteme /42/

Lasersysteme	Aktives Medium	Anregung	Typische Länge [cm]	Ausgangsleistung [W] kontinuierlich	Ausgangsleistung [W] gepulst
Gas-Laser	Edelgase Molekülgase Metalldämpfe	Gasentladung, chemische Anregung	50-100	10^3 - 10^4	10^3 - 10^6
Flüssigkeits- laser	Organische Farbstoffe in Lösungsmitteln	Blitzlicht, Laserlicht	5-10	10^0 -1	10^4
Halbleiterlaser	Halbleiterelement mit Zn oder Sn dotiert	elektrischer Strom	0,1	0,1	10^3
Festkörper- laser	Kristalle und Gläser mit Metallatomen oder seltenen Erden dotiert	Blitzlichtlampen, kontinuierliche Gasentladungs- lampen Halbleiter- Laser, Wolfram- Brandlampen	5-15	10^{-2} - 10^{-3}	10^5 - 10^9

Der Laser ist eine Kombination von Resonator³ und Verstärker. Der Verstärker dient zum Ausgleich der Verluste, die z.B. durch Streuungen an den optischen Flächen entstehen. Der Laserresonator besteht aus zwei Spiegeln und stellt ein schwingfähiges System für Lichtwellen dar. Zwischen den Spiegeln wird ein laseraktives Material eingesetzt, welches die Lichtwellen verstärkt. Der prinzipielle Aufbau eines Lasers ist in Abbildung 4-2 dargestellt. Der durch den Resonator verstärkte Lichtstrahl muß zum Bearbeitungsort geführt werden. Dabei muß die Leistungsübertragung sicher, verlustarm und ohne Verschlechterung der Strahleigenschaften erfolgen. Zur Strahlführung können, abhängig von der Laserart, Spiegel oder Glasfasern eingesetzt werden. Die Strahlformung findet im sogenannten Bearbeitungskopf der Anlage statt. In Abhängigkeit von der Laserart können optische Linsen oder auch Spiegel verwendet werden.

³ Ein Resonator ist ein akustisches, mechanisches oder elektromagnetisches schwingfähiges System. Bei Anregung schwingt es mit einer oder mehreren festen Eigenfrequenzen.

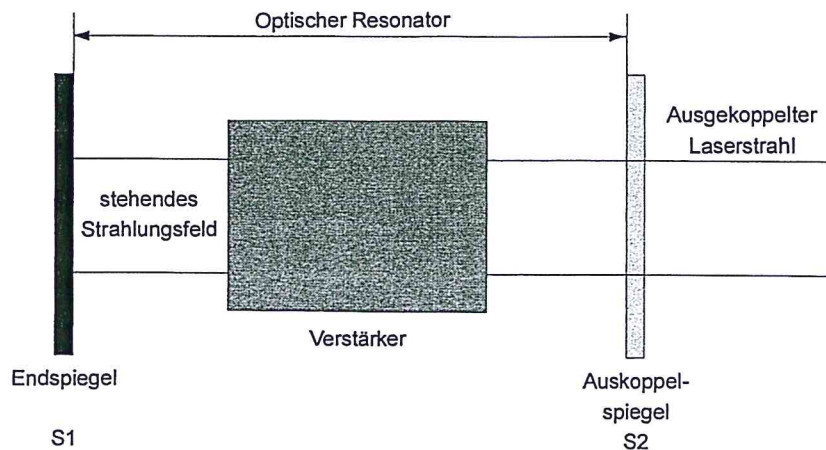


Abb. 4-1: Prinzipieller Aufbau eines Lasers /42/

Spezielle Eigenschaften des Laserlichtes

Laserlicht unterscheidet sich aufgrund seiner Entstehungsart sowohl qualitativ als auch quantitativ von konventionellen Lichtquellen. Laserstrahlen sind nahezu parallel und monochromatisch (einfarbig). Daher können hohe Leistungsdichten erzeugt werden.

Vom Laser wird ein sehr regelmäßiger, periodischer Sinuswellenzug emittiert, der stark gerichtet ist. Dadurch wird die Fokussierbarkeit der Laserstrahlung ermöglicht. Schärfer als jedes andere Licht kann Laserlicht gebündelt und somit auf einen sehr kleinen Bereich (Mikrometerbereich) fokussiert werden. Da die gesamte Strahlungsleistung an dieser einen Stelle umgesetzt wird, können sehr hohe Temperaturen erreicht werden, die eine Verdampfung jeglicher Materie ermöglicht /42/.

Ein weiterer Unterschied im Vergleich zu normalem Licht liegt in der Lichtausbreitung. Laserlicht breitet sich in einem Kegel mit kleinem Öffnungswinkel aus (Abb. 4-3).

Es wird vom Laser phasengleich erzeugt und ist monochromatisch. Laserlicht ist kohärentes Licht, d.h. es hat eine bestimmte Wellenlänge und alle Teile des Wellenfeldes besitzen die gleiche Phase.

Die Wellenlänge eines Lasers ist bestimmend für seine Fokussierbarkeit. Monochromatisches Licht läßt sich demnach maximal auf einen Durchmesser der Größenordnung der Wellenlänge fokussieren, z.B. bei einem Nd-YAG-Laser wäre es 1 μm und beim Kohlendioxid-Laser 10 μm .

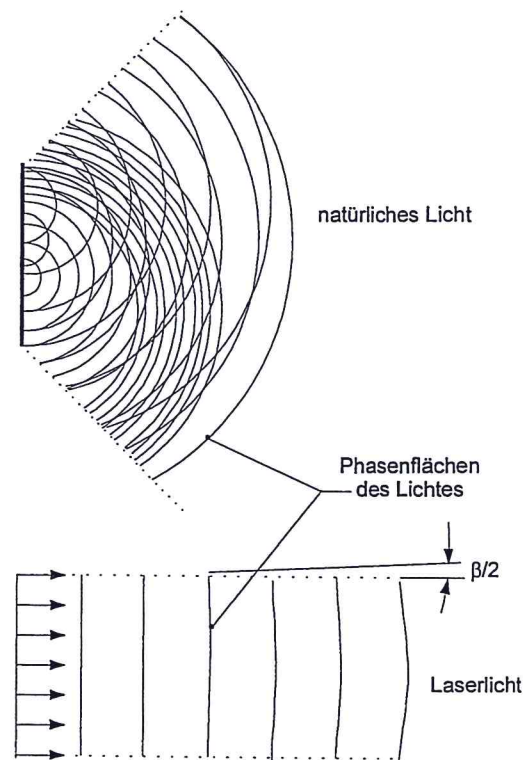


Abb. 4-2: Lichtausbreitung eines Lasers im Vergleich zu normalem Licht /42/

Laserstrahlen können durch folgende Kenngrößen charakterisiert werden:

- Wellenlänge
- mittlere Strahlleistung
- Strahlqualität,

sowie bei gepulsten Lasern zusätzlich durch:

- Pulsenergie
- Pulsdauer
- Pulsfolgefrequenz.

Bei einem Lasergerät sind die Wellenlänge, und dementsprechend die Frequenz, feststehende Größen. Die anderen Kenngrößen sind in einem gewissen Maße regelbar. Für Oberflächenbearbeitungen, bei denen im allgemeinen großflächig gearbeitet wird, besitzt die Strahlleistung eine wesentliche Bedeutung. Die Strahlqualität ist dagegen von geringerem Interesse.

Die Leistung und die Wellenlänge des Laserlichtes sind abhängig vom verwendeten System. Die Strahlleistung heutiger Geräte reicht von einigen 1/1000 Watt des Helium-Neon-Lasers bis zu 20 kW bei CO₂-Lasern. Die Leistung und die Parallelität der Laserstrahlung sind abhängig vom Laseraufbau, speziell vom

Spiegelsystem (Resonator) mit eingeschlossenem aktiven Medium. Vom Bereich des ultravioletten Lichts ($0,2 \mu\text{m}$) bei Excimer-Lasern, bis zum tiefen Infrarot ($10 \mu\text{m}$) bei CO_2 -Lasern reichen die Wellenlängen der Laser. Sie beeinflussen die Fokussierbarkeit und die Wechselwirkung des Lichtes mit der Materie. Die Vielzahl der verschiedenen prinzipiell möglichen Wellenlängen ist ein Vorteil des Laserprinzips, da je nach Anwendung verschiedene Wellenlängen genutzt werden können /42/.

Aus den ausgezeichneten Eigenschaften wie Kohärenz, Richtungsstabilität und Pulsbearbeitung sowie der Möglichkeit der Wechselwirkung mit dem zu bearbeitenden Material folgt eine breite Anwendung der Lasertechnik.

Beispiele für die Anwendung der Lasertechnik /15/ /40/

- optische Meßtechnik (Spektroskopie, Laser-Radar)
- Materialbearbeitung (Schweißen, Aufdampfen)
- Medizin (Anheften der Netzhaut, Schneiden von Gewebe)

4.2 Entwicklung von Verfahren

Hintergrund für die Nutzung hochenergetischer elektromagnetischer Wellen ist deren Eigenschaft, dem Bitumen eine größere Härte und Sprödigkeit zu verleihen, und dadurch möglicherweise ein Abplatzen des Bindemittelfilms von der Oberfläche hervorzurufen.

Bitumen bestehen aus den kolloid dispersen Bestandteilen, den Asphaltene und Erdölharzen, die in einer "ölgigen Phase" dispergiert vorliegen. Nach Ha und Rahimian /28/ haben Untersuchungen zum Einfluß der Erdölharze auf die Alterung von Bitumen gezeigt, daß hauptsächlich die Erdölharze für die stofflichen Veränderungen des Bitumens verantwortlich sind. Durch den Alterungsprozeß wird das Erdölharz-Asphaltene-Verhältnis in Richtung der Asphaltene verschoben. Dadurch werden die physikalisch-chemischen und rheologischen Eigenschaften des Bitumens verändert, so daß eine Verhärtung bis zur Versprödung des Bitumens eintreten kann.

Nach Neumann /50/ altern Bitumen oxidativ an den Oberflächen, beim Einwirken von Luftsauerstoff und Lichtstrahlung mit kurzwelligen Anteilen (UV-Strahlung). Infolge von Oxidations- und Dehydrierungsreaktionen werden aus höhermolekularen Bestandteilen des Dispersionsmittels Erdölharze und aus Erdölharzen Asphaltene nachgebildet. Dadurch wird eine Verhärtung des Bitumens hervorgerufen.

Es ist demnach vorstellbar, durch den Einsatz von hochenergetischen elektromagnetischen Wellen den Bitumen-/Asphaltmörtelfilm von der Mineralstoffoberfläche zu entfernen.

In anderen Bereichen der Oberflächenbehandlung hat sich der Einsatz von Lasern bereits bewährt. So wird die Lasertechnik beispielsweise für die Reinigung von Natursteinoberflächen genutzt, bei denen schwarze Verkrustungen von Sandstein- oder Marmorskulpturen entfernt werden, ohne die originale Steinoberfläche zu zerstören. Im Flugzeugbau werden bereits großflächig Lackierungen von der Metalloberfläche mittels Laser entfernt.

Mit Hilfe dieser bereits bekannten Verfahren sollen Tastversuche an Asphaltproben durchgeführt werden.

5 Labortechnische Versuche zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit

Im Rahmen von Voruntersuchungen sollten verschiedene Verfahren auf ihre prinzipielle Eignung zur Verbesserung der Anfangsgriffigkeit untersucht werden. Hier galt es insbesondere, die Nutzung hochenergetischer Wellen zur Entwicklung von Verfahren zu testen.

5.1 Verwendete Materialien

Die Tastversuche wurden an Asphaltplatten durchgeführt. Es wurde ein Splittmastixasphalt 0/11S verwendet. Splittmastixasphalte werden häufig in der Praxis eingesetzt und weisen gegenüber Asphaltbetonen höhere Bindemittelgehalte auf. Tabelle 5-1 beinhaltet die Zusammensetzung und Daten der Eignungsprüfung.

Tab. 5-1: Zusammensetzung Splittmastixasphalt 0/11 S

Gesteinsart:		Diabas	
Mineralstoffrohdichte		2,901	[g/cm³]
Kornzusammensetzung:			
Edelsplitt	8/11	50	[Gew.-%]
	5/8	20	"
	2/5	5	"
Sand	0,09/2	15	"
Kalksteinfüller	0/0,09	10	"
Bindemittel	B 65	6,5	[Gew.-%]
stab. Zusatz	Cellulose	0,3	[Gew.-%]
Hohlraumgehalt am MPK*		3,2	[Vol.-%]
Raumdichte am MPK		2,511	[g/cm³]

* MPK: Marshall-Probekörper

Die Plattenherstellung erfolgte in der Firma Wilhelm Schütz KG mittels Bordsteinvibrationswalze (BOMAG BW 75). Die Abmaße betrugen 28 x 35 x 4 cm. Zur besseren Handhabung wurden die Platten für die weiteren Untersuchungen halbiert, so daß die Plattenmaße bei Durchführung der Versuche 28 x 17 x 4 cm betrugen.

5.2 Durchgeführte Untersuchungen

Die untersuchten Verfahren zum Abtragen des Bitumen-/ Asphaltmörtelfilms wurden in zwei Gruppen unterteilt:

- mechanische Verfahren
- Nutzung hochenergetischer elektromagnetischer Wellen.

Die Beurteilung der Griffigkeit erfolgte gemäß "Arbeitspapier für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen" /17/ mit dem Skid Resistance Tester (SRT-Gerät) und dem Ausflußmesser.

5.2.1 Mechanische Versuche

Mittels Abkratzen, Abbürsten und Abklopfen sollte untersucht werden, ob und wieweit auf mechanischem Weg die Mineralstoffoberfläche freigelegt werden kann. Dabei wurden die Randbedingungen der Versuche variiert. Die durchgeführten Versuche sind in Tabelle 5-2 zusammengetragen.

Tab. 5-2: Mechanische Laborversuche zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit

Bearbeitungsart:	Randbedingungen:
Bearbeitung mittels Drahtbürste 10 x kreuz-quer Bürstenübergänge 50 x kreuz-quer Bürstenübergänge 2 Minuten Bearbeitung	1. Serie bei Raumtemperatur T = 22°C 2. Serie bei Oberflächentemperatur der Platte = 12°C 3. Serie Temperatur der Asphalt- platten = 22°C, Bürsten unter heißem Wasser (T= 50°C)
Bearbeitung mittels Drahtbürste an Bohrmaschine (2000 U/min)	Bearbeitung bei Raumtemperatur 1. Serie 5 Minuten bearbeitet 2. Serie 7 Minuten bearbeitet
Gefrieren der Asphaltplatten bei -12°C und anschließendes Abklopfen mittels Hammer	

In Zusammenarbeit mit der Firma Linde AG, Abteilung Technische Gase, in Unterschleißheim, wurde die Möglichkeit des Einsatzes technischer Gase zur Freilegung der Mineralstoffoberfläche von Asphaltproben untersucht. Es wurden Versuche mittels Flammstrahler und dem Trockeneis-Strahlverfahren durchgeführt.

Das **Flammstrahlen** kommt hauptsächlich bei der Bearbeitung von Naturstein- und Betonoberflächen zum Einsatz, z. B. bei der Untergrundvorbereitung für spätere Instandsetzungsmaßnahmen an Betonbauteilen. Grundlage der Bearbeitung von Betonoberflächen bildet die Tatsache, daß durch die schockartige Temperaturbeanspruchung und ein thermisches Zersetzen und Aufschmelzen quarzitischer Bestandteile in den oberflächennahen Bereichen des Betons ein Schälereffekt hervorgerufen wird /54/. Im Durchschnitt werden 1 - 2 mm der Betonschicht abgetragen, wobei der Abtrag von der Betonqualität abhängt /61/. Das Flammstrahlen umfaßt zwei Arbeitsschritte, das thermische und das mechanische Bearbeiten. Die mechanische Nachbehandlung ist erforderlich, um gelöste Reaktionsprodukte zu entfernen. Da diese chemischen und physikalischen Prozesse auf Asphalt nicht übertragbar sind, scheint der Begriff "Flammstrahlen" ungeeignet. Deshalb wird im folgenden die Bearbeitung von Asphalt mittels Flammstrahler als "Flämmen" bezeichnet. Abbildung 5-1a zeigt den Flammstrahler.

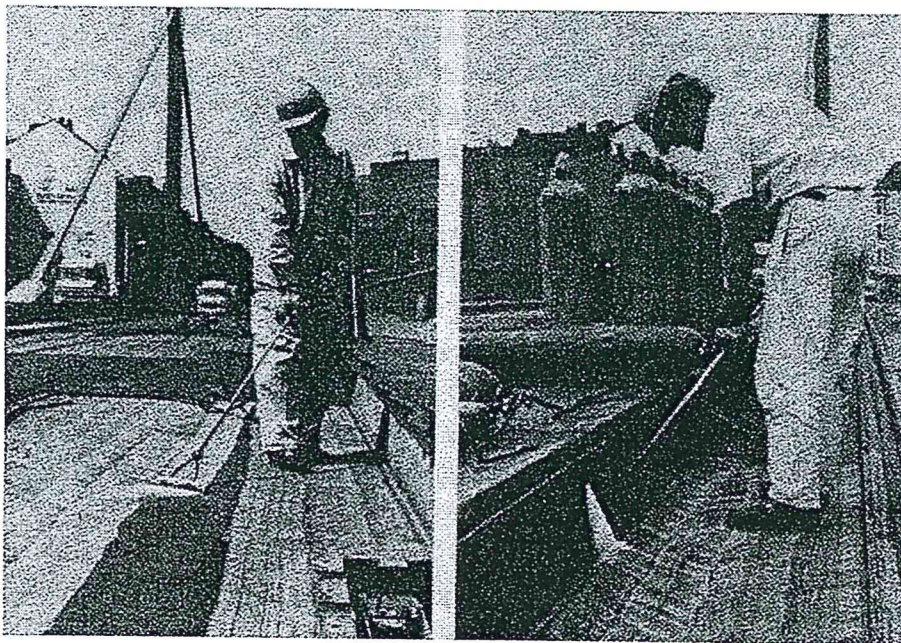


Abb. 5-1a: Bearbeitung von Betonoberflächen mittels Flammstrahler /61/

Insgesamt wurden vier Asphaltplatten den Vorversuchen unterzogen. Als Brenngas wurde eine Acetylen-Sauerstoff-Flamme genutzt. Die Flammkegeltemperatur liegt bei ca. 3160 °C /61/. Bei der Bearbeitung von Betonoberflächen sind in der Praxis Vorschubgeschwindigkeiten von 3 - 5 m/min gebräuchlich /54/. Da für die Bearbeitung von Asphaltproben keine Anhaltswerte für Vorschubgeschwindigkeiten vorliegen, wurden für die Bearbeitung der Asphaltplatten Bearbeitungszeiten von 4 und 6 Sekunden pro Plattenfläche (28 x 17 cm) gewählt. Der Stand des Flammstrahlers war stechend und schleppend (Änderung des Winkels der Flamme).

Weiterhin wurde versucht, mit Hilfe des **Trockeneis-Strahlverfahrens** die Mineralstoffoberfläche der Asphaltplatten freizulegen. Trockeneis ist die feste Zustandsform von Kohlendioxid (CO_2). Bei einer Temperatur von -78°C liegt Kohlendioxid (CO_2) als feinpulvriger Schnee vor, der zu sogenannten pellets (eng.: Tabletten) gepreßt wird. Das Trockeneisgranulat wird in eine Strahlanlage gefüllt und durch eine Spezialdüse auf die zu bearbeitende Oberfläche geschossen. Eingesetzt wird dieses Verfahren bisher zur Reinigung von Beton-Verkehrsflächen, Gebäuden und Industrieanlagen /44/.

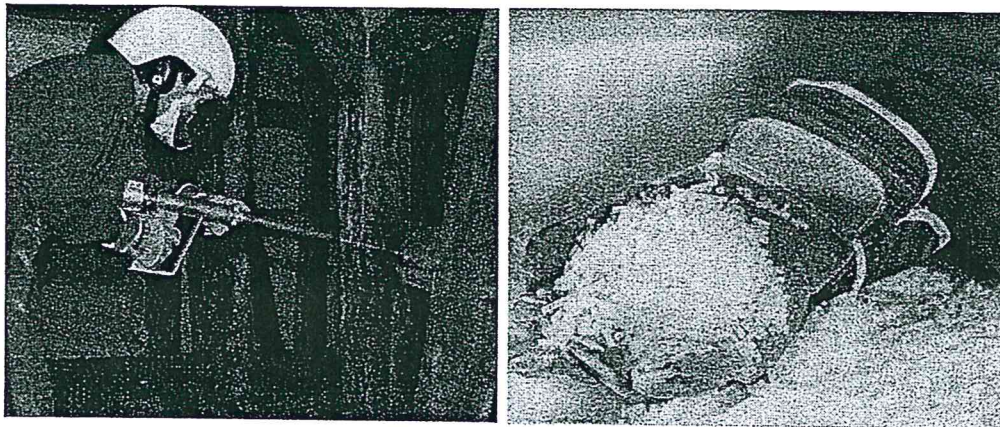


Abb. 5-1b links: Trockeneis-Strahlreinigung einer Holzoberfläche
rechts: CO_2 -Pellets /44/

Für die Bearbeitung von Asphaltplatten mußten die Parameter Strahlzeit und Flächenleistung erst in den Vorversuchen gefunden werden. Die Versuche wurden bei 15 bar Strahldruck mit der CryoMax II und der Flachdüse Typ F1 70/40 durchgeführt /31/.

5.2.2 Versuche mit elektromagnetischen Wellen

Die Nutzung hochenergetischer elektromagnetischer Wellen zur Bearbeitung von Fahrbahnoberflächen ist im Asphaltstraßenbau bisher unbekannt. Aus der Werkstoffbearbeitung ist bekannt, daß mittels Laser ein Abtragen dünner Deckschichten möglich ist. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden Versuche zur Freilegung der Mineralstoffoberfläche mittels UV-Licht und Laserstrahlung unternommen. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik in Dresden konnten verschiedene Lasertypen hinsichtlich ihrer Eignung zum Bindemittelfilmabtrag von Asphaltproben geprüft werden (Tab. 5 - 3).

Tab. 5-3: Durchführung von Vorversuchen mittels UV-Strahlung und Laser

Bearbeitungsart:	Randbedingungen:
• Laser bearbeitet am Fraunhofer Institut in Dresden	• Neodym-YAG-Laser (Nd-YAG-Laser) • CO₂-TEA-Laser • Diodenlaser-Stack (Stapel von 10 Laserdioden)
• Bestrahlung mit UV-Licht (Abb.5-2)	• Wellenlänge = 254 nm • 9 Stunden Bestrahlung pro Tag • Messung wöchentlich nach vorherigem Abbürsten

Die Abbildung 5-2 zeigt den Versuchsaufbau, bei dem mittels UV-Lampe Asphaltplatten bestrahlt wurden.

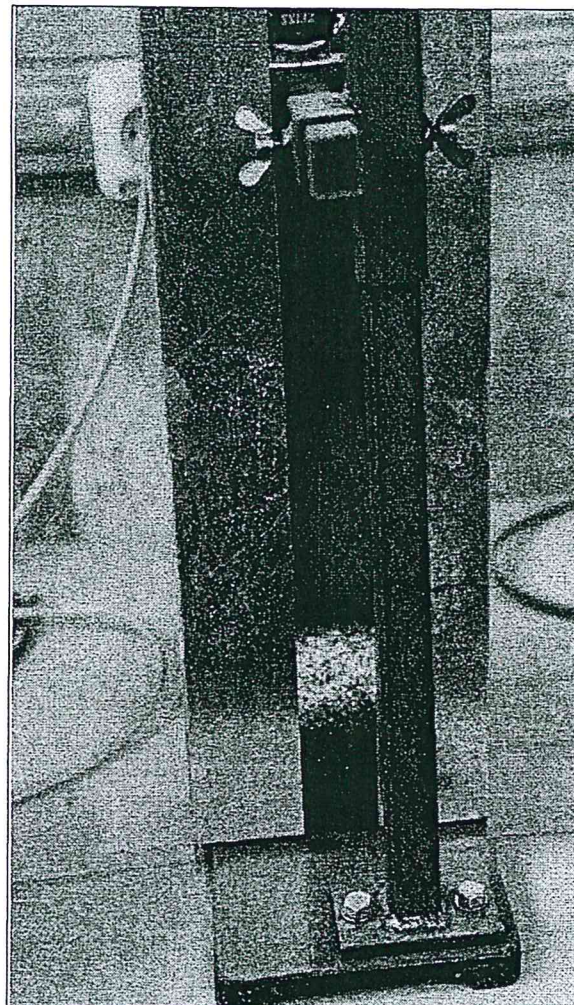


Abb. 5-2: Versuchsaufbau zur Bestrahlung mittels UV-Licht

5.3 Darstellung der Ergebnisse

5.3.1 Mechanische Versuche

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse, die bei der Bearbeitung der Asphaltoberflächen mittels mechanischer Verfahren erzielt wurden, dargestellt. Dabei ergeben sich die angegebenen SRT-Werte gemäß den "Arbeitsanweisungen für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser" /17/ aus dem Mittelwert von fünf Einzelmessungen.

In den dargestellten Diagrammen fällt auf, daß die ermittelten Ausgangswerte der SRT-Messungen der Asphaltplatten streuen. Es wurden SRT - Werte zwischen 55 und 80 ermittelt. Diese auftretenden Schwankungen sind eigentlich zu hoch. Da in dieser Pilotstudie jedoch Tendenzen aufgezeigt werden sollten und der zeitliche Rahmen begrenzt war, wurden diese Platten unter der Berücksichtigung verwendet, daß bei einer Versuchsreihe Platten ähnlicher Ausgangswerte gewählt wurden. Auf die Ursachen dieser Schwankungen konnte nicht näher eingegangen werden. Sie sind wahrscheinlich auf die Herstellung der Platten zurückzuführen.

5.3.1.1 Mechanische Bearbeitung

Abbildung 5-3 zeigt die SRT-Werte der Platten, die einer mechanischen Bearbeitung mittels Drahthandbürsten unterzogen wurden. Die Versuche wurden an drei Platten durchgeführt.

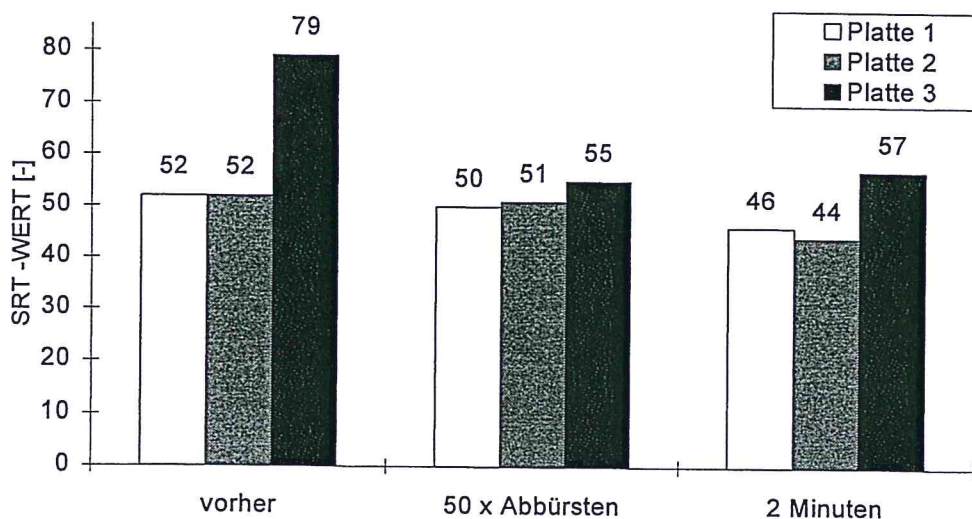


Abb. 5-3: SRT-Werte der Asphaltplatten nach mechanischer Bearbeitung

Die Platten 1 und 2 weisen vor der Bearbeitung SRT-Werte um 52 auf. Platte 3 weist einen höheren SRT-Wert von 79 auf. Deutlich sichtbar ist, daß durch ein mechanisches Abbürsten mit einer Drahtbürste die SRT-Werte geringer werden. So weist Platte 2 nach einer Bearbeitungszeit von 2 Minuten einen SRT-Wert von 44 auf. Es ist demzufolge eine Glättung eingetreten.

Zur Einschätzung der Griffigkeit der Asphaltplatten wurden ebenfalls Messungen mit dem Ausflußmesser durchgeführt. Die Meßergebnisse sind in Anlage 1 aufgeführt. Es ist zu beachten, daß diese Werte lediglich eine Tendenz hinsichtlich der Veränderung der Griffigkeit widerspiegeln können. Sie sind nicht vergleichbar mit den Werten, die in der "Richtlinie zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe" aufgeführt werden (Abschnitt 2.3.3). Auch durch diese Meßergebnisse wird die Aussage bestätigt, daß durch eine mechanische Bearbeitung die Griffigkeit abnimmt.

Die Platten wurden hinsichtlich der Veränderung der Oberflächenstruktur durch die Bearbeitung visuell begutachtet. Abbildung 5-4 zeigt eine unbearbeitete Asphaltplatte. Teilweise sind Bitumenanreicherungen sichtbar. Insgesamt erscheint die Oberfläche glänzend. Abbildung 5-5 zeigt dagegen die Oberfläche einer Asphaltplatte, die 2 Minuten mittels Drahtbürste bearbeitet wurde. Erkennbar sind leichte "Kratzspuren" auf der Oberfläche. Insgesamt erscheint die Platte jedoch auch glänzend. Mineralstoff konnte mit diesem Verfahren nicht freigelegt werden.

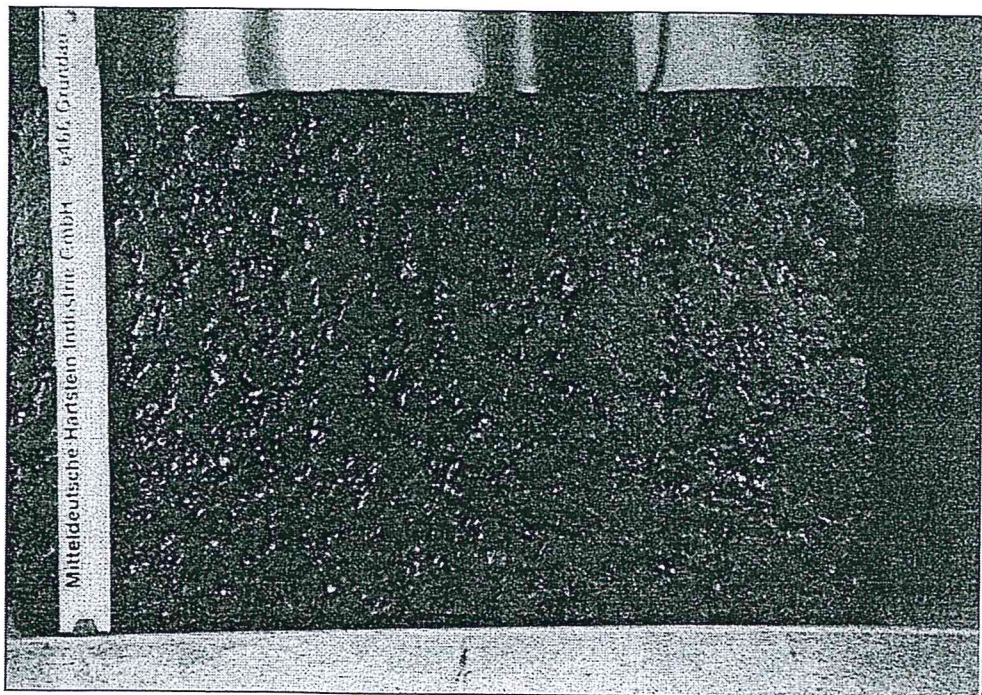


Abb. 5-4: Unbearbeitete Asphaltplatte – Splittmastixasphalt 0/11 S

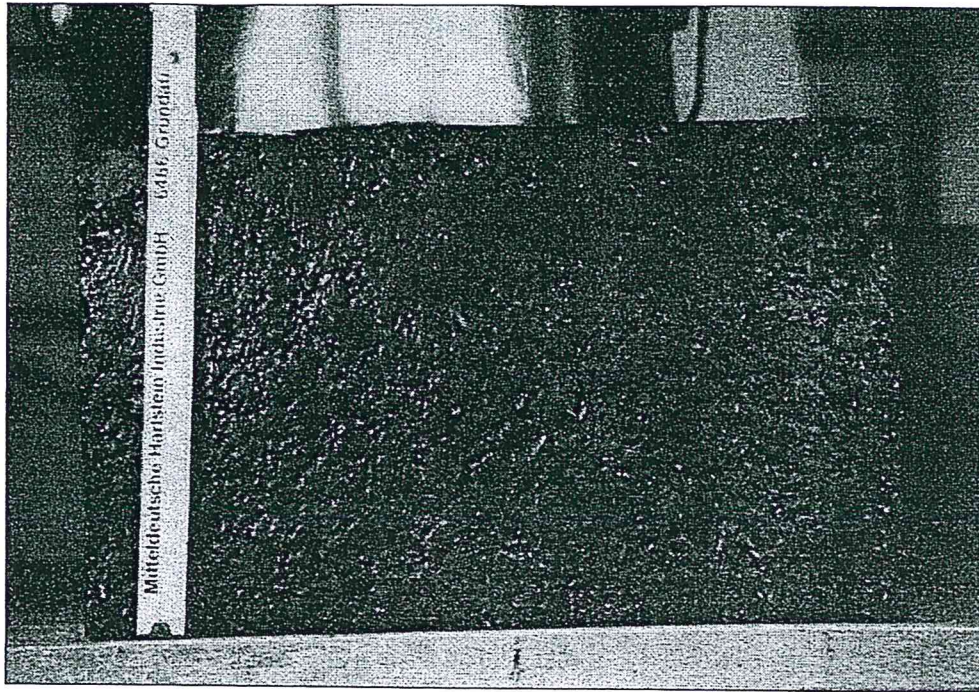


Abb. 5-5: Asphaltplatte, die mittels Drahtbürste 2 Minuten lang bearbeitet wurde

Abbildung 5-6 zeigt die SRT-Werte der Asphaltplatten, vor und nach dem mechanischem Abbürsten, deren Oberflächentemperatur zuvor auf 12°C abgekühlt wurde. Es ist bekannt, daß Bitumen bei niedrigeren Temperaturen verhärtet. Es sollte untersucht werden, ob bei niedrigeren Temperaturen der Asphaltplatten ein mechanisches Freilegen des Mineralstoffes leichter möglich ist.

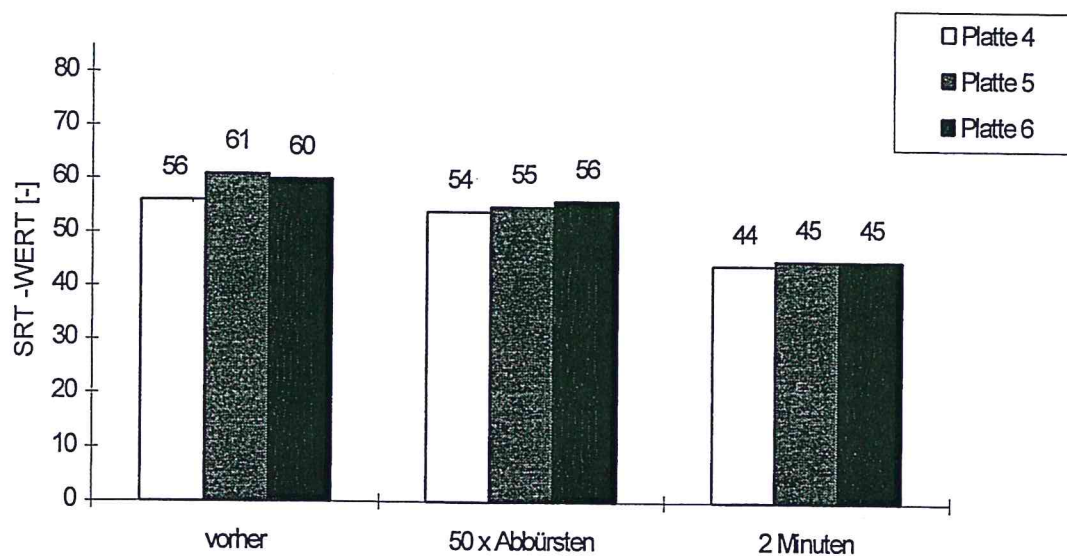


Abb. 5-6: SRT-Werte der Asphaltplatte nach mechanischem Abbürsten bei 12°C Oberflächentemperatur

Die Platten weisen vor der Bearbeitung SRT-Werte zwischen 56 und 61 auf. Die SRT-Werte, die nach der mechanischen Bearbeitung ermittelt wurden zeigen, daß eine Verschlechterung der Griffigkeit eingetreten ist. So weisen die Asphaltplatten nach einer Bearbeitungszeit von 2 Minuten SRT-Werte um 45 auf. In Anlage 1 sind die Meßergebnisse des Ausflußmessers aufgeführt. Diese Ergebnisse bestätigen ebenfalls, daß durch die Bearbeitung eine Glättung hervorgerufen worden ist.

Abbildung 5-7 zeigt die Meßergebnisse der Asphaltplatten, die unter heißem Wasser (50°C) einer mechanischen Bearbeitung unterzogen wurden. Auch hier wurde versucht, das viskoelastische Verhalten von Bitumen zum Freilegen der Mineralstoffoberfläche zu nutzen. Bei höheren Temperaturen wird das Bitumen weicher, so daß ein leichter Abtrag möglich schien.

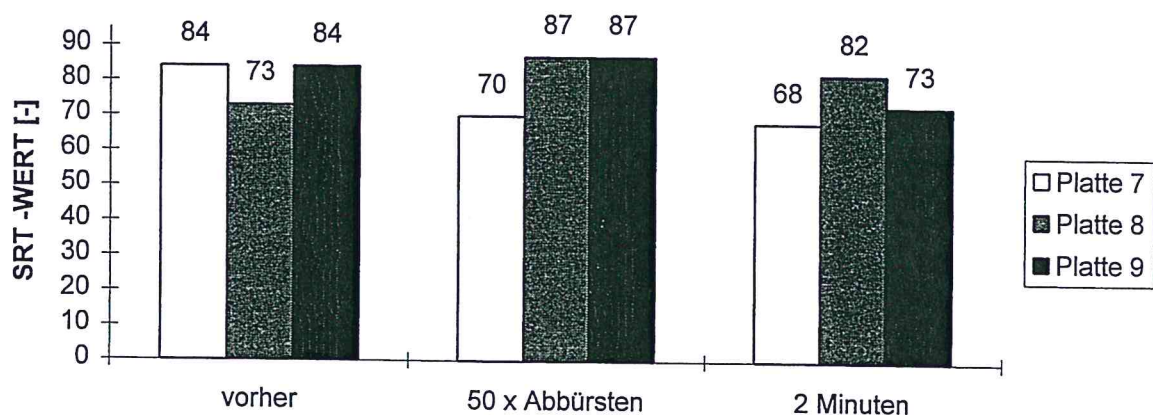


Abb. 5-7: SRT-Werte der Asphaltplatten nach mechanischem Abbürsten unter heißem Wasser (50°C)

Die Asphaltplatten zeigen vor der Bearbeitung SRT-Werte zwischen 73 und 84. Die einzelnen Platten verhalten sich hinsichtlich der Veränderung der Griffigkeit sehr unterschiedlich. So zeigt Platte 7 eine deutliche Verschlechterung der Griffigkeit, was in einem Abfallen des SRT-Wertes von 84 auf 68 zum Ausdruck kommt. Die Platten 8 und 9 zeigen nach kürzerer Bearbeitung (50x Abbürsten) zunächst eine Verbesserung der Griffigkeit. Die SRT-Werte steigen auf 87 an. Nach längerer Bearbeitungszeit (2 Minuten) wird der SRT-Wert jedoch wieder geringer, das heißt, die Griffigkeit herabgesetzt. Aus diesen Schwankungen läßt sich ableiten, daß durch diese Bearbeitungsform keine effektive Erhöhung der Anfangsgriffigkeit möglich ist. Vielmehr wird durch das weichere Bitumen ein "Verschmieren" auf der Oberfläche hervorgerufen, das die veränderten Griffigkeitskennwerte erklärt.

Die Abbildung 5-8 zeigt die Ergebnisse des Versuches, bei dem eine Asphaltplatte auf -12°C gefroren und anschließend mit einem Hammer bearbeitet wurde. Sowohl die SRT-Werte als auch die Ausflußzeiten, die mittels Ausflußmesser ermittelt wurden, zeigen, daß eine deutliche Verbesserung der Griffigkeit eingetreten ist. Die SRT-Werte steigen von 65 auf 85 um 20 Skalenteile. Bei der Bearbeitung der Asphaltplatten mit dieser Methode ist jedoch eine deutliche Kornzertrümmerung eingetreten, die in der Praxis nicht zu vertreten wäre.

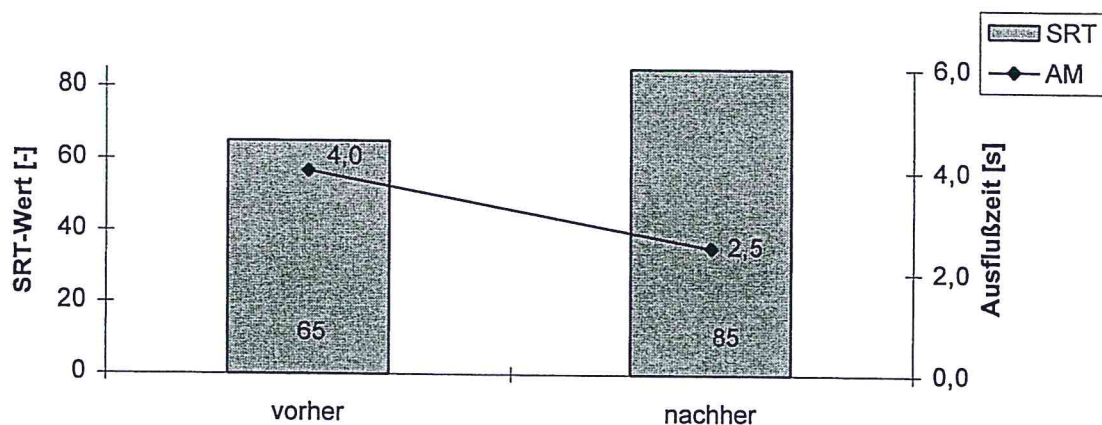


Abb. 5-8: SRT-Werte der Asphaltplatten durch mechanisches Abklopfen nach vorherigem Gefrieren der Platten bei -12°C

Die bisherigen Versuche haben gezeigt, daß mittels einfacher mechanischer Bearbeitung in Form von Bürsten keine erfolgreiche Erhöhung der Anfangsgriffigkeit erzielt werden kann. Aus diesem Grund wurde die mechanische Bearbeitung intensiviert, indem eine Drahtbürste maschinell durch eine Bohrmaschine angetrieben wurde (Abb. 5-9).

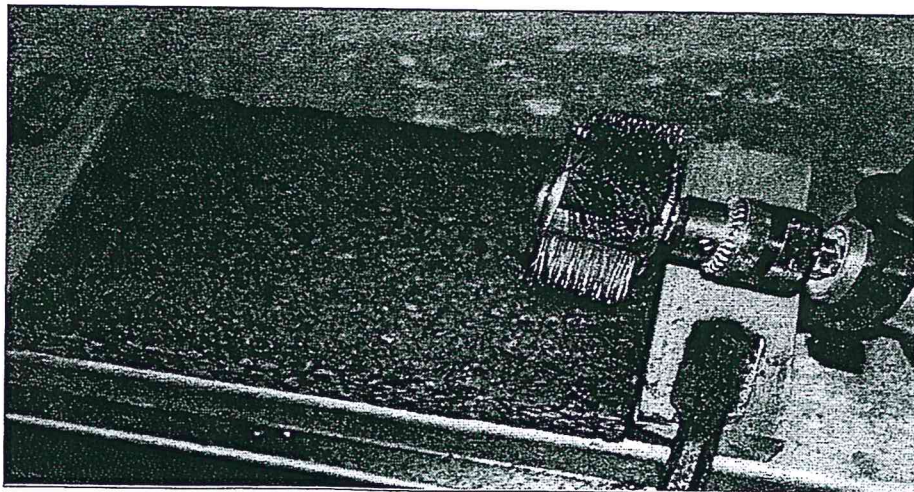


Abb. 5-9: Drahtbürste von Bohrmaschine angetrieben

Die Bearbeitung erfolgte bei 2000 U/min. Die Ergebnisse der SRT-Messung sind in Abbildung 5-10 dargestellt. Nach 5 Minuten Bearbeitungszeit mittels rotierender Drahtbürste ist ein Ansteigen des SRT-Wertes von 55 auf 64 erfaßt worden. Eine ähnliche Tendenz zeigt die Platte, die 7 Minuten mit dem gleichen Verfahren bearbeitet wurde.

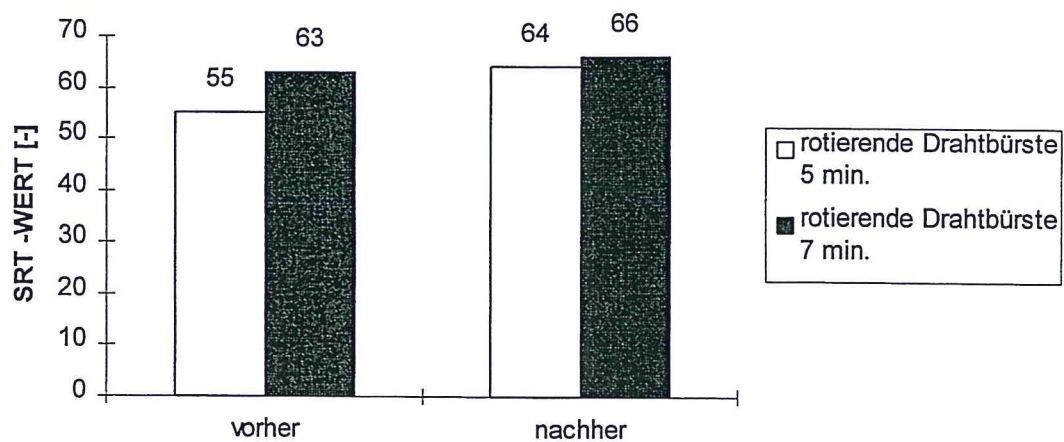


Abb. 5-10: SRT-Werte der Asphaltplatten nach mechanischer Bearbeitung mittels rotierender Drahtbürste bei 2000 U/min

Die Abbildung 5-11 zeigt den Vergleich einer unbearbeiteten Asphaltoberfläche (B) mit einer Platte, deren Oberfläche mittels rotierender Drahtbürste maschinell bearbeitet wurde (A).

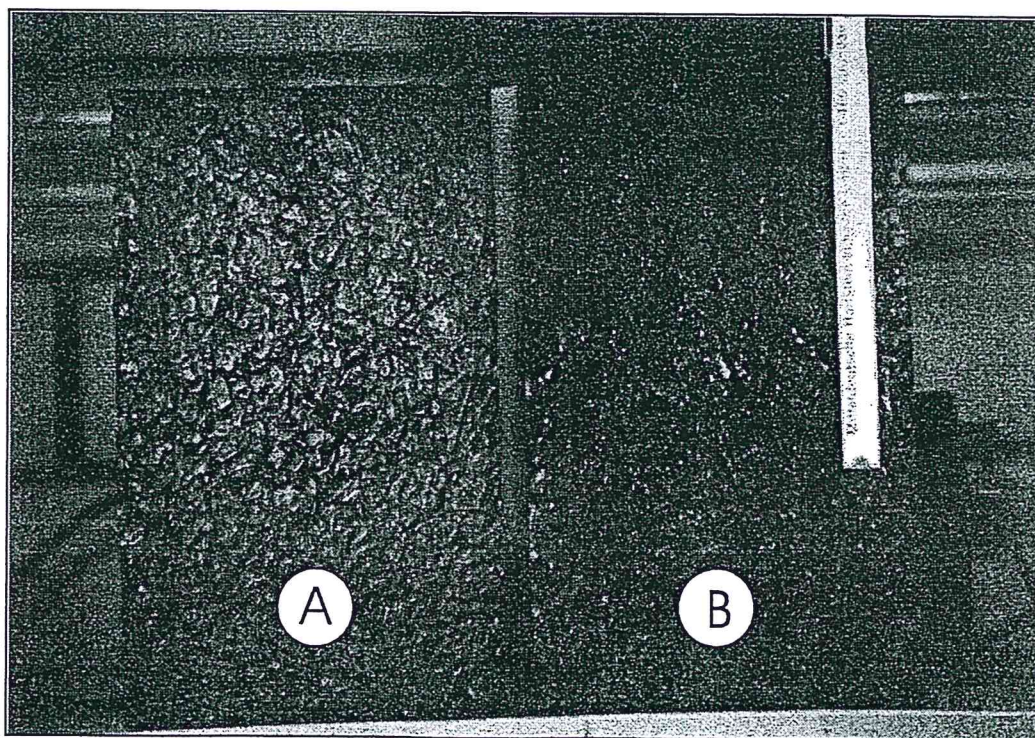


Abb. 5-11: Vergleich einer unbearbeiteten Platte (B) mit einer Platte, die mittels rotierender Drahtbürste (2000 U/min) bearbeitet wurde (A)

Deutlich sichtbar sind Kornstrukturen, die auf der bearbeiteten Fläche hervortreten. Die verbesserte Griffigkeit ist visuell zu beobachten.

Bei dieser Methode handelt es sich jedoch um einen sehr harten Eingriff, der auch zur Zerstörung der Asphaltoberfläche führen kann und verdeutlicht, wie intensiv die mechanische Bearbeitung überhaupt sein muß, um eine Erhöhung der Griffigkeit erzielen zu können.

5.3.1.2 Flämmen

Im März 1997 erfolgte ein Besuch bei der Firma Linde AG, Abteilung Technische Gase, in Unterschleißheim. Ziel des Besuches war es, die Möglichkeit des Einsatzes technischer Gase, insbesondere des Flammstrahlens, zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit von Asphaltdeckschichten zu erörtern. Insgesamt wurden vier Asphaltplatten untersucht. Die Beurteilung der Griffigkeit erfolgte anschließend mit den bereits genannten Geräten (Skid Resistance Tester und Ausflußmesser) im Labor der Versuchsanstalt für Straßenwesen in Darmstadt.

Die Ergebnisse des Flämmens sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

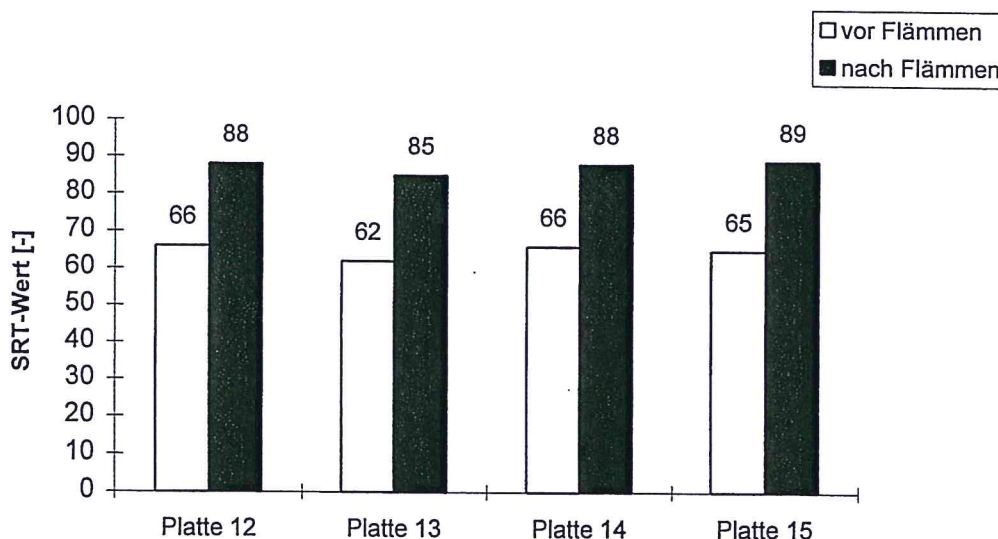


Abb. 5-12: SRT-Werte der Asphaltplatten nach Bearbeitung mittels Flammstrahler

Die Platten weisen vor dem Flämmen SRT-Werte zwischen 62 und 66 auf. Nach der Bearbeitung mittels Flammstrahler sind die SRT-Werte auf 85 bis 89 gestiegen, d.h. die Griffigkeit hat sich um ca. 20 Skalenteile verbessert. Auch mittels Ausflußmesser konnte eine Verbesserung der Griffigkeit nachgewiesen werden. Die Werte sind in Anlage 1 aufgeführt.

Die Abbildung 5-13 zeigt den Vergleich einer unbearbeiteten Asphaltplatte (B) mit einer Platte, deren Oberfläche mittels Flammstrahler bearbeitet wurde (A). Die Bearbeitungszeit betrug 4 Sekunden pro Plattenfläche (28 x 17 cm).

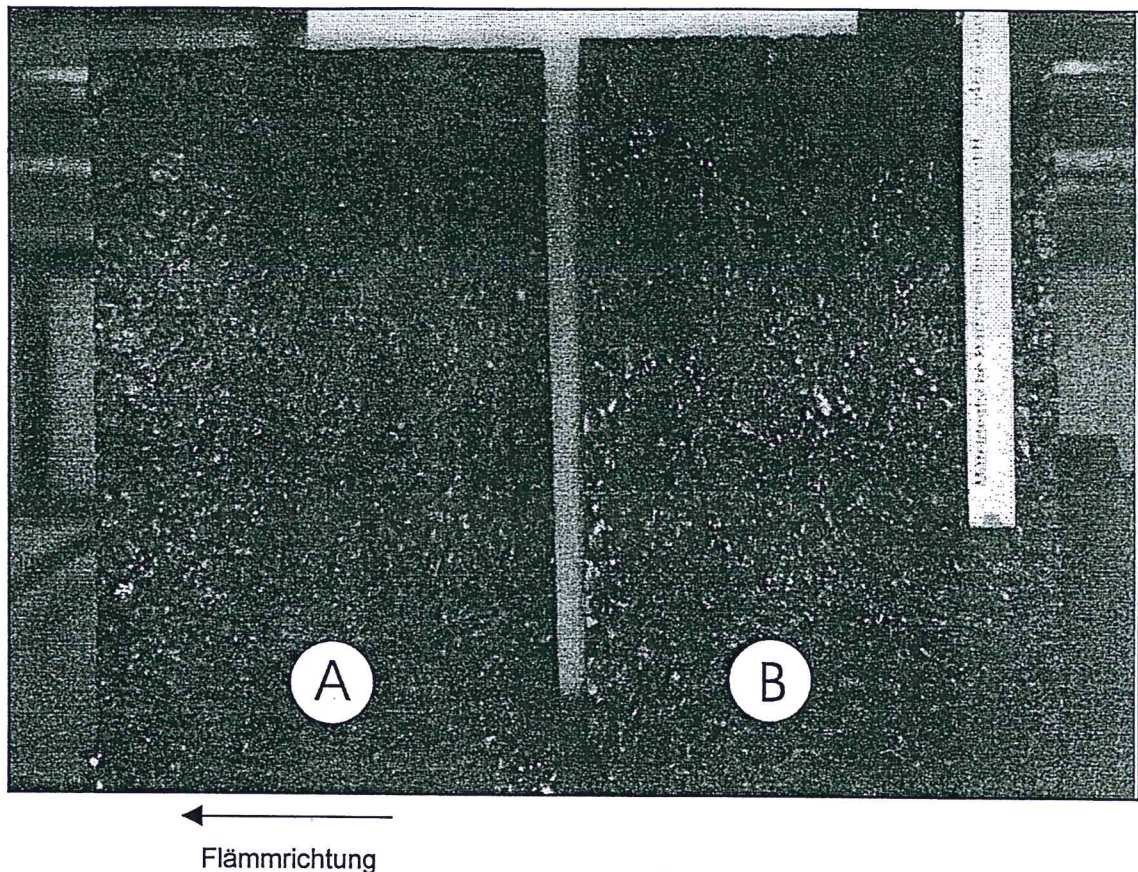


Abb. 5-13: Vergleich einer unbearbeiteten Platte (B) mit einer Platte, die geflämmt wurde (A)

Sichtbar ist eine leichte Rillierung (horizontal) der Oberfläche, die durch die Bearbeitung entstanden ist. Insgesamt wirkt die gesamte Fläche matter. Vereinzelt treten Mineralstoffkörner hervor.

Rein visuell erschien die Oberfläche nach dem Flämmen "griffiger", wobei es den Anschein hatte, daß Rußpartikel auf der Oberfläche zurückblieben. Aus diesem Grund wurde die Platte 14 zur Hälfte mit einer Drahtbürste nachbearbeitet. Dabei war zu beobachten, daß sich kaum noch Partikel von der Oberfläche lösten. Die Messungen mit dem SRT-Gerät haben gezeigt, daß ähnliche Effekte wie beim reinen mechanischen Bürsten auftreten. Durch das Abbürsten wird die zunächst verbesserte Griffigkeit bei einem SRT-Wert von 88 auf einen Wert von 67 verschlechtert und damit der Ausgangswert nahezu erreicht (Abb. 5-14).

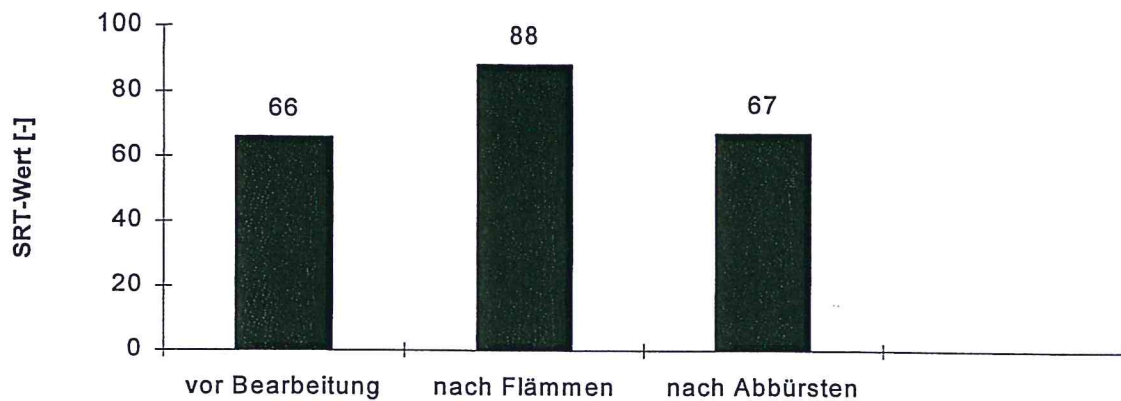


Abb. 5-14: Veränderung der Griffigkeit nach dem Flämmen und anschließendem Bürsten

Während des Flämmens konnte beobachtet werden, daß eine Rauchentwicklung eintritt und schwarze Rußpartikel entstehen. Die Erwärmung durch den Flammstrahler dringt bis in tiefere Schichten des Asphaltes vor. Diese Erscheinungen sind durch die Randparameter der Versuchstechnik (Neigungswinkel des Flammstrahlers, Vorschubgeschwindigkeit) beeinflussbar.

5.3.1.3 Trockeneis-Strahlverfahren

In Zusammenarbeit mit der Firma Linde AG wurden Versuche mittels CO₂-Pellets an Asphaltplatten durchgeführt. Ziel der Tastversuche war es zu prüfen, ob mittels Trockeneis-Strahlverfahren eine Erhöhung der Anfangsgriffigkeit erreicht werden kann. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden folgende Parameter ermittelt /31/:

- Versuch 1: Strahlzeit ca. 30 Sekunden, gereinigte Fläche: 35 x 6 cm
Flächenleistung: 2,5 m²/h
- Versuch 2: Strahlzeit ca. 15 Sekunden, gereinigte Fläche: 35 x 6 cm
Flächenleistung: 5 m²/h
- Versuch 3: Strahlzeit ca. 40 Sekunden, gereinigte Fläche: 35 x 23 cm
Flächenleistung: 7,2 m²/h

Mit Hilfe des SRT-Gerätes wurden die Griffigkeitskenndaten ermittelt. Abbildung 5-15 zeigt die SRT-Werte vor und nach der Bearbeitung mittels CO₂-Pellets (Versuch 1-3). Die Platten wiesen vor der Bearbeitung SRT-Werte um 52 auf. Da bei den Versuchen 1 und 2 die bearbeiteten Flächen sehr schmal sind (Abb. 5-16), muß davon ausgegangen werden, daß die ermittelten SRT-Werte ungenau sind. Die Messungen

wurden dennoch durchgeführt. Tendenziell konnte bei den Versuchen 1 und 2 eine Verbesserung der Griffigkeit festgestellt werden. Die bei Versuch 3 ermittelten Randparameter weisen eindeutig die beste Griffigkeitsverbesserung auf.

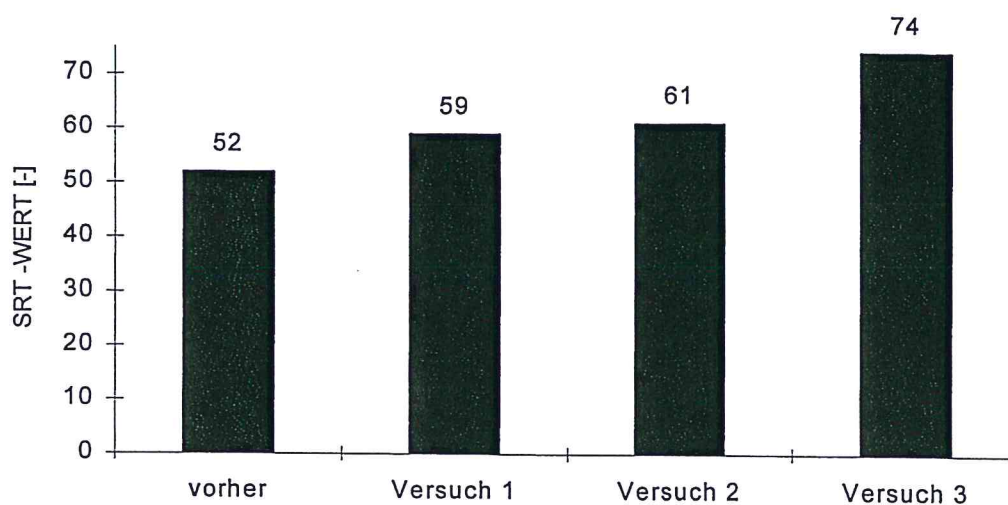


Abb. 5-15: SRT-Werte der Asphaltplatten, die mittels Trockeneis-Strahlverfahren bearbeitet wurden

Abbildung 5-16 zeigt die Asphaltplatte, die dem Trockeneis-Strahlverfahren unterzogen wurde. Es sind zwei bearbeitete Bereiche erkennbar. Dabei wurde die mit A markierte Fläche dem Versuch 1 unterzogen. Deutlich sichtbar ist, daß im Vergleich zu dem benachbarten unbearbeiteten Bereich die Oberfläche stumpfer wirkt.

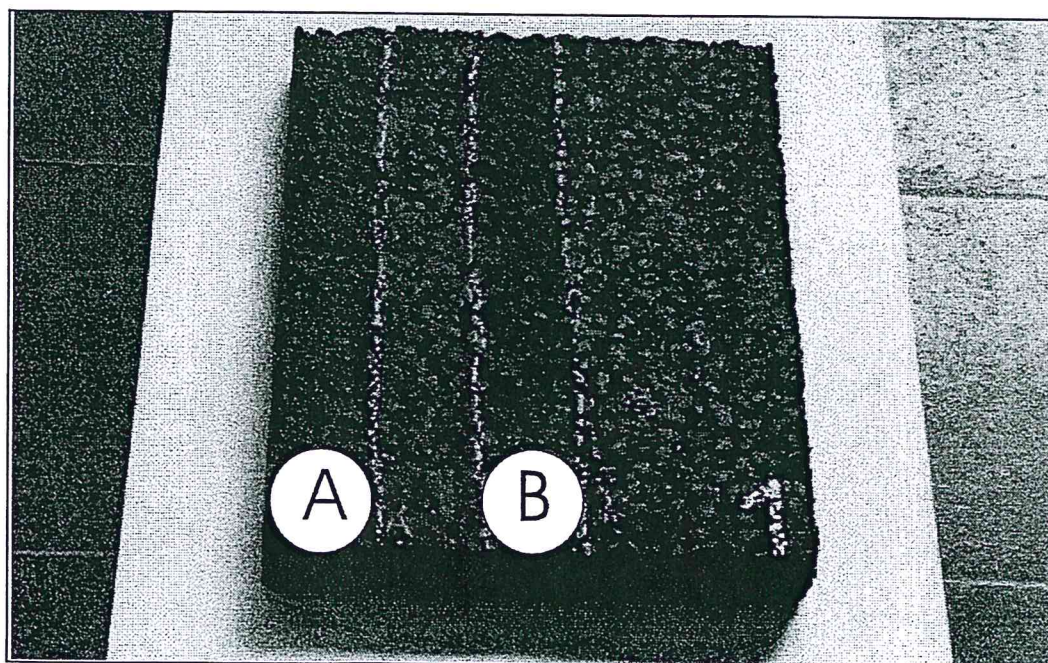


Abb. 5-16: Asphaltplatte mit CO₂-Pellets bearbeitet

Mit B ist die Fläche gekennzeichnet, die dem Versuch 2 unterzogen wurde. Rein visuell ist hier das gleiche Erscheinungsbild wie bei Versuch 1 zu beobachten. Die Fläche wirkt weniger glänzend als die benachbarte unbearbeitete Fläche.

Abbildung 5-17 zeigt die bearbeitete Asphaltfläche des Versuches 3. Auch hier konnte visuell eine Verbesserung der Griffigkeit beobachtet werden. Die Oberfläche erscheint rauher.

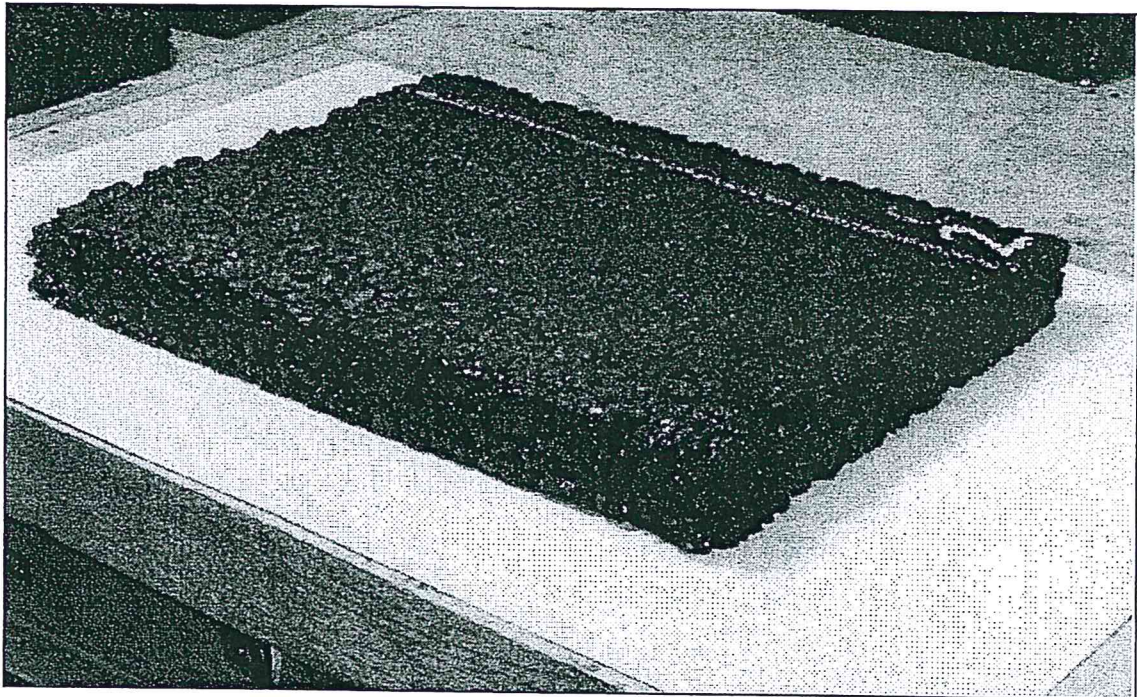


Abb. 5-17: Asphaltplatte mit CO₂-Pellets bearbeitet

5.3.2 Ergebnisse mittels elektromagnetischer Wellen

5.3.2.1 UV-Licht

Mittels UV-Lampe wurde der Versuch unternommen, eine künstliche Alterung des Bitumens hervorzurufen, um somit ein Abplatzen des Bitumen- / Asphaltmörtelfilms von der Mineralstoffoberfläche zu erzielen.

Die Vorversuche haben gezeigt, daß in einer Bearbeitungszeit von 3 Monaten mittels SRT-Messungen keine Erhöhung der Anfangsgriffigkeit erzielt werden konnte. Abbildung 5-18 zeigt die SRT-Werte, die während der Bearbeitungszeit ermittelt wurden. Dabei wurden nur die Werte im 14 tägigen Meßrhythmus dargestellt.

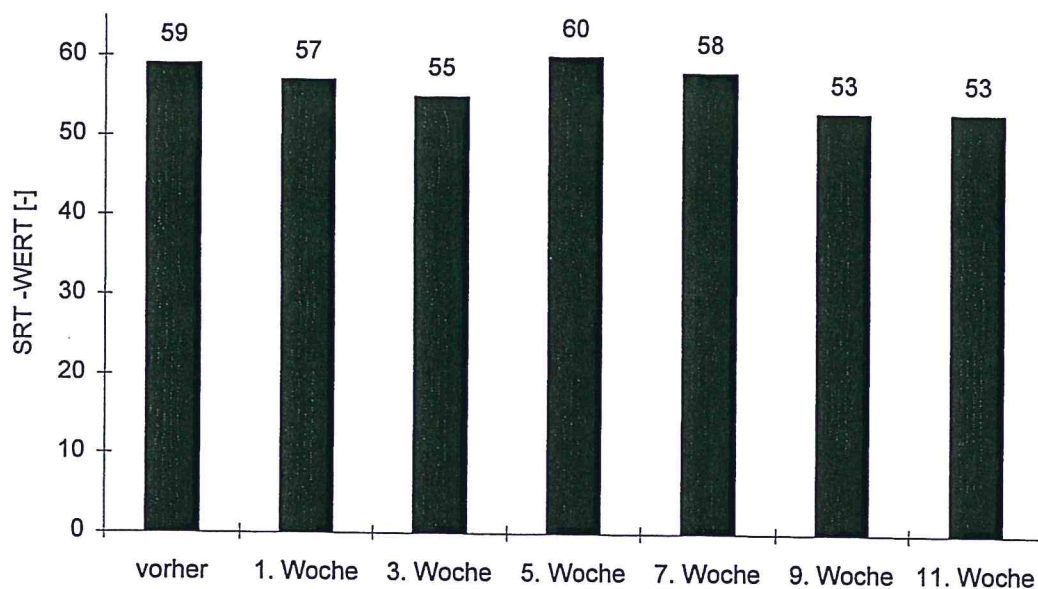


Abb. 5-18: SRT-Werte der Asphaltplatte, die mittels UV-Strahlung behandelt wurde

Die Platte zeigt vor der Behandlung mit UV-Strahlung SRT-Werte von 59. Während der Bestrahlung zeigte die Platte SRT-Werte zwischen 53 und 60. Es konnte keine Veränderung festgestellt werden.

Auf einen chemischen Nachweis der Veränderung des Bitumens wurde im Rahmen dieses Vorversuches verzichtet. So kann lediglich die Aussage getroffen werden, daß durch die Bestrahlung keine Versprödung des Bitumens eintrat, die zu einem Abplatzen des Films von der Mineralstoffoberfläche führte. Auch der Versuch, eventuell versprödetes Bitumen mit einer Bürste von der Mineralstoffoberfläche zu entfernen, ergab keine Verbesserung der Griffigkeit.

5.3.2.2 Bearbeitung der Asphaltplatten mittels Laser

Die Asphaltproben wurden am Fraunhofer Institut in Dresden mit verschiedenen Lasern bearbeitet. Ziel war es, prinzipiell zu prüfen, ob mittels Laser ein Freilegen der mineralischen Bestandteile, die zum großen Teil mit einem Bitumen- / Asphaltmörtelfilm bedeckt waren, möglich ist. Die Tastversuche wurden mit Lasern durchgeführt, die derzeit am Fraunhofer Institut im Rahmen von Forschungsarbeiten genutzt werden. Die Parameter der verwendeten Laser (Pulsenergie, Laserwellenlänge u. a.) wurden so gewählt, daß ein bestmöglicher Materialabtrag stattfand.

Die im folgenden aufgeführten Ergebnisse wurden in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut dargestellt und ausgewertet /67/.

- **Versuch 1:** Bearbeitung mit einem Neodym-YAG-Laser (Nd:YAG)

Randparameter:	maximale Pulsenergie:	$E_{\max} = 300 \text{ mJ}$
	Laserwellenlänge:	$\lambda = 1,06 \text{ }\mu\text{m}$
	Pulsdauer:	$t_p = 6 \text{ ns}$
	Pulsfolgefrequenz:	$f_p = 20 \text{ Hz}$
	Bearbeitungsfläche:	$A = 2 \times 2 \text{ cm}$
	Bearbeitungsdauer für A:	1 min

Abbildung 5-19 zeigt eine Asphaltplatte, bei der neun $2 \times 2 \text{ cm}$ große Flächen bearbeitet wurden. Dabei wurde ohne Druckluft gearbeitet. Die Energie nimmt von Fläche 1/1 bis 1/9 von anfangs 33 mJ bis 300 mJ zu.

Abbildung 5-20 zeigt den gleichen Versuch wie oben unter Einsatz von Druckluft (2 bar). Rein visuell sind keine Unterschiede zu den in Abbildung 5-18 dargestellten Bearbeitungsflächen erkennbar.

Beide Bilder zeigen deutlich, daß mittels Laserstrahlung ein Freilegen der Mineralstoffkörner möglich ist. Der Grad der freigelegten Mineralstoffoberfläche nimmt dabei mit Zunahme der Energie der Laserstrahlung zu. Visuell konnte auch bei maximaler Energie des Lasers keine Zerstörung der freigelegten Mineralstoffkörner festgestellt werden.

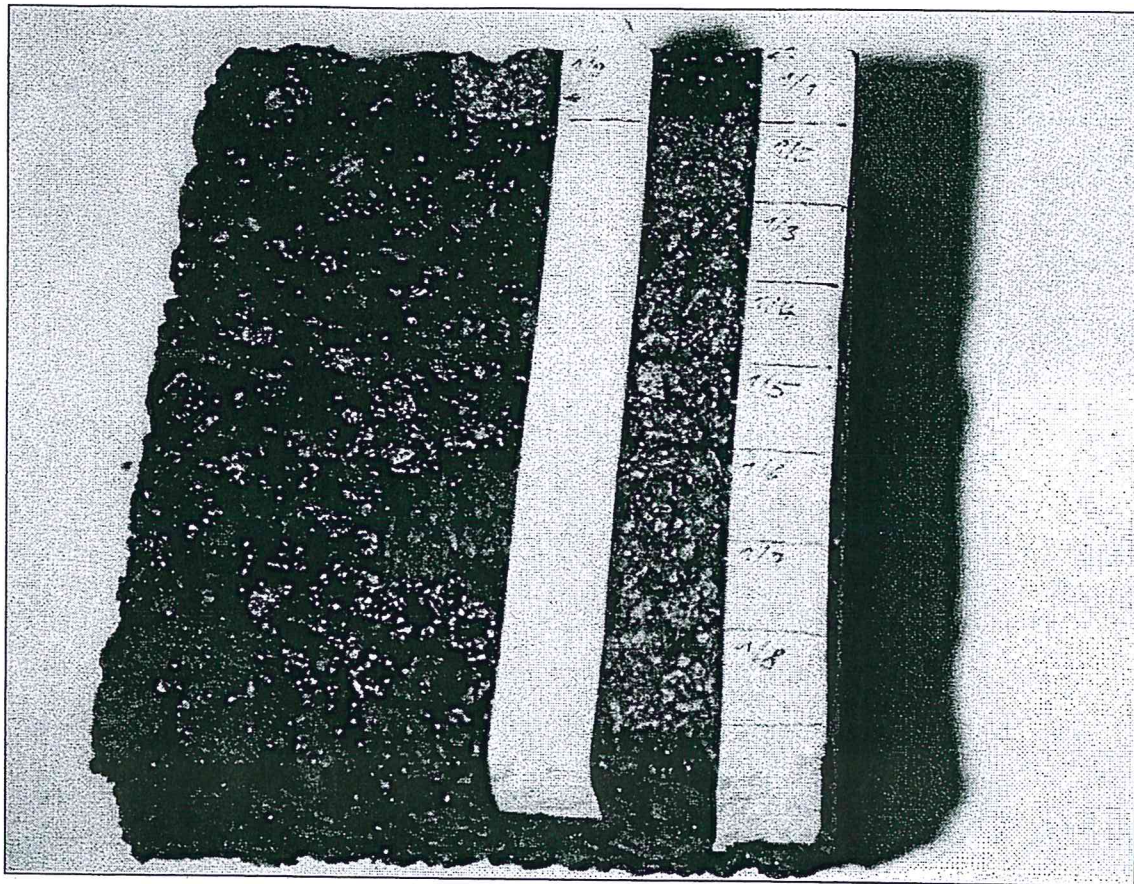


Abb. 5-19: Bearbeitung mittels Nd-YAG-Laser unterschiedlicher Energie ohne Druckluft /67/

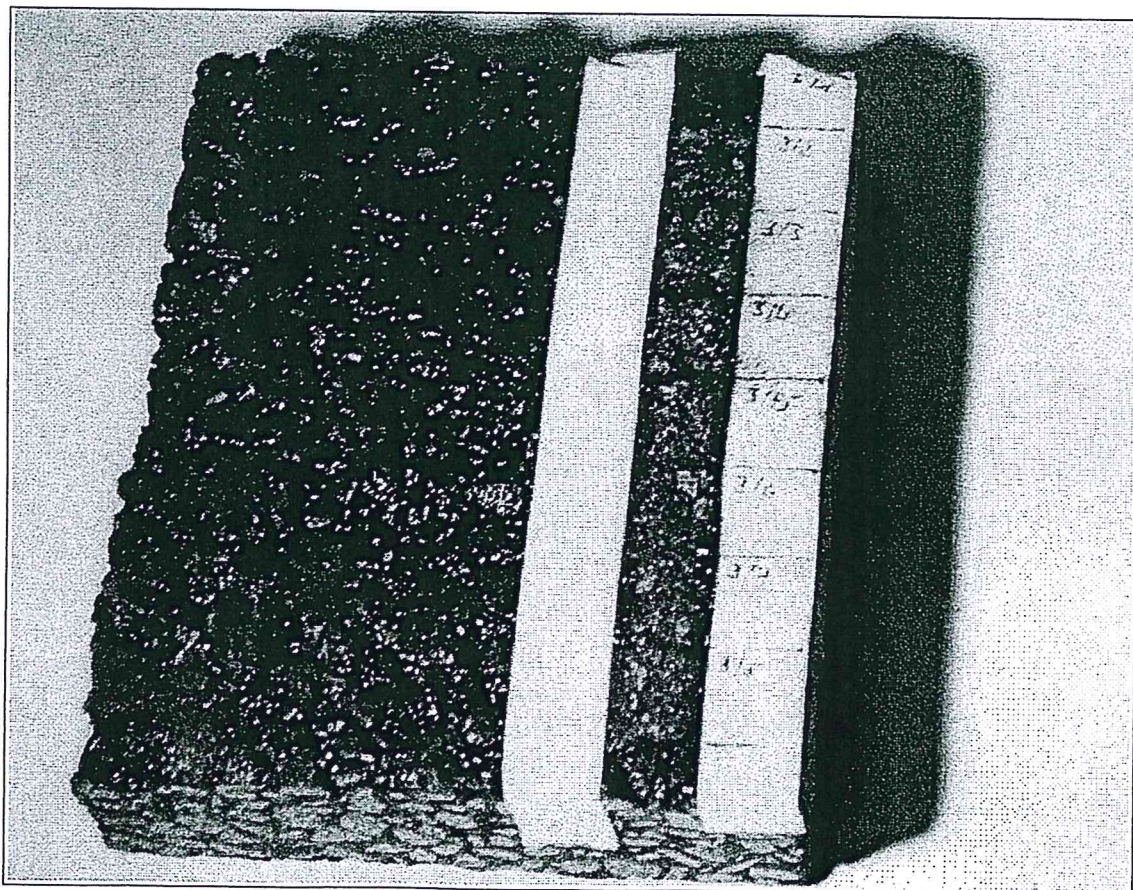


Abb. 5-20: Bearbeitung mittels Nd-YAG-Laser unterschiedlicher Energie mit Druckluft /67/

Abbildung 5-21 zeigt eine Asphaltfläche, die mittels Nd-YAG-Laser mit einer Energie von 300 mJ und Druckluft von 2 bar bearbeitet wurde.

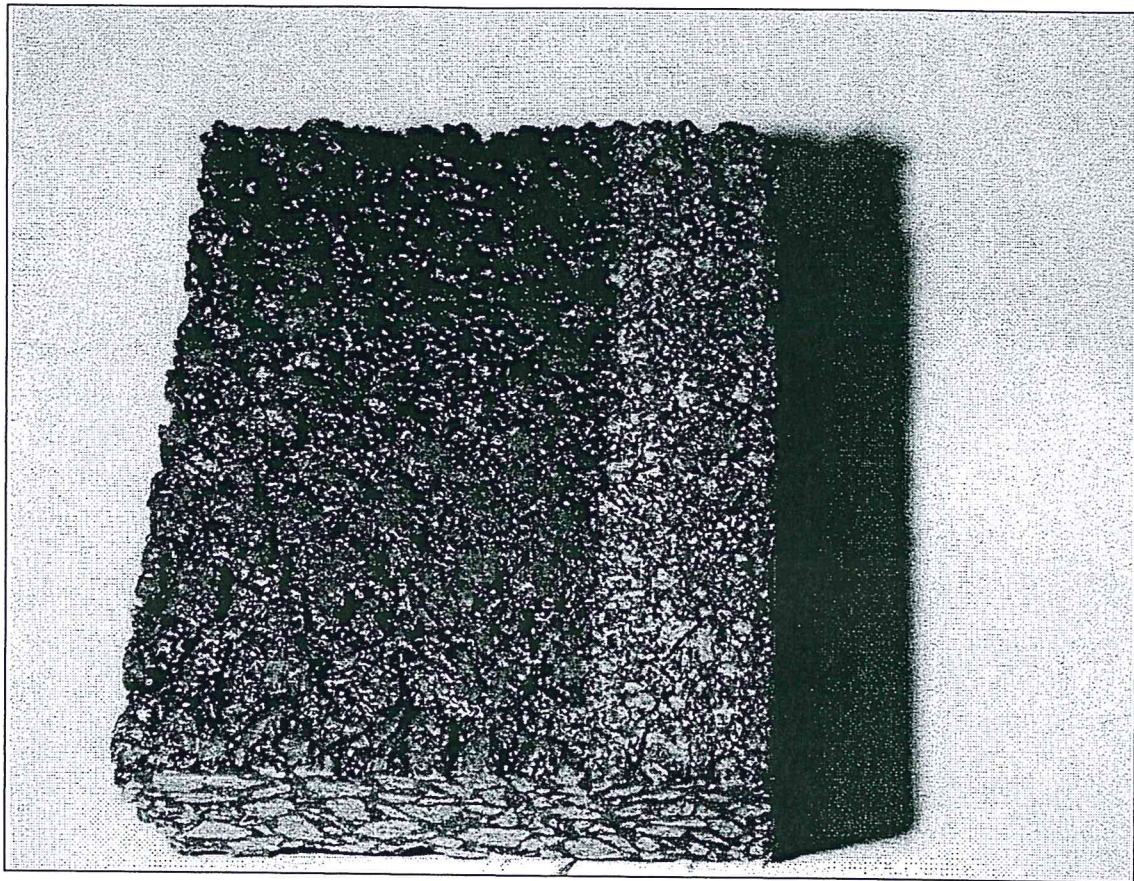


Abb. 5-21: Bearbeitung mittels Nd-YAG-Laser mit Druckluft /67/

Insgesamt kann festgehalten werden, daß bei der Bearbeitung der Asphaltproben mittels Nd-YAG-Laser sehr unterschiedliche Ergebnisse in Abhängigkeit von der eingetragenen Energie erzielt wurden. Bei einer Pulsenergie von 33 mJ und einer Pulsfolgefrequenz von 20 Hz konnte kaum ein Materialabtrag erzielt werden. Bei höheren Energien konnte ein Verdampfen der Bitumenschicht beobachtet werden, vermutlich bis zu einigen Zehntelmillimetern Tiefe. Die abgetragenen Bindemittelpartikel wurden durch die Verdampfung von der Probenoberfläche entfernt. Die Mineralstoffkörner wurden freigelegt (Abb. 5-21), ohne daß der Zusammenhalt der Probe aufgehoben wurde.

- **Versuch 2:** Bearbeitung mit einem CO₂-TEA-Laser

Randparameter:	maximale Pulsenergie:	$E_{\max} = 12 \text{ J}$
	Laserwellenlänge:	$\lambda = 10,6 \text{ }\mu\text{m}$
	Pulsdauer:	$t_p = 5 \text{ }\mu\text{s}$
	Pulsfolgefrequenz:	$f_p = 20 \dots 25 \text{ Hz}$
	Bearbeitungsfläche:	$A = \text{variabel}$
	Bearbeitungsdauer (bei erreichtem Bearbeitungszustand):	ca. $5 \text{ cm}^2/\text{min}$

Abbildung 5-21 zeigt die Asphaltprobe, die mittels CO₂-TEA-Laser bearbeitet wurde.

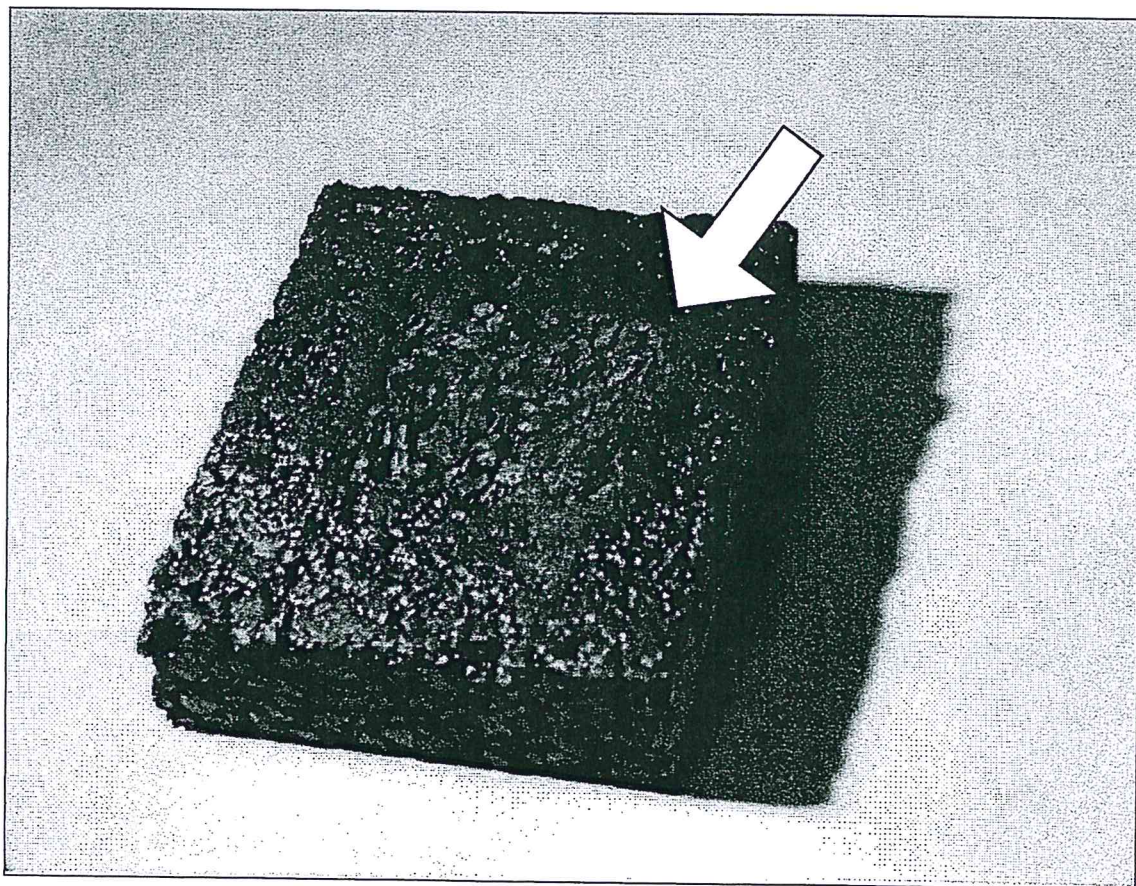


Abb. 5-22: Asphaltprobe, die mittels CO₂-TEA-Laser bearbeitet wurde /67/

Bei der Bearbeitung mit dem CO₂-TEA-Laser erfolgte eine stark selektive Absorption der ins Material eingetragenen Energie, das heißt eine sehr gute Absorption der Laserstrahlung durch den schwarzen Bitumenfilm. Dadurch wurden wesentlich höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten erzielt. Durch den stark selektiven Materialeintrag wurden teilweise Mineralstoffkörner völlig freigelegt, so daß sie sich aus der Probe lösten. Diesem Problem kann durch kürzere Einwirkzeiten der Laserstrahlung begegnet werden.

Die Beurteilung der Griffigkeit erfolgte mit dem SRT-Gerät. In Abbildung 5-23 sind die Ergebnisse dargestellt. Die mittels Nd-YAG-Laser bearbeitete Fläche ist für eine Messung mittels SRT-Gerät eigentlich zu klein (siehe Abb. 5-21), so daß mit den ermittelten Werte lediglich Tendenzen aufgezeigt werden können.

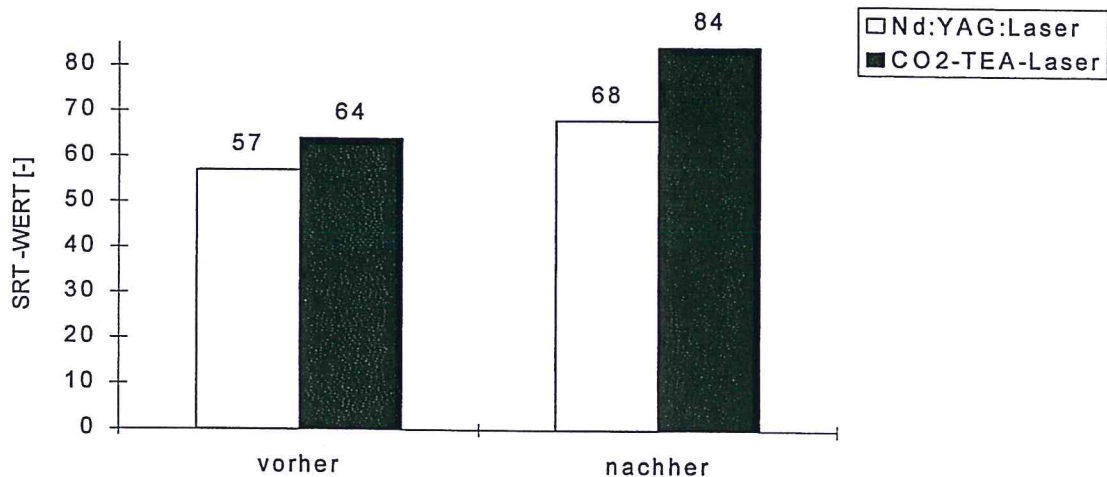


Abb. 5-23: SRT - Werte der Asphaltplatten, die mittels Laser bearbeitet wurden

Die Asphaltplatte, die mit dem Nd-YAG-Laser bearbeitet wurde, zeigt einen Ausgangswert der SRT-Messung von 57. Nach der Laserbearbeitung wurde ein SRT-Wert um 68 ermittelt. Die wahren SRT-Werte liegen wahrscheinlich höher. Tendenziell ist eine Verbesserung der Griffigkeit festzustellen.

Die Bearbeitung der Asphaltplatten mit dem CO₂-TEA-Laser ergab eine deutliche Verbesserung der Griffigkeitskennwerte. So wurden die SRT-Werte von 64 durch die Bearbeitung mittels Laser auf 84 erhöht. Es ist eine Griffigkeitsverbesserung um ca. 20 Skalenteile eingetreten.

- **Versuch 3:** Bearbeitung mit einem Diodenlaser-Stack (Stapel von 10 Laserdioden)
 - Mit dem verwendeten Diodenlaserarray ist nur ein kontinuierlicher Betrieb möglich (cw-Betrieb)
 - Laserleistung im kontinuierlichen Betrieb: $P_{cw} = 300 \text{ W}$
 - Laserwellenlänge: $\lambda = 808 \text{ nm}$

Die Laserstrahlung führte lediglich zu einer starken Erwärmung der Probenoberfläche. Dabei schmolzen teilweise Bindemittelanteile, stellenweise kam es zum Abbrand und / oder Kohlenstoffbildungen auf der Oberfläche (leicht abreibbar). Eine gezielte Freilegung der Mineralstoffoberfläche war mit dieser Methode nicht möglich. Auch die

Verwendung von Druckluft zur Entfernung der losen Bitumenanteile lieferte keine besseren Resultate.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß ein Freilegen der Mineralstoffoberfläche von Asphaltproben mit Hilfe von Laserstrahlung grundsätzlich möglich ist. Die Ergebnisse der hier verwendeten Laser haben gezeigt, daß mit dem Nd-YAG-Laser eine deutlich sichtbare Freilegung des Mineralstoffes erzielt werden konnte. Dabei trat visuell keine Schädigung der freigelegten Mineralstoffkörner ein. Der Grad der Freilegung der Mineralstoffoberfläche ist durch die Wahl der Randparameter (z. B. Laserenergie, Bearbeitungszeit) bestimmbar. Mittels SRT-Gerät konnte der Nachweis erbracht werden, daß durch die Laserbearbeitung (Nd:YAG – und CO₂-TEA-Laser) eine Erhöhung der Griffigkeit eintritt. Somit ist die Nutzung hochenergetischer elektromagnetischer Wellen in Form von Laserenergie zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit prinzipiell möglich.

6 Diskussion der Ergebnisse

Ziel der durchgeführten Tastversuche war es, verschiedene Verfahren hinsichtlich ihrer prinzipiellen Eignung zur Verbesserung der Anfangsgriffigkeit zu prüfen. Dabei wurde zwischen mechanischen Verfahren zum Abtragen des Bitumen- /Asphaltmörtelfilms und Verfahren unter Einsatz hochenergetischer elektromagnetischer Wellen unterschieden.

Die mechanischen Versuche haben gezeigt, daß sie nur bedingt geeignet sind, um eine Erhöhung der Anfangsgriffigkeit zu erzielen. So hat sich bei der Durchführung einfacher mechanischer Versuche herausgestellt, daß ein Abtrag des Bitumen- /Asphaltmörtelfilms von der Mineralstoffoberfläche kaum möglich ist. Die Ursache liegt vermutlich im viskoelastischen Verhalten des Bitumens. Durch den Energieeintrag in Form von Bürsten (Reibungsenergie) wird das Bitumen erwärmt und somit "weicher". Es tritt lediglich ein Verschmieren des Films auf der Oberfläche auf. Auch mit einer Abkühlung der Asphaltplatten vor der Behandlung, konnte kein Bindemittelabtrag erreicht werden.

Das Flammstrahlen bzw. Flämmen zeigte dagegen, daß mit diesem Verfahren eine Erhöhung der Anfangsgriffigkeit prinzipiell möglich ist. Es konnten zufriedenstellende Verbesserungen der Griffigkeitskenndaten mit dem SRT-Gerät ermittelt werden. Die Beobachtungen während des Flämmens haben jedoch auch gezeigt, daß eine Rauchentwicklung stattfindet und Rußpartikel als Rückstand bleiben. Welche Gase bei diesem Verfahren freigesetzt werden, konnte in der Pilotstudie nicht untersucht werden. Eine weitere Beobachtung war, daß durch die Bearbeitung mit dem Flammstrahler eine Erwärmung auch tieferer Asphaltschichten eintritt. Das heißt, eine chemische und physikalische Veränderung des Bitumens bei Anwendung solch hoher Temperatur ist denkbar. Es sollte geprüft werden, inwieweit derartige Veränderungen eintreten und bis in welche Tiefen sie nachweisbar sind. Veränderungen des Bitumens haben Einfluß auf die Haltbarkeit der Asphaltstraße. Insgesamt kann dieses Verfahren jedoch als Methode zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit in Betracht gezogen werden. Die entsprechenden Randbedingungen müssen in einem Untersuchungsprogramm festgelegt werden.

Mit dem Trockeneis-Strahlverfahren konnten sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Verbesserung der Anfangsgriffigkeit erzielt werden. Im Vergleich zum Flämmen sind die hier vorliegenden Randbedingungen (Vorschubgeschwindigkeit, Winkel des Flammstrahlers) wesentlich günstiger. So treten keine Nebeneffekte wie Rauchentwicklungen auf und es ist von keiner Veränderungen des Bitumens

auszugehen. Dieses Verfahren ist sicher ausbaufähig. Denkbar wäre auch eine Kombination der beiden Verfahren Flämmen und Trockeneis-Strahlreinigung.

Mittels UV-Strahlung sollte untersucht werden, in welchem zeitlichen Rahmen eine Alterung des Bitumenfilms bewirkt werden kann, um somit ein Abplatzen des Films von der Mineralstoffoberfläche hervorzurufen. Erwartungsgemäß hat sich gezeigt, daß dies ein sehr langwieriger Prozeß ist.

Im Rahmen der durchgeführten Vorversuche konnte mit dem Nd-YAG-Laser erstmals die Mineralstoffoberfläche völlig freigelegt werden, ohne dabei den Verbund der Körner in der Asphaltoberfläche zu stören. Alle bis dahin durchgeführten Versuche zeigten einen Abtrag, bei dem nur teilweise die Mineralstoffoberfläche sichtbar wurde. Es konnte der Nachweis erbracht werden, daß mittels Laser eine Abtragung des Bindemittelfilms im Zehntelmillimeterbereich möglich ist. Dadurch wird gleichzeitig eine Aufhellung der Asphaltoberfläche erzielt. Da die Energieeintragung nur in sehr dünnen Schichten erfolgt, konnte bei Anwendung des Nd-YAG-Lasers keine Erwärmung der Oberfläche festgestellt werden. Eine Veränderung des Bitumens ist daher nicht zu erwarten. Während des Bearbeitungsprozesses wurde beobachtet, daß das Bitumen verdampfte und keine Rußpartikel zurückblieben. Es sollte daher geprüft werden, welche Zusammensetzung dieses Gas besitzt. Positiv bei diesem Verfahren ist zu erwähnen, daß keine Nachbearbeitung mehr erforderlich ist.

Die Laserbearbeitung ist im Straßenbau völlig unbekannt und steckt in der Entwicklung auf vielen anderen Bereichen noch im Anfangsstadium. Ein großer Nachteil der Laserbearbeitung ist, daß momentan nur kleine Flächen bearbeitet werden können, wodurch die Umsetzung in die Praxis heute fast unmöglich ist. Dennoch sollte dieses Verfahren nicht vernachlässigt werden, da die Laserforschung einer sehr schnellen Entwicklung unterliegt.

Die Literaturrecherche und auch die Vorversuche haben gezeigt, daß es mit Hilfe des Lasers einzigartig ist, den Bitumenfilm von der Mineralstoffoberfläche zu entfernen, um eine Erhöhung der Anfangsgriffigkeit bei gleichzeitiger Aufhellung der Fahrbahnoberfläche zu erzielen. Aufgrund der Bearbeitung im Zehntelmillimeterbereich wird keine Zerstörung der Fahrbahnoberfläche wie bei anderen Verfahren (siehe Abschnitt 3.) hervorgerufen.

7 Zusammenfassung

Der Anfangsgriffigkeit kommt im Straßenbau aus Sicherheitsgründen eine besondere Bedeutung zu. Ziel dieser Pilotstudie war es, die Thematik einer Erhöhung der Anfangsgriffigkeit aus wissenschaftlicher Sicht erneut aufzugreifen und neue Möglichkeiten zur Entwicklung von Verfahren zu erörtern.

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde zunächst der Stand der Technik bisheriger Forschung und Technik dokumentiert. Weiterer Bestandteil der Literaturstudie war die Darstellung der Grundlagen zur Nutzbarmachung hochenergetischer elektromagnetischer Wellen zur Entwicklung griffigkeitserhöhender Verfahren.

In einem zweiten Teil der Recherche wurden Informationsmaterialien über Verfahren zusammengetragen, die seit einigen Jahren zur Griffigkeitsverbesserung im Asphaltstraßenbau eingesetzt werden. Diese Verfahren beruhen größtenteils auf dem mechanischen Abtragen des Bitumen-/Asphaltmörtelfilms von der Mineralstoffoberfläche. In der Fachliteratur werden diese Verfahren hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile kaum diskutiert. Ursache dafür sind vermutlich die fehlenden Anforderungen an die Griffigkeit - in Form von Kennwerten - in den bestehenden Technischen Regelwerken. Die Diskussionen in den Fachgremien laufen jedoch immer weiter darauf hinaus, Anforderungen festzuschreiben, so daß in naher Zukunft Forschungsbedarf zum Einsatz verschiedener Verfahren bestehen wird. Prinzipiell sind die in der Pilotstudie aufgeführten Verfahren zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit geeignet, wobei bei einigen Verfahren Nachteile zu erwarten sind. Diese Nachteile bestehen zum einen in der möglichen Schädigung des Asphaltverbundes und zum anderen können Spuren gebildet werden, die die Sicherheit, vor allem für Zweiradfahrer einschränken könnte.

Dritter Schwerpunkt war es, verschiedene Verfahren im Rahmen von Voruntersuchungen bezüglich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis zu untersuchen. Es wurden Verfahren zur Griffigkeitsverbesserung aus den Gebieten des Betonstraßenbaus und der Pflasterstraßen und -beläge vorgestellt und deren Einsatzmöglichkeit im Asphaltstraßenbau erörtert. Hier galt es auch zu prüfen, inwieweit die Nutzung hochenergetischer Wellen zur Entwicklung von Verfahren zur Verbesserung der Anfangsgriffigkeit möglich ist. Es wurden Versuche mittels UV-Strahlung und verschiedener Laser durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, daß mittels einfacher Verfahren, in Form von mechanischem Abbürsten der Asphaltoberfläche, keine Griffigkeitsverbesserung erreicht werden konnte. Mit dem Flämmen und dem Trockeneis-Strahlverfahren konnte dagegen eine sehr gute Verbesserung der

Anfangsgriffigkeit ermittelt werden. Es sind jedoch weitere Untersuchungen zur Findung der entsprechenden Randbedingungen erforderlich.

Mittels UV-Strahlung konnte die angestrebte Alterung des Bitumenfilms einschließlich eines späteren Abplatzen von der Mineralstoffoberfläche nicht erreicht werden. Der Prozeß hat sich als zu langwierig herausgestellt. Sehr interessante Ergebnisse konnten mit der Laserbearbeitung erzielt werden. Es wurden drei verschiedene Lasertypen eingesetzt. Die Bearbeitung der Asphaltoberfläche mit dem Nd-YAG-Laser zeigte, daß eine Abtragung des Bitumen- / Asphaltmörtelfilms von der Mineralstoffoberfläche möglich ist. Der Abtrag erfolgte augenscheinlich im Zehntelmillimeterbereich, so daß mit Freilegung der Mineralstoffoberfläche weder eine Schädigung des Asphaltverbundes, noch der Mineralstoffkörner selbst entstand. Der Grad der Freilegung ist durch die Bearbeitungszeit bestimmbar. Gleichzeitig wird mit der Freilegung der Mineralstoffoberfläche zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit ein Aufhellungseffekt erzielt.

Die Vorversuche haben gezeigt, daß der Einsatz von Laserstrahlung, d. h. von hoch-energetischen elektromagnetischen Wellen, zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit möglich ist.

8 Ausblick

In der Pilotstudie wurden zwei Möglichkeiten aufgezeigt, wie die Anfangsgriffigkeit von Asphaltstraßen erhöht werden kann. Eine Möglichkeit ist der Ausbau der Verfahren bei Herstellung neuer Asphaltstraßen. Es werden verschiedene Varianten zur Verbesserung der Abstreutechnik genannt. Diese Verfahren bieten den großen Vorteil, daß durch eine im Herstellungsprozeß von Asphaltstraßen ausreichend erzielte Griffigkeit, jegliche Form der Nachbearbeitung überflüssig wird. Damit ist sichergestellt, daß die Asphaltdeckschicht nicht im nachhinein geschädigt wird.

Die zweite Möglichkeit, die Anfangsgriffigkeit einer Straße zu erhöhen, besteht in der Nachbearbeitung ihrer Oberfläche. Die in der Pilotstudie aufgeführten Verfahren beruhen größtenteils auf einem mechanischen Abtragen (Wasserstrahl, Meißel u.a.) des Bitumenfilms von der Mineralstoffoberfläche. Die Verfahren wurden beschrieben und denkbare Vor- und Nachteile aufgeführt. Da hinsichtlich dieser Vor- und Nachteile noch keine detaillierten Untersuchungen durchgeführt wurden, scheint es sinnvoll, ausgewählte Verfahren zu prüfen und folgende Fragen zu beantworten:

- Wie wird die Griffigkeit verbessert?
- Für welche Deckschicht eignet sich welches Verfahren?
- Wie wird die Fahrbahnoberfläche durch Einsatz des Verfahrens verändert? Sind positive Nebeneffekte zu beobachten, wie z. B. eine Aufhellung?
- Wie ist der Asphaltverbund nach erfolgter Bearbeitung zu bewerten, werden eventuell Spuren gebildet?
- Wie ist die Langzeitwirkung der Verfahren einzuschätzen?
- Welches Verhältnis Nutzen / Kosten entsteht?

Im Rahmen dieser zweiten Möglichkeit zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit wurde die Eignung neuer Verfahren untersucht. Aus den Ergebnissen dieser Voruntersuchungen scheinen folgende Verfahren für weitere Entwicklungen geeignet:

Mit Hilfe der Flammstrahltechnik und dem Trockeneis-Strahlverfahren konnte die Griffigkeit von Asphaltdeckschichten verbessert werden. In weiteren Untersuchungen müssen jedoch die Randparameter gefunden werden. Ein großer Schwerpunkt sollte auf weitere Untersuchungen des Einsatzes der Lasertechnik gesetzt werden. Mittels Laser war es erstmals möglich, den schwarzen Bitumenfilm von der Oberfläche der Mineralstoffkörner zu entfernen. In dieser Forschungsarbeit wurde lediglich die prinzipielle Eignung geprüft. Möglich ist darüber hinaus auch der Einsatz von Lasern höherer Energien und die Optimierung der Verfahrensparameter, wie Wellenlänge des

eingesetzten Laserlichtes, Pulsdauer (bei Pulsbetrieb), Pulsfolgefrequenz sowie der Einsatz von Prozeßgasen wie Sauerstoff und Druckluft. Der Grad der freigelegten Mineralstoffkörner kann somit jederzeit erhöht werden.

Die Anwendung der Lasertechnik steckt heute noch im Anfangsstadium und ist aufgrund der heute auftretenden Kosten und geringen Flächenleistung nicht in die Praxis umsetzbar. Da die Entwicklung jedoch stark vorangetrieben wird und mittels Laser verschiedene Effekte erzielt werden können, sollte die Grundlagenforschung zu ihrem Einsatz bereits heute erfolgen. So ist mittels Laser die Erhöhung der Anfangsgriffigkeit bei gleichzeitiger Aufhellung der Fahrbahnoberfläche erreichbar. Die Literaturstudie hat ebenfalls gezeigt, daß eine Griffigkeitsverbesserung polierter Mineralstoffkörner denkbar ist.

Darmstadt, den 29.09.1997

Sachbearbeiterin:



Dipl.-Ing. Ulrike Karolewski

Prüfstellenleiter:



Akadem. Direktor Dr.-Ing. G. Suß

Literaturangaben:

- [1] *Bergler, H.*
Der Bau dichter und griffiger Asphaltfeinbetondecken, Bitumen, Heft 3/1970
- [2] *Bimberg, D.*
Materialbearbeitung mit Lasern, expert verlag, 1991
- [3] *Breuer, J.-U.; Baierl, V.*
Einfluß der Splittqualität auf die Griffigkeit und Lebensdauer von Oberflächenbehandlungen an einer Versuchsstrecke, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 592
- [4] *Brockhaus Physik*
VEB F.A. Brockhaus Verlag Leipzig , 1989
- [5] *Daines, M. E.*
Bitumen Permittivity and Texture Depth of Rolled Asphalt: An Experiment on Motorway M4 (Einfluß der Bitumenhärte auf die Rauhtiefe und den SFC-Wert, ein Großversuch auf der M4)
- [6] *Dames, J.*
Erfassen und Beurteilen der Griffigkeit von Straßen, Straße und Autobahn, Heft 2/1992
- [7] *Dames, J.; Lindner, J.; Sulten, P.*
Anfangsgriffigkeit von Asphaltbetondeckschichten, Straße und Autobahn, Heft 7/1978
- [8] *Dames, J.; Lindner, J.; Sulten, P.; Hufschmidt, H.-J.*
Langfristige Beobachtungen des Griffigkeitsverhaltens von Versuchsstrecken, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 481
- [9] *Dames, J.; Merckens, R.; Bergmann, J.*
Neuermittlung des Bewertungshintergrundes für Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 413, 1984
- [10] *Dames, J.; Sulten, P.; Ullrich, P.*
Rillen in Fahrbahndecken zur Verbesserung des Kraftschlusses bei Nässe, Straße und Autobahn, Heft 7/1985
- [11] *Dames, J.; Rodewald, H.*
Einfluß der Polierbarkeit von Sand auf die Griffigkeit von Asphaltbetondeckschichten, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 528
- [12] *Doyen, A.*
Anfangsgriffigkeit von Asphaltbetondeckschichten - Erfahrungen in Belgien, Straßen- und Tiefbau, Heft 51/1975

- [13] *Dübner, R.*
Instandsetzung von Asphaltstraßen, ARBIT – Schriftenreihe "Bitumen", Heft 51/1988
- [14] *Durth, W.; Lippold, Ch.*
Entwurf der neuen Richtlinien für die Anlage von Straßen, Straße und Autobahn, Heft 2/ 1995
- [15] *Erhardt, K.-M.; Heine, A.; Prommersberger, H.*
Laser in der Materialbearbeitung, Vogel Buchverlag, Würzburg 1991
- [16] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*
Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Köln 1968
- [17] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*
Arbeitsanweisung für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser
- [18] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*
Merkblatt für den Bau griffiger bituminöser Deckschichten, Köln 1982
- [19] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*
Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstraßen, Teil Bauliche Maßnahmen - Aufrauhern, Köln 1989
- [20] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*
Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten, Köln 1994
- [21] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 94)
- [22] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Asphaltbauweisen, Entwurf März 1997 (ZTV BEA-StB-97)
- [23] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*
Richtlinie zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, Entwurf 1995
- [24] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)*- Arbeitspapier zur "Systematik der Straßenerhaltung", Teil C, Abschnitt 1.1 Visuelle Zustandserfassung
Außerortsstraßen Asphalt-, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- [25] *Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV)* Heft 649, Beurteilung dünner Asphaltdeckschichten im Heiß- und Kalteinbau, insbesondere in Bezug auf die Oberflächeneigenschaften, Griffigkeit und Dichtigkeit
- [26] *Gast, H.*
Die Bedeutung der Makrorauheit für die Griffigkeit von Fahrbahndeckschichten, Die Straße, Heft 6/1980

- [27] Grip Tester – Technische Beschreibung, Firma Mechatronic, Gesellschaft für elektrische und mechanische Systeme mbH, Fachgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Darmstadt, 1995
- [28] *Ha, T.B.; Rahimian, I.*
Über den Einfluß der Erdölharze auf das Alterungsverhalten von Bitumen, Bitumen Heft 3/1990
- [29] *Hahn, J.*
Systematische Griffigkeitsmessungen, Versuch beim Autobahnamt Köln, Straße und Autobahn, Heft 3/1981
- [30] *Heininger, K.*
Wie läßt sich eine ausreichende Anfangsgriffigkeit bei Asphaltbetondecken verwirklichen ?
Bitumen – Teere – Asphalte – Peche, Heft 6/1972
- [31] *Heinrich, P.; Wünsche, R.*
Untersuchungsbericht der Bearbeitung von Asphaltplatten mit dem Trockeneis-Strahlverfahren, Durchführung in der Firma Linde AG im Auftrag der Versuchsanstalt für Straßenwesen, Darmstadt
- [32] *Hiersche, E.-U.; Taubmann, A.*
Asphaltstraßen und Verkehrssicherheit, Broschüre des Deutschen Asphaltverbandes (DAV) Asphalt 6, Offenbach am Main, 1992
- [33] *Hiersche, E.-U.; Knepper, S.*
Vergleichsmessungen zwischen dem SRM und SCRIM im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeiten im Rahmen des Managements der Straßenerhaltung, Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 582, Bonn 1990
- [34] *Huschek, S.*
Kennzeichnung der Oberflächenrauheit und deren Einfluß auf die Griffigkeit und die Reifengeräusche, Straße und Autobahn, Heft 6, 1996
- [35] *Huschek, S.*
Europäische Normen für Oberflächeneigenschaften von Straßen, Tagungsbericht Deutscher Straßen- und Verkehrskongreß Hamburg '92, Bonn 1992
- [36] *Kamplade, J.*
Anforderungen an die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen – Griffigkeit und Verkehrssicherheit, Straße und Autobahn, Heft 3, 1995
- [37] *Kirchner, S.*
Die Aufrauhung von Pflasterstraßen, Straße und Autobahn, Heft 9/96
- [38] Klaruwtex 190 Griffigkeits- und Texturverbesserung, Produktbeschreibung der Firma Klaruw GmbH

- [39] *Knepper, S.*
Vergleichsmessungen zwischen dem Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) und der Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM), Tagungsbericht Roads & Traffic 2000, International Road and Traffic Conference Berlin, Volume 2A, Berlin 1988
- [40] *Kohlrausch, F.*
Praktische Physik, Band 2, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart 1968
- [41] *Kollmeier H.*
Rollwiderstandsmessungen im Innentrommelprüfstand der BAST, Straße und Autobahn, Heft 12/1981
- [42] *Kulina; Richter; Ringelhahn; Weber*
Materialbearbeitung durch Laserstrahl - Ein Handbuch für Ausbildung und Praxis / Herausgeber: Festkörper-Laser-Institut Berlin GmbH, 1993, ISBN 3-87155-137-6
- [43] *Leyer, J. P.; Van Heystraeten, G.*
Conference- debate on restoration of the skid resistance properties of pavements Tagungsbericht XV. International Road Congress, Mexico City 1975
- [44] *Linde AG*
Produktinformation Cryoclean, Strahlreinigung mit Trockeneis
- [45] *Löffler, K.; Schmidt, E.*
Ein Verfahren zur nachträglichen Verbesserung der Griffigkeit von Straßen ohne Schwächung der Straßensubstanz, Straße und Autobahn, Heft 12/1988
- [46] *Mahone, D. C.; Hughes, C. S.; Maupin, G. W.*
Skid resistance of dense-graded asphalt concrete (Reibungswiderstand von eng gestuftem Asphaltbeton), Skid Resistance Transportation Research Record Nr. 523, Washington, 1974
- [47] MC-Bauchemie Müller GmbH & Co., Abteilung Sondersysteme: Whisper-Grip, Rollgeräuschminderung und Griffigkeitsverbesserung
- [48] *Mohr, R.*
Beurteilung der Griffigkeit von Fahrbahnbesfestigungen in Asphaltbauweise – Untersuchungen zur Charakterisierung der Griffigkeitsverteilung in Abhängigkeit der geometrischen Gegebenheiten, der Verkehrsbelastung und der Belagsart auf ausgewählten Streckenabschnitten, Diplomarbeit Fachhochschule Darmstadt, 1996
- [49] *Mullen, W. G.; Dahir, S. H.; Barnes, B. D.*
Two Laboratory Methods for Evaluating Skid - Resistance Properties of Aggregates (Zwei Methoden zur Bestimmung des Reibungswiderstandes von Zuschlägen), Anti - skid Programm Management and Related Papers, Highway Research Record Nr. 376, Washigton D.C., 1971
- [50] *Neumann, H.-J.*
Was ist Bitumen, Bitumen Heft 4/1995

- [51] *Produktinformation Helmus Grip 2*
Helmus Straßen-bau-Gesellschaft mbH & Co. KG
- [52] *Reitzenstein W.; Wiedemann G.*
Laserabtragen dünner Deckschichten - eine alternative Reinigungsmethode für Industrie und Denkmalpflege; 12. Internationale Fachtagung Innovative Technologien, 11/1996
- [53] *Schmitz, H.*
Herstellung dauerhaft griffiger bituminöser Deckschichten, Straßen- und Tiefbau, Heft 4/1976
- [54] *Schulz, R.-R.; Heinrich, P.*
Neue Erkenntnisse über das Flammstrahlen von Beton, Sonderdruck aus Bautenschutz und Bausanierung
- [55] *Schulze, K.-H.*
Möglichkeiten zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit von Asphaltbetondeckschichten, Straße und Autobahn, Heft 2/1976
- [56] *Schulze, K.-H.; Dames, J.; Schuster, F. O.; Sulten, P.; Lindner J.*
Erhöhung der Anfangsgriffigkeit von Asphaltbetondeckschichten, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 248, Bonn 1978
- [57] *Schulze, K.-H.; Dames, S.; Lange, H.*
Untersuchungen über die Verkehrssicherheit bei Nässe, Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministers für Verkehr, Heft 189, 1975
- [58] *Sievers, Th.; Stürmer U.; Wiedemann G.*
Laserstrukturieren - eine Möglichkeit der rutschhemmenden Ausrüstung von polierten Natursteinoberflächen, Bericht des Fraunhofer Institutes für Werkstoffphysik und Schichtentechnologie Dresden, 1996
- [59] *Sudbrack, B.*
Die Griffigkeit von Asphaltbeton unter Berücksichtigung simulierter Verkehrsbeanspruchung und variabler Wasserfilmdicken, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt 1978
- [60] *Sulten, P.; Ullrich, S.*
Rillen in Fahrbahndecken (Kurzbericht), Straße und Autobahn, Heft 8/1994
- [61] *Trautrim, N.*
Stand der Flammstrahltechnik, Sonderdruck Bauingenieur Heft 8, 1984
- [62] *Van de Fliert, C.*
Anfangsglätte auf nassen Straßen und Maßnahmen zu ihrer Verhütung, Straße und Autobahn, Heft 2/1975
- [63] *Van Heystraeten, G.*
New developments in non - skid road surfacings and test equipment (Neue Geräteentwicklung zur Herstellung und Prüfung griffiger Straßendecken)
Tagungsbericht Roads & Traffic 2000, International Road and Traffic Conference Berlin, Volume 2A, Berlin 1988

- [64] *Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute (VSS)*
Norme Suisse SN 640511 b, Griffigkeitsbewertung, Zürich 1984
- [65] *Vizi, L.; Büttner, C.*
Verdichten von Asphalt im Straßenbau, Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf 1981
- [66] *Wehner, B.; Siedek, P.; Schulze, K.-H.*
Handbuch des Straßenbaus, Band 1, Springer Verlag Berlin u. a., 1979
- [67] *Wiedemann, G.; Rochler S.*
Untersuchungsbericht der Bearbeitung von Asphaltplatten mittels Laser
Durchführung am Fraunhofer Institut für Strahlentechnik in Dresden im Auftrag der
Versuchsanstalt für Straßenwesen Darmstadt
- [68] *Zieger, M.*
Polierversuch, Teil III, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten,
Straßenforschung, Heft 385, Wien 1990

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1	Wellenspektrum der Fahrbahnoberfläche /32/	4
Abb. 2-2a	Häufigkeitsverteilungsbild, Bewertungshintergrund für Griffigkeitsmessungen SRM (alt) /9/	12
Abb. 2-2b	Häufigkeitsverteilungsbild, Bewertungshintergrund für Griffigkeitsmessungen SRM (neu) /9/	13
Abb. 2-3	Bewertung der Griffigkeit /23/	15
Abb. 3-1	Zeitliche Entwicklung der Griffigkeit /12/	16
Abb. 3-2	Möglichkeiten zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit	17
Abb. 3-3	Temperaturverlauf in einer Asphaltbetondeckschicht beim Walzen /30/	18
Abb. 3-4	Rillierung mit rotierenden Werkzeugen /32/	26
Abb. 3-5	Hochdruck-Wasser-Technik /32/	27
Abb. 3-6	Anbrechvorgang beim Überfahren mit einer bandagierten Walze /45/	28
Abb. 3-7	Bearbeitung der Straßenoberfläche mit Hartmetall-Meißeln /5/	29
Abb. 3-8	Griffigkeits- und Texturverbesserung durch Aufräuhung mittels Meißel /38/	30
Abb. 3-9	Verbesserung der Rauigkeit mittels Whisper-Grip /47/	31
Abb. 4-1	Energieniveauschema eines Vier-Niveau-Lasers /42/	35
Abb. 4-2	Prinzipieller Aufbau eines Lasers /42/	37
Abb. 4-3	Lichtausbreitung eines Lasers im Vergleich zu normalem Licht /42/	38
Abb. 5-1a	Flammstrahler /61/	43
Abb. 5-1b	Trockeneis-Strahlreinigung / CO ₂ -Pellets /44/	44
Abb. 5-2	Versuchsaufbau Bestrahlung mittels UV – Licht	45
Abb. 5-3	SRT-Werte der Asphaltplatten nach mechanischer Bearbeitung	46
Abb. 5-4	Unbearbeitete Asphaltplatte – Splittmastixasphalt 0/11 S	47
Abb. 5-5	Asphaltplatte, die mittels Drahtbürste 2 Minuten bearbeitet wurde	48
Abb. 5-6	SRT-Werte der Asphaltplatte nach mechanischem Abbürsten bei 12 °C Oberflächentemperatur	48

Abb. 5-7	SRT-Werte der Asphaltplatten nach mechanischem Abbürsten unter heißem Wasser (50°C)	49
Abb. 5-8	SRT-Werte der Asphaltplatten durch mechanisches Abklopfen nach vorherigem Gefrieren der Platte bei -12°C	50
Abb. 5-9	Drahtbürste von Bohrmaschine angetrieben	50
Abb. 5-10	SRT-Werte der Asphaltplatten nach mechanischer Bearbeitung mittels rotierender Drahtbürste bei 2000 U/min	51
Abb. 5-11	Vergleich einer unbearbeiteten Platte mit einer Platte, die mittels rotierender Drahtbürste (2000 U/min) bearbeitet wurde	51
Abb. 5-12	SRT-Werte der Asphaltplatten nach Flämmen	52
Abb. 5-13	Vergleich einer unbearbeiteten Platte mit einer Platte, die geflämmt wurde	53
Abb. 5-14	Veränderte Griffigkeit nach dem Flämmen und anschließendem Bürsten	54
Abb. 5-15	SRT-Werte der Asphaltplatten, die mittels Trockeneis-Strahlverfahren bearbeitet wurden	55
Abb. 5-16	Asphaltplatte mittels CO ₂ -Pellets bearbeitet	55
Abb. 5-17	Asphaltplatte mittels CO ₂ -Pellets bearbeitet	56
Abb. 5-18	SRT-Werte der Asphaltplatte, die mittels UV-Strahlung behandelt wurde	57
Abb. 5-19	Bearbeitung mittels Nd-YAG-Laser unterschiedlicher Energie ohne Druckluft /67/	59
Abb. 5-20	Bearbeitung mittels Nd-YAG-Laser unterschiedlicher Energie mit Druckluft /67/	59
Abb. 5-21	Bearbeitung mittels Nd-YAG-Laser mit Druckluft /67/	60
Abb. 5-22	Asphaltplatte, die mittels CO ₂ -TEA-Laser bearbeitet wurde /67/	61
Abb. 5-23	SRT-Werte der Asphaltplatten, die mittels Laser bearbeitet wurden	62

Anlagenverzeichnis:

Ergebnisse der Messungen gemäß "Arbeitsanweisung für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser" /17/

Anlage 1 : Mechanische Bearbeitung der Asphaltplatten

Anlage 2 : Bearbeitung der Asphaltplatten mittels elektromagnetischer Wellen

Anlage 1 : Mechanische Bearbeitung der Asphaltplatten

Ergebnisse der Messungen gemäß "Arbeitspapier für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser" /17/

Versuchsreihe 1 : Mechanisches Abbürsten

Verfahren: keine Bearbeitung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
1	55	54	52	50	50	52	5,0
2	55	53	51	50	51	52	3,1
3	80	79	79	79	78	79	5,6

Verfahren: mechanische Bearbeitung mittels Drahtbürste (50x Abbürsten)							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
1	52	50	48	51	47	50	4,5
2	54	50	50	49	51	51	3,0
3	58	55	55	54	53	55	3,4

Verfahren: mechanische Bearbeitung mittels Drahtbürste (Bearbeitungszeit 2 Minuten)							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
1	49	48	46	45	44	46	5,1
2	47	45	44	43	42	44	3,0
3	60	59	56	55	55	57	3,5

Versuchsreihe 2 : Mechanisches Abbürsten bei 12°C Oberflächentemperatur

Verfahren: keine Bearbeitung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
4	58	55	54	56	59	56	12,5
5	64	64	61	59	59	61	3,5
6	62	60	60	58	58	60	2,0

Verfahren: Mechanisches Abbürsten bei 12°C Oberflächentemperatur (50x Abbürsten)							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
4	56	54	53	53	52	54	2,5
5	58	57	55	54	53	55	2,8
6	58	57	56	55	53	56	2,5

Verfahren: Mechanisches Abbürsten bei 12°C Oberflächentemperatur (Bearbeitungszeit 2 Minuten)							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
4	47	42	45	44	43	44	3,4
5	43	43	44	45	48	45	2,6
6	48	46	45	44	43	45	3,0

Versuchsreihe 3 : Mechanisches Abbürsten unter heißem Wasser 50°C

Verfahren: keine Bearbeitung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
7	84	83	83	84	84	84	5,7
8	75	74	74	72	72	73	3,5
9	82	82	85	85	86	84	5,0

Verfahren: mechanisches Abbürsten unter heißem Wasser 50°C (50x Abbürsten)							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
7	72	70	70	68	68	70	6,1
8	86	88	88	87	84	87	3,9
9	88	89	87	86	84	87	5,2

Verfahren: mechanisches Abbürsten unter heißem Wasser 50°C (Bearbeitungszeit 2 Minuten)							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
7	70	70	68	65	65	68	4,8
8	84	84	83	80	80	82	2,7
9	76	75	73	72	71	73	4,0

Versuchsreihe 4 : Mechanisches Abklopfen nach vorherigem Gefrieren
der Platten bei -12°C

Verfahren: keine Bearbeitung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
	66	64	65	65	64	65	4,0

Verfahren: mechanisches Abklopfen nach vorherigem Gefrieren der Platten bei -12°C							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
	85	85	84	84	85	85	2,5

Versuchsreihe 5 : Bearbeitung mit rotierender Drahtbürste 2000 U/min

Verfahren: keine Bearbeitung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
10	58	55	55	54	54	55	2,2

Verfahren: Bearbeitung mit rotierender Drahtbürste 2000 U/min (Bearbeitungszeit 5 Minuten)							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
10	65	65	64	64	61	64	0,7

Verfahren: keine Bearbeitung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
11	64	64	62	65	62	63	1,2

Verfahren: Bearbeitung mit rotierender Drahtbürste 2000 U/min (Bearbeitungszeit 7 Minuten)							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
11	67	67	66	65	65	66	0,35

Versuchsreihe 6 : Bearbeitung mit dem Flammstrahler

Verfahren: keine Bearbeitung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
12	68	68	65	64	63	66	2,4
13	64	63	62	60	59	62	3,1
14	68	68	66	66	64	66	2,6
15	68	68	65	63	63	65	3,9

Verfahren: Flämmen							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
12	90	88	88	88	86	88	2,6
13	86	85	85	84	83	85	1,5
14	90	89	88	88	87	88	2,2
15	90	89	88	88	88	89	2,4

Verfahren: Flämmen und anschließendes Abbürsten							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
14	69	68	66	65	65	67	3,2

Versuchsreihe 7 : Bearbeitung Trockeneis-Strahlverfahren

Verfahren: Trockeneis-Strahlverfahren							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
vorher	55	53	52	50	50	52	--
Versuch 1	61	60	59	58	57	59	--
Versuch 2	64	61	60	59	59	61	--
Versuch 3	77	75	74	73	73	74	--

Anlage 2 : Bearbeitung der Asphaltplatten mittels elektromagnetischer Wellen

Ergebnisse der Messungen gemäß "Arbeitspapier für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser" /17/

Versuchsreihe 1 : Behandlung Asphaltplatten mit UV-Strahlung

Verfahren: Behandlung Asphaltplatten mit UV-Strahlung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
vorher	61	59	58	58	58	59	--
1. Messung	58	59	56	57	56	57	--
2. Messung	56	55	53	54	55	55	--
3. Messung	62	62	60	59	58	60	--
4. Messung	61	59	58	56	56	58	--
5. Messung	54	53	53	54	53	53	--
6. Messung	53	52	54	53	53	53	--

Versuchsreihe 2 : Bearbeitung mittels Laser

Verfahren: keine Bearbeitung							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
19	59	59	57	56	56	57	--
20	65	66	64	63	61	64	--

Verfahren: Bearbeitung mittels Laser							
	SRT-Werte [-]						Ausflußmesser
Platten Nr.	1	2	3	4	5	Mittelwert	[t]
Nd-YAG	69	68	68	67	67	68	--
CO ₂ -TEA	85	85	84	83	83	84	--