

Prüfung von Haftklebern

Preuve du résultat des émulsions pour couche d'accrochage

Testing of tack coats

C. Raab, Dipl.-Ing.
M. N. Partl, Dr. sc. tech., dipl. Ing. ETH
Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
Abteilung Strassenbau/Abdichtungen

Forschungsauftrag VSS 1999/277 „Prüfung von Haftklebern“

Zusammenfassung

Seit vielen Jahren werden im Straßenbau Haftkleber zur Verbesserung der Haftung zwischen den einzelnen Belagsschichten verwendet. Obwohl der Einsatz von Haftklebern grundsätzlich nicht in Frage gestellt wird, ist nicht genau bekannt, in welchem Maße Haftkleber zur Verbesserung der Verbundeigenschaften beitragen.

Im vorliegenden Forschungsbericht werden die Ergebnisse einer Laboruntersuchung beschrieben, in welcher gewöhnliche kationische Haftkleber zwischen zwei Belagsschichten aufgesprüht wurden. Die Herstellung der Belagsschichten erfolgte dabei mit einem Walzverdichter und die Haftung zwischen den Schichten wurde mit der direkten Abscherprüfung nach Leutner bestimmt. Außerdem wurde ein gewöhnlicher kationischer nicht modifizierter Haftkleber mit einem polymer modifizierten Haftkleber verglichen.

Zur Auslotung der Anwendungsgrenzen von Haftklebern wurden vor und nach Aufbringen des Haftklebers Schmutz und Wasser zwischen den Schichten aufgetragen. Um einen direkten Vergleich zwischen Haftkleber und ‚nicht Haftkleber‘ zu erhalten wurde eine Seite des Prüfkörpers mit Haftkleber besprüht, während die andere unbehandelt blieb.

Weiterhin wurde der Einfluß von feingefrästen Oberflächen und der Einfluß von Lagerung auf die Verbundeigenschaften untersucht.

Das Forschungsprojekt konnte zeigen, daß ins besondere im Fall von Schmutz und Feuchtigkeit (Wasser) – einem häufigen Phänomen auf Baustellen – Haftkleber ein großes Potential zur Sicherstellung und Verbesserung der Verbundeigenschaften besitzen. Während im Fall ‚kein Haftkleber‘ die Bohrkern bereits während der Entnahme zerbrachen, konnten durch die Verwendung von Haftkleber immerhin Scherkräfte bis zu 10 kN erreicht werden.

Im Unterschied zur positiven Wirkung von Haftkleber im Fall von verschmutzten und nassen Belagsflächen ist der Vorteil der Verwendung von Haftklebern auf feingefrästen Belagsflächen zweifelhaft. Ebenso scheint die Verwendung von polymermodifiziertem Haftkleber nicht zu empfehlenswert, falls zur Herstellung der Belagsschichten normale, d.h. nicht polymermodifizierte Bindemittel verwendet wurden.

Résumé

Depuis de nombreuses années, des émulsions d'accrochage sont utilisées lors des constructions routières afin d'améliorer l'adhérence entre les différentes couches de la chaussée. Bien que l'avantage lié à l'utilisation de ces émulsions ne soit pas discuté, il est difficile d'estimer la contribution réelle des émulsions sur les propriétés d'adhérence.

Le projet de recherche récapitule les résultats d'une étude de laboratoire dans laquelle une émulsion d'accrochage cationique commune a été utilisée entre deux couches d'un spécimen. Les spécimens ont été passés sous un rouleau compacteur et l'adhésion des couches a été évaluée au moyen d'un test de cisaillement direct selon Leutner. En outre, une émulsion d'accrochage cationique commune ainsi qu'une autre à base de polymères modifiés ont été comparées.

Dans le but d'évaluer les limites de l'application des émulsions d'accrochage, saleté et humidité ont été appliquées entre les deux couches avant et après l'application d'une émulsion d'accrochage. Pour la comparaison, l'émulsion d'accrochage a été appliquée d'un côté du spécimen seulement, quand l'autre est resté non traité.

En outre, l'influence des émulsions d'accrochage sur les surfaces finement polies et l'influence du temps de traitement sur l'adhérence des couches ont également été étudiées.

Il pourrait être montré que les émulsions d'accrochage ont un grand potentiel de fixation et améliorent les propriétés d'adhérence, particulièrement dans le cas où des saletés et de l'humidité ont été appliquées aux spécimens - phénomènes communs sur les chantiers de construction. D'autre part, quand les carottes sans émulsion d'accrochage se sont cassées lors du carottage, celles avec émulsion ont résisté à des forces de cisaillement allant jusqu'à 10kN. En outre, il existe une grande différence si l'émulsion d'accrochage est appliquée avant ou après l'application de saleté/humidité.

Par opposition à l'avantage de l'application d'émulsion d'accrochage sur les surfaces sales et humides, l'application d'émulsion d'accrochage sur les surfaces finement polies n'a pas révélée une meilleure adhésion. En outre, les émulsions d'accrochage à base de polymères modifiés ne semblent pas être utiles lorsque la chaussée est construite à partir de bitume sans polymères modifiés.

Summary

In road construction tack coats have been used for many years to improve the adhesion between the different layers of a pavement. Although the benefit of using a tack coats is not debated, it is not clear how much tack coats effectively contribute to the adhesion properties.

The research project summarizes the results of a laboratory study in which a common cationic tack coat was used between two layered specimens. The specimens were produced with a roller compactor and the adhesion of cores taken from the specimens was evaluated by means of direct shear testing according to Leutner. Furthermore, a common cationic, but not polymer modified, tack coat was compared to a polymer modified one.

To evaluate the limits of the application of tack coats dirt and moisture was applied between the two layers before and after the application of a tack coat. For comparison the tack coat was applied on one side of the specimen only, when the other stayed untreated.

Besides, the influence of tack coats on fine milled surfaces and the influence of curing time on the adhesion were also investigated.

It could be shown that especially in the case of dirt and moisture – common phenomena on construction sites - tack coats have a great potential to secure and improve adhesion properties. When – in case of “no tack coat” - the cores already broke during coring, the cores with tack coat achieved shear forces up to 10kN. Furthermore, there is a great difference if the tack coat is applied before or after the dirt/moisture treatment.

As opposed to the benefit of tack coats on dirty and wet surfaces the advantage of tack coats on fine milled surfaces is doubtful. Also the use of polymer modified tack coats seems not to be beneficial when the pavement is constructed using ordinary e.g. non polymer modified binders.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	7
2	Zielsetzung des Forschungsprojekts	7
2.1	Zielsetzung.....	7
2.2	Arbeitsplan	9
2.3	Problematik, Abgrenzung und Änderung der Aufgabenstellung.....	9
3	Stand der Forschung	11
3.1	Allgemeines.....	11
4	Auswahl und Untersuchung des Mischguts	12
4.1	Auswahl des Mischguts	12
4.2	Mischgutuntersuchungen.....	12
4.2.1	Mischgut nach Norm SN 640431 [4].....	12
4.2.2	Mischgut nach EU Norm [5].....	13
5	Prüfung des Schichtenverbunds	14
5.1	Haftzugprüfung.....	14
5.2	Abscherprüfung.....	15
6	Herstellung der Prüfkörper mit LCPC Spurrinnenverdichter	16
6.1	Herstellung im LCPC Spurrinnenverdichter	16
7	Resultate und Auswertung der Prüfverfahrensevaluation	18
7.1	Evaluation des Prüfverfahrens.....	18
7.2	Auswertung	20
8	herstellung der Prüfkörper mit MLS Verdichter (SA-Verdichter)	21
8.1	Herstellung mit MLS Verdichter	21
8.2	Übersicht über die mit MLS Verdichter hergestellten Platten	23
9	Resultate und Auswertung der einzelnen Platten	25
9.1	Allgemeines.....	25
9.2	Platte 1	26
9.3	Platte 2	29
9.4	Platte 3	32
9.5	Platte 4: Einfluß polymermodifizierter Haftkleber.....	35
9.6	Platten 5 und 6: Einfluß Fräsen	38
9.7	Platte 7: Einfluß Schmutz vor Haftkleber	42
9.8	Platte 8: Einfluß Schmutz nach Haftkleber	46
9.9	Platte 9: Schmutz und Feuchte vor Haftkleber	49
9.10	Platte 10: Schmutz und Feuchte nach Haftkleber	53
9.11	Platte 11: Lagerung (gelagerte Platte).....	56

9.12	Platte 12: Lagerung (nicht gelagerte Platte)	59
9.13	Zusammenfassung der Resultate	63
10	Auswertung/Zusammenfassung	65
10.1	Allgemein	65
10.2	Einfluß Verdichtungsart (LCPC-MLS)	65
10.3	Einfluß Hohlraumgehalt	66
10.4	Einfluß polymermodifizierter Haftkleber	66
10.5	Einfluß Oberflächenstruktur (Fräsen).....	66
10.6	Einfluß Schmutz.....	66
10.7	Einfluß Schmutz und Feuchte.....	67
10.8	Einfluß Alter (Lagerung).....	67
11	Umsetzung und Empfehlungen	67
12	Weiteres Vorgehen.....	68
13	Dank	68
14	Literaturverzeichnis.....	69
15	Anhang: Abkürzungen	71

1 EINLEITUNG

Ein guter Haftverbund zwischen den Belagsschichten ist eine wesentliche Voraussetzung für die Dauerhaftigkeit von Asphaltstraßen. Die Applikation von Haftklebern wird je nach Erfahrungsstand der Bauherrschaft mehr oder weniger empirisch vorgenommen. Parametern wie: Oberflächenbeschaffenheit, Sauberkeit der Tragschicht, Alter der Tragschicht spielen dabei eine wesentliche Rolle. In der Praxis wird diesen Faktoren jedoch oft zu wenig Beachtung geschenkt. Die Wahl des richtigen Haftklebers, sowie dessen richtige Applikation (Dosierung, Art der Aufbringung) sind jedoch Voraussetzung für die Qualität des Verbundes zwischen den Schichten. Je nach Art der Applikation und des verwendeten Haftklebers sind die ökologischen und arbeitshygienischen Aspekte von Bedeutung. Heute stehen Haftkleber auf Emulsionsbasis von guter Qualität für die verschiedensten Anwendungsbereiche zur Verfügung. Hingegen fehlen die Kriterien für die Anwendung (Notwendigkeit, Art des Produktes, Dosierung), die in neutraler Form in einer Anwendungsnorm oder in einer offiziellen Richtlinie zusammengestellt sind. Das steht dem sachgerechten Einsatz dieser Produkte entgegen.

2 ZIELSETZUNG DES FORSCHUNGSPROJEKTS

2.1 Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojektes ist die Erarbeitung prüftechnischer Grundlagen zur Beurteilung von Haftklebern (zu verwendender Haftvermittlertyp) und Kriterien zur Festlegung von Anforderungen für deren Anwendung (Dosierung, Wartezeit, Umweltparameter, etc.).

Dabei wird sowohl der Einsatz von Haftklebern beim Neubau als auch bei Sanierungen (auf abgefrästen und alten Belägen) berücksichtigt.

Das Forschungsprojekt zielt mit der Schaffung von prüftechnischen Grundlagen zur Beurteilung von Haftklebern im Rahmen einer Anwendungsrichtlinie oder Norm auf die Verbesserung der Lebens- und Gebrauchsdauer von Belägen nicht aber auf eine Produktentwicklung.

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus Praxis einerseits und andererseits durch gezielte Laborversuche sollen Kriterien erarbeitet werden, anhand derer festgelegt wird, wo Haftkleber zwingend notwendig sind, empfohlen werden oder nicht notwendig sind. Ein wichtiger Faktor dürfte dabei u.a. Temperatur und Feuchtigkeit (regennasser Belag) des unteren Belages sowie Aufbau und Art des neuen Belages sein.

Da der Oberflächenbeschaffenheit beim Einsatz von Haftklebern zentrale Bedeutung zukommt, soll eine Checkliste zur Formulierung der wichtigsten Kriterien für die visuelle Beurteilung der Oberflächenstruktur eines Belages erstellt werden.

Verschiedene Faktoren beeinflussen den Verbund zwischen den Belagsschichten. Die folgenden Einflußgrößen sollen an 3 Haftklebertypen untersucht werden:

- Bindemittel im Belag: 3 bis 4 unterschiedliche Bindemittel inklusive PmB werden untersucht
- Mineralstoffe im Belag: Es ist bekannt, dass die petrografische Zusammensetzung einen wichtigen Einfluss auf die Haftung zwischen Bindemittel und Gestein hat. Dies dürfte auch bei der Anwendung von Haftklebern der Fall sein. 3 bis 4 in der Schweiz häufig verwendete Mineralstoffe mit unterschiedlicher Petrografie sollen untersucht werden.
- Oberflächenstruktur: Die Belagsoberfläche verhält sich unterschiedlich, abhängig davon, ob ein alter Belag abgefräst wurde, ob ein abgefahrener oder ein neu eingebauter Belag überbaut wird. Zusätzlich kann Sand und Dreck die Schichthaftung negativ beeinflussen.
- Dosierung des Haftklebers: Wenn zuviel Haftkleber aufgetragen wird, kann er sich wie eine Gleitschicht verhalten und unter Umständen schlechtere Haftung ergeben, als wenn gar kein Haftkleber verwendet wird. Die Bandbreite der Dosierung soll für mehrere Haftklebertypen untersucht werden und Kriterien für die Erkennung von Über- und Unterdosierungen formuliert werden.
- Belagstyp: Es ist anzunehmen, daß nicht jeder Haftkleber für denselben Belagstyp geeignet ist. Untersuchungen an verschiedenen Belagskombinationen mit Gussasphalt (Mastixasphalt), offenporigem Asphalt (Drainasphalt), Betonbelag und anderen sollen darüber Aufschluß geben.
- Feuchtigkeit: Die Feuchtigkeit des unteren Belages, z.B. nach Regen, kann die Wirkung des Haftklebers beeinflussen, ebenso wie nicht vollständig abgetrockneter Haftkleber zu Problemen führen könnte.

2.2 Arbeitsplan

Tabelle 2.2.1 zeigt den ursprünglich vorgesehenen Arbeitsplan, in dem die Herstellung von Prüfkörpern aus mit dem LCPC Spurrinnenverdichter hergestellten Platten geplant war. Dieser Arbeitsplan wurde, wie unten erläutert, modifiziert..

Evaluation des Prüfverfahrens	
Herstellung von zweilagigen Platten mit Verdichtungsgerät (2 Haftkleber + ohne)	12 Platten
Bohren von Prüfkörpern mit Durchmesser 150 mm für Abscherprüfung	18 Prüfkörper
Anbohren von Prüfkörpern mit Durchmesser 100 mm für Haftzugprüfung	18 Prüfkörper
Abscherprüfung	18 Prüfkörper
Haftzugprüfung	18 Prüfkörper
Durchführung des Prüfprogramms	
Herstellung von zweilagigen Platten mit Verdichtungsgerät (3 Haftkleber + ohne)	96 Platten
Bohren von je 3 Prüfkörpern mit Durchmesser 150 mm für Abscherprüfung	288 Prüfkörper
Prüfung mit 3 unterschiedlichen Bindemitteln	12 Platten
Prüfung mit 3 unterschiedlichen Mineralstoffen	12 Platten
Prüfungen mit unterschiedlicher Oberflächenstruktur/Schmutz (4 Varianten)	16 Platten
Prüfungen mit unterschiedlicher Haftkleberdosierung (3 Varianten)	12 Platten
Prüfungen mit unterschiedlichen Belagstypen (4 Belagstypen)	16 Platten
Prüfung mit unterschiedlicher Feuchtigkeit (3 Varianten)	12 Platten
Prüfungen der Wasserempfindlichkeit (3 Varianten)	12 Platten
Prüfungen der Langzeitwirkung (3 Varianten)	12 Platten
Auswertung	

Tabelle 2.2.1: Ursprünglich vorgesehener Arbeitsplan

2.3 Problematik, Abgrenzung und Änderung der Aufgabenstellung

Wegen der in *Kapitel 7* dargestellten Schwierigkeiten bei der Herstellung der Prüfkörper mit dem LCPC Spurrinnenverdichter mußte nach der Evaluation des Prüfverfahrens das gesamte Forschungsprogramm abgeändert und angepaßt werden.

So wurde zum ersten mit dem südafrikanischen MLS Verdichter eine neue praxisnahe Verdichtungsmethode gewählt. Da mit dieser Prüfung größere Prüfkörper (1.05 m x 0.86 m) hergestellt werden können, war die Anzahl der pro Platte erhaltenen Prüfkörper und damit der Prüfaufwand deutlich höher (12 Prüfkörper anstatt ursprünglich 3 Prüfkörper). Außerdem zeigte sich, daß die Verdichtung über die Platte doch einigen Schwankungen ausgesetzt ist. Somit erschien die Bestimmung der Verdichtung und die Untersuchung des Zusammenhangs von Verdichtung und Scherkraft einen wichtigen Punkt der Untersuchung darzustellen. Dem wurde Rechnung getragen, indem abweichend vom ursprünglichen Prüfprogramm der Hohlraumgehalt von Deck- und Tragschicht für jeden einzelnen Prüfkörper bestimmt wurde.

Aufgrund des deutlich erhöhten Aufwands im Hinblick auf Prüfplattenherstellung, erhöhter Anzahl der Prüfkörper und Bestimmung des Hohlraumgehalts jedes einzelnen Prüfkörpers konnte der im ursprünglichen Arbeitsplan vorgesehene Prüfumfang nicht beibehalten werden.

In Rücksprache mit der für den Forschungsauftrag zuständigen Expertenkommission EK 4.05 wurde beschlossen, auf die Untersuchung des Einflusses verschiedener Bindemittel, Mineralstoffe und Belags- (Mischgut-) typen zu verzichten. Ebenso wurde von einer Variation der Haftkleberdosierung abgesehen.

Die ursprünglich vorgesehene Anzahl von 3 unterschiedlichen Haftklebern wurde ebenfalls gestrichen und für alle Untersuchungen wurde eine Haftklebersorte des Typs HC 50, d.h. eine kationische bitumenhaltige Emulsion mit einem Bitumengehalt von 50% nach Norm [13], verwendet und damit die in *Tabelle 2.3.1* dargestellten Einflußgrößen untersucht:

Tabelle 2.3.1: Geänderter Versuchsplan (untersuchte Einflußgrößen)

Einflußgröße	Beschreibung	Anzahl Platten
polymermodifizierter Haftkleber	Haftkleber HC 60 P nach [13]	1 Platte
Oberflächenstruktur	Platte wird vor dem Aufbringen des Haftklebers und der Deckschicht geätzt.	2 Platten
Alter	Lagerung der Platte bis zur Entnahme der Bohrkerne: 2 Monate im Freien (Sommermonate: Juni bis August)	2 Platten
Schmutz	<ol style="list-style-type: none"> 1. Platte wird <u>vor</u> dem Aufbringen des Haftklebers mit Schmutz bestreut. 2. Platte wird <u>nach</u> dem Aufbringen des Haftklebers mit Schmutz bestreut. 	2 Platten
Schmutz und Feuchte/Nässe	<ol style="list-style-type: none"> 1. Platte wird <u>vor</u> dem Aufbringen des Haftklebers befeuchtet und mit Schmutz bestreut. 2. Platte wird <u>nach</u> dem Aufbringen des Haftklebers befeuchtet und mit Schmutz bestreut. 	2 Platten

3 STAND DER FORSCHUNG

3.1 Allgemeines

Auch wenn der Einsatz von Haftklebern im heutigen Straßenbau eine Selbstverständlichkeit darstellt [1], [2], und Haftkleber bei nahezu allen Bauvorhaben zum Einsatz gelangen, basiert ihre Anwendung weitgehend auf empirischen Erkenntnissen. Ähnlich wie im Fall des Schichtenverbundes, wo ein einwandfreier Verbund seit langem als unverzichtbare Voraussetzung für die Gewährleistung von Lebens- und Gebrauchsdauer von Belägen angesehen wird, ohne daß jedoch konkrete Anforderungen formuliert wurden, (u. a. [3]), wird auch die Verwendung von Haftklebern weitgehend als selbstverständlich angesehen. Dabei ist aber gerade der Einfluß von Haftklebern im allgemeinen und von unterschiedlichen Haftklebertypen im besonderen noch recht unzureichend erforscht.

Auch wenn in Versuchen gezeigt werden konnte, daß modifizierte Haftkleberemulsionen den Schichtenverbund im Vergleich sowohl mit nicht polymermodifizierten Emulsionen [14], [15], [16], [17], [18] als auch mit nicht behandelten Oberflächen (kein Haftkleber) [15], [17], [18] signifikant verbessern, besteht über die Verwendung polymermodifizierter Emulsionen in der Praxis keine einheitliche Auffassung.

Auf jeden Fall wird das Aufbringen eines Haftklebers in vielen internationalen Forschungsarbeiten als vorteilhaft für den Schichtenverbund beschrieben [17], [18], [19], [20]. Hachiya [14], Raab [11] und Mrawira [21] hingegen, zeigten in Vergleichen verschiedener Haftklebertypen mit unbehandelten Oberflächen, daß es nicht immer zu einer Verbesserung der maximalen Scherkraft kommt, wenn Haftkleber verwendet werden. Nach Angaben dieser Autoren sind die Unterschiede zwischen den Scherkraftwerte der Prüfkörper mit und ohne Haftkleber nicht signifikant im Vergleich zu denjenigen der Prüfkörper mit gleicher Oberflächenbehandlung.

Während West [22] nachweist, daß die Vorbehandlung mit reinem Bitumen verglichen mit Bitumenemulsionen zu höheren Scherfestigkeiten führt, werden nach Aussagen von Kulkarni [2] und Mohammad [23] mit beiden Methoden vergleichbare Werte erzielt.

Uneinigkeit besteht auch hinsichtlich der erforderlichen Haftklebermenge. Viele Untersuchungen [14], [17], [22], [23], [24], [25] gehen davon aus, daß eine optimale Haftkleberdosierung existiert, die allerdings von Bitumensorte, Mischgut- und Belagseigenschaften [15], Temperatur [15], [23] und anderen Parametern abhängt.

4 AUSWAHL UND UNTERSUCHUNG DES MISCHGUTS

4.1 Auswahl des Mischguts

Da nicht nur die Herstellung der Prüfkörper sondern auch ihr Aufbau möglichst praxisnah und realistisch sein sollte, wurde ein üblicher Deckschicht/Tragschichtaufbau, wie er zum Zeitpunkt der alten Norm 640431 [4] gebräuchlich war, gewählt. Es handelt sich dabei um einen AB 11 S bzw. einen HMT 22 S nach Norm [4] mit dem nicht polymermodifizierten Bindemittel B50/70. Nähere Angaben zum Mischgut finden sich in Kapitel 4.2.

Da aufgrund der großen Anzahl nicht vorgesehener Vorversuche, die tatsächlich benötigte Menge an Mischgut die ursprüngliche Schätzung bei weitem übertraf, wurde vor der Durchführung der eigentlichen Versuchsserien die Mischgutsorte der oberen Schicht auf die Mischgutsorten AC 11 S und für die untere Schicht auf die Mischgutsorte AC T 22 S nach neuer Norm [5] gewechselt. Auch hier sind nähere Angaben zum Mischgut im Kapitel 4.2 aufgeführt.

4.2 Mischgutuntersuchungen

Die erhaltenen Angaben und die maßgebenden Werte der Mischgutuntersuchung (ermittelt durch EMPA) sind in den Tabellen 4.11 bis 4.13 zusammengefaßt.

4.2.1 Mischgut nach Norm SN 640431 [4]

Tabelle 4.1.1: Mischgut AB 11 S, Erhaltene Angaben

Hersteller des Mischgutes	BAV, Belag AG, Volketswil
Entnahmedatum	20.01.2002
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	145 °C
Entnommen durch	Mitarbeiter der EMPA
Mischgutsorte	AB 11
Typ	S

Tabelle 4.1.2: Mischgut AB 11 S: Maßgebende Werte, ermittelt durch EMPA nach [4]

		Parameter	Einheit	Wert
Rückgewonnenes Bindemittel		Dichte	t·m ⁻³	1.046
		Penetration	10 ⁻¹ mm	26
		Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	60.2
		Penetrationsindex	-	-0.3
Mischgut		Anteile an löslichem Bindemittel	Masse-%	5.39
		Rohdichte	t·m ⁻³	2.473
	Marshall-Prüfkörper	Raumdichte	t·m ⁻³	2.386
		Hohlraumgehalt	Vol.-%	3.7
		Hohlraumfüllungsgrad mit Bitumen	Vol.-%	76.8
	Marshall-Prüfung	Stabilität	kN	14
		Fließen	mm	3.2

Tabelle 1.1.3: Mischgut HMT 22 S, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischgutes	BAV, Belag AG, Volketswil
Entnahmedatum	29.01.2002
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	145 °C
Entnommen durch	Mitarbeiter der EMPA
Mischgutsorte	HMT 22
Typ	S

Tabelle 4.1.4: Mischgut HMT 22 S: Maßgebende Werte, ermittelt durch EMPA

		Parameter	Einheit	Wert
Rückgewonnenes Bindemittel		Dichte	t·m ⁻³	1.050
		Penetration	10 ⁻¹ mm	25
		Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	62.7
		Penetrationsindex	-	0.0
Mischgut		Anteile an löslichem Bindemittel	Masse-%	4.13
		Rohdichte	t·m ⁻³	2.531
	Marshall-Prüfkörper	Raumdichte	t·m ⁻³	2.390
		Hohlraumgehalt	Vol.-%	5.6
		Hohlraumfüllungsgrad mit Bitumen	Vol.-%	62.6
	Marshall-Prüfung	Stabilität	kN	12.9
		Fließen	mm	2.6

4.2.2 Mischgut nach EU Norm [5]

Tabelle 4.2.1: Mischgut AC 11 S, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischgutes	BAV, Belag AG, Volketswil
Entnahmedatum	14. September 2006
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	145 °C
Entnommen durch	Mitarbeiter der EMPA
Mischgutsorte	AC 11
Typ	S

Tabelle 4.2.2: Mischgut AC 11 S: Maßgebende Werte, ermittelt durch EMPA

		Parameter	Einheit	Wert
Rückgewonnenes Bindemittel		Dichte	kg·m ⁻³	1047
		Penetration	10 ⁻¹ mm	34
		Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	57.2
		Penetrationsindex	-	-0.5
Mischgut		Anteile an löslichem Bindemittel	Masse-%	5.4
		Rohdichte	kg·m ⁻³	2470
	Marshall-Prüfkörper	Raumdichte	kg·m ⁻³	2413
		Hohlraumgehalt	Vol.-%	2.3
		Hohlraumfüllungsgrad mit Bitumen	Vol.-%	75.0
	Marshall-Prüfung	Stabilität	kN	13.2
		Fließen	mm	3.3

Tabelle 4.2.3: Mischgut AC T 22 S, erhaltene Angaben

Hersteller des Mischgutes	BAV, Belag AG, Volketswil
Entnahmedatum	9. November 2006
Temperatur des Mischgutes bei der Entnahme	145 °C
Entnommen durch	Mitarbeiter der EMPA
Mischgutsorte	AC T 22
Typ	S

Tabelle 4.2.4: Mischgut AC T 22 S: Maßgebende Werte, ermittelt durch EMPA

		Parameter	Einheit	Wert
Rückgewonnenes Bindemittel		Dichte	kg·m ⁻³	1050
		Penetration	10 ⁻¹ mm	31
		Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	58.0
		Penetrationsindex	-	-0.5
Mischgut		Anteile an löslichem Bindemittel	Masse-%	4.4
		Rohdichte	kg·m ⁻³	2512
	Marshall-Prüfkörper	Raumdichte	kg·m ⁻³	2395
		Hohlraumgehalt	Vol.-%	4.7
		Hohlraumfüllungsgrad mit Bitumen	Vol.-%	68.7
	Marshall-Prüfung	Stabilität	kN	12.0
		Fliessen	mm	2.7

5 PRÜFUNG DES SCHICHTENVERBUNDS

Als Grundlage zur Bestimmung der Qualität des Schichtenverbundes diene die Abscherprüfung nach Leutner [6], wobei an ausgewählten Systemen aber auch die Eignung der Haftzugprüfung abgeklärt werden sollte. Aus diesem Grund wurden, wie im Versuchsplan vorgesehen, zur Evaluation des Prüfverfahrens sowohl die Abscherprüfung nach Leutner als auch die Haftzugprüfung verwendet.

5.1 Haftzugprüfung

Da es für die Haftzugprüfung bisher in der Schweiz noch keine Norm oder Vorschrift gibt, wurde die Prüfung in Anlehnung an die deutsche technische Prüfvorschrift ZTV-SIB 90 [7] in einer für die Prüfung von Bohrkernen abgewandelten Variante durchgeführt: Die Belastungsgeschwindigkeit betrug 300 N/s; es wurde eine Vorlast von 100 N aufgebracht.

Für die Prüfung wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm entnommen und auf eine Dicke von 25 mm zugeschnitten. Mit Hilfe eines Zweikomponentenklebers wurden diese auf eine Betonplatte aufgeklebt. Anschließend wurde der Prüfstempel aus Stahl mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 60 mm auf die Oberseite des Bohrkerns geklebt. Die Prüfung des Haftzugs erfolgte nach Aushärten des Klebstoffs in einem temperierten Raum bei einer Lufttemperatur von 20°C (siehe *Abbildungen 5.1.1* und *5.1.2*).

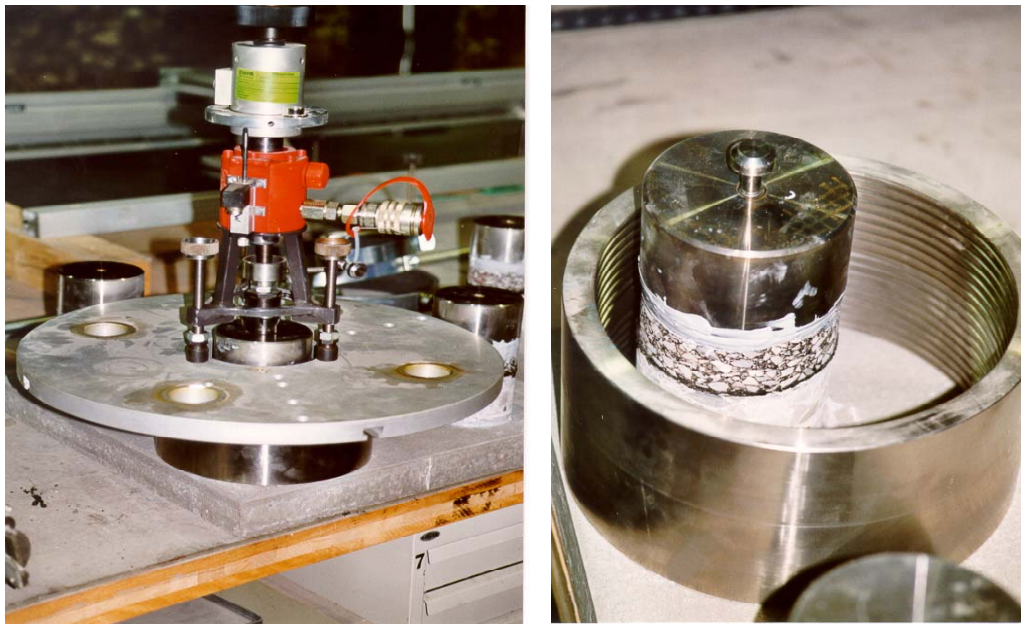


Abbildung 5.1.1: Haftzugprüfung am Bohrkern, Foto

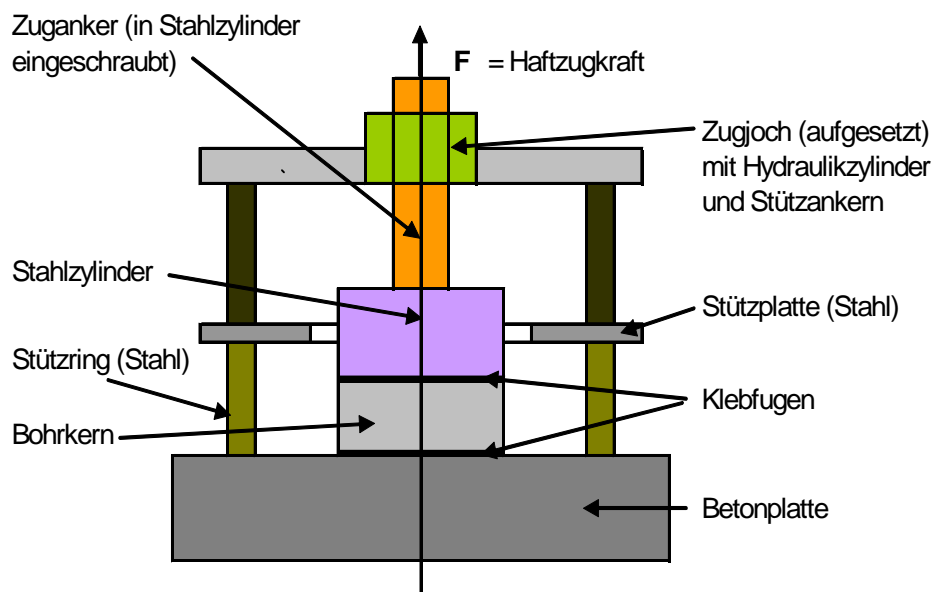


Abbildung 5.1.2: Haftzugprüfung am Bohrkern, Prinzipskizze

5.2 Abscherprüfung

Die Abscherprüfung erfolgte in Anlehnung an die Schweizer Norm SN 671961 [6] und nach [9] an Bohrkernen mit einem Durchmesser von 150 mm. Die Prüfung wurde mit der Empa Prüfvorrichtung, siehe *Abbildung 5.1.2*, bei einer Prüftemperatur von 20°C durchgeführt, wobei jeweils die beim Bruch auftretende Maximalkraft in kN angegeben wird.

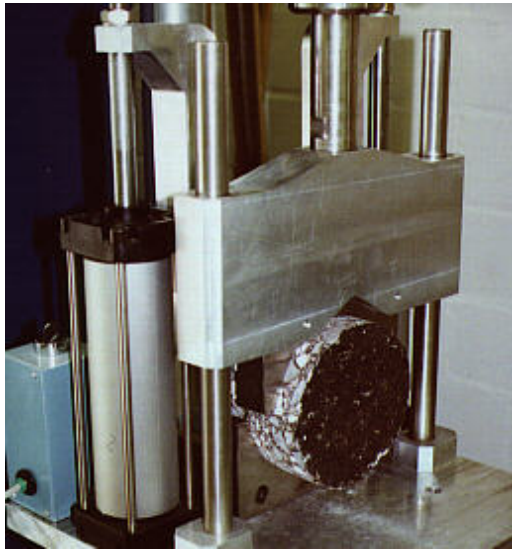


Abbildung 5.2.1: Abschervorrichtung mit eingelegtem Bohrkern

6 HERSTELLUNG DER PRÜFKÖRPER MIT LCPC SPURRINNENVERDICHTER

Auf die Herstellung der Prüfkörper wurde speziell Gewicht gelegt. In der Praxis wird der Haftkleber auf einen kalten Belag appliziert, auf den später ein zweiter Belag heiß oder kalt eingebaut wird. Der Einbau ist im Labor nicht einfach nachzuahmen. Voruntersuchungen haben gezeigt, daß der Gyrator dafür nur bedingt geeignet ist [8], [8a].

Bei der Beantragung des Forschungsprojektes wurde davon ausgegangen, daß das Verdichtungsgerät für die Spurrinnenprüfung nach LCPC [10] im Vergleich zum Gyrator zur Prüfkörperherstellung besser geeignet sei, weil es die Verdichtung durch Walzen simuliert wird. Die im Rahmen der Forschungsarbeit vorgesehen Untersuchungen sollten deshalb vorwiegend an mit diesem Gerät hergestellten Prüfkörpern durchgeführt werden.

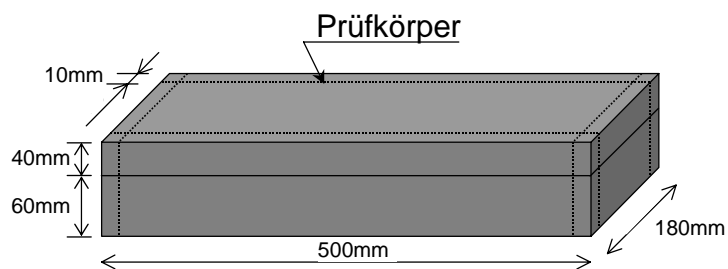
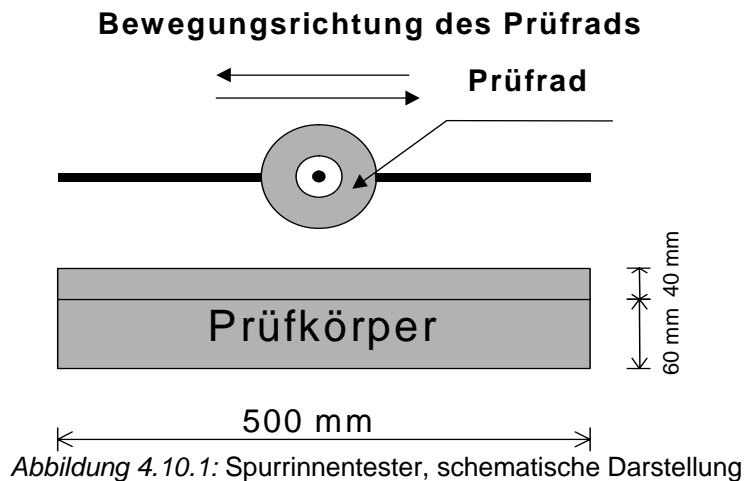
6.1 Herstellung im LCPC Spurrinnenverdichter

Der LCPC Verdichter für den Spurrinentester (vgl. *Abbildung 4.10.2*) besteht aus zwei Bodenplatten und zwei pneumatischen, profillosen Prüfrädern mit 400 mm Durchmesser und einem Reifendruck von 6 bar. Die Prüfkörper werden auf den Bodenplatten montiert und bei Raumtemperatur mit 1000 Zyklen überrollt. Jeder Zyklus umfaßt dabei zwei Überrollungen (d.h. vor und zurück) innerhalb 1 s. Anschließend werden die Prüfkörper während mindestens 12 Stunden bei 60°C temperiert.

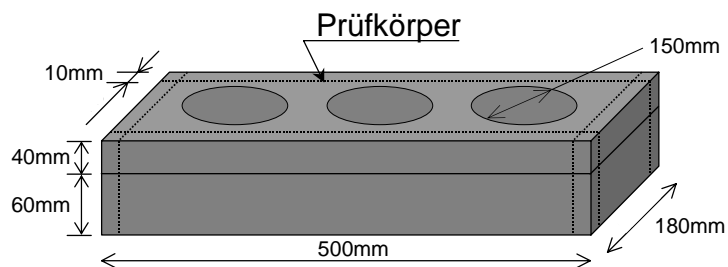
Um einen zweiseichtigen Aufbau zu erhalten, wurde in einem ersten Schritt 100 mm HMT Mischgut verdichtet. Wie sich herausstellte war die Oberfläche dieses HMT Prüfkörpers sehr uneben und entsprach damit nicht der in der Praxis zu beobachteten Oberflächenstruktur. Der Prüfkörper wurde daher umgedreht, d.h. es wurde die Prüfkörperunterseite als Oberseite der ersten Schicht verwendet.

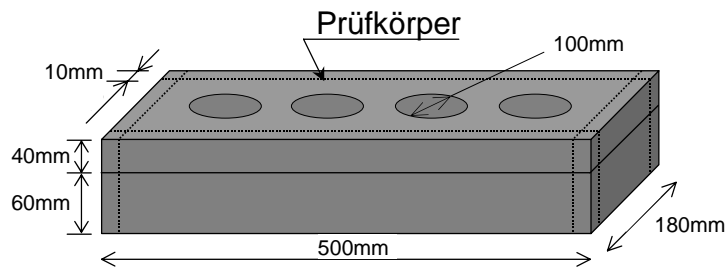
Damit ein weiterer Mischgutaufbau möglich war, wurden die HMT Prüfkörper dazu auf eine Höhe von 60 mm zugeschnitten.

Anschließend erfolgte das Aufbringen der AB 11 Deckschicht und die Verdichtung mit dem LCPC-Spurrinnenverdichter analog zur unteren Schicht. Im Fall der Verwendung eines Haftklebers wurde dieser vor dem Aufbringen der oberen Schicht aufgespritzt.



Zur Bestimmung des Schichtenverbunds wurden, wie in *Abbildungen 4.10.3* und *4.10.4* dargestellt, aus den Prüfkörpern je 3 Bohrkern mit einem Durchmesser von 150 mm für die Abscherprüfung und 4 Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm für die Haftzugprüfung entnommen.



Abbildung 4.10.3: Prüfkörper mit 4 entnommenen Bohrkernen \varnothing 100 mm

7 RESULTATE UND AUSWERTUNG DER PRÜFVERFAHRENEVALUATION

7.1 Evaluation des Prüfverfahrens

Für die Evaluation des Prüfverfahrens wurden 2 Haftklebertypen sowie die Variante „ohne Haftkleber“ ausgewählt. Der Schichtenverbund wurde vergleichsweise sowohl mit der Abscherprüfung als auch mit der Haftzugprüfung untersucht.

Für die Haftzugprüfung wurde pro Variante (ohne Haftkleber, Haftkleber A und Haftkleber B jeweils 8 Prüfkörper benutzt und anschließend Mittelwert und Standardabweichung bestimmt.

Tabelle 7.1.1 und Abbildung 7.1.1 zeigen die Resultate im einzelnen:

Tabelle 7.1.1: Resultate der Haftzugprüfung

Prüfkörper Nr.	Material		Haftzug ohne Haftkleber		Haftzug Haftkleber A		Haftzug Haftkleber B	
	Deck- schicht	1.Trag- schicht	Kraft [kN]	Spannung [N/mm ²]	Kraft [kN]	Spannung [N/mm ²]	Kraft [kN]	Spannung [N/mm ²].
1	AB 11S	HMT 22 S	12.6	1.60	7.9	1.01	8.3	1.06
2	AB 11S	HMT 22 S	11.9	1.51	9.6	1.23	8.1	1.03
3	AB 11S	HMT 22 S	11.0	1.41	6.5	0.82	7.1	0.90
4	AB 11S	HMT 22 S	11.3	1.44	6.0	0.77	6.3	0.81
5	AB 11S	HMT 22 S	9.4	1.20	10.4	1.33	10.7	1.36
6	AB 11S	HMT 22 S	7.6	0.97	9.5	1.21	10.2	1.30
7	AB 11S	HMT 22 S	10.1	1.28	11.2	1.43	12.3	1.57
8	AB 11S	HMT 22 S	10.6	1.37	11.2	1.43	12.5	1.59
Mittelwert			10.6	1.35	9.1	1.15	9.4	1.20
Stabw.			1.56	0.20	2.03	0.26	2.33	0.30

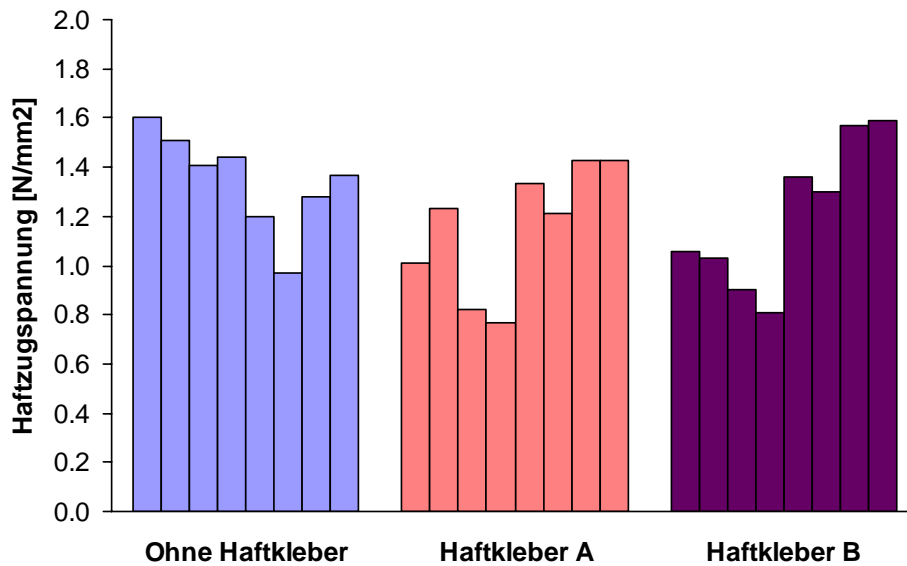


Abbildung 7.1.1: Resultate der Haftzugprüfung bei 20°C

Für die Abscherprüfung wurde pro Variante (ohne Haftkleber, Haftkleber A und Haftkleber B jeweils 6 Prüfkörper benutzt und anschließend Mittelwert und Standardabweichung bestimmt.

Tabelle 7.1.2 und Abbildung 7.1.2 zeigen die Resultate im einzelnen:

Tabelle 7.1.2: Resultate der Abscherprüfung

Prüfkörper Nr.	Material		Abscherprüfung ohne Haftkleber		Abscherprüfung Haftkleber A		Abscherprüfung Haftkleber B	
	Deck-schicht	1.Trag-schicht	Kraft [kN]	Spannung [N/mm ²]	Kraft [kN]	Spannung [N/mm ²]	Kraft [kN]	Spannung [N/mm ²].
1	AB 11S	HMT 22 S	45.54	2.58	49.22	2.79	49.95	2.83
2	AB 11S	HMT 22 S	46.91	2.66	45.24	2.56	42.22	2.39
3	AB 11S	HMT 22 S	47.70	2.70	49.51	2.80	47.32	2.68
4	AB 11S	HMT 22 S	46.49	2.63	48.56	2.75	51.03	2.89
5	AB 11S	HMT 22 S	50.55	2.86	45.81	2.59	47.80	2.71
6	AB 11S	HMT 22 S	51.59	2.92	50.16	2.84	51.39	2.91
Mittelwert			48.1	2.72	48.1	2.72	48.3	2.73
Stabw.			2.40	0.14	2.06	0.12	3.40	0.19

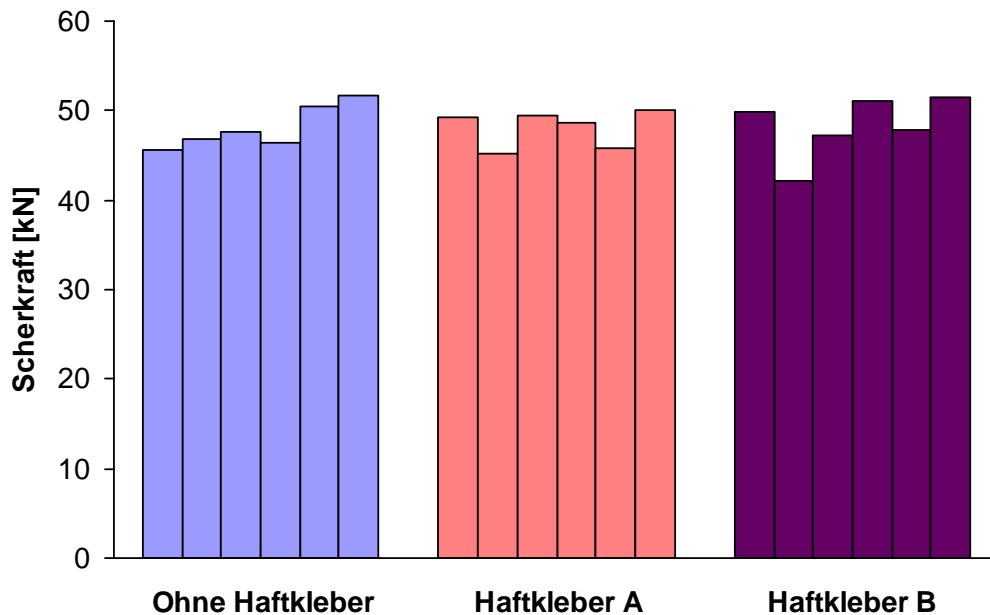


Abbildung 7.1.2: Resultate der Abscherprüfung bei 20°C

7.2 Auswertung

In Tabellen 7.1.1 und 7.1.2 bzw. in Abbildungen 7.1.1 und 7.1.2 sind die Resultate der Haftzug- und der Abscherprüfung für die Varianten ohne Haftmittel und mit Haftmittel A bzw. B aufgeführt.

Die Resultate der Haftzugprüfung zeigen mit 10.6 N/mm^2 einen unwesentlich höheren Wert für die Prüfkörper ohne Haftkleber, während die Resultate der beiden Haftkleber A und B mit 9.1 N/mm^2 und 9.4 N/mm^2 praktisch identisch sind.

Bei der Abscherprüfung ergeben sich für alle drei Varianten (ohne Haftkleber, Haftkleber A und Haftkleber B) mit Scherkräften von ca. 48 kN praktisch identische Mittelwerte.

Insgesamt sind die Werte des Schichtenverbunds mit 9 bis 10 N/mm^2 für die Haftzugprüfung und mit fast 50 kN für die Abscherprüfung extrem hoch. Die Standardabweichungen sind mit maximal 0.3 N/mm^2 für die Haftzug- und maximal 3.3 kN für die Abscherprüfung sehr klein.

Aufgrund der hohen Werte des Schichtenverbunds läßt sich folgern, daß die gewählte Verdichtung mit dem Verdichter des LCPC-Spurrinnengeräts nicht geeignet ist, die Verdichtung auf der Straße zu simulieren. Die erhaltenen Werte für den Schichtenverbund sind dagegen eher mit den an Laborprüfkörpern (Gyratorprüfkörper) ermittelten Werten vergleichbar [11]. Außerdem sind die Werte so hoch, daß eine Unterscheidung zwischen den einzelnen Varianten nicht mehr möglich ist. Der Vergleich zwischen Haftzug- und Abscherprüfung zeigt eine gute Übereinstimmung und eine vergleichbare Beurteilung des Schichtenverbunds mit beiden Verfahren.

Wie aus den obigen Ausführungen hervorgeht, eignet sich, entgegen der ursprünglichen Annahme, das Verfahren der Verdichtung wie es für die LCPC Spurrinnenprüfung vorgesehen ist, nicht zur Herstellung praxisgerechter zweischichtiger Prüfkörper. Aus diesem Grund wurde beschlossen, für das vorliegende Forschungsprojekt eine andere Methode der Verdichtung zu wählen.

Wie aus den Vorversuchen zur Evaluation des Prüfverfahrens hervorgeht, liefern Haftzug- und Abscherprüfung qualitativ sehr ähnliche Resultate und Aussagen zur Bewertung des Schichtenverbundes. Aus diesem Grund wurde beschlossen, wegen der wesentlich einfacheren und schnelleren Versuchsdurchführung, im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts ausschließlich die Abscherprüfung zur Beurteilung des Schichtenverbunds zu verwenden.

8 HERSTELLUNG DER PRÜFKÖRPER MIT MLS VERDICHTER (SA-VERDICHTER)

8.1 Herstellung mit MLS Verdichter

Zur Erzielung einer praxisnäheren Verdichtung wurde der MLS Verdichter eingesetzt (siehe *Abbildung 8.1.1*).



Abbildung 8.1.1: MLS Verdichter

Dieser an der Universität Stellenbosch, Südafrika, entwickelte Verdichter besteht aus einer Stahlwalze mit einer Breite von ca. 91 cm und einem Durchmesser von ca. 35 cm und einem Metallrahmen mit einer Schiene auf der die Walze in horizontaler Richtung verschiebbar ist. Die Walze ist mit einer

Handkurbel in vertikaler Richtung beweglich und kann mit einem automatischen Vibrationsmodus betrieben werden. Sie wird während des Verdichtungsvorgangs mit Wasser besprüht und vor und während der Verdichtung mit Heizlampen erwärmt. Während des Verdichtungsvorgangs wird die Walze per Hand von zwei Labormitarbeitern in Längsrichtung des Prüfkörpers hin und her bewegt, dabei dient der im Metallrahmen eingelegte Betonklotz als Unterlage für die Verdichtung.

Zur Herstellung der Prüfkörper wird ein Holzrahmen mit den Abmessungen 0.95 m auf 1.08 m aufgelegt und das im Mischer erwärmte Mischgut wird chargenweise in diesen Holzrahmen eingefüllt und verdichtet. Die erwärmte Mischgutmenge ist dabei auf den gewünschten Hohlraumgehalt Marshall berechnet, und sie wird möglichst gleichmäßig auf die gewünschte Höhe (60 mm bzw. 40 mm) verdichtet. Nach anfänglichen negativen Erfahrungen (führte zu einer Auflockerung des Mischguts) wurde von der Verwendung des Vibrationsmodus abgesehen. *Abbildung 8.1.2* zeigt einen Prüfkörper kurz nach der Verdichtung. Die Prüfkörper besitzen eine Abmessung von (0.99 m x 0.86 m).



Abbildung 8.1.2: MLS Verdichter mit Prüfkörper

Die Herstellung der zweischichtigen Prüfkörper mit dem MLS Verdichter wurde in der Regel im zeitlichen Ablauf folgendermaßen durchgeführt:

Die untere Schicht (HMT 22 bzw. AC T 22) mit einer Schichtstärke von 6 cm wurde mit dem Verdichter hergestellt. Nach dem Abkühlen des Belags wurde am späten Nachmittag der Haftkleber mit einer im Handel erhältlichen Spritzpistole (siehe *Abbildung 8.1.3*) aufgesprüht. Dabei wurden ca. 200g/m² Haftvermittler eingewogen und wenn nicht anders vermerkt auf die rechte Plattenhälfte (Längsrichtung der Platte) aufgebracht. Der Einbau der 4 cm starken Deckschicht (AB 11 bzw. AC 11) erfolgte am frühen Vormittag des darauf folgenden Tages.

Im Falle der Prüfkörper „Einfluß Schmutz“ bzw. Einfluß Schmutz/Feuchte“ (siehe *Tabelle 8.2.1*) nach Aufbringen des Haftvermittlers wurden Schmutz bzw. Schmutz/Feuchte direkt vor dem Einbau der Deckschicht aufgebracht. Die Bohrkernentnahme fand dann am nächsten Tag statt. Die Abscherprüfung wurde nach Trocknung und Temperierung der Bohrkern 1 bis 1.5 Tage später durchgeführt.



Abbildung 8.1.3.: Spritzpistole zum Aufsprühen des Haftvermittlers

Im Fall des Prüfkörpers „Einfluß der Lagerung“ (siehe *Tabelle 8.2.1*) wurde der Prüfkörper nach dem oben erwähnten Schema hergestellt und anschließend 2 Monate (Juni bis August) im Freien gelagert. Im Anschluß an diese Lagerung wurden Bohrkernentnahme und die Abscherprüfungen durchgeführt.

Die Herstellung der Platten zeigte nach ersten Auswertungen, daß der Verdichtungsprozeß tatsächlich wirklichkeitsnäher war als die Verdichtung mit dem LCPC Spurrinnenverdichter und auch in der Abscherprüfung zu praxisnäheren Werten führte. Allerdings war das Verfahren keineswegs einfach, und es bedurfte einiger Übung, die Platten mit einer annähernd gleichmäßigen Verdichtung herstellen zu können. Aus diesem Grund wurde abweichend vom ursprünglichen Untersuchungsprogramm für jeden Bohrkern Raumdichte und Hohlraumgehalt beider Schichten ermittelt und in Abhängigkeit der bestimmten Abscherkraft angegeben. Bei ersten Versuchen zur Herstellen der Platten zeigte sich, daß der beim MLS Verdichter integrierte Vibrationsmodus zu einer Auflockerung des Mischguts erfuhrte, er wurde daher nicht weiter verwendet.

8.2 Übersicht über die mit MLS Verdichter hergestellten Platten

Insgesamt wurden 13 Platten hergestellt, wovon die Ergebnisse von 11 Platten zu einer Beurteilung herangezogen werden konnten. Bei den ersten Platten waren Probleme mit der Verdichtung bzw. mit dem Aufsprühen des Haftklebers dafür verantwortlich, daß die Ergebnisse nicht weiter berücksichtigt wurden. *Tabelle 8.2.1* gibt einen Überblick über die ausgewerteten Platten:

Tabelle 8.2.1: Platten mit Angabe der Vorbehandlung

Platten Nr.	Mischgut	Haftkleber	Vorbehandlung	Bemerkung
1	AB 11 HMT 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	keine	
2	AC 11 HMT 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	Keine	Wiederholung mit Mischgut AC 11 für Deckschicht
3	AC 11 HMT 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	keine	Große Unterschiede in Hohlraumgehalt zwischen rechter und linker Plattenseite
4	AC 11 HMT 22	HC 60 P halbe Platte 200g/m ²	Nach Rücksprache mit dem Hersteller wurde der Haftkleber heiß (60°C) aufgebracht.	
5	AC 11 AC T 22	Kein Haftkleber	Fräsen der Oberfläche des AC T 22 vor Aufbringen des AC 11	
6	AC 11 AC T 22	HC 50 ganze Platte 200g/m ²	Fräsen der Oberfläche des AC T 22 vor Aufbringen des Haftklebers und des AC 11	
7	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	Schmutz: Korund wird <u>vor</u> dem Aufbringen des Haftklebers bzw. der Deckschicht aufgebracht	Feinkorund ca. 360g/m ²
8	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	Schmutz: Korund wird <u>nach</u> dem Aufbringen des Haftklebers. der Deckschicht aufgebracht	Feinkorund ca. 360g/m ²
9	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	Schmutz/Feuchte: Nasser Korund wird <u>vor</u> dem Aufbringen des Haftklebers bzw. der Deckschicht aufgebracht	Feinkorund wird mit Wasser angerührt 2.5:1 ca. 1000g/m ²
10	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	Schmutz/Feuchte: Nasser Korund wird <u>nach</u> dem Aufbringen des Haftklebers bzw. der Deckschicht aufgebracht	Feinkorund wird mit Wasser angerührt 2.5:1 ca. 1000g/m ²
11	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	Platte wurde nach Herstellung 2 Monate im Freien gelagert (Juni bis August)	
12	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	Platte wurde direkt geprüft und diente dem Vergleich mir der gelagerten Platte	

9 RESULTATE UND AUSWERTUNG DER EINZELNEN PLATTEN

9.1 Allgemeines

Aus einer Platte wurden insgesamt, wie in *Abbildung 9.1.1* dargestellt, je 24 Bohrkern entnommen. In den meisten Fällen, d.h. wenn nicht anders angegeben, wurde die linke Plattenhälfte mit Haftvermittler besprüht, der rechte Plattenhälfte blieb unbehandelt.

Um die Verdichtung über die Platte und den Zusammenhang zwischen Scherkraft und Verdichtung beschreiben zu können, wurde die Platte in 4 Reihen, d.h. Reihen 1 und 2 mit (Haftkleber) und Reihen 1 und 2 ohne (Haftkleber) eingeteilt (vergleiche *Abbildung 9.1.1*).

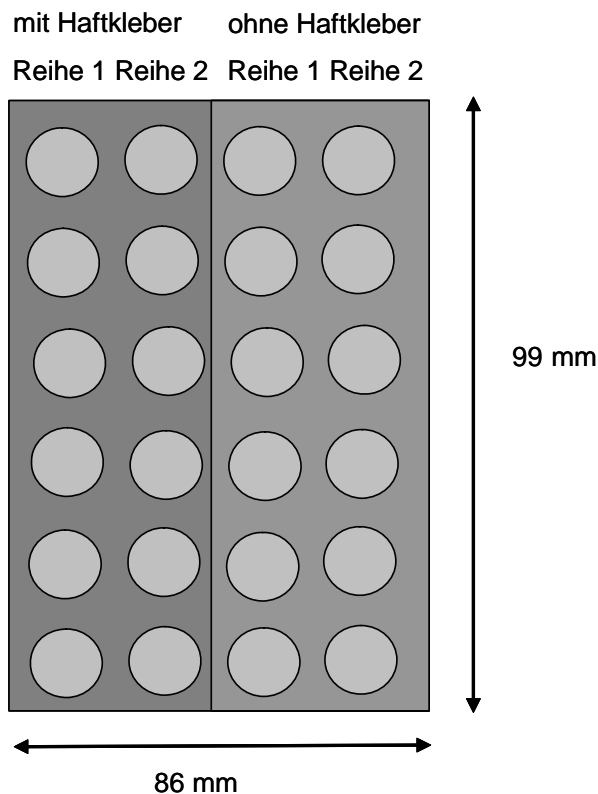


Abbildung 9.1.1: Platte mit Einteilung der Reihen

In den folgenden *Kapiteln 9.2 bis 9.12* sind die Ergebnisse für die einzelnen Platten gegliedert nach den Punkten dargestellt:

- Herstellung der Platte und Vorbehandlung
- Ergebnisse der Abscherprüfung
- Verdichtung (Hohlraumgehalt)
- Zusammenhang zwischen Scherkraft und Hohlraumgehalt
- Auswertung und Beurteilung

9.2 Platte 1

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut HMT 22 S und Mischgut AB 11 S nach der alten Norm SN 640431 [4] hergestellt. Die linke Plattenhälfte wurde mit einem Haftkleber HC 50 besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug 200g/m^2 .

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.2.1 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkerne mit und 12 Bohrkerne ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

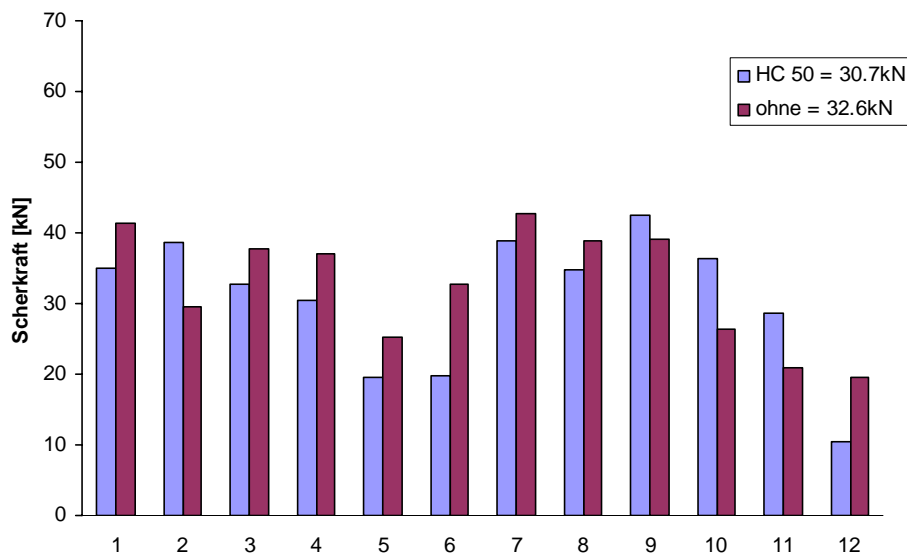


Abbildung 9.2.1: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 1

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.2.2 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.

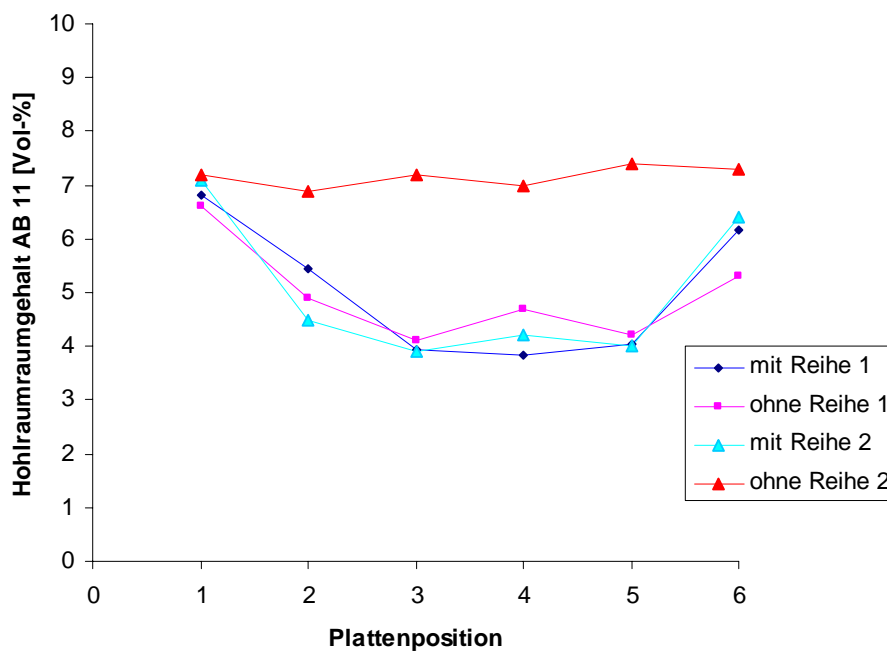
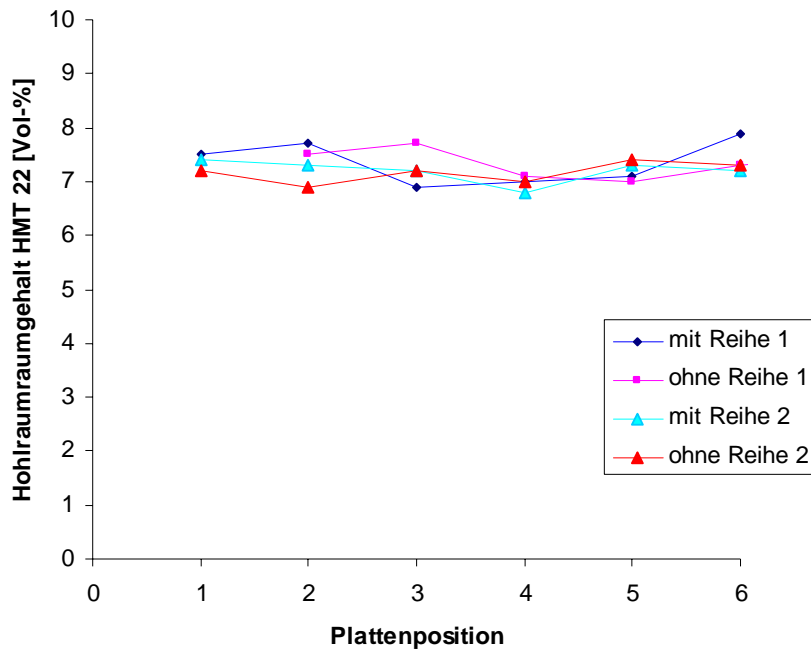


Abbildung 9.2.2: Hohlraumgehalt für HMT 22 (obere Abbildung) und AB 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.2.3 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AB 11)

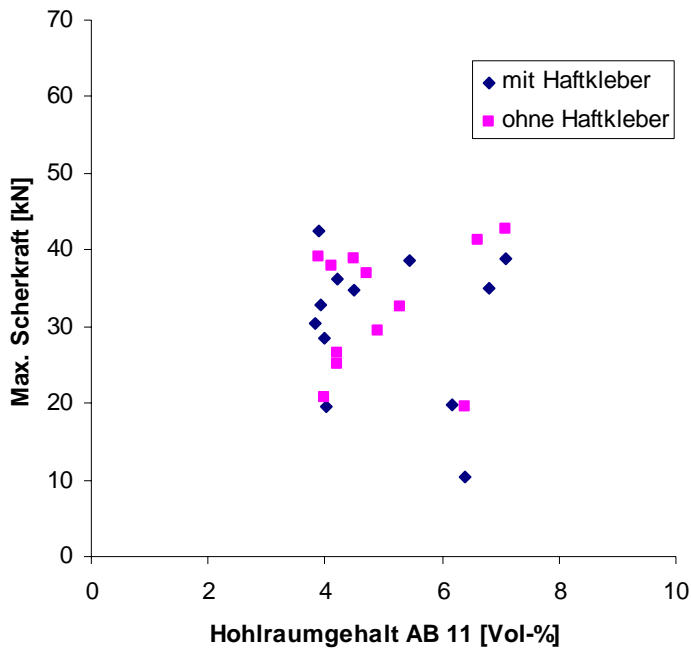


Abbildung 9.2.3: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 10.5 – 42.5kN, Mittelwert: 30.7kN, Standardabweichung: 22.5kN

Ohne: 19.5 – 42.7kN, Mittelwert: 32.6kN, Standardabweichung: 19.3kN

Hohlraumgehalt AB 11:

HC 50: 0.5– 1.7Vol-%, Mittelwert: 1.3 Vol-%, Standardabweichung: 0.4kN

Ohne: 0.9 – 1.6Vol-%, Mittelwert: 1.3 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Hohlraumgehalt HMT 22:

HC 50: 1.8 – 2.5Vol-%, Mittelwert: 2.3 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Ohne: 2.0– 2.5Vol-%, Mittelwert: 2.3 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Die Scherkraft mit und ohne Haftkleber ist fast gleich groß. Wenn man von einem Ausreißer mit einem sehr tiefen Wert von ca. 10kN absieht, ist der Mittelwert der Scherkraft mit ca. 32kN identisch. Allerdings gibt es relativ große Streuungen.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AB 11) weist ebenfalls eine ziemlich große Streuung auf, während der Hohlraumgehalt der unteren Schicht (HMT 22) recht gleichmäßig ist.

9.3 Platte 2

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut HMT 22 S nach der alten Norm SN 640431 [4] und neuem Mischgut AC 11 S hergestellt. Die linke Plattenhälfte wurde mit einem Haftkleber HC 50 besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug 200g/m^2 . Bei dieser Platte handelt es sich also um eine Wiederholung der Platte 1 mit neuem Mischgut für die Deckschicht.

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.3.1 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkerne mit und 12 Bohrkerne ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

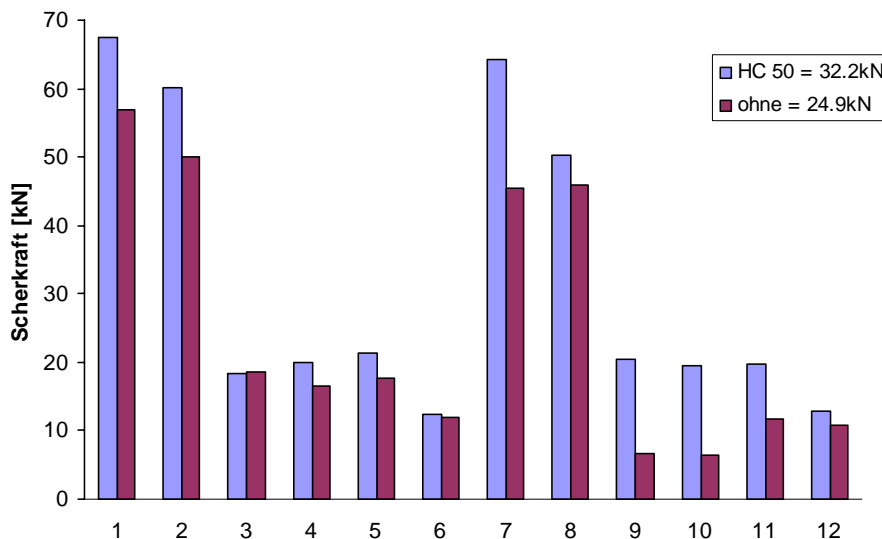


Abbildung 9.3.1: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 2

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.3.2 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.

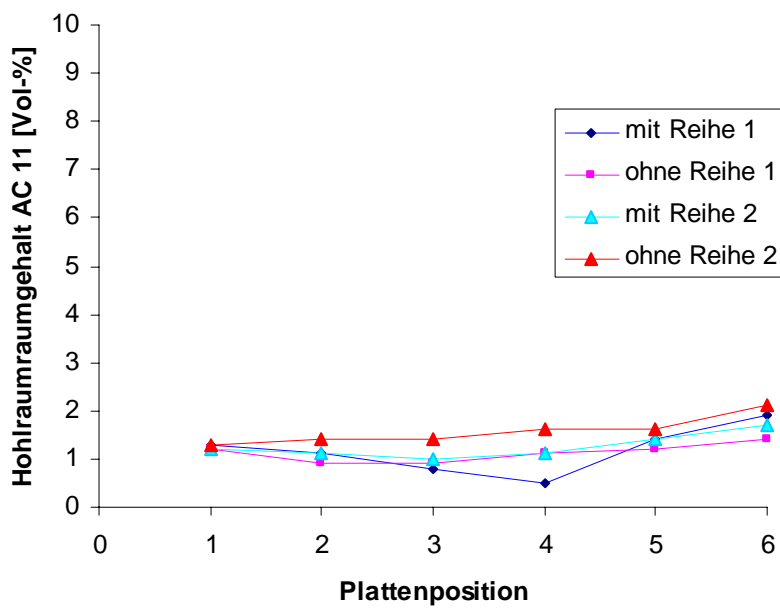
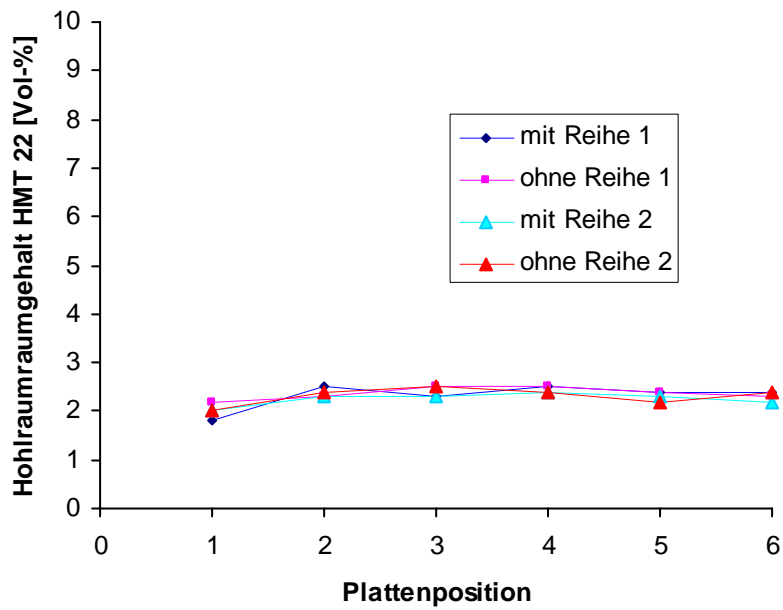


Abbildung 9.3.2: Hohlraumgehalt für HMT 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.2.3 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AB 11)

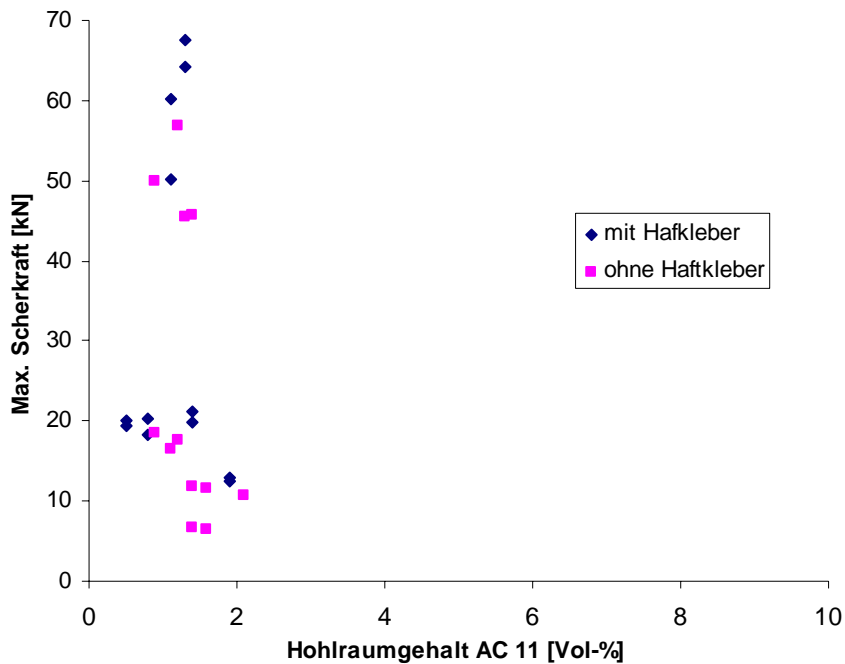


Abbildung 9.3.3: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 12.5 – 67.5kN, Mittelwert: 34.0kN, Standardabweichung: 21.4kN

Ohne: 6.5 – 57.0kN, Mittelwert: 24.9kN, Standardabweichung: 18.8kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 0.8 – 1.9Vol-%, Mittelwert: 1.3 Vol-%, Standardabweichung: 0.4kN

Ohne: 0.9 – 2.1Vol-%, Mittelwert: 1.4 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Hohlraumgehalt HMT 22:

HC 50: 1.8 – 2.5Vol-%, Mittelwert: 2.3 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Ohne: 2.0 – 2.5Vol-%, Mittelwert: 2.4 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Die Scherkraft mit Haftkleber ist im Mittel um ca. 8kN größer als die Scherkraft ohne Haftkleber. Aber die Scherkräfte weisen in beiden Fällen sehr große Streuungen auf, was auch an der Größe der Standardabweichung von ca. 20kN deutlich abzulesen ist.

Der Hohlraumgehalt beider Schichten ist sehr gleichmäßig, aber insgesamt unrealistisch tief.

9.4 Platte 3

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut HMT 22 S nach der alten Norm SN 640431 [4] und neuem Mischgut AC 11 S hergestellt. Die linke Plattenhälfte wurde mit einem Haftkleber HC 50 besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug 200g/m^2 . Bei dieser Platte handelt es sich also um eine Wiederholung der Platte 2 mit dem Ziel eine realistischere Verdichtung zu erreichen.

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.4.1 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkerne mit und 12 Bohrkerne ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

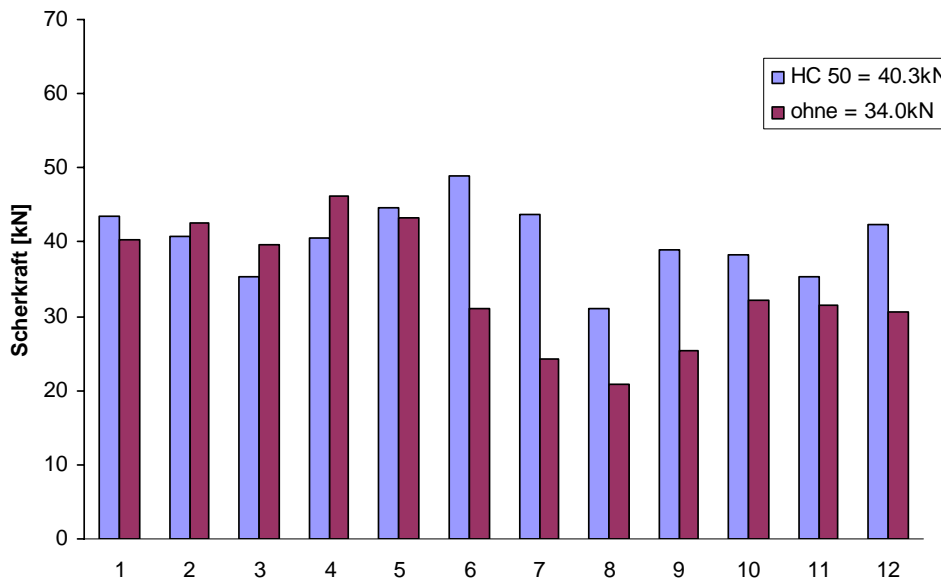


Abbildung 9.4.1: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 3

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.4.2 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.

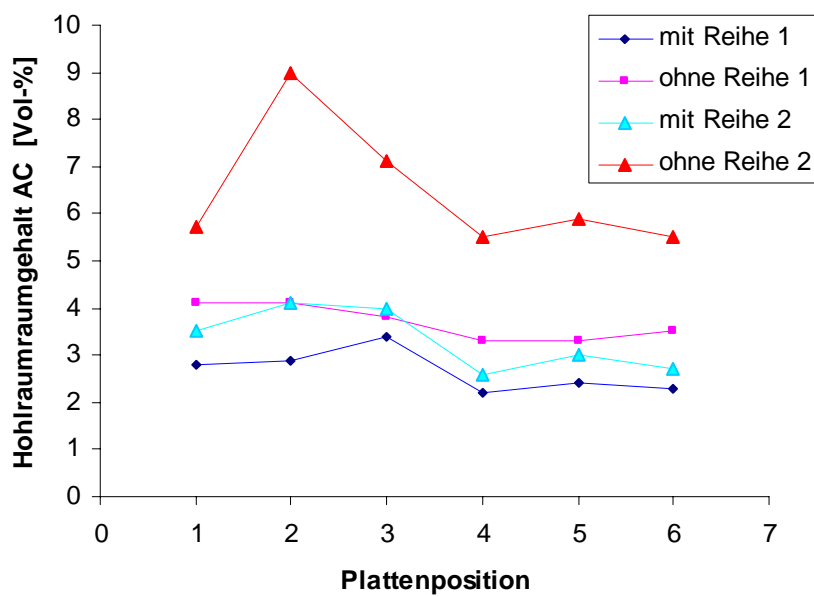
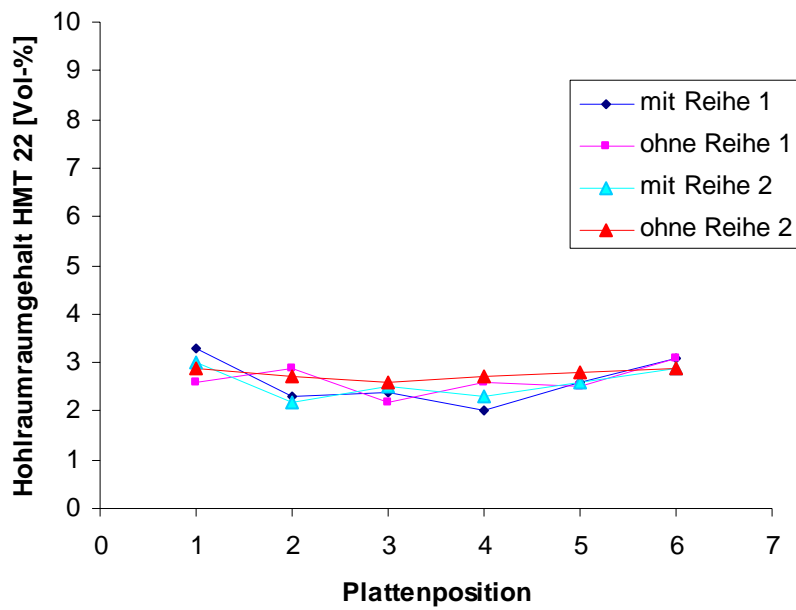


Abbildung 9.4.2: Hohlraumgehalt für HMT 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.4.3 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11)

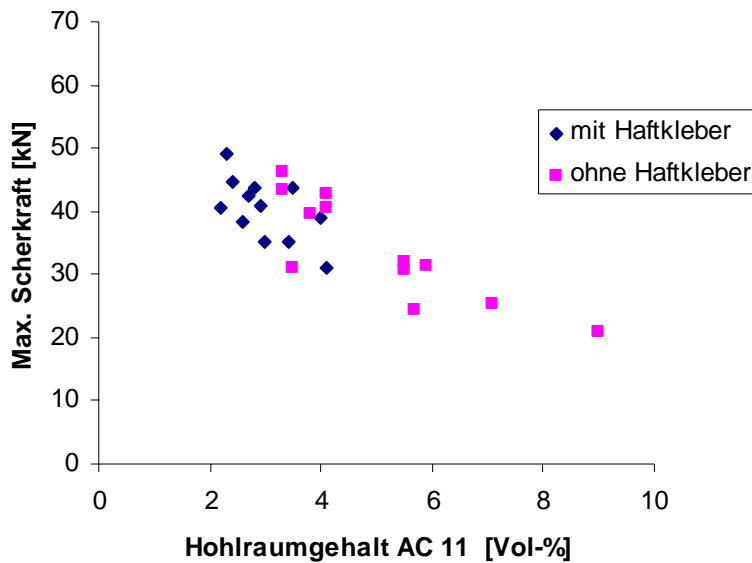


Abbildung 9.4.3: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 31.1 – 49kN, Mittelwert: 40.3kN, Standardabweichung: 4.7kN

Ohne: 20.9 – 46.3kN, Mittelwert: 34.0kN, Standardabweichung: 8.3kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 2.2 – 4.1Vol-%, Mittelwert: 3.0 Vol-%, Standardabweichung: 0.6kN

Ohne: 3.3 – 9.0Vol-%, Mittelwert: 5.1 Vol-%, Standardabweichung: 0.9kN

Hohlraumgehalt HMT 22:

HC 50: 2.2– 3.3Vol-%, Mittelwert: 2.6 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Ohne: 2.2 – 3.1Vol-%, Mittelwert: 2.8 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Die Scherkraft mit Haftkleber ist im Mittel um ca. 6kN größer als die Scherkraft ohne Haftkleber. Die Scherkräfte weisen besonders für den Fall „ohne Haftkleber“ große Streuungen auf.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AC 11) hat tendenziell für die Seite „ohne Haftkleber“ höhere Werte, womit auch das schlechtere Abschneiden für die Werte „ohne Haftkleber“ bei der Abscherprüfung teilweise begründet werden kann.

9.5 Platte 4: Einfluß polymermodifizierter Haftkleber

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut HMT 22 S nach der alten Norm SN 640431 [4] und neuem Mischgut AC 11 S hergestellt. Die linke Plattenhälfte wurde mit einem Haftkleber HC 60 P, d.h. einem polymermodifizierten Haftkleber, besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug 200g/m^2 . Nach Angaben des Herstellers wurde der Haftkleber vor dem Aufspritzen auf eine Temperatur von 60°C erhitzt.

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.5.1 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkerne mit und 12 Bohrkerne ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

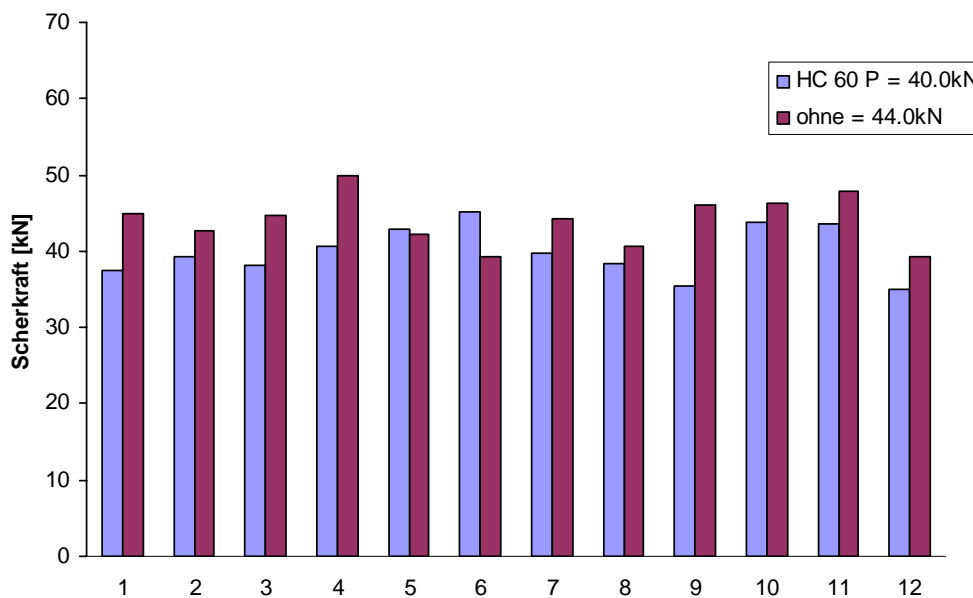


Abbildung 9.5.1: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 4

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.5.2 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.

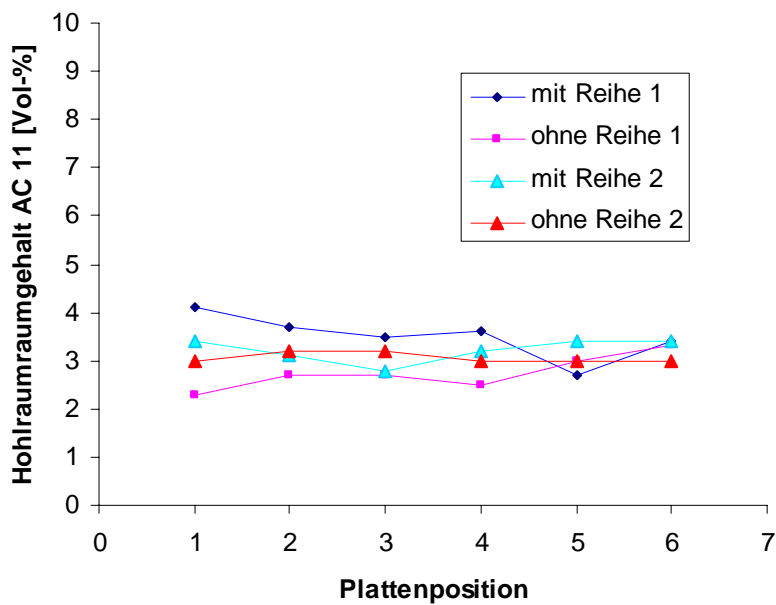
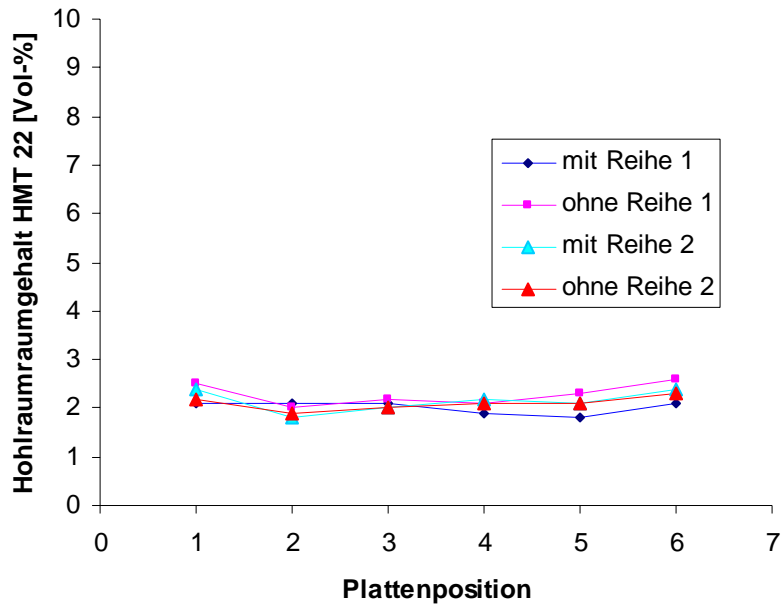


Abbildung 9.5.2: Hohlraumgehalt für HMT 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.5.3 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11)

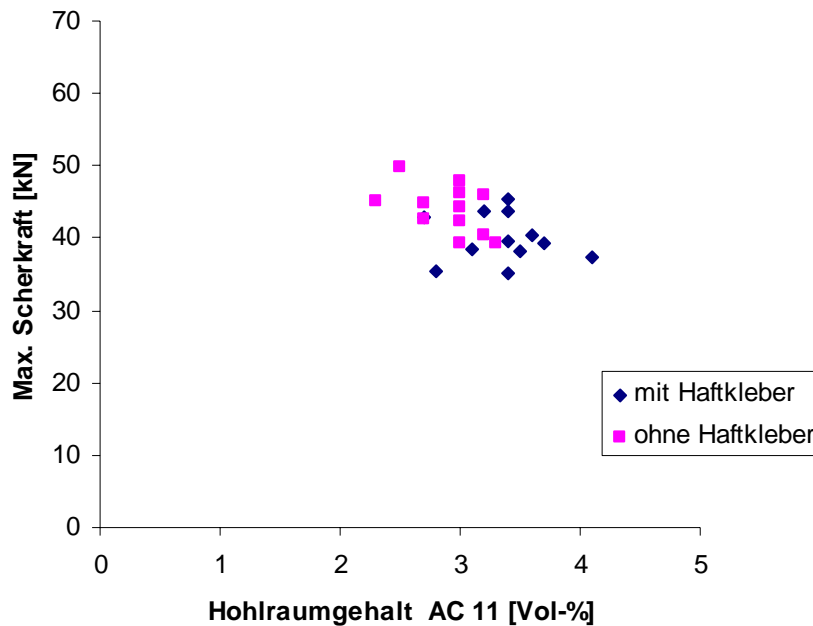


Abbildung 9.5.3: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 60 P: 35 – 45.3kN, Mittelwert: 40.0kN, Standardabweichung: 3.8kN

Ohne: 39.3 – 49.9kN, Mittelwert: 44.0kN, Standardabweichung: 3.3kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 60 P: 2.7 – 4.1Vol-%, Mittelwert: 3.4 Vol-%, Standardabweichung: 0.4kN

Ohne: 2.5 – 3.3Vol-%, Mittelwert: 2.9 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Hohlraumgehalt HMT 22:

HC 60 P: 1.8 – 2.4Vol-%, Mittelwert: 2.1 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Ohne: 1.9 – 2.6Vol-%, Mittelwert: 2.2 Vol-%, Standardabweichung: 0.2kN

Die Scherkraft ohne Haftkleber ist im Mittel um ca. 4kN größer als die Scherkraft mit Haftkleber. Die Streuungen der Scherkräfte sind in beiden Fällen relativ gering.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AC 11) hat tendenziell für die Seite „ohne Haftkleber“ leicht höhere Werte, insgesamt ist der Hohlraumgehalt aber recht gleichmäßig.

Es besteht eine leichte Tendenz zu höheren Scherkräften im Fall von niedrigeren Hohlraumgehalten der Deckschicht.

9.6 Platten 5 und 6: Einfluß Fräsen

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platten wurden aus Mischgut AC T 22 S und Mischgut AC 11 S hergestellt. Beide Platten wurden vor dem Aufbringen der Deckschicht AC 11 mit einer Handfräse gefräst (siehe Abbildungen). Platte 6 wurde mit einem Haftkleber HC 50 besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug 200g/m^2 .



Abbildung 9.6.1: Fräsen der Platte 5 und 6 mit einer Handfräse



Abbildung 9.6.2: Oberfläche der Platte 5 und 6 nach dem Fräsen

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.6.3 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung der Platten 5 und 6 für je 24 Bohrkerne mit und 24 Bohrkerne ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

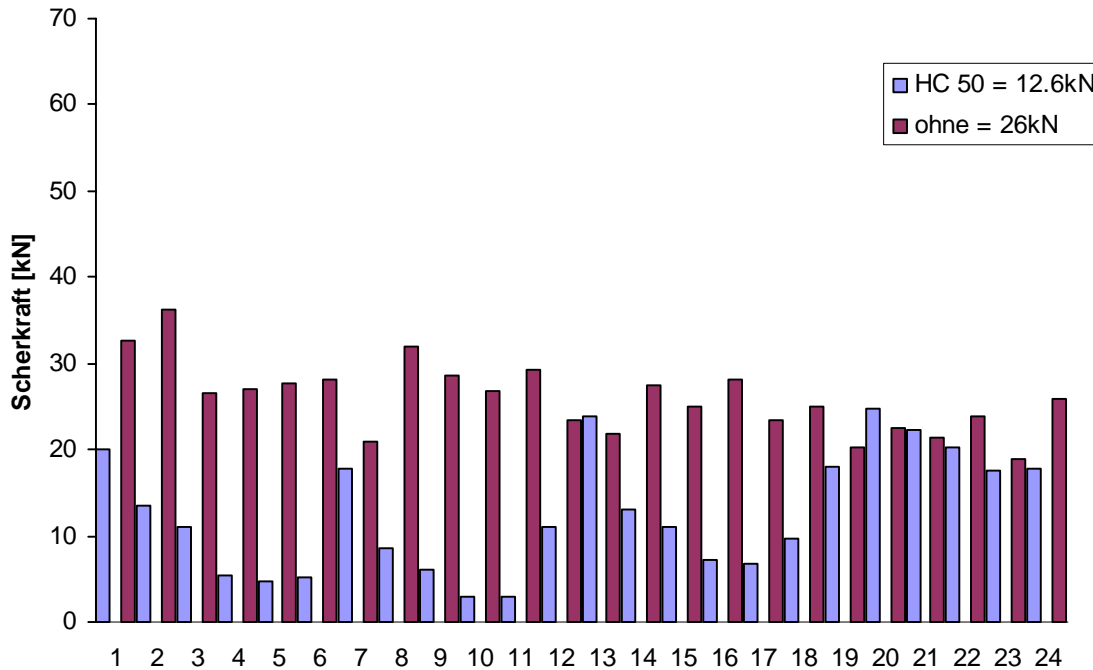
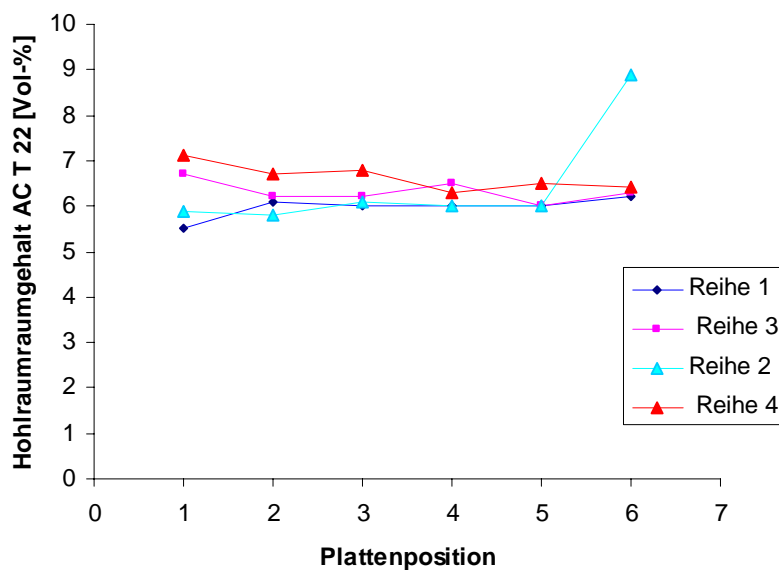


Abbildung 9.6.3: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platten 5 und 6

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.6.4 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht der Platte 5.



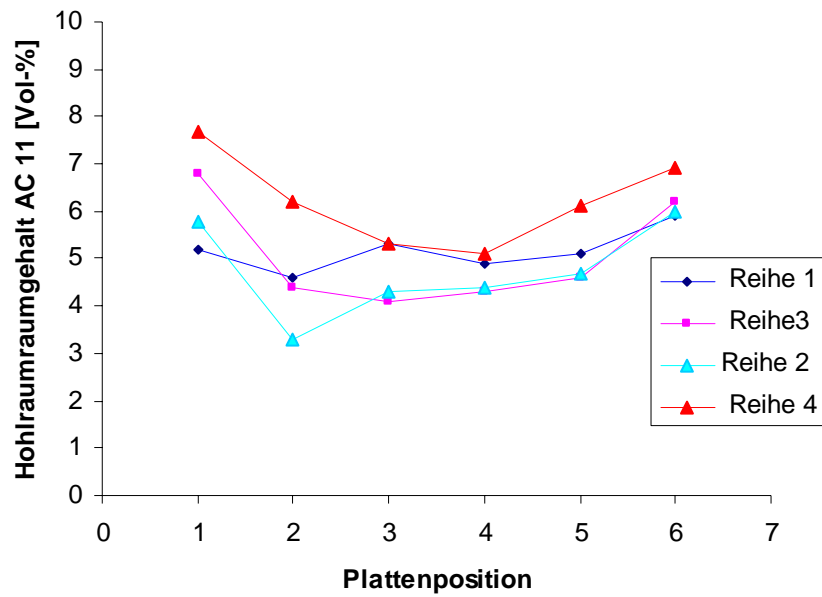
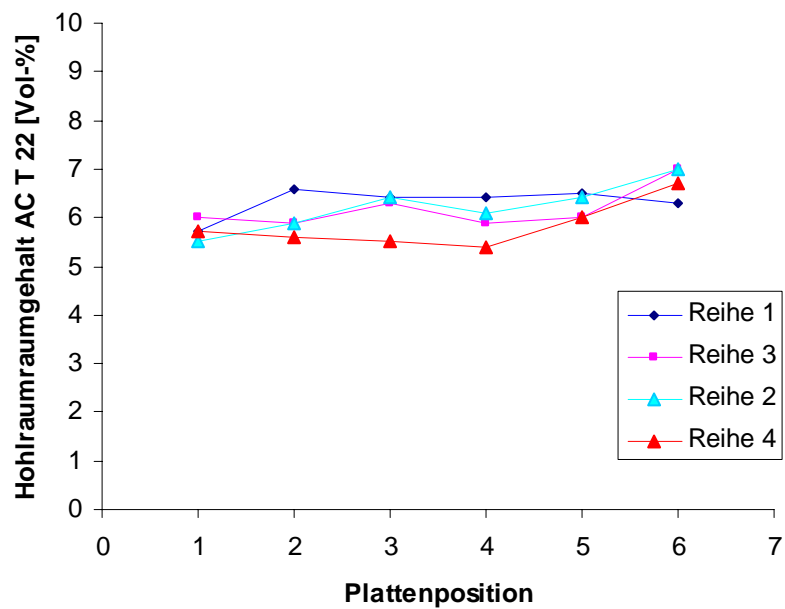


Abbildung 9.6.4: Hohlraumgehalt Platte 5 für AC T 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Abbildung 6.5.5 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht der Platte 6.



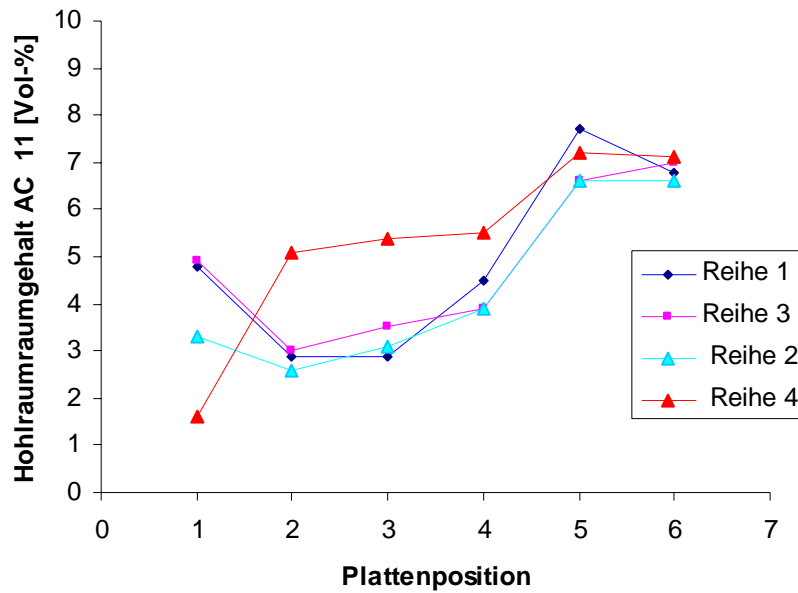


Abbildung 9.6.5: Hohlraumgehalt Platte 6 für AC T 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.6.6 zeigt die Scherkraft der Platten 5 und 6 in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11).

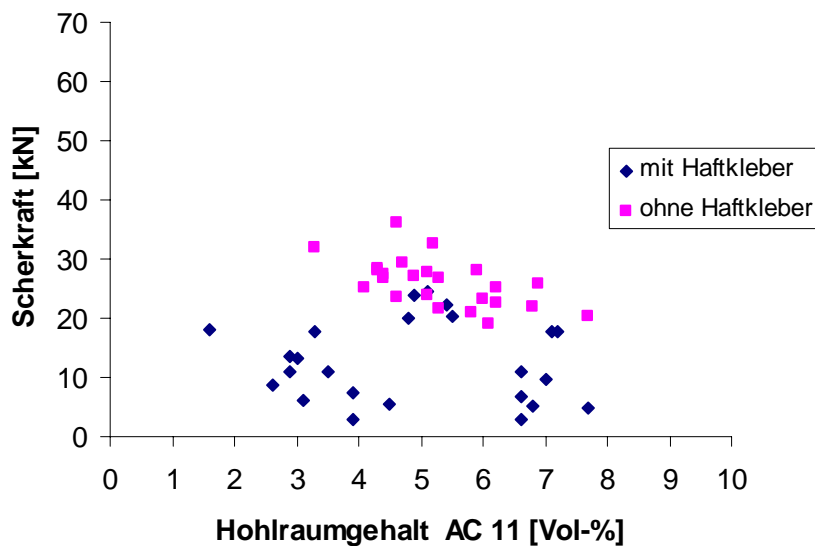


Abbildung 9.6.6: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 3 –24.7kN, Mittelwert: 12.6kN, Standardabweichung: 6.9kN

Ohne: 19– 36.3kN, Mittelwert: 26.0kN, Standardabweichung: 4.1kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 1.6 – 7.2Vol-%, Mittelwert: 4.9 Vol-%, Standardabweichung: 1.8kN

Ohne: 3.3 – 7.7Vol-%, Mittelwert: 5.3 Vol-%, Standardabweichung: 1.0kN

Hohlraumgehalt AC T 22:

HC 50: 5.4– 7.0Vol-%, Mittelwert: 6.1 Vol-%, Standardabweichung: 0.5kN

Ohne: 5.5 –7.7Vol-%, Mittelwert: 6.3Vol-%, Standardabweichung: 0.7kN

Die Scherkraft ohne Haftkleber ist im Mittel um ca. fast 14kN größer als die Scherkraft mit Haftkleber. Die Streuungen der Scherkräfte sind in beiden Fällen relativ groß.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AC 11) hat tendenziell für die Seite „ohne Haftkleber“ leicht höhere Werte, insgesamt ist der Hohlraumgehalt aber recht gleichmäßig.

9.7 Platte 7: Einfluß Schmutz vor Haftkleber

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut AC T 22 S und Mischgut AC 11 S nach der neuen Norm hergestellt. Vor dem Aufbringen der Deckschicht AC 11 wurde die Platte mit Feinkorund bestreut, um so eine Verschmutzung der Straße während des Einbaus zu simulieren (siehe auch *Abbildung 9.7.1* und *9.7.2*). Der Korund wurde mit einem feinen Sieb aufgebracht, die Dosierung betrug ca. 360g/m². Die linke Plattenhälfte wurde nach dem Aufbringen des Korunds mit einem Haftkleber HC 50 besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug wieder 200g/m².



Abbildung 9.7.1: Platte 7 nach Aufbringen des Feinkorunds (Schmutz)



Abbildung 9.7.2: Platte 7 nach Aufbringen des Feinkorunds (Schmutz), Nahaufnahme

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.7.3 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkern mit und 12 Bohrkern ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

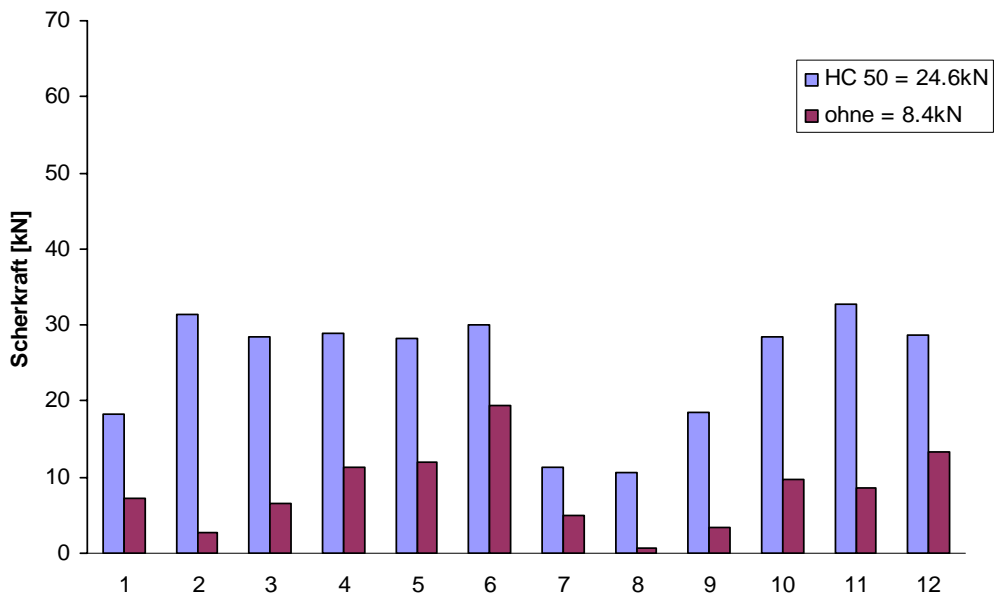
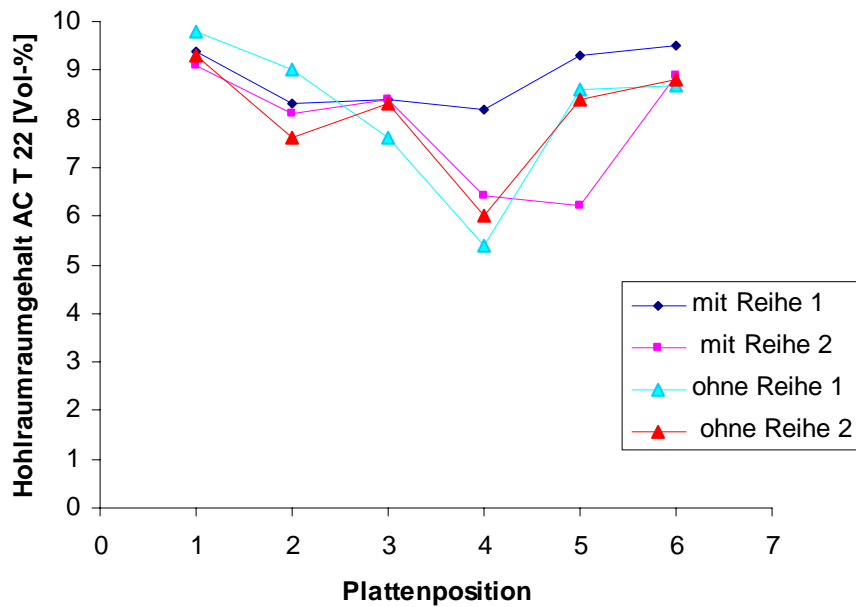


Abbildung 9.7.3: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 7

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.7.4 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.



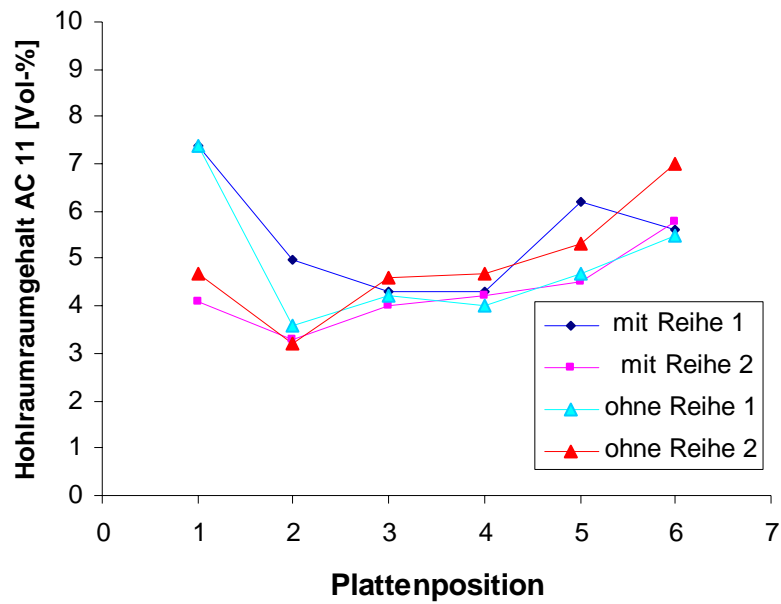


Abbildung 9.7.4: Hohlraumgehalt für AC T 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.7.5 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11)

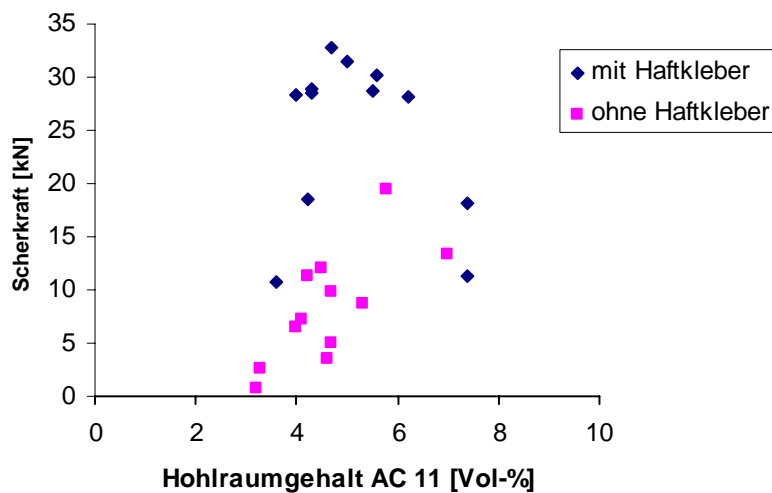


Abbildung 9.7.5: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 10.7 – 32.7kN, Mittelwert: 24.6kN, Standardabweichung: 7.8kN

Ohne: 0.7 – 19.4kN, Mittelwert: 8.4kN, Standardabweichung: 5.2kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 4.0– 7.4Vol-%, Mittelwert: 5.2 Vol-%, Standardabweichung: 1.3kN

Ohne: 3.3 – 7.0Vol-%, Mittelwert: 4.6 Vol-%, Standardabweichung: 1.1kN

Hohlraumgehalt AC T 22:

HC 50: 5.4 – 9.8Vol-%, Mittelwert: 8.5 Vol-%, Standardabweichung: 1.2kN

Ohne: 6.0– 9.3Vol-%, Mittelwert: 8.0 Vol-%, Standardabweichung: 1.2kN

Die Scherkraft mit Haftkleber ist ca. 16kN größer als diejenige ohne Haftkleber. Bei den Bohrkernen ohne Haftkleber ist die Scherkraft teilweise extrem klein (0.7, 2.6 und 3.5kN). Bei beiden Varianten gibt es relativ große Streuungen.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AC 11) und der unteren Schicht (AC T 22) sind für beide Plattenseiten relativ gleichmäßig. Die Streuungen zwischen 3.3 bzw. 4 Vol-% und 7.4 bzw. 7 Vol-% liegen im Rahmen des Üblichen.

9.8 Platte 8: Einfluß Schmutz nach Haftkleber

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut AC T 22 S und Mischgut AC 11 S nach der neuen Norm hergestellt. Vor dem Aufbringen der Deckschicht AC 11, aber nach dem Aufbringen des Haftklebers HC 50 auf die linke Plattenhälfte wurde die Platte mit Feinkorund bestreut. Der Korund wurde mit einem feinen Sieb aufgebracht, die Dosierung betrug ca. 360g/m². Die Dosierung des Haftklebers betrug 200g/m².

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.8.1 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkern mit und 12 Bohrkern ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

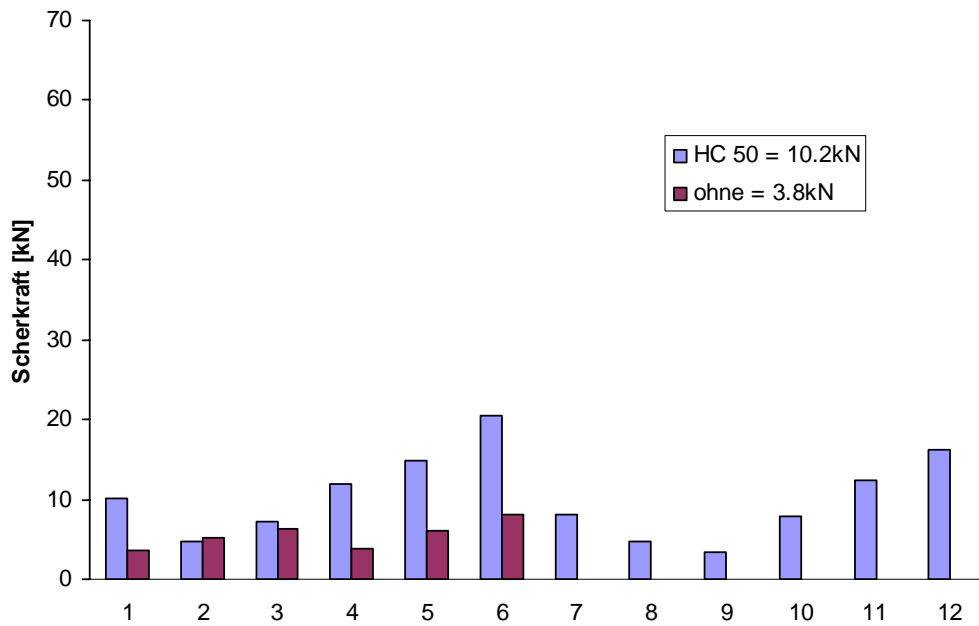
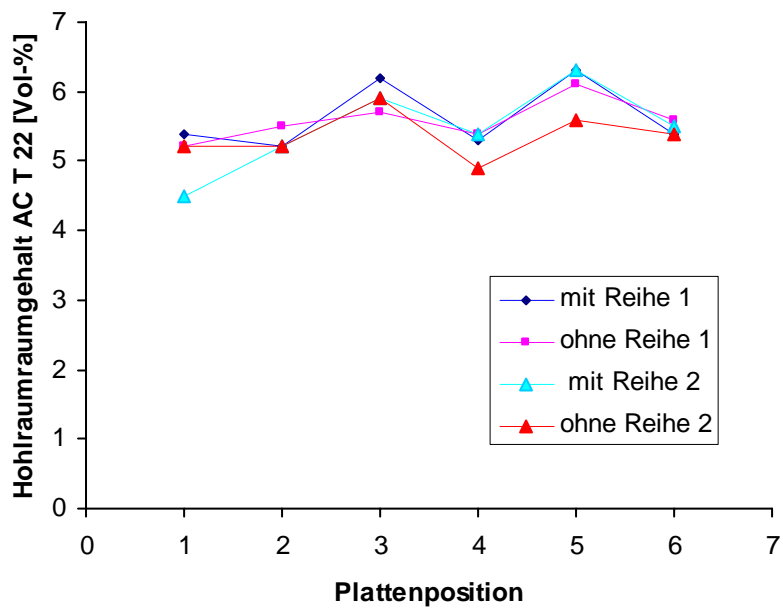


Abbildung 9.8.1: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 8, BK 8 bis 12 ohne Haftkleber waren bereits beim Bohren gebrochen

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.8.2 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.



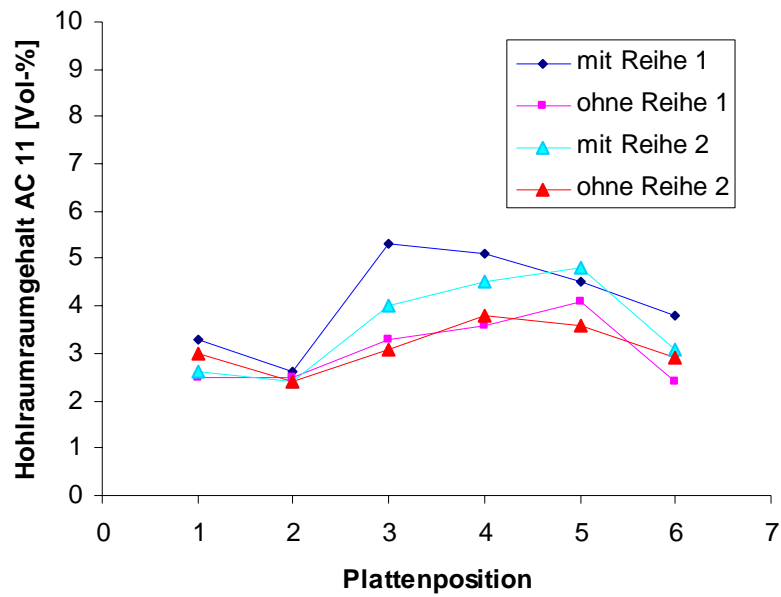


Abbildung 9.8.2: Hohlraumgehalt für AC T 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.8.3 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11)

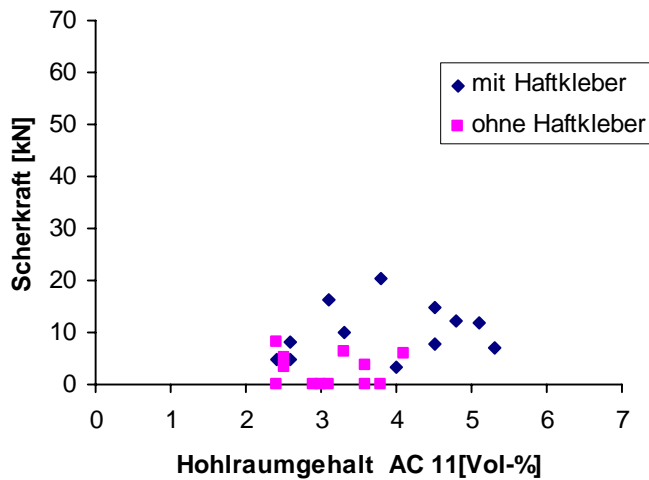


Abbildung 9.8.3: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 3.4– 20.4kN, Mittelwert: 10.2kN, Standardabweichung: 5.2kN

Ohne: 0 (gebrochen) – 8.1kN, Mittelwert: 2.8kN, Standardabweichung: 3.1kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 2.6– 4.8Vol-%, Mittelwert: 3.8 Vol-%, Standardabweichung: 1.0kN

Ohne: 2.5 – 4.1Vol-%, Mittelwert: 3.8 Vol-%, Standardabweichung: 0.6kN

Hohlraumgehalt AC T 22:

HC 50: 5.2 –6.3Vol-%, Mittelwert: 5.6 Vol-%, Standardabweichung: 0.5kN

Ohne: 4.9– 6.1Vol-%, Mittelwert: 5.5 Vol-%, Standardabweichung: 0.3kN

Die Scherkraft mit Haftkleber ist ca. 8kN größer als diejenige ohne Haftkleber. Bei den Bohrkernen ohne Haftkleber ist die Scherkraft teilweise extrem klein bzw. in der Hälfte der Fälle brechen die Bohrkernkerne schon bei der Entnahme. Bei beiden Varianten gibt es relativ große Streuungen.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AC 11) und der unteren Schicht (AC T 22) sind für beide Plattenseiten sehr gleichmäßig. Für die obere Schicht (AC 11) liegt der Hohlraumgehalt für die Bohrkernkerne mit Haftkleber sogar tendenziell etwas höher.

9.9 Platte 9: Schmutz und Feuchte vor Haftkleber

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut AC T 22 S und Mischgut AC 11 S nach der neuen Norm hergestellt. Vor dem Aufbringen der Deckschicht AC 11 und dem Haftkleber wurde die Platte mit Feinkorund, der im Verhältnis 2.5:1 mit Wasser gemischt wurde, bestrichen, um so eine Verschmutzung der Straße während des Einbaus zu simulieren (siehe auch *Abbildung 9.9.1* und *9.9.2*). Der Korund wurde mit dem Wasser gemischt und mit Hilfe einer Bürste gleichmäßig auf der Belagsoberfläche verteilt. Die Dosierung betrug ca. 1000g/m². Die linke Plattenhälfte wurde nach dem Aufbringen des Korunds mit einem Haftkleber HC 50 besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug wieder 200g/m².



Abbildung 9.9.1: Platte 9 während des Aufbringens des mit Wasser gemischten Feinkorunds



Abbildung 9.9.2: Platte 9 nach Aufbringen des mit Wasser gemischten Feinkorunds, Nahaufnahme

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.9.3 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkern mit und 12 Bohrkern ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

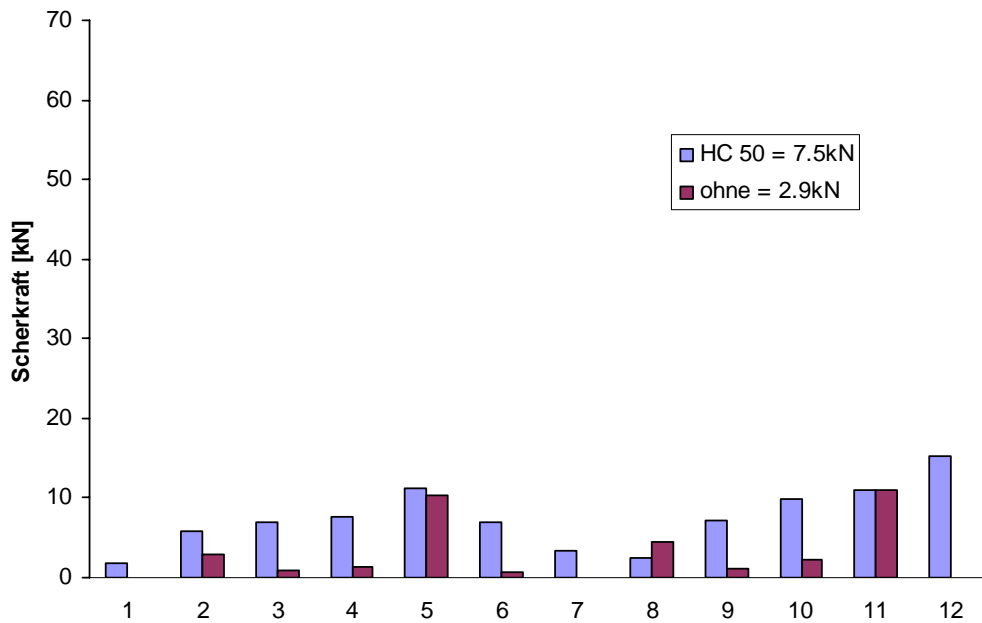
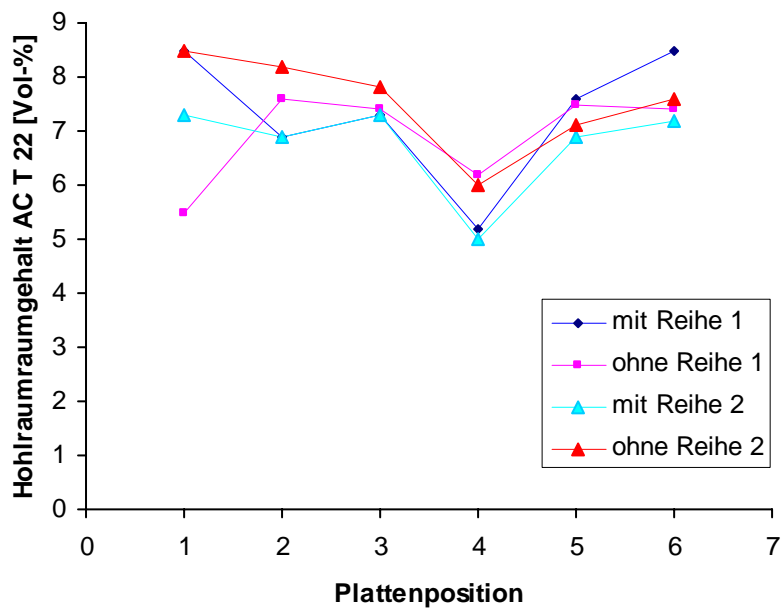


Abbildung 9.9.3: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 9, BK 8-12 ohne Haftkleber waren bereits beim Bohren gebrochen

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.9.4 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.



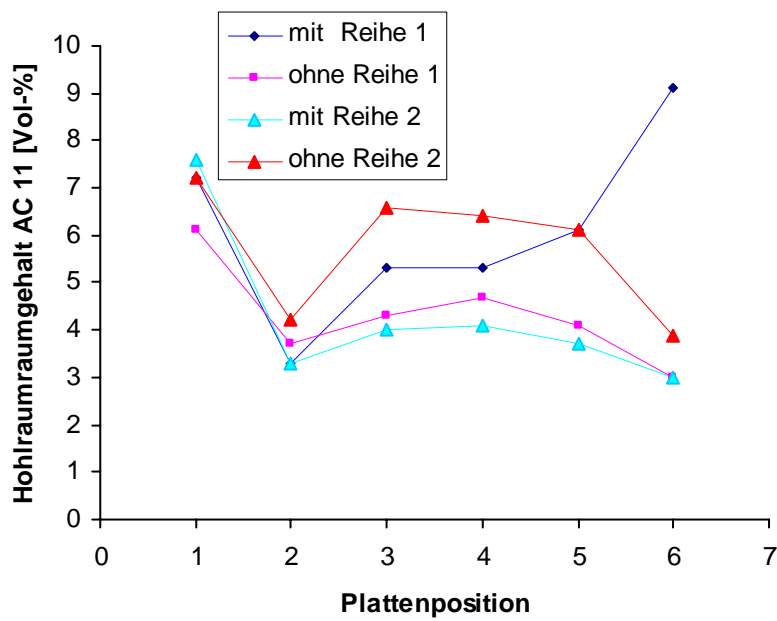


Abbildung 9.9.4: Hohlraumgehalt für AC T 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.9.5 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11)

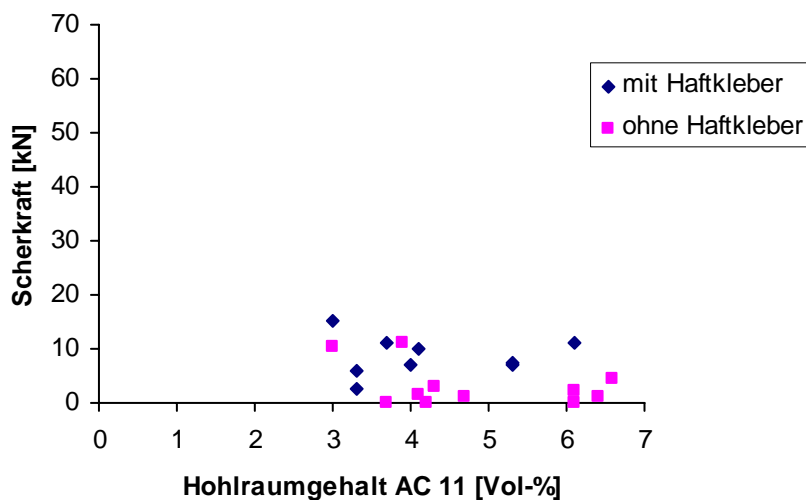


Abbildung 9.9.5: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 1.9– 11.1kN, Mittelwert: 7.5kN, Standardabweichung: 3.9kN

Ohne: 0 (gebrochen) –11.1kN, Mittelwert: 2.9kN, Standardabweichung: 3.9kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 3.0– 9.1Vol-%, Mittelwert: 5.2 Vol-%, Standardabweichung: 2.0kN

Ohne: 3.0 – 7.2Vol-%, Mittelwert: 5.0 Vol-%, Standardabweichung: 1.4kN

Hohlraumgehalt AC T 22:

HC 50: 5.0 –8.5Vol-%, Mittelwert:7.1 Vol-%, Standardabweichung: 1.1kN

Ohne: 5.5– 8.5Vol-%, Mittelwert:7.2 Vol-%, Standardabweichung: 0.9kN

Die Scherkraft mit Haftkleber ist ca. 4kN größer als diejenige ohne Haftkleber. Bei den Bohrkernen ohne Haftkleber ist die Scherkraft teilweise extrem klein oder die Bohrkern brechen schon bei der Entnahme. Auch bei der Variante mit Haftkleber gibt es teilweise sehr kleine Scherkräfte, d.h. bei beiden Varianten sind die relativ Streuungen groß.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AC 11) und der unteren Schicht (AC T 22) sind für beide Plattenseiten relativ gleichmäßig. Für die obere Schicht (AC 11) liegt der Hohlraumgehalt für die Bohrkern mit Haftkleber sogar tendenziell etwas höher.

9.10 Platte 10: Schmutz und Feuchte nach Haftkleber

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut AC T 22 S und Mischgut AC 11 S nach der neuen Norm hergestellt. Vor dem Aufbringen der Deckschicht AC 11, aber nach dem Aufbringen des Haftklebers HC 50 auf die linke Plattenhälfte (Dosierung $200\text{g}/\text{m}^2$), wurde die Belagsoberfläche der unteren Schicht mit Feinkorund, der im Verhältnis 2.5:1 mit Wasser gemischt wurde, bestrichen. Der Korund wurde mit Wasser gemischt und mit Hilfe einer Bürste gleichmäßig auf der Belagsoberfläche verteilt. Die Dosierung betrug ca. $1000\text{g}/\text{m}^2$.

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.10.1 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkern mit und 12 Bohrkern ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

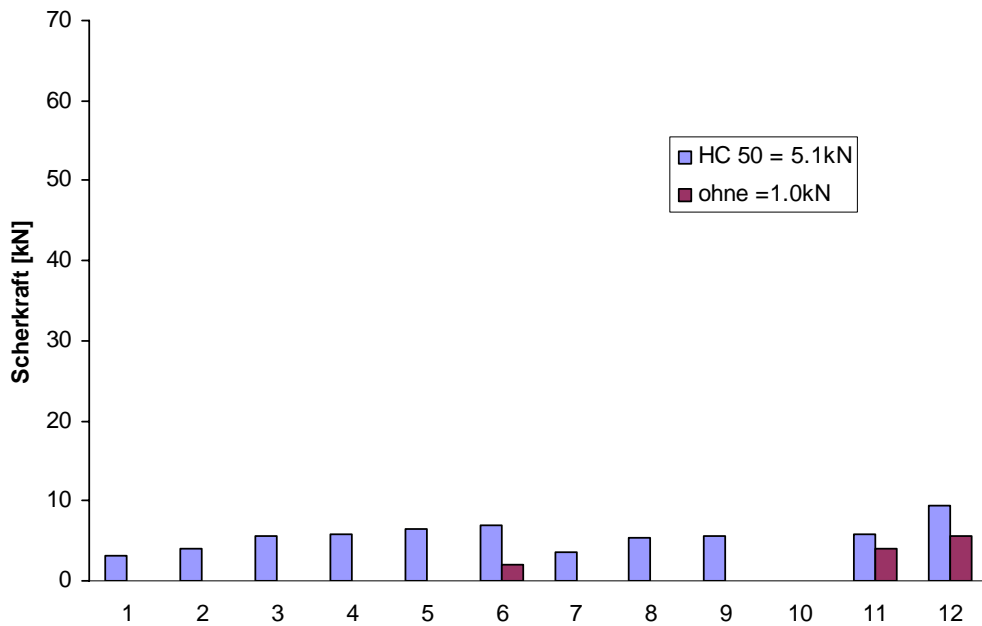
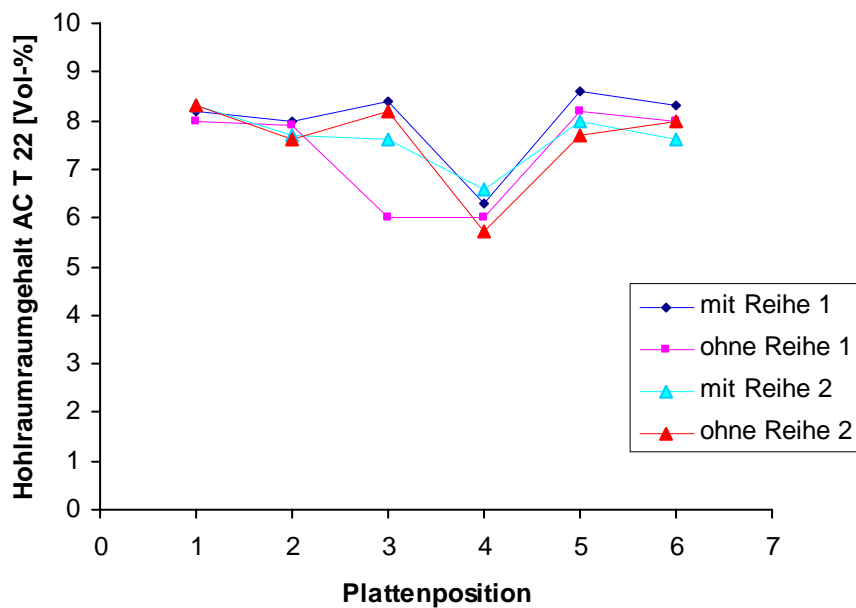


Abbildung 9.10.1: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 8, BK 8-12 ohne Haftkleber waren bereits beim Bohren gebrochen

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.10.2 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.



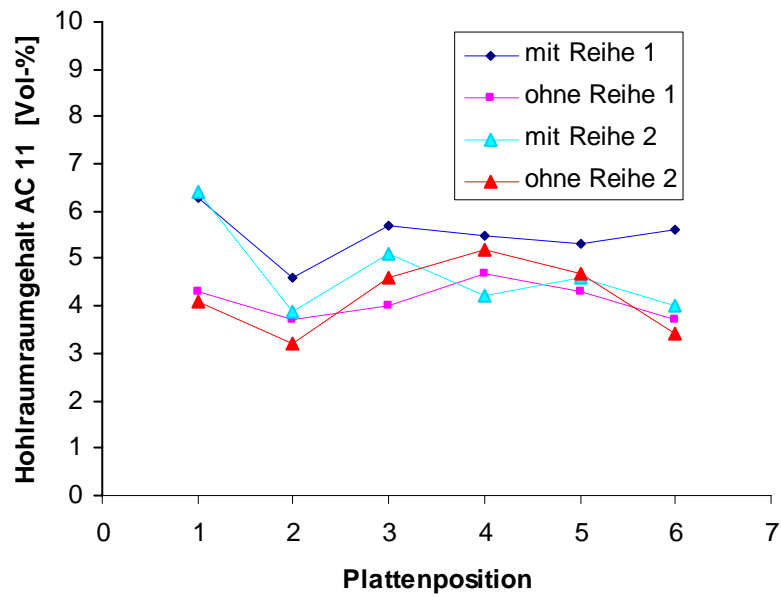


Abbildung 9.10.2: Hohlraumgehalt für AC T 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.10.3 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11)

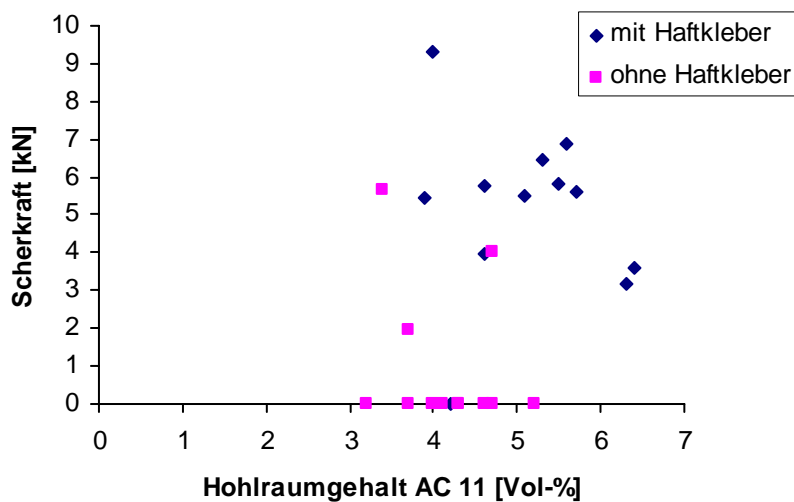


Abbildung 9.10.3: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 0 (gebrochen)– 6.9kN, Mittelwert: 5.1kN, Standardabweichung: 2.7kN

Ohne: 0 (gebrochen) – 5.7kN, Mittelwert: 1.0kN, Standardabweichung: 1.9kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 3.9– 6.4Vol-%, Mittelwert: 5.1 Vol-%, Standardabweichung: 0.9kN

Ohne: 3.2 – 5.0Vol-%, Mittelwert: 4.2 Vol-%, Standardabweichung: 0.6kN

Hohlraumgehalt AC T 22:

HC 50: 5.7 –8.3 Vol-%, Mittelwert: 7.8 Vol-%, Standardabweichung: 0.7kN

Ohne: 4.9– 6.1Vol-%, Mittelwert: 7.5 Vol-%, Standardabweichung: 1.0kN

Die Scherkraft mit Haftkleber ist ca. 4kN größer als diejenige ohne Haftkleber. Bei den Bohrkernen ohne Haftkleber brechen die Bohrkern bis auf 3 Bohrkern alle schon während der Entnahme.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AC 11) und der unteren Schicht (AC T 22) sind für beide Plattenseiten sehr gleichmäßig. Für die obere Schicht (AC 11) liegt der Hohlraumgehalt für die Bohrkern mit Haftkleber sogar tendenziell etwas höher.

9.11 Platte 11: Lagerung (gelagerte Platte)

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut AC T 22 S und Mischgut AC 11 S nach der neuen Norm hergestellt. Die linke Plattenhälfte wurde mit einem Haftkleber HC 50 besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug 200g/m². Vor der Entnahme der Bohrkern wurde die Platte 2 Monate im Freien gelagert. Die Lagerung erfolgte während der Sommermonate (Juni bis August), die Temperaturen lagen zwischen ca. 10°C und 35°C und es gab teilweise starke Regenfälle.

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.11.1 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkern mit und 12 Bohrkern ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

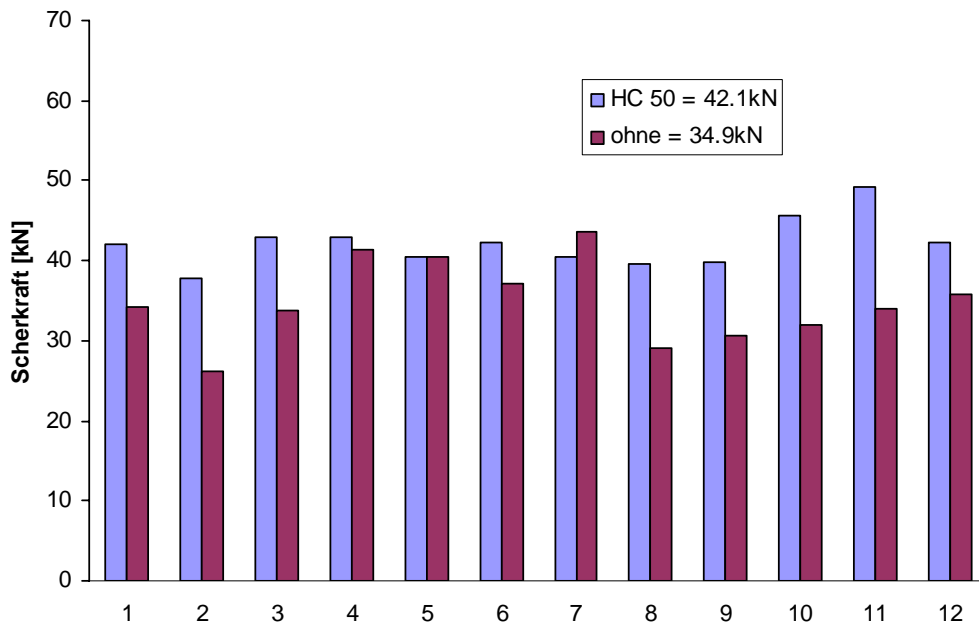
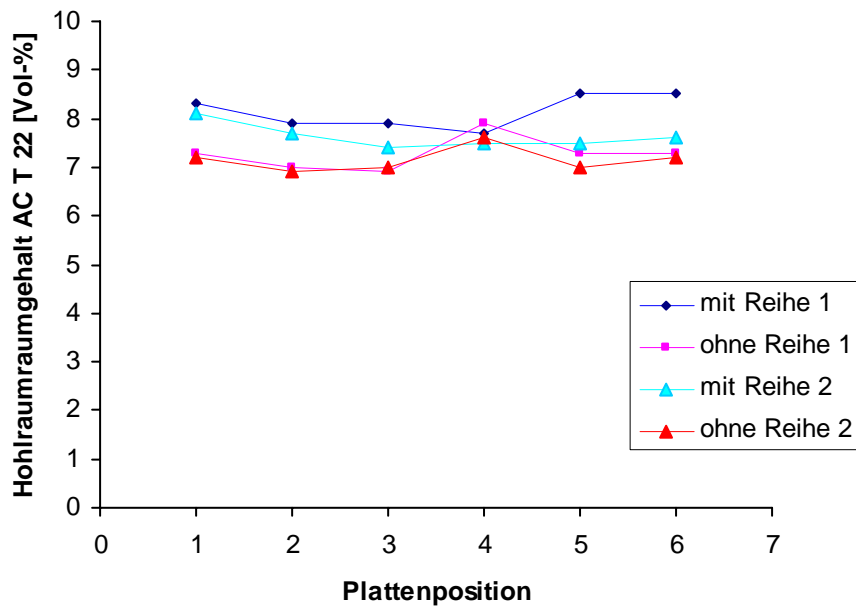


Abbildung 9.11.1: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 11

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.11.2 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.



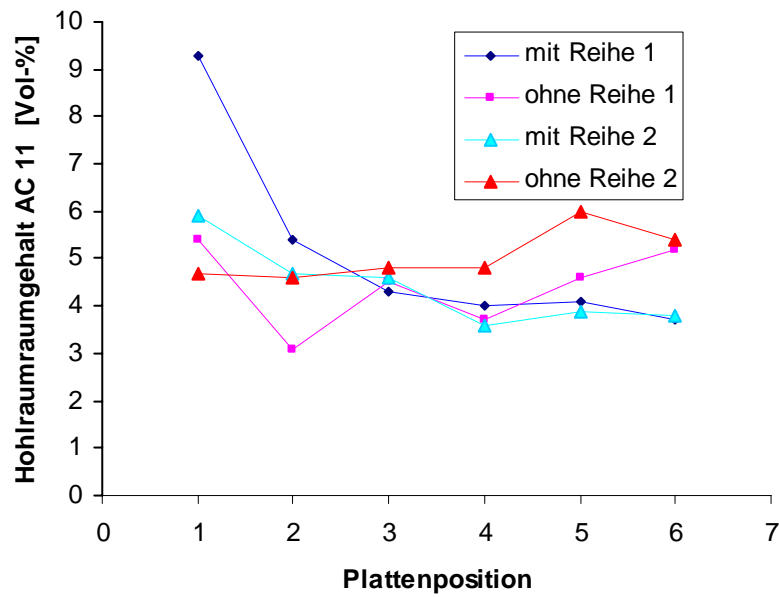


Abbildung 9.11.2: Hohlraumgehalt für AC T 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)

Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.11.3 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11)

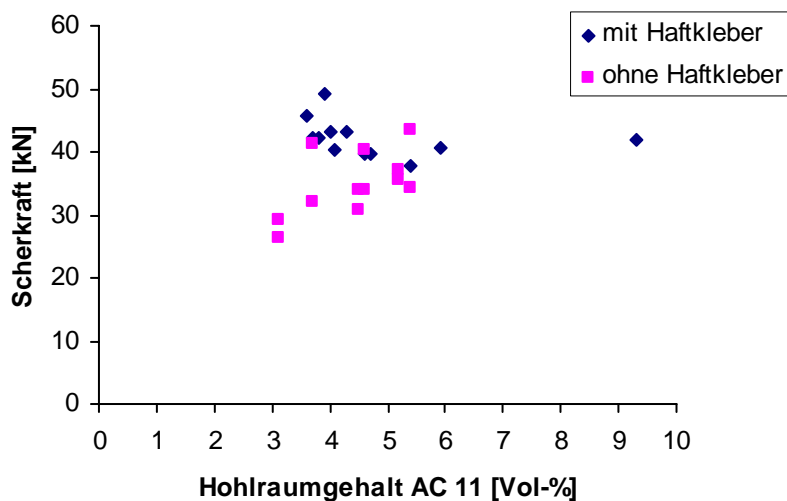


Abbildung 9.11.3: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 37.9– 49.2kN, Mittelwert: 42.1kN, Standardabweichung: 3.8kN

Ohne: 26.2– 43.5kN, Mittelwert: 34.9kN, Standardabweichung: 5.2kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 3.1– 9.3 Vol-%, Mittelwert: 4.8 Vol-%, Standardabweichung: 1.6kN

Ohne: 3.1– 5.4 Vol-%, Mittelwert: 4.4 Vol-%, Standardabweichung: 0.8kN

Hohlraumgehalt AC T 22:

HC 50: 7.4 –8.5 Vol-%, Mittelwert: 7.9 Vol-%, Standardabweichung: 0.4kN

Ohne: 6.9– 7.6Vol-%, Mittelwert: 7.2 Vol-%, Standardabweichung: 0.3kN

Die Scherkraft mit Haftkleber ist ca. 8kN größer als diejenige ohne Haftkleber. Insgesamt ist die Standardabweichung bei den Bohrkernen ohne Haftkleber etwas größer.

Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AC 11) mit Ausnahme eines Wertes der Plattenseite mit Haftkleber und der unteren Schicht (AC T 22) sind für beide Plattenseiten sehr gleichmäßig.

9.12 Platte 12: Lagerung (nicht gelagerte Platte)

Herstellung der Platte und Vorbehandlung

Die Platte wurde aus Mischgut AC T 22 S und Mischgut AC 11 S nach der neuen Norm hergestellt. Die linke Plattenhälfte wurde mit einem Haftkleber HC 50 besprüht. Die Dosierung des Haftklebers betrug 200g/m^2 . Im Unterschied zu Platte 11 wurde diese Platte direkt nach der Herstellung gebohrt und geprüft.

Ergebnisse der Abscherprüfung

Abbildung 9.12.1 zeigt die Ergebnisse der Abscherprüfung für je 12 Bohrkern mit und 12 Bohrkern ohne Haftkleber. Zusätzlich wurde der Mittelwert im Diagramm eingefügt.

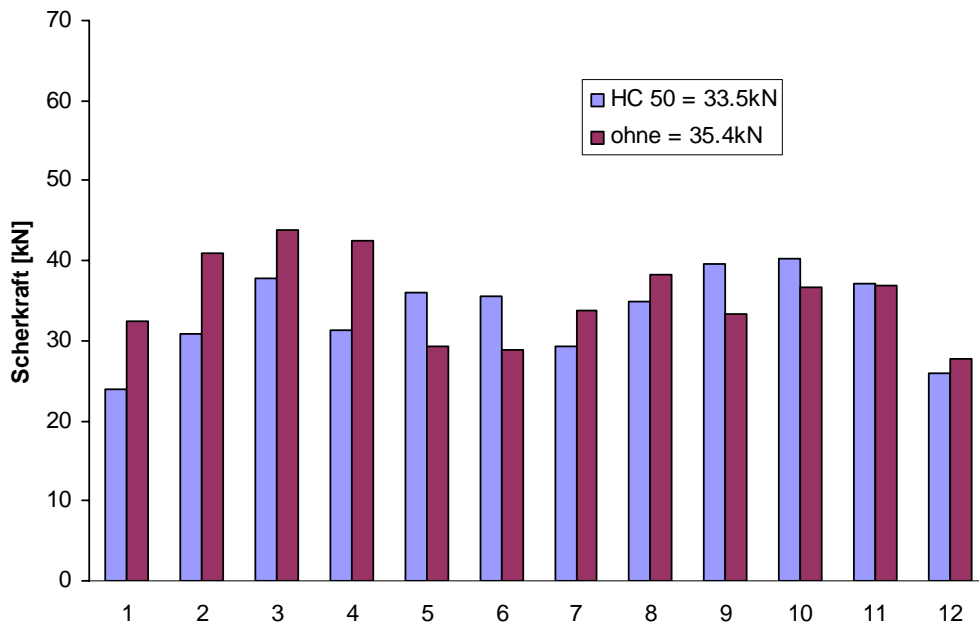


Abbildung 9.12.1: Ergebnisse der Abscherprüfung für Platte 12

Verdichtung (Hohlraumgehalt)

Abbildung 9.12.2 zeigt die Verteilung des Hohlraumgehalts getrennt für die untere und die obere Schicht.

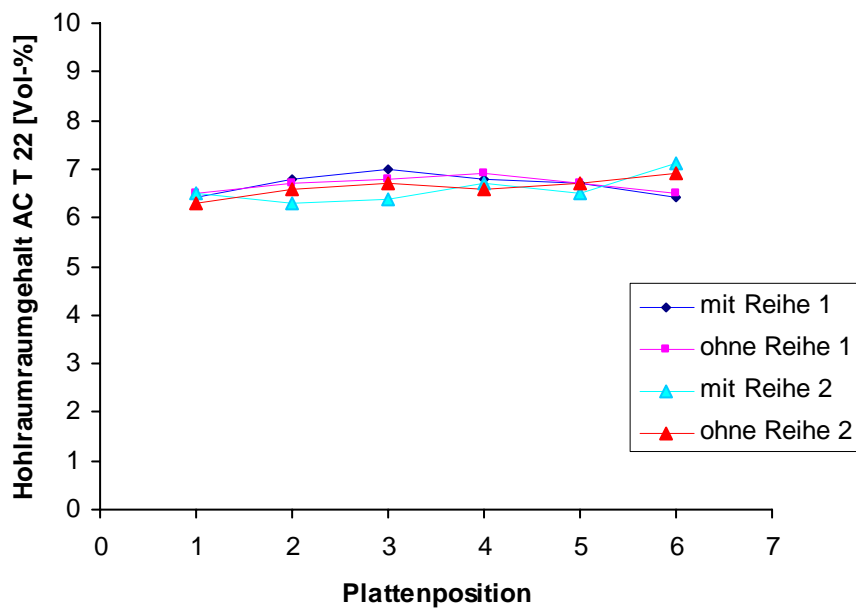
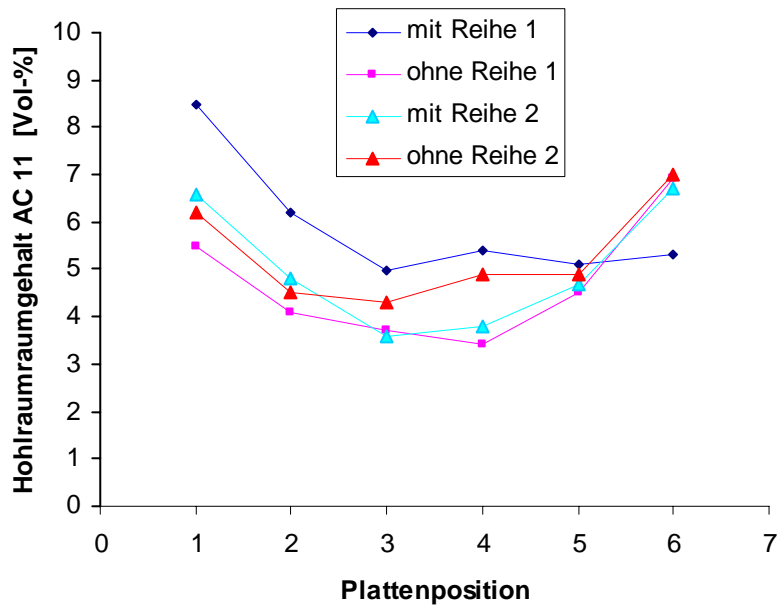


Abbildung 9.12.2: Hohlraumgehalt für AC T 22 (obere Abbildung) und AC 11 (untere Abbildung)



Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Scherkraft

Abbildung 9.12.3 zeigt die Scherkraft in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts der oberen Schicht (AC 11)

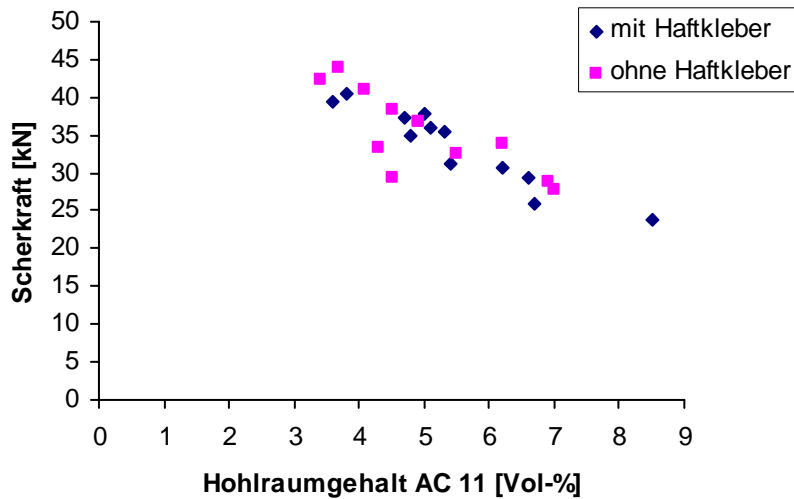


Abbildung 9.12.3: Zusammenhang Scherkraft und Hohlraumgehalt AC 11

Auswertung und Beurteilung

Scherkräfte:

HC 50: 23.9 – 40.3kN, Mittelwert: 33.5kN, Standardabweichung: 4.3kN

Ohne: 27.7 – 43.9kN, Mittelwert: 35.4kN, Standardabweichung: 5.4kN

Hohlraumgehalt AC 11:

HC 50: 3.6– 8.5Vol-%, Mittelwert: 5.5 Vol-%, Standardabweichung: 1.4kN

Ohne: 3.4 – 7.0Vol-%, Mittelwert: 5.0 Vol-%, Standardabweichung: 1.2kN

Hohlraumgehalt AC T 22:

HC 50: 6.3 –7.0 Vol-%, Mittelwert: 6.6Vol-%, Standardabweichung: 1.3kN

Ohne: 6.3– 6.9Vol-%, Mittelwert: 6.7 Vol-%, Standardabweichung: 1.2kN

Die Scherkraft mit Haftkleber ist ca. 2kN kleiner als diejenige ohne Haftkleber, d.h. es besteht kaum ein Unterschied zwischen der Haftung mit und ohne Haftkleber. Insgesamt ist die Standardabweichung bei den Bohrkernen ohne Haftkleber etwas größer.

Der Hohlraumgehalt der unteren Schicht (AC T 22) ist sehr gleichmäßig, für die obere Schicht (AC 11) variiert er leicht, wobei mit Ausnahme eines höheren Wertes die Verteilung für die Seite mit und ohne Haftkleber recht gleichmäßig ist. Dagegen zeigt sich hier tendenziell ein Zusammenhang zwischen niedrigerem Hohlraumgehalt der oberen Schicht und höheren Scherkräften bzw. umgekehrt.

9.13 Zusammenfassung der Resultate

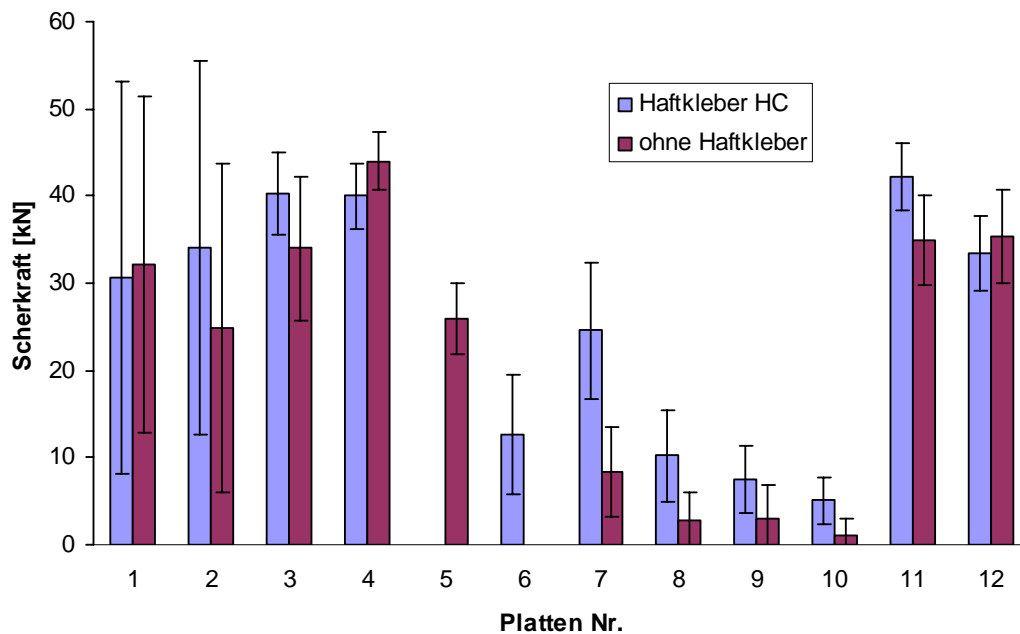


Abbildung 9.13.1: Scherkraft (Mittelwert aus 12 Prüfkörpern) und Standardabweichung für alle Platten.

Abbildung 9.13.2 zeigt eine Gegenüberstellung von maximaler Scherkraft und Hohlraumgehalt der oberen Schicht (AB bzw. AC 11). Der Hohlraumgehalt der oberen Schicht wurde gewählt, da er insgesamt mehr über die Plattenfläche variiert als derjenige der unteren Schicht. Für die Auswertung wurden nur Platten unbehandelten (d.h. nicht mit Schmutz, Wasser oder Fräsen) Oberflächen einbezogen, um nicht einen zusätzlichen Parameter in die Auswertung einfließen zu lassen.

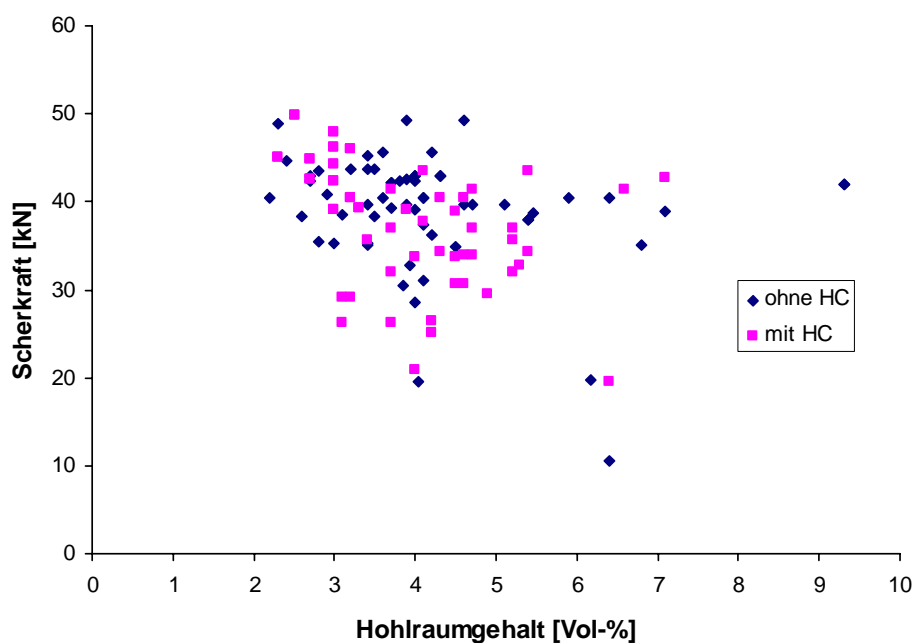


Abbildung 9.13.2: Gegenüberstellung von maximaler Scherkraft und Hohlraumgehalt

Tabelle 9.13.1: Platten mit Angabe der Vorbehandlung und maximalen Scherkräften

Platten Nr.	Mischgut	Haftkleber	Scherkräfte (Min - Max Mittelwert m)
1	AB 11 HMT 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 19.5 – 42.5kN, m: 32.2kN mit Haftkleber: 10.5 – 42.5kN, m: 30.7kN
2	AC 11 HMT 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 6.5 – 57.0kN, m: 24.9kN mit Haftkleber: 20.9 – 46.3kN, m: 34.0kN
3	AC 11 HMT 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 20.9 – 46.3kN, m: 34.0kN mit Haftkleber: 31.1 – 49kN, m: 40.3kN
4 „Einfluß polymermod. Haftkleber“	AC 11 HMT 22	HC 60 P halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 39.3 – 49.9kN, m: 44.0kN mit Haftkleber: 35.0 – 45.3kN, m: 40.0kN
5 „Einfluß Fräsen“	AC 11 AC T 22	Kein Haftkleber	ohne Haftkleber: 19– 36.3kN, m: 26.0kN
6 „Einfluß Fräsen“	AC 11 AC T 22	HC 50 ganze Platte 200g/m ²	mit Haftkleber: 3.0 – 24.7kN, m: 12.6kN
7 „Einfluß Schmutz vor Haftkleber“	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 0.7 – 19.4kN, m: 8.4kN mit Haftkleber: 10.7 – 32.7kN, m: 24.6kN
8 „Einfluß Schmutz nach Haftkleber“	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 0 (gebrochen) – 8.1kN, m: 2.8kN mit Haftkleber: 3.4– 20.4kN, m: 10.2kN
9 „Einfluß Schmutz und Feuchte vor Haftkleber“	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 0 (gebrochen) – 11.1kN, m: 2.9kN mit Haftkleber: 1.9 – 11.1kN, m: 7.5kN
10 „Einfluß Schmutz und Feuchte nach Haftkleber“	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 0 (gebrochen) – 5.7kN, m: 1.0kN, mit Haftkleber: 0 (gebrochen) – 6.9kN, m: 5.1kN
11 „Einfluß Lagerung“	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 26.2 – 43.5kN, m: 34.9kN mit Haftkleber: 37.9 – 49.2kN, m: 42.1kN
12 „Einfluß Lagerung“	AC 11 AC T 22	HC 50 halbe Platte 200g/m ²	ohne Haftkleber: 27.7 – 43.9kN, m: 35.4kN mit Haftkleber: 23.9 – 40.3kN, m: 33.5kN

10 AUSWERTUNG/ZUSAMMENFASSUNG

10.1 Allgemein

Mit der im Forschungsprojekt gewählten Verdichtung mit dem südafrikanischen MLS Verdichter konnte eine im Vergleich zu Gyrator- und LCPC-Spurrinnenesterverdichtung praxisnahe Verdichtungsmethode gefunden werden. Der Nachteil dieser Verdichtungsmethode lag zum einen in der Schwierigkeit einen über die gesamte Einbaufläche gleichmäßigen Hohlraumgehalt zu erzielen, zum anderen waren im Normalfall (Platten ohne Schmutz, Feuchtigkeit oder Fräsen) die gemessenen Scherkräfte mit Mittelwerten von mehr als 30 kN deutlich höher als Werte, die normalerweise in der Praxis erreicht werden.

Wenn man die Ergebnisse des Forschungsprojektes insgesamt betrachtet, scheint sich die Verwendung eines Haftklebers im Großen und Ganzen positiv auf den Verbund von Deck- und Tragschicht auszuwirken. Nur bei 3 Platten ergeben sich für den Fall kein Haftkleber, leicht höhere Werte. Wobei bei einer dieser Platten aber auch extrem hohe Streuungen der Schichtenverbundwerte festgestellt wurden.

Interessanterweise scheint nicht nur die Verbundwirkung insgesamt, sondern auch die Wirksamkeit von Haftklebern auf gefrästen Flächen dagegen eingeschränkt zu sein.

Ebenso ist die Verwendung von polymermodifizierten Haftklebern auf Grund der hier vorliegenden Untersuchung zumindest im Falle von Belägen mit nicht modifizierten Bindemitteln nicht mit einer Verbesserung des Schichtenverbunds gleichzusetzen.

Insbesondere im Fall von Schmutz und Feuchtigkeit (Nässe) zeigt sich aber deutlich das Potential eines Haftklebers und weist damit auf die große Bedeutung von Haftklebern in der Baupraxis hin, wobei die Situation von Schmutz und Feuchtigkeit (Nässe) vor der Applikation des Haftklebers der Situation von Schutz und Feuchtigkeit nach der Applikation des Haftklebers vorzuziehen ist.

Die Lagerung der Platte (Lagerung im Sommer) wirkt sich positiv auf den Haftkleber aus, während die maximalen Scherkräfte auf der Seite ohne Haftkleber mit und ohne Lagerung konstant bleiben.

10.2 Einfluß Verdichtungsart (LCPC-MLS)

Wie das Forschungsprojekt gezeigt hat, besitzt die Art Verdichtung einen großen Einfluß auf die Werte der maximalen Scherkräfte und damit auf die Beurteilung der Wirksamkeit von Haftklebern. Die Laborverdichtung mit dem LCPC Spurrinnenverdichter führte zu so unrealistisch hohen Werten für den Schichtenverbund, daß eine Unterscheidung zwischen der Wirkungsweise verschiedener Haftkleber nicht mehr möglich war.

Die Verdichtung mit dem MLS Verdichter ergab deutlich realistischere Werte, war aber mit der Schwierigkeit eines über die Einbaufläche konstanten Hohlraumgehalts behaftet.

Die in diesen Forschungsprojekt gemachten Untersuchungen zeigen daher einmal wieder die Schwierigkeit und Problematik der Übertragung von Laborresultaten bzw. –erkenntnissen auf die reale Baustellensituation.

10.3 Einfluß Hohlraumgehalt

Wie *Abbildung 9.13.2* zeigt, gibt es keine lineare Korrelation zwischen dem Wert der maximalen Scherkraft und dem Wert des Hohlraumgehalts der oberen Schicht. Der Großteil der hier untersuchten Hohlraumgehalte lagen dabei zwischen ca. 3 und 5.5 Vol-%. Wie aus der Auswertung einzelner Platten hervorgeht, gibt es aber bei großen Streuungen des Hohlraumgehalts (siehe beispielsweise Platte 3 mit Hohlraumgehalten zwischen ca. 2 und 9 Vol-%) jedoch eine Tendenz von größeren Scherkräften bei kleineren Hohlraumgehalten und umgekehrt besteht.

10.4 Einfluß polymermodifizierter Haftkleber

Wie die Ergebnisse der Forschung nahelegen, bietet die Verwendung eines polymermodifizierten Haftklebers keine Vorteile gegenüber einem konventionellen, zumindest solange es sich um Beläge mit nicht polymermodifizierten Bindemitteln handelt. Wie sich ein polymermodifizierter Haftkleber auf Beläge mit modifizierten Bindemitteln auswirkte, sollte aber noch näher untersucht werden. Auch wurden bei dieser Platte – auch ohne Haftkleber - insgesamt sehr hohe Werte für den Schichtenverbund erzielt.

10.5 Einfluß Oberflächenstruktur (Fräsen)

Wirkt sich Fräsen eines Belags, wie auch schon an anderer Stelle gezeigt werden konnte [12], nicht unbedingt positiv auf den Schichtenverbund aus, so zeigen die vorliegenden Untersuchungen, daß bei gefrästen Oberflächen auch das Aufbringen eines Haftklebers eher nachteilig ist, d.h. es werden ohne Haftkleber deutlich höhere Scherkräfte erreicht als bei der Verwendung eines Haftklebers. Dabei kann vermutet werden, daß der Haftkleber im Fall der gefrästen Belagsoberfläche zu einer Art Trennschicht führt, die die Haftung zwischen den Schichten verringert. Die hier gemachten Aussagen bestätigen zwar andere von der Empa durchgeführte Forschungen, sie stehen aber eindeutig im Widerspruch zu in der Praxis gemacht Erfahrungen. In diesen Zusammenhang sollte daher darauf hingewiesen werden, daß hier einerseits die Art und Richtung des Fräsens sicher eine Rolle spielen, andererseits auch das Bindemittel einen gewissen Einfluß haben könnte. Zudem hat die Art der Prüfung, die im Forschungsprojekt benutzte Abscherprüfung nach Leutner ohne Aufbringen einer Normalkraft, sicher auch einen Einfluß auf die Prüfergebnisse.

10.6 Einfluß Schmutz

Im Fall von Schmutz wird deutlich, welche große Bedeutung der Applikation von Haftkleber in einer realen Baustellensituation zukommt. Besonders, wenn die Verschmutzung vor der Applikation des Haftklebers erfolgte, kann der Haftkleber noch zu durchaus akzeptablen Verbundkräften führen.

Kommt es zu einer Verschmutzung nachdem der Haftkleber bereits appliziert wurde, ist sein Potential zwar eingeschränkt, aber es besteht trotz allem ein Vorteil gegenüber der Variante ohne Haftkleber.

10.7 Einfluß Schmutz und Feuchte

Auch im Fall von Schmutz und Feuchtigkeit (Nässe) zeigt sich die Wirksamkeit eines Haftklebers. Wird in diesem Extremfall ohne Haftkleber fast kein Verbund mehr erreicht, kann der Haftkleber doch noch eine wenn auch geringe Haftung sicherstellen. Auch hier ist es weniger schlimm, wenn Verschmutzung und Nässe bereits vor einer Haftkleberapplikation vorhanden sind.

10.8 Einfluß Alter (Lagerung)

Aufgrund der vorliegenden Untersuchung scheint das Alter, in diesem Fall die Lagerung der Platte, zumindest so wie sie hier durchgeführt wurde (Lagerung im Sommer, d.h. bei relativ warmen Temperaturen), sich positiv auf den Haftkleber auszuwirken und führt zu einer Zunahme der maximalen Scherkräfte um ca. 10kN.

11 UMSETZUNG UND EMPFEHLUNGEN

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit zeigen eindeutig die Vorteile der Verwendung von Haftklebern und führen zu der damit verbundenen Empfehlung, Haftkleber bei der Herstellung von bitumenhaltigen Belagsaufbauten generell zu verwenden.

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, besitzt Haftkleber besonders in situ, d.h. auf Baustellen, ein großes Potential und kann etwa vorhandene negative Einflüsse von Schmutz und Wasser zumindest teilweise ausgleichen. Im Rahmen der Normung sollte daher gerade bei Bauvorhaben, bei denen solche Phänomene zu erwarten sind, der Einsatz von Haftkleber zwingend vorgeschrieben werden.

Auch wenn im vorliegenden Forschungsprojekt mit der dargestellten Verdichtung mit dem südafrikanischen MLS Verdichter eine einigermaßen praxisnahe Verdichtungsmethode gefunden werden konnte, zeigen die recht hohen und damit von den Resultaten der Prüfungen auf Baustellen abweichenden maximalen Scherkräfte und die über den Plattenquerschnitt auftretenden Streuungen des Hohlraumgehaltes doch, daß die Simulation der Baustellenrealität im Labor nicht unbedingt immer gelingt und die Verhältnisse im Labor nicht ohne weiteres auf die Situation auf der Baustelle übertragbar sind. Aus diesem Grunde ist anzuraten, Teile der hier durchgeführten Untersuchungen an einer realen Baustelle (1:1 Versuchsstrecke) zu wiederholen, um so die gefundenen Ergebnisse zu stützen oder aber zu relativieren.

12 WEITERES VORGEHEN

Weiterer Forschungsbedarf besteht besonders im Hinblick auf die Verwendung von polymer-modifizierten Haftklebern. Dieser Frage müsste generell nachgegangen werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf die im Belag verwendeten Bindemittel (modifiziert/nicht modifiziert, bzw. modifizierte Deckschicht, unmodifizierte Trag- bzw. Binderschicht) gerichtet werden sollte.

Es empfiehlt sich auch, die Wirkung von Haftklebern auf gefrästen Belagsoberflächen in situ noch einmal genauer unter in Lupe zu nehmen. Die hier im Forschungsprojekt gemachten Aussagen, auch in Bezug auf eine Herabsetzung des Schichtenverbundes nach Leutner, werden zwar von anderen Empa Forschungen bestätigt, widersprechen aber der gängigen Praxis und Meinung, nach der der Verzahnungseffekt von gefrästen Oberflächen die Haftung verbessere.

Die Untersuchung der Langzeitwirkung von Haftklebern konnte in diesem Projekt ebenfalls nicht abschließend behandelt werden und bedarf weiterer Untersuchungen, bei denen etwa auch die Lagerung über einen längeren Zeitraum sowie unter anderen klimatischen Bedingungen (Kälte, Frost) näher zu betrachten wären.

13 DANK

In erster Linie möchten wir uns bei dem Bundesamt für Straßen ASTRA und dem schweizerischen Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS bedanken, welche mit ihrer Unterstützung die Durchführung dieser Arbeit erst ermöglicht haben.

Unser besonderer Dank gilt allen Mitgliedern der Expertenkommission EK 4.05 sowie der Firma CTW, namentlich Herrn Waldvogel, die diese Forschungsarbeit mit großer Hilfsbereitschaft und Entgegenkommen begleitet und unterstützt haben.

Ebenfalls würdigen möchten wir alle beteiligten Mitarbeiter der Abteilung Straßenbau/Abdichtungen, insbesondere Herrn H. Kienast, Herrn R. Takacs, Herrn M. Erb und Herrn C. Meierhofer. Bedanken möchten wir uns hier besonders bei Herrn R. Mastrangelo, der uns bei der Erstellung und Bearbeitung von Grafiken eine große Hilfe war.

14 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] G. Ziehm: Neue Entwicklungstendenzen bei bitumenhaltigen Vorspritzmitteln, Straße und Autobahn, Heft 8, 1987
- [2] Dünne und sehr dünne bituminöse Beläge. Bericht der Kommission XVI ATR, FGSV, VSS, Schriftenreihe Heft 17, 1987
- [3] J. Pös: Einflüsse auf den Schichtenverbund von Asphaltsschichten im Straßenbau, Dissertation TH Darmstadt, 1991
- [4] Schweizer Norm SN 640 431b: Asphaltbetonbeläge, Konzeption, Anforderungen, Ausführungen. Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 1997
- [5] SN 640431-1aNA, EN 13108-1, Asphaltmischgut – Anforderungen – Teil 1: Asphaltbeton, Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, 2005
- [6] Schweizer Norm SN 671961: Bituminöses Mischgut, Bestimmung des Schichtenverbunds (nach Leutner), Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2000
- [7] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien ZTV-SIB 90, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1997
- [8] C. Raab, M.N. Partl: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Haftvermittler auf den Schichtenverbund von Asphaltbelägen, EMPA Bericht Nr. 840621, 2002
- [8a] C. Raab, M.N. Partl: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Haftvermittler auf den Schichtenverbund von Asphaltbelägen II, EMPA Bericht Nr. 840765, 2003
- [9] C. Raab, M.N. Partl: Neue Erkenntnisse zum Schichtenverbund von Asphaltbelägen. Fachartikel, Bitumen 1/98
- [10] Norme française NF P 98-250-2, Kapitel 7.2.1.2 Compactage fort, Typ 2
- [11] C. Raab, M. N. Partl: Effect of Tack Coats on Interlayer Shear Bond of Pavements. 8th CAPSA Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, Sun City 12-16 Sept., ISBN 1-920-01718-6, pp 847...855, 2004
- [12] C. Raab, M. N. Partl: Adhesion Testing of Rehabilitated Concrete Pavements. 10th International Conference on Asphalt Pavements, Paper Nr. 79, Quebec, Canada, 2006
- [13] Schweizer Norm SN 670205 NA, EN 13808:2005: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel Rahmenwerk für die Spezifizierung kationischer bitumenhaltiger Emulsionen, Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2007
- [14] Y. Hachiya, K. Sato: Effect of tack coat on bonding characteristics at interface between asphalt concrete layers. 8th International Conference on Asphalt Pavements, Seattle Washington, 1997.
- [15] F. Canestrari, G. Ferrotti, M.N. Partl, E. Santagata: Advanced Testing and Characterization of Interlayer Shear Resistance. 84th TRB Annual Meeting, Washington DC, 2005
- [16] M. Recasens., P. Jiménez, B. Gonzalez, and J. Manuel: Evaluation of the effect of tack coat s. LCB shear test, 6th RILEM Symposium PTEBM'03, Zurich, Switzerland, 2003
- [17] H. Augustin: Design of Tack Coats. Proceedings 2nd World Congress on Emulsions, Bordeaux, 1997

- [18] S. L. Struthers, J. Richardson: Use of engineered bitumen emulsions as bond coats. Proceedings 2nd World Congress on Emulsions, Lyon, 2002
- [19] M. B. Kulkarni: Effect of Tack and Prime Coats, and Baghouse Fines on Composite asphalt Pavements. PHD Thesis North Carolina State University, 2004
- [20] S. Nikolova, K. Grossey: Study of the influence of types of emulsion on the shear stress. Proceedings 2nd World Congress on Emulsions, Lyon, 2002
- [21] D. Mrawira, D. Damunde: Revisiting the effectiveness of tack coats in HMA overlays: The shear strength of tack coats in young overlays. Proceedings 14th Annual Conference, Canadian Technical Asphalt Association, 1999
- [22] West, Randy C.: Zhang, Jingna; Moore, Jason: Evaluation of bond strength between pavement layers. NCAT Report 05-08, National Center for Asphalt Technology, 2005
- [23] L. N. Mohammad, M. A. Raqib, B. Huang: Influence of Asphalt Tack Coat Materials on the Interface Shear Strength. Louisiana Transportation Research Center, Baton Rouge, LA, 2002.
- [24] J. Uzan, M. Livneh, and Y. Eshed: Investigation of adhesion properties between asphaltic-concrete layers, Asphalt Paving Technology, Vol.47, 1978.
- [25] J. Romanoschi, J. B. Metcalf, The Characterization of Pavement Layer Interfaces, Proceedings of the 9th International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, 2002

15 ANHANG: ABKÜRZUNGEN

In diesem Bericht verwendete Abkürzungen:

A	Fläche
AB	Asphaltbeton Bezeichnung nach alter SN 640431
AC	Asphaltbeton für Deckschicht
AC T	Asphaltbeton für Tragschicht
ASTRA	Bundesamt für Straßen (CH)
d	Durchmesser, Plattendicke
DIN	Deutsche Industrie Norm
DS	Deckschicht
F_{max}	Maximalkraft
h	Höhe
HC	Haftkleber, kationisch
HC P	Haftkleber, kationisch, polymermodifiziert
HMT	Heißmischtragschicht nach alter SN 640431
LCPC	Laboratoire de ponts et chaussées
m	Mittelwert
MLS	Mobil load simulator
N	Anzahl Prüfkörper
QS	Qualitätssicherung
r	Radius
SAMI	Stress Absorbing Membrane Interlayer
SHRP	Strategic Highway Research Program (USA)
SMA	Splittmastixasphalt
SN	Schweizer Norm (CH)
SOP	Standard Operating Procedure
TS	Tragschicht
VSS	Schweizerischen Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute
ZTV	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien