



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Leistungsfähigkeit von Haftklebern in der Praxis

In situ service capability of tack coats

Performance des couches d'accrochages en pratique

**Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt, Oberbau und Geotechnik
Urs Schellenberg**

**Abteilung Strassenbau / Abdichtungen, Empa Dübendorf
Prof. Dr. Christiane Raab
Prof. Dr. Manfred Partl**

**Forschungsprojekt VSS 2008/401 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Dezember 2017

1622

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Leistungsfähigkeit von Haftklebern in der Praxis

In situ service capability of tack coats

Performance des couches d'accrochages en pratique

**Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt, Oberbau und Geotechnik
Urs Schellenberg**

**Abteilung Strassenbau / Abdichtungen, Empa Dübendorf
Prof. Dr. Christiane Raab
Prof. Dr. Manfred Partl**

**Forschungsprojekt VSS 2008/401 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Dezember 2017

1622

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Urs Schellenberg

Mitglieder

Prof. Dr. Christiane Raab

Prof. Dr. Manfred Partl

Federführende Fachkommission

Fachkommission 3: Baustoffe

Begleitkommission

Präsident

Adrian Zippo

Mitglieder

Paul Waldvogel

Bernhard Schmid

Sandra Dünner

Hans-Peter Beyeler

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Einleitung	13
2 Zielsetzung des Forschungsprojekts	15
2.1 Forschungsziel	15
2.2 Arbeitsplan	15
3 Stand der Forschung	17
3.1 Allgemeines	17
3.2 Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt VSS 1999/277	18
4 Baustellen und Versuchsstrecken	19
4.1 Allgemeines	19
4.1.1 Objekt Thalwil, Tischloostrasse: Typ 8 mit AC F 22 oder Fräsfläche	20
4.1.2 Objekt Stadel / Weiach, Kaiserstuhl- und Stadlerstrasse: Typ 8	22
4.1.3 Schlatt, Büel-, Heitertal-und Eggerstrasse: Typ 8 mit zwei Schichten und Typ 1	24
4.1.4 Objekt Oetwil am See, Chrüzlenstrasse: Typ 3	27
4.1.5 Objekt Buchs / Regensdorf, Furttal- und Buchserstrasse: Typ 10, auch mit AC 8 H	28
4.1.6 Objekt Dietikon / Oetwil a. d. L., Limmat- / Mutschellen-strasse, Typ 10 mit AC 8 H	31
4.1.7 A1 / Rastplatz Forrenberg Süd, Typ 10 mit AC 8 H	33
4.1.8 Richterswil, Glarnerstrasse, Typ 2 mit AC 8 H auf Basis NV mit Wachszusatz	34
4.1.9 Volketswil, Usterstrasse, Typ 7 mit AC MR 8	36
4.1.10 A1 / Trasse von km 327.000 – 327.500 im Bereich Rastplatz Forrenberg Süd, Typ 6 ..	42
4.1.11 A1 / Durchfahrtsstrecke Rastplatz Forrenberg Süd, Typ 10 mit Hartbitumen in der Binderschicht	44
5 Durchführung der Prüfungen	49
5.1 Baustellenbegleitung	49
5.2 Bohrkernentnahme	49
5.3 Prüfung des Schichtenverbunds nach Leutner	49
5.4 Applikationsbedingungen für die Baustellen	50
5.5 Weitere Resultate der Qualitätskontrolle des TBA	50
6 Untersuchungsergebnisse	51
6.1 Resultate der Prüfung des Schichtenverbunds nach Leutner	51
6.1.1 Objekt Thalwil, Tischloostrasse	51
6.1.2 Objekt Stadel / Weiach, Kaiserstuhl- und Stadlerstrasse	55
6.1.3 Schlatt, Büel-, Heitertal-und Eggerstrasse	57
6.1.4 Objekt Oetwil am See, Chrüzlenstrasse	59
6.1.5 Objekt Buchs / Regensdorf, Furttal-, Buchserstrasse	60
6.1.6 Objekt Dietikon / Oetwil a.d.Limmat, Limmat-, Mutschellenstrasse	62
6.1.7 A1 / Rastplatz Forrenberg Süd	64
6.1.8 Objekt Richterswil, Glarnerstrasse	66
6.1.9 Objekt Volketswil, Usterstrasse	68
6.1.10 A1 / Trasse von km 327.000 – 327.500 im Bereich Rastplatz Forrenberg Süd	70
6.1.11 A1 / Durchfahrtsstrecke Rastplatz Forrenberg Süd	72
6.2 Beschleunigte Belastung mit Mobilem Verkehrssimulator MLS10	74
6.2.1 Verkehrslastsimulator MLS 10 – Funktionsweise und Durchführung der Belastung	74

6.2.2	A1 / Rastplatz Forrenberg Süd	76
6.2.3	A1 / Durchgangstrasse Rastplatz Forrenberg Süd	78
6.2.4	A7 / Fahrbahn Richtung Winterthur	80
7	Auswertungen	83
7.1	Vergleich Haftkleber mit und ohne PmB.....	83
7.2	Schichthaftung auf Fräsflächen	84
7.3	Schichtenverbund mit niederviskosen Bitumen im Asphalt (Wachszusatz)	86
7.4	Schichtenverbund bei heiss in heiss eingebauten Belägen	87
7.5	Schichtenverbund bei dichten und semidichten Deckbelägen	88
7.6	Schichtenverbund bei kritischen Taupunktdifferenzen	89
7.7	Schichtenverbund auf einer Heissmischfundationsschicht.....	90
7.8	Schichtenverbund nach Belastung durch die MLS 10.....	91
8	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	93
8.1	Höhe des Schichtenverbundes	93
8.2	Zeitliche Entwicklung des Schichtenverbundes.....	93
8.3	Schichtenverbund mit HCP und HC	93
8.4	Schichtenverbund auf Fräsflächen und auf Heissmischfundationsschichten.....	93
8.5	Schichtenverbund bei niederviskosen Bindemittel	94
8.6	Schichtenverbund bei heiss auf heiss eingebauten Belägen	94
8.7	Schichtenverbund bei dichten und semidichten Deckbelägen	94
8.8	Schichtenverbund bei kritischen Taupunktdifferenzen	94
8.9	Schichtenverbund nach Belastung durch die MLS 10.....	95
8.10	Menge des applizierten Haftklebers	95
9	Forschungsbedarf	97
	Anhänge.....	99
	Glossar	131
	Literaturverzeichnis.....	133
	Projektabschluss	135
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	139

Zusammenfassung

Das Ziel des Forschungsprojekts war die Untersuchung der Wirksamkeit von Haftklebern in der Praxis, d.h. unter realen Baustellenbedingungen. Hierbei handelte es sich im Wesentlichen um Baustellen des Tiefbauamts (TBA) des Kantons Zürich, wobei auch einige Autobahnobjekte des ASTRAs einbezogen werden konnten. Die Wirksamkeit von Haftklebern wurde mit Hilfe der Abscherprüfung nach Leutner bestimmt, wobei unterschiedliche Parameter und Situationen, wie Haftklebertyp, und –dosierung, Bindemittleigenschaften, Oberflächenbeschaffenheit der Unterlage und als wesentlicher Parameter die Langzeitwirkung berücksichtigt wurden.

Ein wichtiger Punkt, im Hinblick auf die Wirksamkeit von Haftklebern, war die Frage des Langzeitverhaltens bzw. die Frage, nach welcher Zeit sich der Schichtenverbund optimal ausgebildet hat. Aus diesem Grund erfolgte die Untersuchung des Verbunds direkt nach Einbau, nach 3 Monaten und nach einer gewissen Verkehrsbelastung und einer bestimmten Zeit (ca. 12 Monate nach Einbau). Zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses sollte der Verkehrslastsimulator MLS10 zur Anwendung kommen.

Insgesamt wurden mehr als 10 Objekte mit unterschiedlichen Schichtaufbauten und Haftklebertypen untersucht.

Aufgrund der Untersuchungen zeigte sich, dass bei praktisch allen Objekten bereits die nach Einbau gemessenen Scherkräfte recht hohe Werte von in der Regel mehr als 20kN aufwiesen und somit zumindest für den Mittelwert die Anforderungen nach Schweizer Norm bei allen Objekten und Schichten problemlos erfüllt wurden. Weiterhin war bei allen Objekten eine Zunahme der Scherkraft über die Zeit, insbesondere nach 12 Monaten, feststellbar. Bereits nach 3 Monaten zeigte sich in fast allen Fällen eine Zunahme der Verbundscherkraft im Vergleich mit dem Ausgangszustand, was auf eine Verbesserung des Schichtenverbundes durch das Abbinden (Curing) des Haftklebers hinweist.

Ein Vergleich der Mittelwerte von polymermodifizierten HCP und nicht polymermodifizierten Haftklebern HC ergab insbesondere nach Einbau und nach 12 Monaten für Haftkleber HCP tendenziell eine höhere Scherkraft als für Haftkleber HC.

Die Werte der auf Fräsflächen ermittelten Scherkräfte wiesen generell hohe Streuungen auf, trotzdem erreichten alle direkt nach Einbau ermittelten Werte die geforderte Normanforderung von 12 kN für Binder- und Tragschichten. Wie ein Vergleich mit dem Einbau einer Deckschicht auf gefräster Unterlage zeigte, können im Fall feinerer Belagsschichten sogar noch höhere Verbundwerte erzielt werden.

Auch war im Projekt durch den Einsatz von niederviskosen Bitumen mit Wachszusatz kein negativer Einfluss auf den Schichtenverbund nachweisbar.

Dagegen wurden zu allen Entnahmezeitpunkten für dichte Deckbeläge (AC 8) deutlich höhere Schichtverbundwerte als für semidichten Deckbeläge (AC MR 8) bestimmt. Schon die direkt nach dem Einbau bestimmten Werte liegen für dichte Beläge um 20% höher.

Auch wenn im Projekt im Fall tiefer Taupunkte keine unzureichenden Schichtenverbundwerte feststellbar waren, zeigte es sich, dass durch Spritzen des Haftklebers am Vorabend tendenziell höhere Werte erreicht werden können, als wenn dieser erst in den frühen Morgenstunden aufgebracht wird.

Der Einsatz des Verkehrslastsimulators MLS10 zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses zeigte dagegen keine messbare Verbesserung des Schichtenverbundes, was sich mit der zum Testzeitpunkt extrem tiefen Temperaturen und die im Vergleich zum steifen Belagsaufbau geringen Anzahl an Überrollungen erklären lässt.

Insgesamt lassen sich aus der vorliegenden Untersuchung folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:

- Bei sorgfältiger Arbeitsweise lassen sich mit den heutigen Haftklebern sehr hohe Schichtverbundwerte erzielen.
- Der Schichtenverbund nimmt innerhalb kurzer Zeit aufgrund des Curings zu, innerhalb längerer Zeit steigen diese Werte weiter an. Aufgrund dieser Ergebnisse könnte im Fall von tiefen, den Normanforderungswerten knapp nicht entsprechenden Schichtenverbundwerten direkt nach Einbau, eine Nachprüfung des Schichtenverbundes nach 3 Monaten in Erwägung gezogen werden.
- Grundsätzlich haben polymermodifizierte Haftkleber ein höheres Potential als nicht modifizierte und sollten zumindest in kritischen Fällen bevorzugt zum Einsatz kommen. Auf jeden Fall sollte beim Einbau von Belägen mit polymermodifizierten Bindemitteln auch polymermodifizierte Haftkleber eingesetzt werden.
- Die Werte der auf Fräsflächen ermittelten Scherkräfte wiesen generell hohe Streuungen auf, trotzdem erreichten alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte zwischen Binder-und/oder Tragschichten Werte von mindestens 12 kN.
- Der Einfluss des Taupunktes konnte in der Forschung aufgrund der in den meisten Fällen günstigen Bedingungen nicht ausreichend untersucht werden. Jedoch ist es empfehlenswert den Haftkleber, wenn möglich, lieber am Vorabend als in den frühen Morgenstunden aufzubringen. Aus der Praxis ist auch bekannt, dass der Taupunkt besonders bei Tunnelbaustellen mit schlechter Durchlüftung problematisch ist und hier eine klimatische Optimierung zu empfehlen ist.

Résumé

Le but du projet de recherche était l'analyse de l'efficacité des couches d'accrochage dans la pratique, c.à.d. dans des conditions réelles de chantier. En l'occurrence, il s'agit principalement de chantiers du service des Ponts et Chaussées du canton de Zurich et de quelques ouvrages autoroutiers de l'OFROU. L'efficacité des couches d'accrochage a été évaluée à l'aide de l'essai de cisaillement selon Leutner, en considérant différents paramètres et situations, tels que le type et le dosage de la couche d'accrochage, les caractéristiques du liant, les propriétés de la couche de support, et de façon déterminante le comportement à long terme.

Un point important en ce qui concerne l'efficacité de la couche d'accrochage, était la question du comportement à long terme, respectivement la question du temps nécessaire à l'obtention d'une liaison optimale entre les couches. Pour cette raison, les essais ont été exécutés directement après la pose, après 3 mois et après sollicitation par une certaine charge de trafic durant une période d'environ 12 mois. L'utilisation du simulateur de trafic MLS10 était prévue pour une étude accélérée des influences des charges de trafic.

En tout, 10 objets avec des couches de superstructures et des couches d'accrochage différentes ont été étudiés.

Les essais ont montré que les forces de cisaillement mesurées juste après la pose étaient relativement élevées et atteignaient pratiquement sur tous les objets plus de 20 kN. Les exigences de la norme suisse, au moins en ce qui concerne la valeur moyenne, étaient ainsi atteintes sans problème sur tous les objets et supports. On a également constaté sur tous les objets une augmentation de la force de cisaillement avec le temps, spécialement après 12 mois. Déjà 3 mois après la pose, on a mesuré sur la majorité des objets une augmentation de la force de cisaillement, ce qui relève l'effet positif de la prise de la couche d'accrochage (curing) sur la liaison entre les couches.

Une comparaison des valeurs moyennes entre les émulsions HCB au bitume polymère et les couches d'accrochage HC non modifiées montre en général des meilleures valeurs de cisaillement pour les couches d'accrochage HCP, spécialement pour les mesures juste après la pose et à 12 mois.

Les valeurs de cisaillement mesurées sur des surfaces fraisées présentaient généralement des dispersions importantes, mais satisfaisaient tout de même à l'exigence normalisée de 12 kN pour les couches de fondation et de liaison. Comme il a pu être constaté lors de la pose d'une couche de roulement sur une surface fraisée, les valeurs de cisaillement sont encore meilleures pour des couches à granulométrie fine.

Dans le cadre du projet, aucune influence négative sur la liaison entre les couches n'a pu être relevée lors de l'utilisation d'un bitume à faible viscosité avec ajout de cire. Par contre, à toutes les phases de prélèvement, les valeurs mesurées de la liaison entre les couches étaient systématiquement meilleures sur les couches de roulement denses (AC 8) que sur les semi-denses (AC MR 8). Les valeurs juste après pose sont déjà 20 % plus élevées avec les enrobés denses.

Bien que dans le cas de points de rosée bas aucune des valeurs de cisaillement n'aient été insuffisantes, on a constaté que l'application de la couche d'accrochage la veille au soir permettait en général d'obtenir de meilleures valeurs que lors de l'application dans les premières heures matinales.

Dans le cadre de l'utilisation du simulateur de trafic MLS10 pour accélérer les influences du trafic, nous n'avons pu constater aucune amélioration quantifiable des valeurs Leutner. Ceci peut s'expliquer par les températures très basses lors de l'essai MLS10 et au nombre limité de répétition de charge pour ces conditions.

En résumé, on peut tirer de ces essais les conclusions et recommandations suivantes:

- En travaillant de façon soignée, les couches d'accrochage actuelles permettent d'atteindre une très bonne liaison entre des couches.
- Grâce à l'effet du curing, la liaison entre les couches augmente en l'espace de peu de temps, et continue de s'améliorer au cours du temps. Suite à ces expériences, on peut supposer que des valeurs ne remplissant juste pas les exigences normalisées immédiatement après la pose, ont de bonne chance d'y arriver lors d'un second examen à trois mois.
- En principe, les émulsions HCP au bitume polymère conduisent à de meilleurs résultats qu'avec des bitumes non-modifiés. Leur utilisation est donc à recommander, au moins pour des situations critiques. Dans tous les cas, lors de la pose de couches bitumineuses avec liant modifié, l'application de couche d'accrochage au liant polymère est de mise.
- Les valeurs de cisaillement mesurées sur des surfaces fraisées présentaient généralement des dispersions importantes, mais satisfaisaient tout de même à l'exigence minimale de 12 kN pour les couches de fondation et de liaison.
- Les conditions de pose étant dans la plupart des cas favorables, l'influence du point de rosée n'a pas pu être étudié de façon suffisante. Cependant, il est recommandable de réaliser l'application de la couche d'accrochage si possible la veille au soir plutôt que dans les premières heures matinales. Il est connu de la pratique, que le point de rosée peut être problématique lors de poses en tunnel avec une mauvaise ventilation. Dans ce cas, une optimisation des conditions climatiques doit être recherchée.

Summary

The aim of the research project was the investigation of the in situ service capability of tack coats, i.e. their behaviour under real construction conditions. The construction sites were mainly construction projects of the Road Administration of Canton Zurich (TBA), while some ASTRA motorway construction could also be included. The efficiency and effectiveness of tack coats was determined using the Leutner shear test. For testing different parameters and conditions, such as tack coat type, application rate, binder properties, surface characteristics of the underlying layer and especially the long term performance were taken into consideration.

A major point regarding the effectiveness of tack coats is their long term performance and the question after what time the bond is optimal developed. Therefore, the investigation of the bond was done directly after construction and repeated after 3 months as well as after a certain time under traffic (generally 12 months after construction). For an accelerated simulation of the traffic influence the mobile load simulator MLS10 was used. Overall, more than 10 construction sites (called objects) with different layers and tack coat types were included in the investigation.

The investigation resulted for nearly all objects in quite high shear forces directly after construction with values of generally more than 20kN and therefore the requirement of the Swiss standard could at least for the average value be easily reached for all objects and layers. Further, for all objects an increase of bond shear force with time – especially after 12 months - was determined. Already after 3 months an increase in shear force compared to the value directly after construction was found and this improvement can be contributed to the curing of the tack coat.

A comparison between the average values from polymer modified tack coats HCP and unmodified tack coats HC after construction and after 12 months tended to result in generally higher values for the polymer modified tack coats HCP.

The shear force values of milled surfaces displayed quite high scattering. Nevertheless, did the values reach the requirement for binder and base courses of 12 kN. As shown in case of the construction of a surface course on a milled surface, is the potential in case of mixtures with fine aggregate gradations even higher.

The research project further displayed no negative influence regarding the use of low viscosity binders with wax additives.

However, the values determined for dense surface courses (AC 8) were higher than of semi dense ones (AC MR 8). This was true for all objects and times of testing. Already the values determined directly after construction are 20% higher in case of dense surface pavements.

Although, in the course of the project no insufficient shear force values due to low dew points could be found, the investigation showed that the application of tack coat in the evening before generally leads to higher bond values compared to tack coat application in the early morning hours.

The use of the mobile load simulator MLS10 for an accelerated simulation of the traffic did not result in an improvement of the interlayer bond. This fact can be contributed to the extremely low temperatures during testing as well as the relatively small number of cycles in comparison with the stiff pavement construction.

Overall the research project leads to the following conclusions and recommendations:

- By a thorough and diligent installation method permits to achieve high bond forces with the present tack coats.
- The interlayer bond increases due to curing within a short time and the values further increase in the long term. Based on this finding it could be anticipated to re-check insufficient or low values found directly after construction after another 3 months.

- The potential of polymer modified tack coats appears to be higher in comparison to unmodified tack coats. Therefore, they should be favoured, at least in case of critical projects. In case of the construction of pavements with polymer modified binders polymer modified tack coats should definitely be applied.
- The shear force values of milled surfaces displayed quite high scattering. Nevertheless, did the values after construction reach the requirement for binder and base courses of 12 kN.
- The influence of a low dew point could not be sufficiently investigated in the course of the research due to the favourable construction conditions. However, the application of tack coat in the evening before is recommended in comparison to the application in the early morning hours. From other projects it is a well-known fact that the dew point is critical in case of tunnel construction sites with insufficient ventilation and here a climatic optimization is essential.

1 Einleitung

Ein guter Haftverbund zwischen den Belagsschichten ist eine wesentliche Voraussetzung für die Dauerhaftigkeit von Asphaltstraßen. Aus diesem Grund werden seit vielen Jahren 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.

Das Forschungsprojekt VSS 1999/277 [1], in welchem die Wirkung von Haftklebern im Labor untersucht wurde, konnte anhand der Wirksamkeit von Haftklebern bei verschmutzten oder feuchten Unterlagen dessen Wichtigkeit für die reale Bausituation zeigen. Bei der Untersuchung von Haftklebern im Labor ergaben sich, z.B. wegen der von der realen Situation abweichenden Verdichtung, allerdings Bedenken hinsichtlich der direkten Übertragbarkeit der Ergebnisse. Aber auch andere Parameter wie die Untersuchung des Zusammenwirkens zwischen Haftkleber und einer gefrästen Unterlage konnten im Labor nur unzureichend untersucht werden. Aus diesem Grund soll das hier vorliegende Projekt die Wirksamkeit von Haftklebern anhand einer realen Baustellensituation evaluieren und zur Erarbeitung einer Ausführungsrichtlinie führen. Im Projekt sollen insbesondere Aspekte, die im Labor nur unzureichend untersucht werden konnten, besser berücksichtigt werden. Neben einer im Vergleich zum alten Projekt größeren Produktvielfalt von Haftklebern einerseits und im Belag verwendeten Bindemitteln andererseits, sind dies der Einfluss von polymermodifizierten Haftklebern sowie die bereits genannte Wirkung auf gefräster Unterlage.

Ein wichtiger Punkt im Hinblick auf die Wirksamkeit von Haftklebern, ist die Frage des Langzeitverhaltens bzw. die Frage, nach welcher Zeit (Einfluss Klima und Verkehr) der Schichtenverbund optimal entwickelt ist. Hier soll die Bestimmung des Verbundes direkt nach Einbau mit der Bestimmung nach einer gewissen Verkehrsbelastung und einer bestimmten Zeit (z.B. 3 Monate und 2 Jahre nach Einbau) verglichen werden. Zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses sollte der Verkehrslastsimulator MLS10 zur Anwendung kommen.

2 Zielsetzung des Forschungsprojekts

2.1 Forschungsziel

Das Ziel des Forschungsprojekts ist die Untersuchung der Wirksamkeit von Haftklebern in der Praxis, d.h. unter realen Baustellenbedingungen (Baustellen oder Versuchsstrecken), wobei unterschiedliche Parameter und Situationen, wie nachstehend ausgeführt, berücksichtigt werden sollen:

- Haftklebertyp
- Haftkleberdosierung
- Bindemittelbeschaffenheit, d.h. Auswirkung unterschiedlicher Bindemittel
- Oberflächenbeschaffenheit der Unterlage
- Verkehrseinfluss und Langzeitwirkung

Die Wirksamkeit von Haftklebern soll dabei anhand der Abscherprüfung nach Leutner untersucht werden.

2.2 Arbeitsplan

Für das Projekt werden 10 Objekte (Baustellen oder Versuchsstrecken) beschafft, wobei 4 zweischichtige und 6 dreischichtige Belagsaufbauten ausgewählt werden. Aufgrund der für die Evaluation der Praxistauglichkeit von Haftklebern maßgebenden Parametern wie Haftklebertyp (Sorten HC, HCP und Haftkleber geflucht), Belags- und Bindemittelbeschaffenheit (unterschiedliche in der Praxis relevante Belagstypen wie AC, AC MR, SMA, EME mit unterschiedlichen Bindemittelsorten wie Hartbitumen, Normalbitumen 50/70, PmB, niederviskoses Bindemittel) wird die Untersuchung an den in Abbildung 1 dargestellten Belagsaufbauten vorgeschlagen (siehe Abb. 1). Die Untersuchung von gefluchtem und nicht gefluchtem Haftkleber erfolgt dabei je nach Witterung. Im Fall von polymermodifizierten Haftklebern handelt es sich in jedem Fall um ungefluchte Produkte. Ausserdem sollte bei 1-2 Objekten ein niederviskoses Bindemittel verwendet werden.

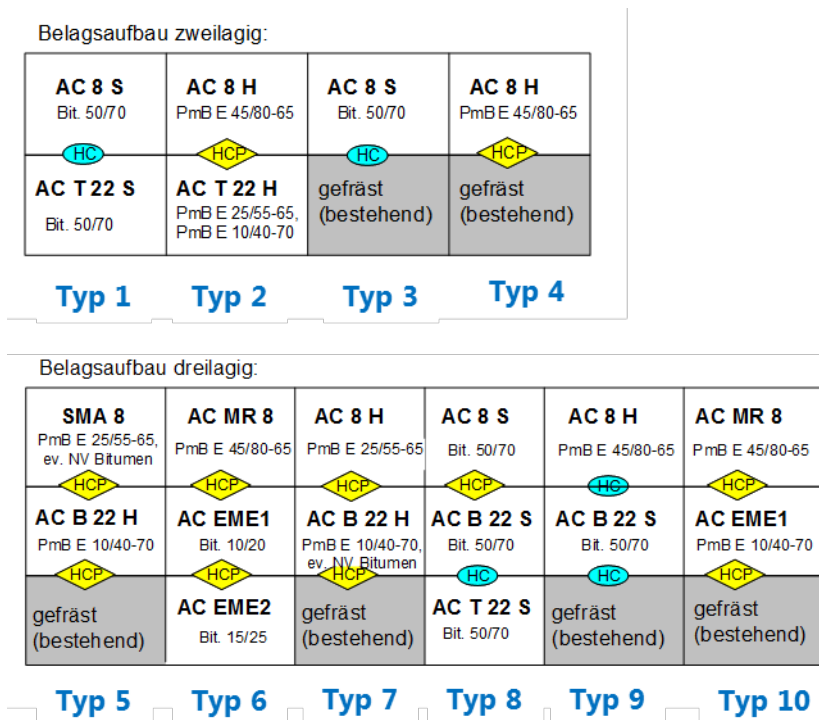


Abb.1 Vorgesehene Belagsaufbauten.

Sollten einige der vorgeschlagenen Belagsaufbauten aus organisatorischen oder bautechnischen Gründen nicht realisiert werden können, werden die Forschungsstellen in Absprache mit der Begleitkommission geeignete Ersatzvarianten in die Untersuchung einbeziehen.

Die hier notwendigen Arbeiten beinhalten neben der Beschaffung auch die Überwachung des Einbaus mit visueller Beschreibung und messtechnischer Bestimmung der bestehenden Unterlage und der Haftkleberapplikation (Dosierung).

Für alle oben genannten Objekte erfolgt die Entnahme von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 150 mm und die Abscherprüfung nach Leutner 3 Tage, 3 Monate bzw. 2 Jahreszyklen nach Einbau. Obwohl die Abscherprüfung nach Leutner nur 4 Bohrkern pro Entnahmestelle verlangt, sollen aus Gründen einer größeren statistischen Breite in der Regel 6 Bohrkern untersucht werden.

Zur Untersuchung der Wirksamkeit von Haftklebern und zur Beantwortung der Frage, nach welcher Zeit (Einfluss Klima und Verkehr) der Schichtenverbund optimal entwickelt ist, soll die Untersuchung des Verbundes direkt nach Einbau mit der Untersuchung nach einer gewissen Verkehrsbelastung und einer bestimmten Zeit (z.B. 3 Monate und 2 Jahre nach Einbau) verglichen werden. Zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses ist der Verkehrslastsimulator MLS10 vorgesehen.

Für diese Objekte erfolgt die Entnahme von Bohrkernen und die Abscherprüfung nach Leutner nach 150'000 Überrollungen mit dem Verkehrslastsimulator.

3 Stand der Forschung

3.1 Allgemeines

Auch wenn der Einsatz von Haftklebern im heutigen Strassenbau eine Selbstverständlichkeit darstellt [2], [3], [15], 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 Applikationsanforderungen formuliert wurden, (u. a. [4]), 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 [5], [6], [7], [8], [9] als auch mit nicht behandelten Oberflächen (kein Haftkleber) [6], [8], [9] signifikant verbessern, besteht über die Verwendung polymermodifizierter Emulsionen in der Praxis keine einheitliche Auffassung.

Das Aufbringen eines Haftklebers wird in vielen internationalen Forschungsarbeiten als vorteilhaft für den Schichtenverbund beschrieben [8], [9], [10], [11]. Hachiya [5], Raab [12] und Mrawira [10] 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 [13] nachweist, dass die Vorbehandlung mit reinem Bitumen verglichen mit Bitumenemulsionen zu höheren Scherfestigkeiten führt, werden nach Aussagen von Kulkarni [15] und Mohammad [14] mit beiden Methoden vergleichbare Werte erzielt.

Uneinigkeit besteht auch hinsichtlich der erforderlichen Haftklebermenge. Viele Untersuchungen [5], [8], [13], [14], [16], [17] gehen davon aus, dass eine optimale Haftkleberdosierung existiert, die allerdings von Bitumensorte, Mischgut- und Belageigenschaften [6], Temperatur [6], [14] und anderen Parametern abhängt. Während Mohammad [18] in einer erst kürzlich veröffentlichten Studie kein Optimum für die Dosierung finden konnte.

3.2 Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt VSS 1999/277

Das Forschungsprojekt VSS 1999/277 „Haftkleber“, in welchem die Wirkung von Haftklebern im Labor untersucht wurde, konnte anhand der Wirksamkeit von Haftklebern bei verschmutzten oder feuchten Unterlagen deren Wichtigkeit für die reale Baustellensituation zeigen [1]. 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.

Bei der Untersuchung von Haftklebern im Labor ergaben sich, z. B. wegen der von der realen Situation abweichenden Verdichtung, allerdings Bedenken hinsichtlich einer direkten Übertragbarkeit der Ergebnisse. Auch andere Parameter wie das Zusammenwirken zwischen Haftkleber und einer gefrästen Unterlage sowie der Einfluss unterschiedlicher Haftklebertypen und Dosierungen konnten im Labor nur unzureichend untersucht werden. Aufgrund des begrenzten Projektumfangs musste auf die Evaluation unterschiedlicher Belagssorten und Bindemitteltypen verzichtet werden. Ein ebenfalls wesentlicher Parameter, der Einfluss von Verkehr und Langzeitwirkung wird in praktisch keiner der Studien ausreichend behandelt.

Auch wenn im Forschungsprojekt VSS 1999/277 „Haftkleber“ mit der 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 es wichtig, Teile der Untersuchungen an einer realen Baustelle (1:1 Versuchsstrecke) zu wiederholen, um so die gefundenen Ergebnisse zu stützen oder aber zu relativieren. Weiterer Forschungsbedarf besteht besonders im Hinblick auf die Verwendung von polymermodifizierten Haftklebern. Dieser Frage müsste generell nachgegangen werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf die im Belag verwendeten Bindemittel (modifiziert/nicht modifiziert, bzw. modifizierte Deckschicht, nicht modifizierte 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 hierzu im Forschungsprojekt VSS 1999/277 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 verbessert.

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.

4 Baustellen und Versuchsstrecken

4.1 Allgemeines

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht der ausgewählten Baustellen und Versuchsstrecken. Insgesamt wurden 11 an Stelle von 10 Objekten untersucht. Wie bereits im Kapitel 2.2 erwähnt, konnten einige der vorgeschlagenen Belagsaufbauten aus organisatorischen oder bautechnischen Gründen nicht realisiert werden. Hier wurden in Absprache mit der Begleitkommission geeignete Ersatzvarianten gewählt.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung fanden keine Einbauten mit Splittmastixasphalt Deckschicht SMA (Typ 5) statt. Ebenso konnten einige der mit einer Asphaltbetondeckschicht 8 H (AC 8 H) geplanten Aufbauten (Typen 4, 7 und 9) nicht verwirklicht werden. Der Aufbau des Typ 7 konnte mit einer semidichten Asphaltbetondeckschicht AC MR 8 und der Aufbau Typ 9 mit einer Asphaltbetondeckschicht AC 8 S realisiert werden. Auch die in Abb. 1 angegebenen Bindemittelsorten wurden teilweise optimiert und somit angepasst.

Haftkleber sind Bitumenemulsionen, die für den Verbund der einzelnen Schichten beim Asphaltbau eingesetzt werden. Es wurden Haftkleber HC für nicht modifizierte und HCP für polymermodifizierte Typen nach der bis 2015 gültigen Schweizer Norm [19] mit einem Bindemittelanteil von 50% verwendet. Gemäss Angaben der Haftkleberlieferanten wurden keine Fluxmittel verwendet.

Forschungsprojekt-VSS-2008/401-Haftkleber

Objekt	Belagsaufbau	Belagstyp	Produkt	Auftrags- mengen	Prüfung-nach- 3-Tagen	Prüfung- nach-3- Monaten	Prüfung- nach-2- Jahren
Thalwil, 384/Tischenlostrasse, km 5.100 – 5.650	AC-8-S → 50/70 → 3.0 cm AC-B-22-S → 50/70 → 9.0 cm AC-F-22 → Ziel-50/70 → 7.0 cm oder Fräsfläche bestehender Belag	Typ-8 mit AC-F-22- oder Fräsfläche	HCP HCP HC	250 g/m ² 300 g/m ² 400 g/m ²	23.07.2011 18.07.2011 18.07.2011	geprüft	geprüft
Stadel-/Weiach, 266-/Kaiserstuhl-/ Stadlerstrasse, km 4.160 – 6.300	AC-8-S → 50/70 → 3.0 cm AC-B-22-S → 50/70 → 7.0 cm AC-T-22-N → 70/100 → 7.0 cm oder Fräsfläche bestehender Belag	Typ-8	HC HC	250 g/m ² 300 g/m ² 400 g/m ²	18.08.2011 17.08.2011	geprüft	geprüft
Schlatt, Heitertal-/ Eggerstrasse	AC-8-S → 50/70 → 3.0 cm AC-T-22-S → 50/70 → 10.0 cm Teile der AC-T-22-S 1/2 Jahr befahren	Typ-1, Typ-8- nur mit 2- Schichten	HCP HC	200 g/m ² 200 g/m ²	20.09.2011 17.07.2012	geprüft	geprüft
Oetwil am See, Chruzlenstrasse	AC-8-S → 50/70 Fräsfläche	Typ-3	HC	300 g/m ²	17.7.2012	geprüft	geprüft
Buchs/Regensdorf, 297-/Furtal-/Buchserstrasse, km 5.721 – 6.987	AC-8-H → PmB-E-45/80-65+3.0 cm AC-MR-8 → PmB-E-45/80-65+3.0 cm AC-EME-22-C1 → PmB-E-10/40-70+9.0 cm Fräsfläche bestehender Belag	Typ-10 auch- mit AC-8-H	HCP HCP	250 g/m ² 400 g/m ²	27.07.2011 27.07.2011	geprüft	geprüft
Dietikon-/Oetwil a.d. Limmat, Limmat-/Muschellenstrasse	AC-8-H → PmB-E-45/80-65+3.0 cm AC-EME-22-C1 → PmB-E-10/40-70+7.0 cm Fräsfläche → PmB-E-45/80-65+7.0 cm	Typ-10 auch- mit AC-8-H	HCP HCP	250 g/m ² 400 g/m ²	30.09./16.10.11 30.09./16.10.11	geprüft Teile- davon	geprüft
A1, Rastplatz Forrenberg	AC-8-H → PmB-E-45/80-65+3.0 cm AC-EME-22-C1 → PmB-E-10/40-70+9.0 cm Fräsfläche bestehender Belag, teilweise auch AC-T-22-S, 50/70	Typ-10 mit- Deckbelag- AC-8-H	HCP HCP	250 g/m ² 300 g/m ²	05.08.2011 05.08.2011	geprüft	-
Richterswil, Glanerstrasse	AC-8-H, NV → Spezialbit. NV → 3.0 cm AC-T-22-H → PmB-E-25/55-65+10.0 cm Fräsfläche bestehender Belag oder AC-T-22-S, 50/70	Typ-2, Deckbelag- mit NV	HCP HCP	250 g/m ² 450 g/m ²	23.09.2011 24.09.2011	geprüft	geprüft
Volketswil, Usterstrasse	AC-MR-8 → PmB-E-45/80-65+3.0 cm AC-B-22-H → PmB-E-25/55-65+9.0 cm Fräsfläche bestehender Belag oder AC-T- 22-S, 50/70	Typ-7 mit AC- MR-8	HCP HCP	250 g/m ² 350 g/m ²	28.09./27.10.11 27.09./28.10.11	geprüft	geprüft
A1, Trasse	AC-MR-8 → PmB-E-45/80-65+3.0 cm AC-EME-22-C1 → B-15/25 → 8.0 cm AC-EME-22-C2 → B-10/20 → 8.0 cm Hydraulische Stabilisierung	Typ-6	HCP HCP	250 g/m ² 300 g/m ²	01.08.2011 25.07.2011	geprüft	-
A1, Durchfahrtsstrecke- Rastplatz	AC-MR-8 → PmB-E-45/80-65+3.0 cm AC-EME-22-C1 → B-15/25 → 9.0 cm Fräsfläche bestehender Belag	Typ-10 mit- Hartbitumen- im Binder	HCP HCP	250 g/m ² 300 g/m ²	01.08.2011 25.07.2011	geprüft	-

Abb. 2. Ausgeführte Belagsaufbauten (Einbauobjekte)

4.1.1 Objekt Thalwil, Tischloostrasse: Typ 8 mit AC F 22 oder Fräsfläche

Das Objekt umfasst einen Teilbelagersatz mit Deck- und Binderschicht (AC 8 S mit Bitumen 50/70 und AC B 22 S mit Bitumen 50/70) auf einer gefrästen Tragschicht und einen Neubau bestehend aus Heissmischfundationsschicht (AC F 22 mit Bitumen 50/70) und den oben aufgeführten Binder- und Deckschichten.

Die Applikation des Haftklebers erfolgte für alle Schichten am Vortag. Auf der gefrästen Fläche wurde ein Haftkleber ohne PmB (HC), auf den restlichen Flächen wurde ein Haftkleber mit PmB (HCP) verwendet. Die Mengenangaben sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich auf der Fräsfläche und der AC F 22 um die Werte von 18.4 – 21.5 °C. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der AC B 22 S variierte von 14.7 – 14.9 °C.

Abbildung 3 zeigt den gebrochenen Haftkleber auf der Fräsfläche und der Heissmischfundationsschicht. Obwohl es in der Nacht geregnet hatte, hatte dies keinen negativen Einfluss auf den aufgetragenen Haftkleber wie Abbildung 4 zeigt: Es finden sich keine durch LKW verursachten Abtragsspuren.



Abb. 3 Haftkleber auf Fräsfläche und Heissmischfundationsschicht.



Abb. 4 Ansicht Fräsfläche nach Haftkleberauftrag

4.1.2 Objekt Stadel / Weiach, Kaiserstuhl- und Stadlerstrasse: Typ 8

Das Objekt umfasst einen Teilbelagersatz mit Deck- und Binderschicht (AC 8 S mit Bitumen 50/70 und AC B 22 S mit Bitumen 50/70) auf einer gefrästen Tragschicht und einen Neubau bestehend aus Tragschicht (AC T 22 S mit Bitumen 50/70) und den oben aufgeführten Binder- und Deckschichten.

Die Applikation des Haftklebers auf die gefrästen Tragschicht erfolgte frühmorgens vor dem Belageinbau. Für den Deckbelag erfolgte die Applikation des Haftklebers am Abend nach dem Einbau der Binderschicht. Es wurde für beide Schichten ein Haftkleber ohne PmB (HC) verwendet. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich in den Morgenstunden um die Werte von 2.4 – 7.9 °C, was gemäss Erfahrung eine kritische Untergrenze darstellt. Wie auch Abb. 6 verdeutlicht, wurde eine lange Brechzeit bis zu 2 h gemessen. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der AC B 22 S variierte von 14.2 – 21.3 °C.

Abb. 5 zeigt den Haftkleberabtrag in den Lastwagenspuren auf der Fräsfläche.



Abb. 5 Haftkleber auf Fräsfläche



Abb. 6 *Veränderung des Haftklebers nach 20 Minuten.*

4.1.3 Schlatt, Büel-, Heitertal-und Eggerstrasse: Typ 8 mit zwei Schichten und Typ 1

Das Objekt umfasst einen Totalbelagersatz mit Deck- und Tragschicht (AC 8 S mit Bitumen 50/70 und AC T 22 S mit Bitumen 50/70). Bei der Eggerstrasse wurde die Deckschicht (AC 8 S mit Bitumen 50/70) erst nach einem halben Jahr eingebaut. In dieser Zeit wurde die Tragschicht durch den Verkehr befahren.

Die Applikation des Haftklebers erfolgte für alle Teilabschnitte am Vortag. Im ersten Abschnitt der Heitertalstrasse und der Eggerstrasse wurde ein Haftkleber mit PmB (HCP), im zweiten Abschnitt der Heitertalstrasse ein Haftkleber ohne PmB (HC) verwendet. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich in den Abendstunden um die Werte von 22.8 – 36.5 °C. Trotzdem wurde im ersten Abschnitt eine lange Brechzeit von bis zu 2 h gemessen. Beim Einbau des zweiten Abschnitts konnte ein schnelles Brechen des Haftklebers (ca. 10 Minuten) festgestellt werden (siehe Abb. 11), dabei wurden Werte der Taupunktdifferenz von 18.4 – 32.8 °C festgestellt. Insgesamt ergab sich ein gleichmässiges Spritzbild, einzig im ersten Teilabschnitt Büel-Heitertal zeigte sich ein ungewöhnliches, nicht erklärbares wellenförmiges Spritzbild, das allerdings nach dem Brechen der Emulsion nicht mehr zu sehen war, wie Abb. 9 und 10 verdeutlichen.

Da es sich im ersten Abschnitt der Heitertalstrasse und der Eggerstrasse um einen Abschnitt mit deutlichem Gefälle handelt, erkennt man in Abb. 7 gut verschiedene Bereiche mit Haftkleberansammlungen.

Wie Abbildung 8 zeigt, wurde im Bereich der Einmündung von der Büel- in die Heitertalstrasse der Haftkleber auf verschmutzter Unterlage appliziert.



Abb.7 Haftkleber HCP gebrochen.



Abb.8 Applikation von Hand auf kleinem Bereich mit verschmutzter Unterlage.



Abb.9 Spezielles wellenförmiges Spritzbild des Haftklebers HCP nach der Applikation.



Abb.10 Gebrochener Haftkleber HCP nach rund 90 Minuten beim speziellen wellenförmigen Spritzbild.



Abb. 11 Veränderung des Haftklebers nach 10 Minuten (zweiter Abschnitt).

4.1.4 Objekt Oetwil am See, Chrüzlenstrasse: Typ 3

Das Objekt umfasst einen Teilbelagersatz der Deckschicht (AC 8 S mit Bitumen 50/70 mit Bitumen 50/70) auf einer gefrästen Tragschicht.

Die Applikation des Haftklebers erfolgte auf die gefrästen Tragschicht am Tag vor dem Belageinbau. Für beide Schichten wurde ein Haftkleber ohne PmB (HC) verwendet.

Der Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich auf der Fräsfläche um die Werte von 22.8 – 36.5 °C.

Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Abbildung 12 zeigt die Fräsfläche nach Wasserhochdruckreinigung (links) und nach der Applikation des Haftklebers (rechts).



Abb. 12 Fräsfläche: Nach Reinigung (links), nach Haftkleberapplikation (rechts)

4.1.5 Objekt Buchs / Regensdorf, Furttal- und Buchserstrasse: Typ 10, auch mit AC 8 H

Das Objekt umfasst einen Teilbelagersatz mit Deck- und Binderschicht (AC MR 8 oder AC 8 H mit PmB 45/80-65 (CH-E) und AC EME 22 C1 mit PmB 10/40-70 (CH-E)) auf einer gefrästen Tragschicht.

Die Applikation des Haftklebers auf die gefrästen Tragschicht und auf die Binderschicht erfolgten am Tag vor dem Belageinbau. Es wurde für beide Schichten ein Haftkleber mit PmB (HCP) verwendet. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche zeigte auf der Fräsfläche den Werte von 10.5 °C. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der AC EME 22 C1 den Wert von 12.5 °C.

Abbildung 13 zeigt links eine Detailaufnahme des mit 400 g/m² applizierten Haftklebers während des Brechvorgangs, rechts ist der bereits gebrochene Haftkleber auf unterschiedlichen ausgestalteten Fräsflächen zu sehen.

Am ersten Einbautag der Binderschicht musste das Wasser ständig mit dem Saugwagen von der nassen Fräsoberfläche abgesogen werden (vgl. Abb. 14). Wie Abbildung 16 verdeutlicht, war der gesamte Belageinbau der Binderschicht durch extrem hohen Feuchtigkeitsgehalt (Dampfbildung) bestimmt. Auch die Applikation des Haftklebers für die Deckschicht erfolgte bei wechselhaftem Wetter, trotzdem konnte ein schneller Brechvorgang beobachtet werden (Abb. 17). Abbildung 18 zeigt deutliche Unterschiede im Brechvorgang zwischen Vertiefungen und Oberflächenabschnitten.

Abbildung 19 zeigt die relativ grobe Oberflächenstruktur der Binderschicht.



Abb.13 Haftkleber 400 g/m² während Brechvorgang (Detail) und gebrochener Haftkleber HCP auf Fräsfläche am Vorabend des Belageinbaus.



Abb. 14 Absaugen der Feuchtigkeit.



Abb. 15 Feuchte Unterlage



Abb. 16 Belageinbau mit ständigem Absaugen der Feuchtigkeit und Belageinbau.



Abb. 17 Fläche mit gebrochenen Haftkleber und neu gespritzte Oberfläche.



Abb. 18 Haftkleber teilweise gebrochen: In den Vertiefungen ist der Prozess des Brechens noch nicht abgeschlossen.



Abb. 19 Einbau des Deckbelages auf AC EME 22 C1 mit PmB.

4.1.6 Objekt Dietikon / Oetwil a. d. L., Limmat- / Mutschellen-strasse, Typ 10 mit AC 8 H

Das Objekt umfasst einen Teilbelagersatz mit Deck- und Binderschicht (AC 8 H mit PmB 45/80-65 (CH-E) und AC EME 22 C1 mit PmB 10/40-70 (CH-E)) auf einer gefrästen Tragschicht.

Die Applikation des Haftklebers auf die gefrästen Tragschicht erfolgte am Morgen vor der Binderschichteinbau. Die Applikation des Haftklebers für den Deckbelag erfolgte unmittelbar nach dem Verdichten (Walzvorgang), der Einbau des Deckbelags am Nachmittag nach dem Brechen des Haftklebers. Es wurde für beide Schichten ein Haftkleber mit PmB (HCP) verwendet. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich auf der Fräsfläche um die Werte von 18.2 – 22.3 °C. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der AC EME 22 C1 variierte von 32.1 – 38.5 °C.

Abbildung 20 zeigt den noch nicht ganz gebrochenen Haftkleber auf der bestehenden abgefrästen Tragschicht. In Abbildung 21 musste der Randbereich wegen vorhandener Risse mit einer Asphaltarmierung verstärkt werden.

In Abbildung 22 ist die Haftkleberoberfläche vor Einbau des Deckbelages zu sehen, zusätzlich erkennt man leichte Spuren der Einbaufertiger. In gewissen Bereichen wurden, wie Abbildung 23 zeigt, mit dem Fertiger verursachte Verunreinigungen festgestellt.



Abb. 20 Haftkleber noch nicht ganz gebrochen (nasse Stellen).



Abb. 21 Belageinbau Binderschicht: Haftkleber mit Randasphaltarmierung.



Abb. 22 Haftkleberoberfläche vor Einbau des Deckbelages



Abb. 23 Eintrag von Schmutz durch den Unternehmer.

4.1.7 A1 / Rastplatz Forrenberg Süd, Typ 10 mit AC 8 H

Das Objekt umfasst einen Teilbelagersatz mit Deck- und Binderschicht (AC 8 H mit PmB 45/80-65 (CH-E) und AC EME 22 C1 mit PmB 10/40-70 (CH-E)) auf einer gefrästen Tragschicht. Infolge des Ausbaus des Rastplatzes wurde in einigen Bereichen noch eine Tragschicht AC T 22 S mit Bitumen 50/70 eingebaut.

Die Applikation des Haftklebers auf die gefräste Tragschicht erfolgte am Morgen vor der Binderschichteinbau, für den Deckbelag am Abend vor dem DeckBelageinbau. Es wurde für beide Schichten ein Haftkleber mit PmB (HCP) verwendet. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich auf der Fräsfläche und teilweise auf der AC T 22 S um die Werte von 22.9 – 31.4 °C. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der AC EME 22 C1 zeigte einen Wert von 33.0 °C.

Abbildungen 24 bis 26 zeigen die zeitliche Abfolge des Brechvorgangs des Haftklebers auf der Binderschicht.



Abb. 24 Haftkleber:
Brechvorgang nach 30 Sekunden.



Abb. 25 Haftkleber:
Brechvorgang nach 2 Minuten.



Abb. 26 Haftkleber: Brechvorgang nach 6 Minuten.

4.1.8 Richterswil, Glarnerstrasse, Typ 2 mit AC 8 H auf Basis NV mit Wachszusatz

Das Objekt umfasst einen Teil- und Totalersatz mit Deck- und Binderschicht (AC 8 H mit Spezialbindemittel NV (mit Wachs) auf Basis PmB 45/80-65 (CH-E) und AC T 22 H mit PmB 25/55-65 (CH-E) auf einer teilweise gefrästen Tragschicht oder einer neuen Tragschicht AC T 22 S, Bitumen 50/70.

Die Applikation des Haftklebers auf die gefräste Tragschicht und auf die neue Tragschicht erfolgte am Morgen vor dem Binderschichteinbau, wobei wie in Abbildung 27 ersichtlich, die Unterlage leicht verschmutzt war. Die Applikation des Haftklebers für den Deckbelag erfolgte am Nachmittag des gleichen Tages vor dem DeckBelageinbau am Spätnachmittag.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich auf Fräsfläche und AC T 22 S um die Werte von 9.9 – 25.3 °C. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der Tragschicht AC T 22 H variierte von 20.8 – 32.5 °C.

Für beide Schichten wurde ein Haftkleber mit PmB (HCP) verwendet. Dieser wurde vom Unternehmer mit einer Eigenkonstruktion (vgl. Abb. 28) gespritzt. Es konnte kein regelmässiges Spritzbild festgestellt werden. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Abbildung 29 zeigt die mit Haftkleber applizierte Oberfläche der Binderschicht vor dem DeckBelageinbau. Optisch ist dabei der durch Räder verursachte Abtrag des Haftklebers deutlich zu erkennen.



Abb. 27 Leicht verschmutzte Oberfläche vor Applikation der Bitumenemulsion



Abb. 28 Applikation der Bitumenemulsion mit Eigenkonstruktion.



Abb. 29 Oberfläche beim DeckBelageinbau.

4.1.9 Volketswil, Usterstrasse, Typ 7 mit AC MR 8

Das Objekt umfasst einen Teilbelagersatz mit Deck- und Binderschicht (AC MR 8 mit PmB 45/80-65 (CH-E) und AC B 22 H mit PmB 25/55-65 (CH-E) auf einer gefrästen Tragschicht und einen teilweisen Neubau bestehend aus Tragschicht (AC T 22 S mit Bitumen 50/70) und den oben aufgeführten Binder- und Deckschichten.

Die Applikation des Haftklebers auf die gefrästen Tragschicht erfolgte am Vorabend des Binderschichteinbaus, die Applikation des Haftklebers für den Deckbelag erfolgte am Nachmittag des gleichen Tages vor dem Deckbelageinbau am Spätnachmittag. Es wurde für beide Schichten ein Haftkleber mit PmB (HCP) verwendet. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich auf der Fräsfläche und auf der Tragschicht AC T 22 S um die Werte von 22.9 – 23.7 °C respektive 6.3 – 8.8 °C. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der AC EME 22 C1 variierte von 37.7 – 40.0 °C respektive 23.3 – 34.9 °C.

Auf der Fahrbahn Richtung Dübendorf, wie in Abbildung 30 und 31 dargestellt, erkennt man auch nach Auftrag des Haftklebers noch deutlich die Fräsfläche. Abbildungen 32 und 33 zeigen den Einbau der Binderschicht und die Applikation des Haftklebers auf die abkühlende Binderschicht. Interessant ist der leichte Farbunterschied zwischen Abbildungen 30 und 33 erkennbar, was auf einen deutlich beschleunigten Brechvorgang bei der Haftkleberapplikation vor dem Einbau der Deckschicht hindeutet.



Abb. 30 Applikation der Bitumenemulsion auf die Fräsfläche



Abb. 31 Fräsfläche ist unter dem Haftkleber noch sichtbar.



Abb. 32 Einbau der Binderschicht



Abb. 33 Applikation des Haftklebers auf die abkühlende Binderschicht.

Abbildungen 34 und 35 zeigen die Fräsfläche vor und nach der Haftkleberapplikation auf der Fahrbahn Richtung Uster. Dabei fallen die unfertigen Belagsstellen in Abbildung 35 deutlich ins Auge. Insgesamt ist die Spritzfläche, wie Abbildungen 36 und 37 verdeutlichen, relativ inhomogen. Zusätzlich sind in Abbildung 37, die sich am Lastwagenreifen bildenden Bitumenfäden zu sehen. Auch vor und während des Einbaus des Deckbelags sind deutlich Radspuren (Abtrag der Emulsion) und Bitumenfäden der Emulsion am Fertiger zu kennen (siehe Abbildungen 38 und 39).



Abb. 34 Fräsfläche vor Applikation des Haftklebers.



Abb. 35 Applikation des Haftklebers mit unfertigen Belagsstellen.

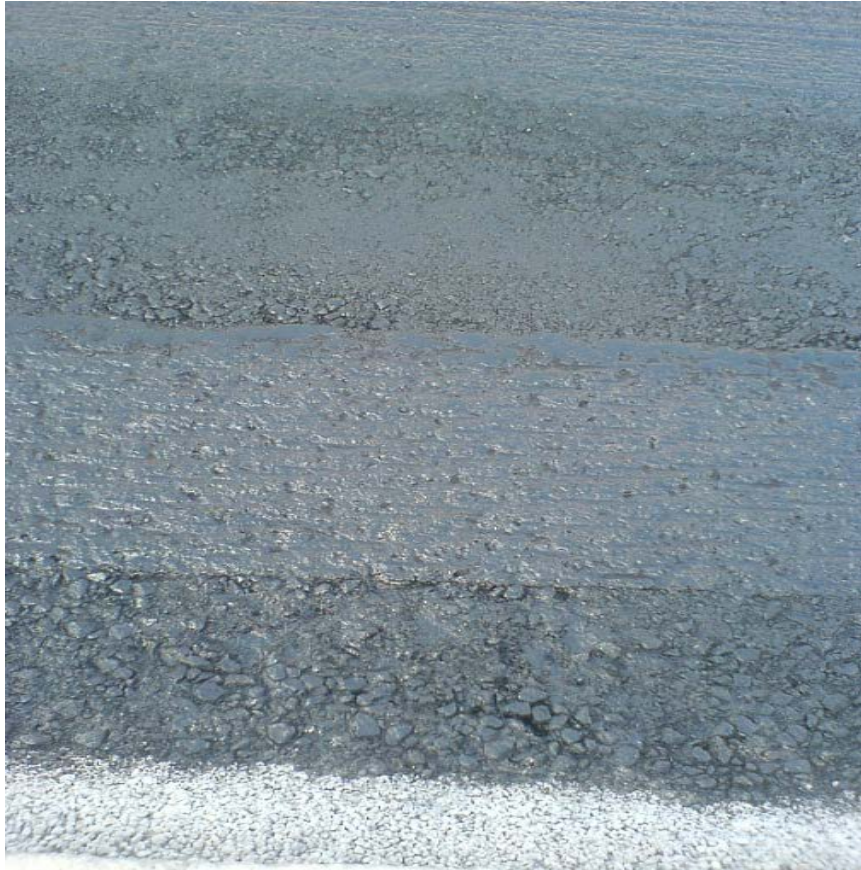


Abb. 36 unterschiedliche Oberflächen.



Abb. 37 Bitumenfäden am Reifen beim Einbau der Binderschicht.



Abb. 38 Haftkleberoberfläche mit LKW - Radsuren.



Abb. 39 Bitumenfäden beim Fertigerrad beim Einbau der Deckschicht.

4.1.10 A1 / Trasse von km 327.000 – 327.500 im Bereich Rastplatz Forrenberg Süd, Typ 6

Das Objekt umfasst einen Totalbelagersatz mit Deck-, Binder- und Tragschicht AC MR 8 mit PmB 45/80-65 (CH-E), AC EME 22 C1 mit Bitumen 15/25 und AC EME 22 C2 mit bitumen 10/20 auf einer hydraulisch gebundenen Fundationsschicht.

Die Applikation des Haftklebers auf der Trag- und Deckschicht erfolgte am Vorabend des Einbaus. Es wurde für beide Schichten ein Haftkleber mit PmB (HCP) verwendet. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich auf der AC EME 22 C2 um den Wert von 11.5 °C. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der AC EME 22 C1 zeigte einen Wert von 9.5 °C.

Abbildungen 40 bis 43 zeigen verschiedene Arbeitsschritte von der Haftkleberapplikation bis zum Einbau des AC EME-Belags. In Abbildung 41 sieht man anhand der Farbunterschiede den Unterschied zwischen nicht gebrochener Emulsion (braun) und gebrochener Emulsion (schwarz).



Abb. 40 Applikation des Haftklebers auf AC EME 22 C2



Abb. 41 Haftkleberoberfläche



Abb. 42 Belageinbau AC EME 22 C1: Einbau mit Beschicker.

4.1.11 A1 / Durchfahrtsstrecke Rastplatz Forrenberg Süd, Typ 10 mit Hartbitumen in der Binderschicht

Das Objekt umfasst einen Teilbelagersatz mit Deck- und Binderschicht (AC MR 8 mit PmB 45/80-65 (CH-E) und AC EME 22 C1 mit Bitumen 15/25) auf einer gefrästen Tragschicht.

Die Applikation des Haftklebers auf die gefräste Tragschicht erfolgte am Vorabend des Einbaus. Die Applikation der Bitumenemulsion für den Deckbelag erfolgte ebenfalls am Vortag. Für beide wurde ein Haftkleber mit PmB (HCP) verwendet. Die Mengenangaben des Haftklebers sind in Abbildung 2 aufgeführt. Sie basieren auf den Angaben des Haftkleberlieferanten.

Die Taupunktdifferenz der Oberfläche bewegte sich auf der Fräsfläche um den Wert von 11.5 °C. Die gemessene Taupunktdifferenz auf der AC EME 22 C1 zeigte einen Wert von 9.5 °C.

Auf dem Rastplatz wurden zur Zeit des Belageinbaus Erdarbeiten durchgeführt, was zu diversen Verschmutzungen auf der Fräsflächen führte (siehe auch Abbildung 49).

Abbildungen 43 bis 49 zeigen den gesamten Ablauf von der Nassreinigung einer Fräsfläche bis hin zum Einbau einer darauf liegenden Binderschicht. In dem hier dargestellten Objekt musste allerdings wegen starker Verschmutzung an bestimmten Stellen nachgespritzt werden (vgl. Abb. 47-48).



Abb. 43 Nass- und Trockenreinigung der Fräsfläche des bestehenden Belages.



Abb. 44 Oberfläche nach Nasshochdruckreinigung.



Abb. 45 Vorarbeiten Applikation der Emulsion entlang Randabschlüssen (optimaler noch mit Schutzführungsblech gegen Randabschuss).



Abb. 46 Applikation Emulsion auf Fräsflächen.



Abb. 47 Haftkleberoberfläche: sichtbarer Abtrag und Verschmutzung.



Abb. 48 Nachspritzen Abtrag- und Verschmutzungsflächen.



Abb. 49 Abtrag des Haftklebers auf gefrästen Oberflächen durch den Antransport des Belages.

5 Durchführung der Prüfungen

5.1 Baustellenbegleitung

Die Baustellen wurden von der Applikation des Haftklebers bis zum Einbau des Belags durch das Forschungsteam begleitet. Bei einigen Objekten funktionierte der Informationsfluss nicht bzw. das Bauprogramm wurde kurzfristig umgestellt, so dass die Anwesenheit nicht über den gesamten Einbauablauf gewährleistet werden konnte. Alle relevanten Daten wurden anhand eines Arbeitspapiers in Form einer Checkliste aufgenommen.

5.2 Bohrkernentnahme

Die Bohrkernentnahmen wurden gleichmäßig über die jeweilige Einbaustrecke verteilt. Es wurden pro Objekt und Entnahmezeitpunkt (nach Einbau, nach einigen Monaten, nach einigen Jahren) mindestens vier Bohrkernentnahmen vorgenommen. Je nach Streckenlänge wurde die Anzahl erhöht. Die Bohrkernentnahmestellen der Nachkontrollen (nach einigen Monaten, nach einigen Jahren) wurden in Längsrichtung um 0,50 m in Fahrtrichtung verschoben, um möglichst gleiche Bedingungen gewährleisten zu können. Bei allfälligen Verschmutzungen wurden zusätzliche Bohrkernentnahmen vorgenommen.

5.3 Prüfung des Schichtenverbunds nach Leutner

Zur Durchführung der Prüfungen wurde die direkte Scherprüfung nach Leutner [6] Schereinrichtung verwendet. Die Prüfeinrichtung erlaubt die Prüfung von Bohrkernen mit einem Durchmesser zwischen $d = 148 \text{ mm}$ und 152 mm , wobei die beiden u-förmigen Scherbackeneinsätze dem Bohrkernenddurchmesser im Millimeterabstand angepasst werden können (vgl. Abb. 2).

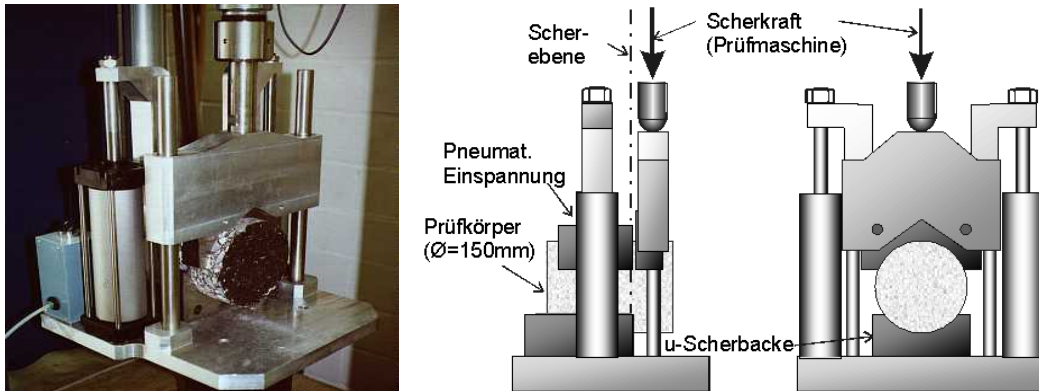


Abb. 50 Prüfeinrichtung für die Prüfung des Schichtenverbunds nach Leutner (nach [19])

Wie aus Abbildung 50 und den in [20] dargestellten Konstruktionsskizzen ersichtlich, liegt bei der Prüfung das eine Ende des Bohrkerns bis zur gewählten Scherebene auf einer u-förmigen Auflagefläche und wird von einer pneumatischen Einspannvorrichtung mit definiertem Druck angepresst, während das andere Ende des Prüfkörpers nicht gehalten wird. Die Scherkraft wird vom Kolben über den an einem Joch befestigten Scherbackeneinsatz weggesteuert mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min in die Scherebene eingeleitet. Dabei wird der Prüfkörper bis zum Bruch belastet. Eine Normalkraft in Achsrichtung des Prüfkörpers wird nicht aufgebracht. Der Durchmesser der Prüfkörper betrug 150 mm , die Prüftemperatur 20 °C . Die Abscherprüfung erfolgte in Einbau- bzw. Fahr- oder Fräsrichtung. Ermittelt wurde die maximale Scherkraft.

Die Durchführung der Prüfung des Schichtenverbunds erfolgte in 3 Etappen, um so den zeitlichen Verlauf bzw. die Entwicklung des Schichtenverbundes im Laufe der Zeit bestimmen zu können. Insgesamt wurde der Schichtenverbund:

- 1 bis 3 Tage nach Einbau
- 3 bis 5 Monate nach Einbau
- 12 bis 15 Monate nach Einbau bestimmt.

In drei Fällen wurde der mobile Verkehrslastsimulator MLS10 (siehe Kapitel 6.2) eingesetzt, um eine rasche Änderung des Verbundverhaltens durch eine Verkehrsbelastung zu simulieren. Hier wurde der Schichtenverbund nach 2 Monaten jeweils an 4 unbelasteten und an 4 mit 150'000 MLS10 Zyklen belasten Bohrkernen bestimmt.

5.4 Applikationsbedingungen für die Baustellen

Bei sämtlichen Flächen wurde eine Nassreinigung durchgeführt. Die Ausnahme bildeten die Baustellen (Dietikon/Oetwil a.d.L., Volketswil und Richterswil), bei denen zwei unterschiedliche Belagsschichten am gleichen Tag eingebaut wurden.

Die Applikation des Haftklebers erfolgte am Vorabend, am frühen Morgen oder beim Einbau von zwei Belagsschichten auf die noch abkühlende untere Belagsschicht.

Die Lieferanten des Haftklebers waren verpflichtet Lufttemperatur, Bodentemperatur und den Taupunkt auf der Baustelle zu messen. Ebenfalls musste der Haftklebverbrauch durch die Spritzfirma angegeben werden. Weiter wurden noch Rückstellproben des Haftklebers verlangt. Beim Objekt Richterswil, bei dem eine Eigenkonstruktion zur Aufbringung des Haftklebers verwendet wurde, erfolgte die Kontrolle anhand von Musterflächen. Dabei wurden unterschiedliche Entnahmeunterlagen (Metallplatte, Karton und Vlies) getestet.

Die Spritzmenge wurde je nach Oberfläche, Längsgefälle und den üblicherweise im Kanton Zürich verwendeten Spritzmengen definiert.

5.5 Weitere Resultate der Qualitätskontrolle des TBA

Infolge der gleichzeitigen Abnahmeprüfungen des Tiefbauamtes des Kantons Zürich (TBA) zur Bestimmung der Qualität des Einbaues konnte bei den nach 1 bis 3 Tagen entnommenen Bohrkernen die Werte der Schichtstärke, des Hohlraumgehaltes und die Verdichtung in die Forschung integriert werden.

6 Untersuchungsergebnisse

6.1 Resultate der Prüfung des Schichtenverbunds nach Leutner

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Einzelwerte bzw. der Mittelwerte unter Angabe der Standardabweichung für jede Entnahmestelle und geprüfte Schichtenfolge nach Einbau und nach 3 bzw. 12 Monaten. Alle Einzel- und Mittelwerte sind zahlenmässig zusätzlich den Tabellen im Anhang I1 zu entnehmen.

6.1.1 Objekt Thalwil, Tischloostrasse

Abbildungen 51 und 52 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 S und Binderschicht AC B 22 S mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 22.1 kN und 27.0 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 15.0 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 52 hervorgeht nach 3 Monaten leicht (der Mittelwert steigt von 25.1 kN auf 27.6 kN) und nach 12 Monaten (der Mittelwert steigt von 25.1 kN auf 30.5 kN) deutlich zugenommen. Wie anhand der Standardabweichungen zu sehen, ist die Verteilung der Scherkräfte zu allen Entnahmezeitpunkten sehr gleichmässig.

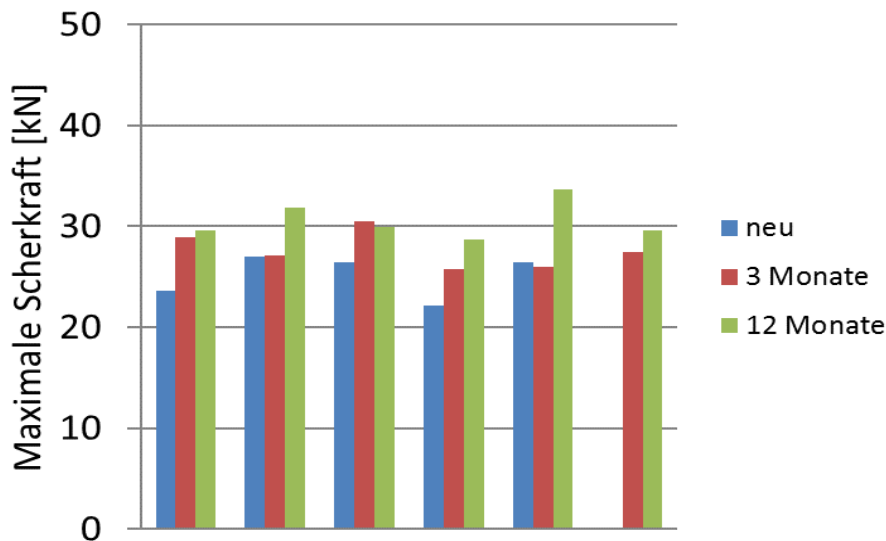


Abb. 51 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

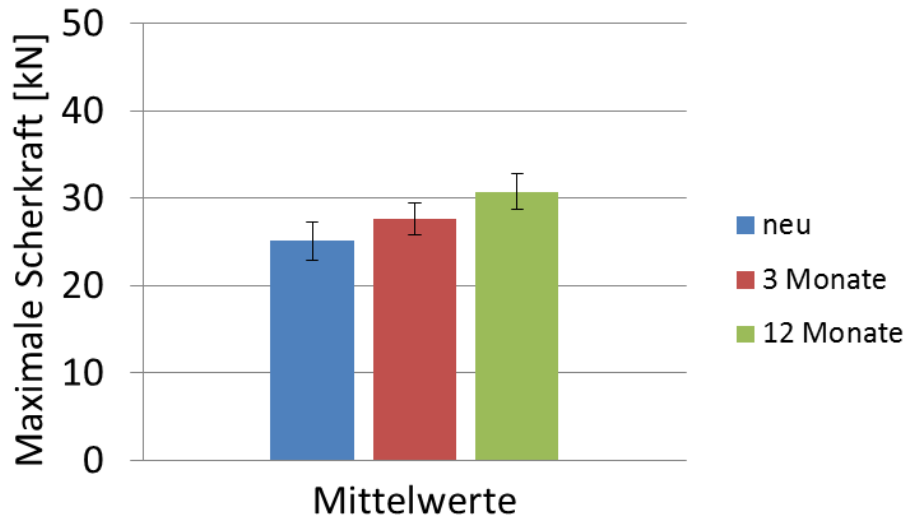


Abb. 52 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

Abbildungen 53 und 54 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC B 22 S und Fräsfläche mit einem Haftkleber HC nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten. Hier wurde nicht in allen Fällen eine erneute Bohrkernentnahme durchgeführt.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 11.0 kN und 32.3 kN. Somit wird mit einer Ausnahme der Anforderungswert nach Schweizer Norm von 12.0 kN gut erreicht. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 53 hervorgeht nach 3 Monaten leicht (der Mittelwert steigt von 22.6 kN auf 26.5 kN) und nach 12 Monaten (der Mittelwert steigt von 22.6 kN auf 37.0 kN) deutlich zugenommen.

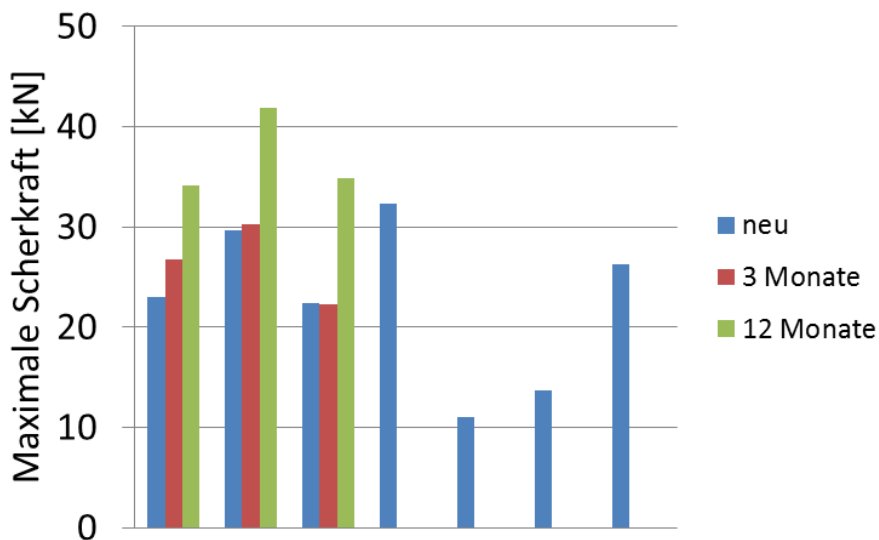


Abb. 53 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

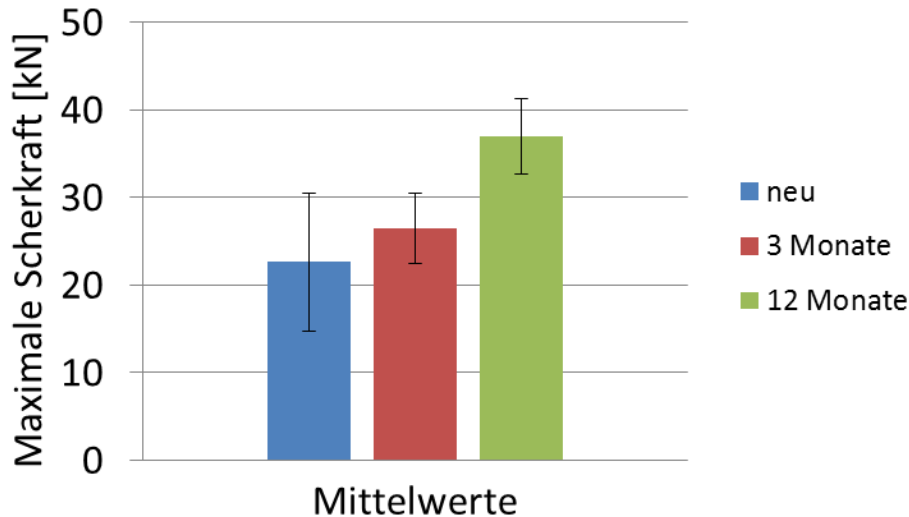


Abb. 54 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

Abbildungen 55 und 56 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC B 22 S und Heissmischfundationsschicht AC F 22 mit einem Haftkleber HC nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 20.7 kN und 27.0 kN. Somit konnte der Anforderungswert nach Schweizer Norm von 12.0 kN gut erreicht. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 56 hervorgeht nach 3 Monaten (der Mittelwert steigt von 23.3 kN auf 28.0 kN) und nach 12 Monaten (der Mittelwert steigt auf 33.3 kN) deutlich zugenommen.

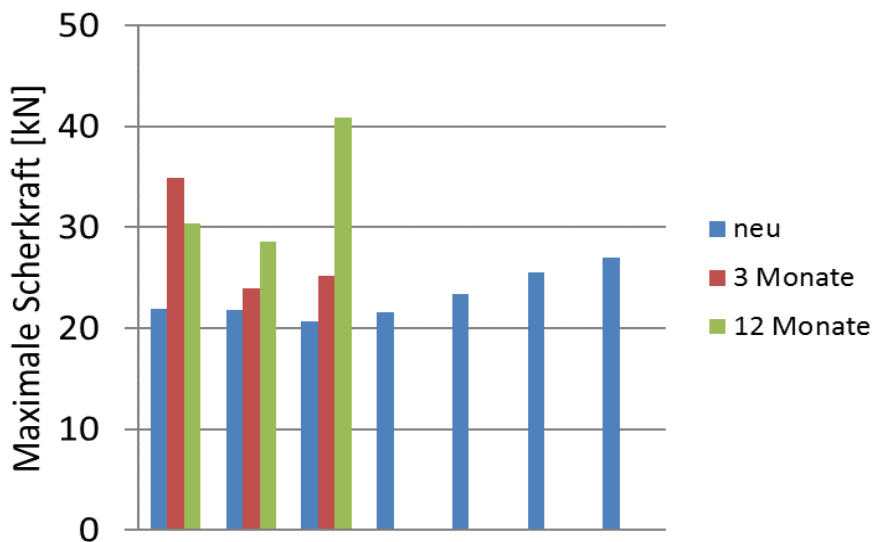


Abb. 55 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

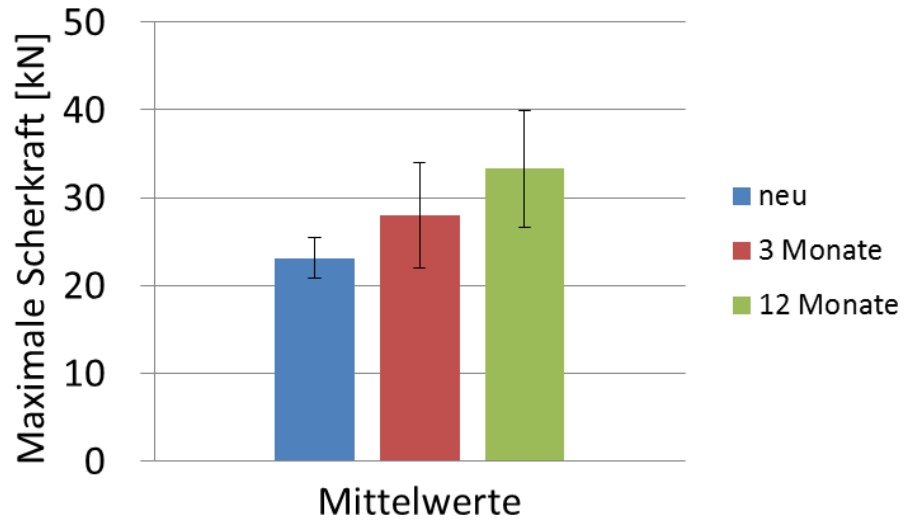


Abb. 56 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

6.1.2 Objekt Stadel / Weiach, Kaiserstuhl- und Stadlerstrasse

Abbildungen 57 und 58 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 S und Binderschicht AC B 22 S mit einem Haftkleber HC nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 19.0 kN und 31.2 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 15.0 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 58 hervorgeht nach 3 Monaten leicht (der Mittelwert steigt von 26.4 kN auf 31.1 kN) und nach 12 Monaten (der Mittelwert steigt von 26.4 kN auf 35.4 kN) deutlich zugenommen. Wie anhand der Standardabweichungen zu sehen, ist die Verteilung der Scherkräfte zu allen Entnahmezeitpunkten gleichmässig hoch.

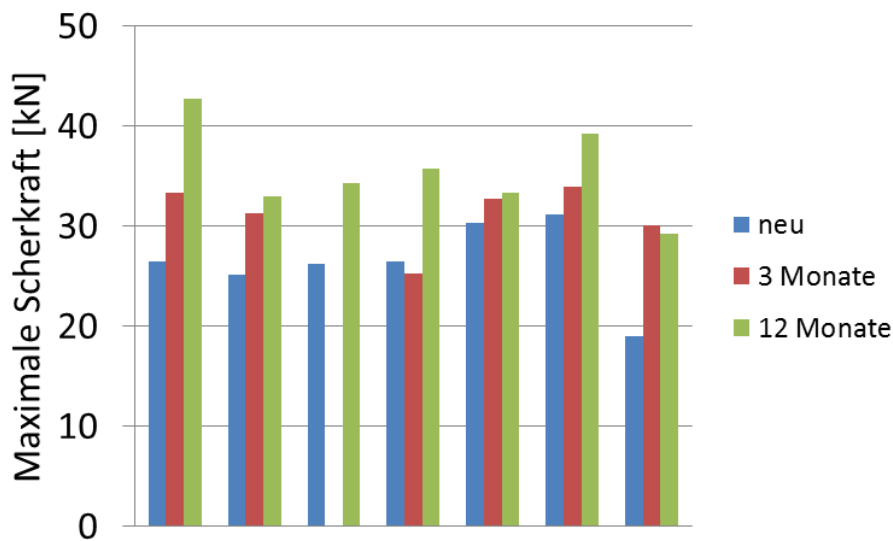


Abb. 57 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

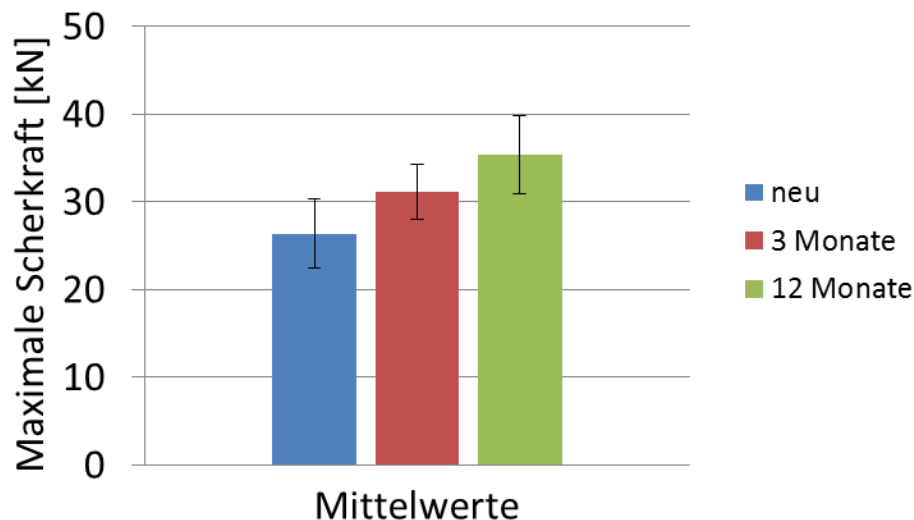


Abb. 58 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

Abbildungen 59 und 60 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC B 22 S und Fräsfläche mit einem Haftkleber HC nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 14.7 kN und 29.2 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 60 hervorgeht nach 3 Monaten leicht zugenommen (der Mittelwert steigt von 21.7 kN auf 25.5 kN) und steigt nach 12 Monaten weiter an (der Mittelwert steigt von 21.7 kN auf 29.8 kN).

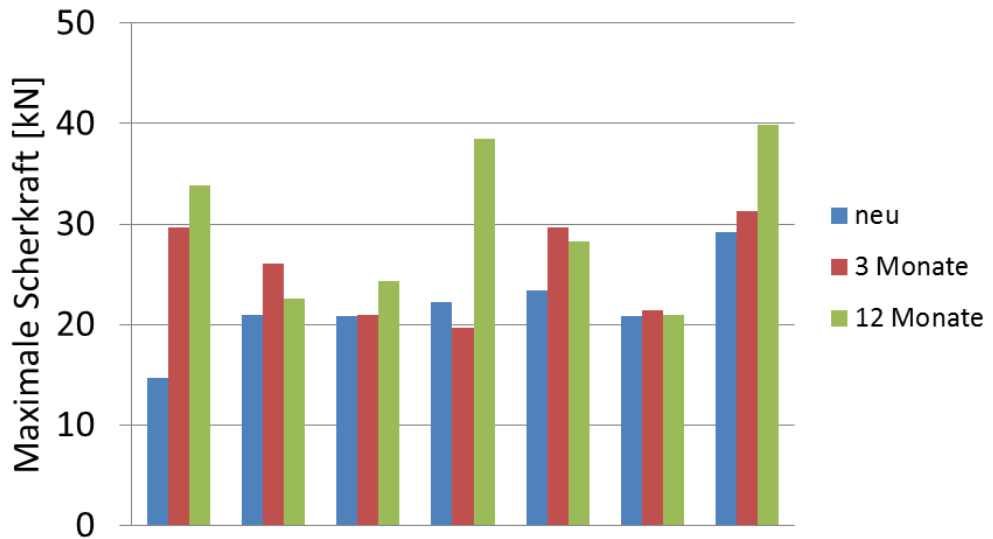


Abb. 59 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

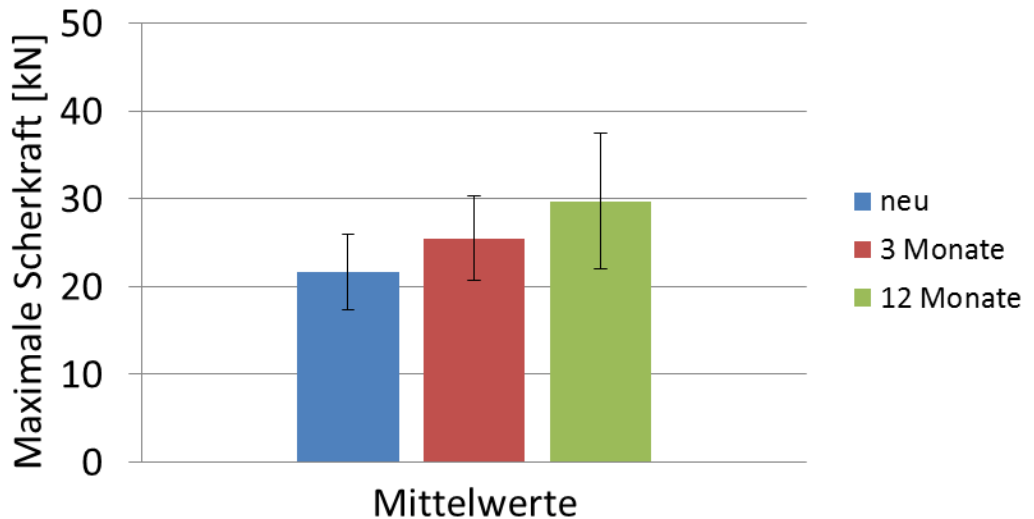


Abb. 60 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

6.1.3 Schlatt, Büel-, Heitertal-und Eggerstrasse

Büelstrasse und Heitertalstrasse:

Abbildungen 61 und 62 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 S und Tragschicht AC T 22 S mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 9.9 kN und 27.6 kN bzw. 17.9 kN und 25.9 kN. An einem Bohrkern wurde allerdings nur ein Wert von knapp 10.0 kN ermittelt, wobei es sich um eine an einer Stelle mit Verschmutzung entnommene Probe handelt. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 62 hervorgeht nach 3 Monaten leicht (der Mittelwert steigt von 20.0 kN bzw. 20.3 kN auf 22.0 kN bzw. 23.1 kN) und nach 12 Monaten (der Mittelwert steigt von 20.0 kN bzw. 20.3 kN auf 29.5 kN bzw. 27.4 kN) deutlich an, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, in allen Fällen relativ grosse Schwankungen zwischen den Einzelwerten bestehen.

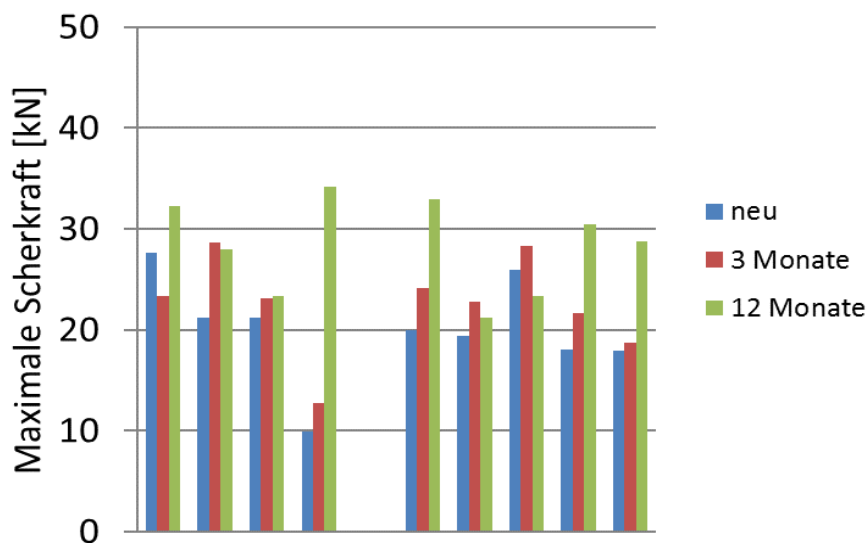


Abb. 61 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

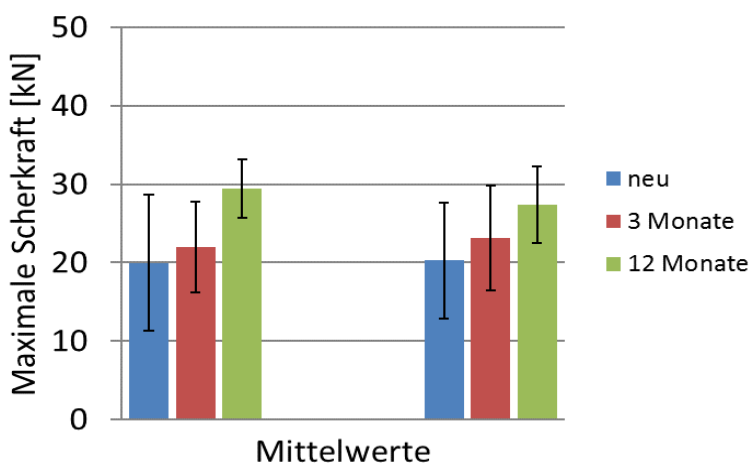


Abb. 62 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

Eggerstrasse:

Abbildungen 63 und 64 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 S und Tragschicht AC T 22 S mit einem Haftkleber HC nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 9.0 kN und 29.2 kN. An einem Bohrkern wurde allerdings nur ein Wert von 9.0 kN ermittelt, wobei dieser Bereich nach drei Monaten einen Wert von 18.9 kN aufweisen konnte. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 63 hervorgeht nach 3 Monaten deutlich (der Mittelwert steigt von 17.5 kN auf 24.8 kN) und nach 12 Monaten unwesentlich (der Mittelwert steigt von 17.5 kN auf 25.0 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, zu Beginn relativ grosse Schwankungen zwischen den Einzelwerten bestanden.

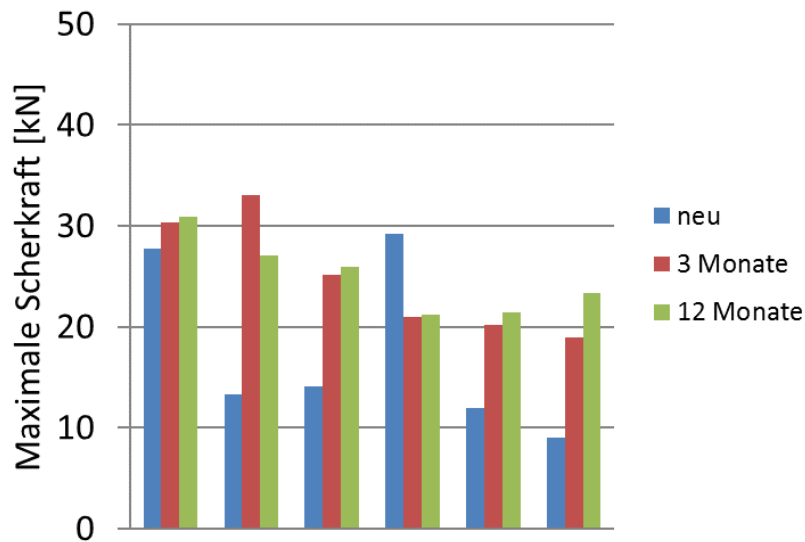


Abb. 63 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

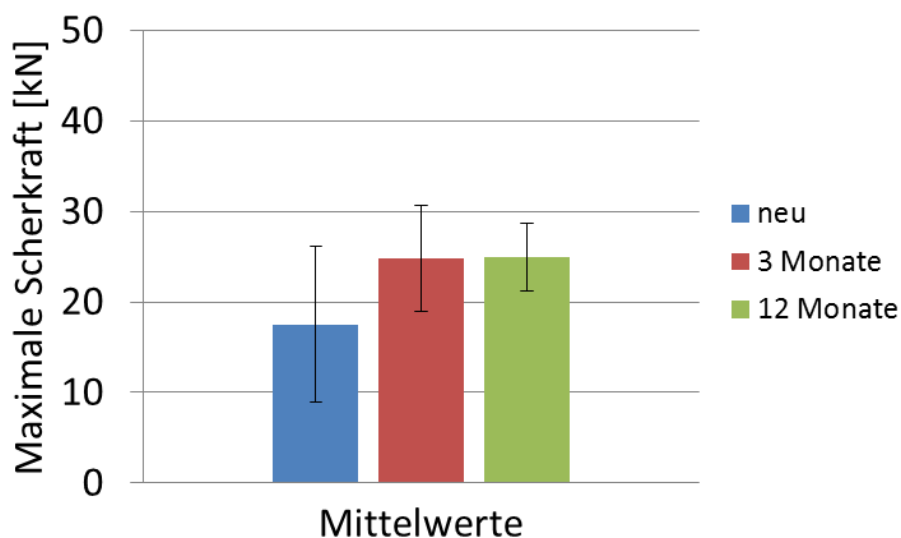


Abb. 64 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

6.1.4 Objekt Oetwil am See, Chrüzlenstrasse

Abbildungen 65 und 66 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 S und Fräsfläche mit einem Haftkleber HC nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 20.7 kN und 40.8 kN und erfüllen den Anforderungswert von 15 kN nach Schweizer Norm. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb.66 hervorgeht nach 3 Monaten leicht (der Mittelwert steigt von 27.1 kN auf 31.9 kN) und nach 12 Monaten nochmals (der Mittelwert steigt von 27.1 kN auf 34.2 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, in allen Fällen relativ grosse Schwankungen zwischen den Einzelwerten bestehen.

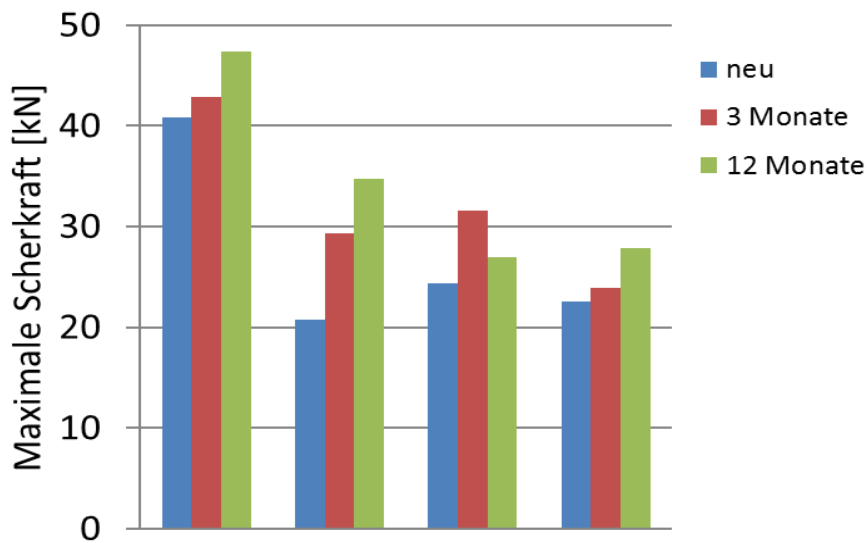


Abb. 65 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

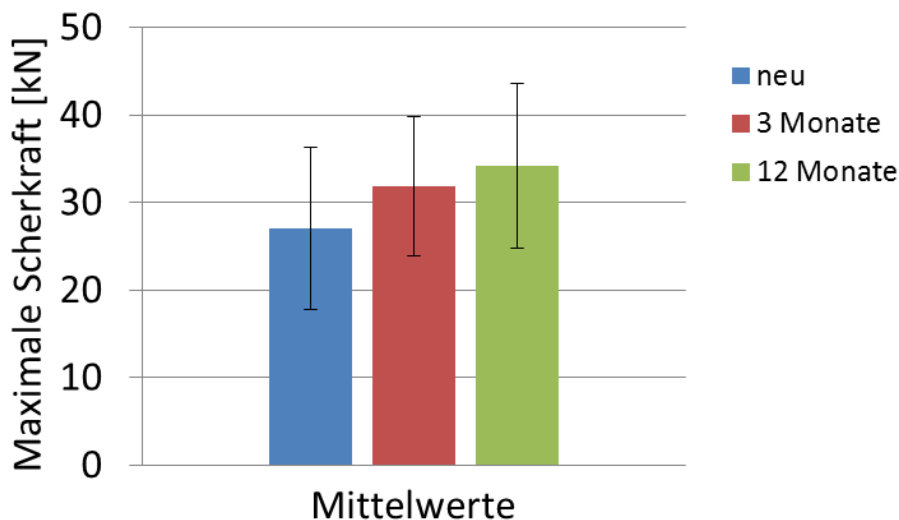


Abb. 66 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

6.1.5 Objekt Buchs / Regensdorf, Furttal-, Buchserstrasse

Abbildungen 67 und 68 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 H bzw. AC MR 8 und Binderschicht AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen beim AC 8 H zwischen 25.4 kN und 31.5 kN und beim AC MR 8 zwischen 26.1 kN und 27.1 kN und erfüllen den Anforderungswert von 15.0 kN nach Schweizer Norm. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 68 hervorgeht beim AC 8 H nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 31.5 kN auf 37.3 kN) und nach 12 Monaten nochmals (der Mittelwert steigt von 31.5 kN auf 41.3 kN) zugenommen. Auch beim AC MR 8 zeigt sich nach 3 Monaten eine leichte (der Mittelwert steigt von 26.6 kN auf 28.7 kN) und nach 12 Monaten nochmals (der Mittelwert steigt von 26.6 kN auf 33.6 kN) eine stärkere Zunahme. Wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, bestehen beim AC 8 H in allen Fällen relativ grosse und beim AC MR 8 kleine Schwankungen zwischen den Einzelwerten.

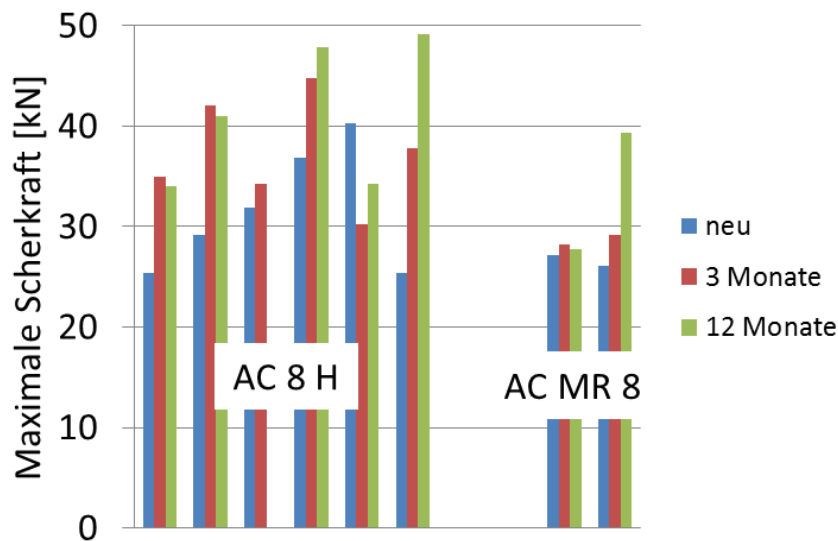


Abb. 67 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

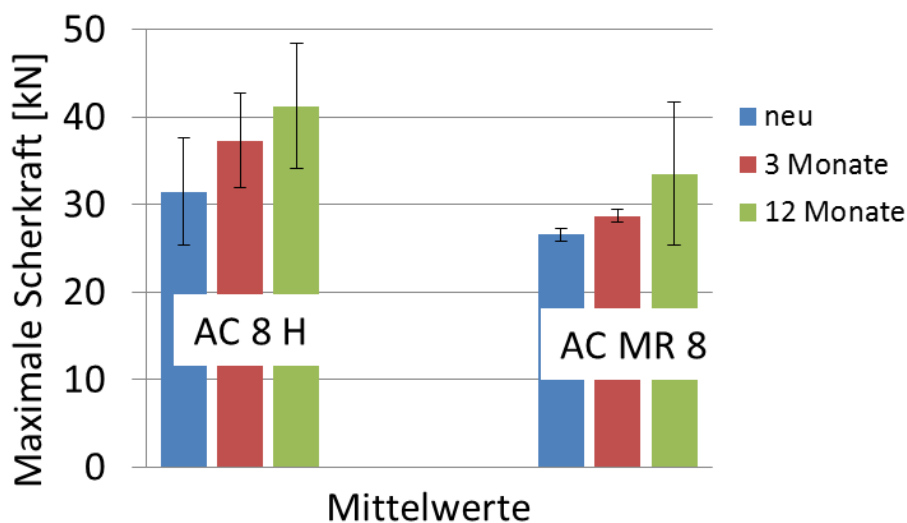


Abb. 68 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

Abbildungen 69 und 70 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC EME 22 C1 und Fräsfläche mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 13.2 kN und 31.2 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12.0 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes steigt wie aus Abb. 70 hervorgeht nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 23.5 kN auf 30.1 kN) und nach 12 Monaten weiter stark (der Mittelwert steigt von 23.5 kN auf 37.0 kN) an.

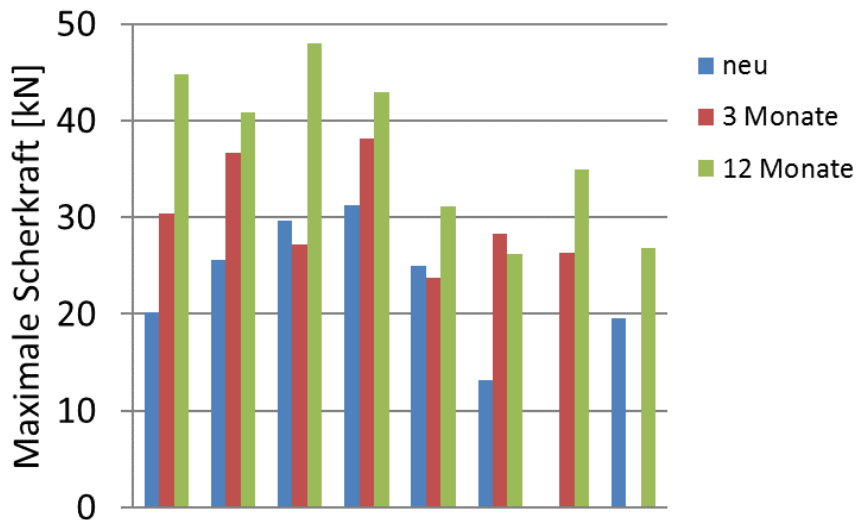


Abb. 69 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

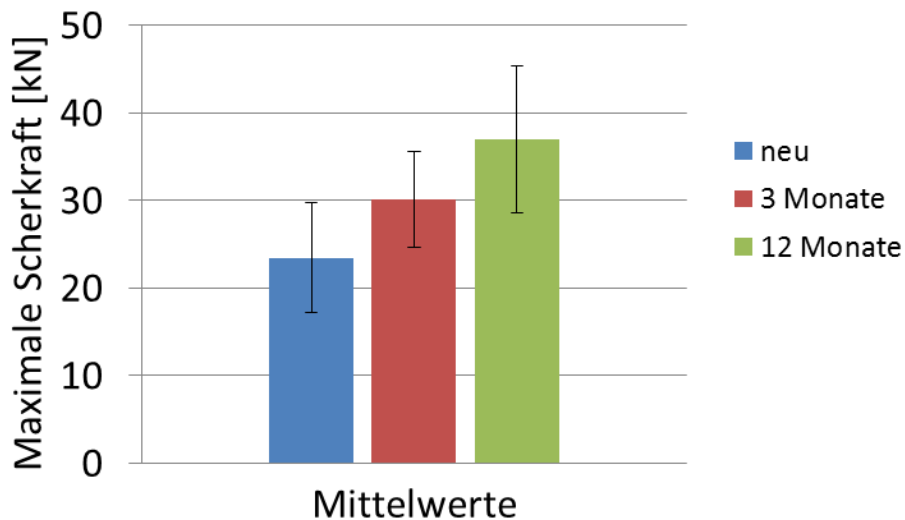


Abb. 70 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

6.1.6 Objekt Dietikon / Oetwil a.d.Limmat, Limmat-, Mutschellenstrasse

Abbildungen 71 und 72 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 H und Binderschicht AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen beim AC 8 H zwischen 26.0 kN und 31.8 kN und erfüllen den Anforderungswert von 15.0 kN nach Schweizer Der Wert des Schichtenverbundes steigt wie aus Abb. 72 hervorgeht beim AC 8 H nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 29.6 kN auf 38.1 kN) und nach 12 Monaten nochmals leicht (der Mittelwert steigt von 29.6 kN auf 42.4 kN) an, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC 8 H in allen Fällen kleine Schwankungen zwischen den Einzelwerten bestehen.

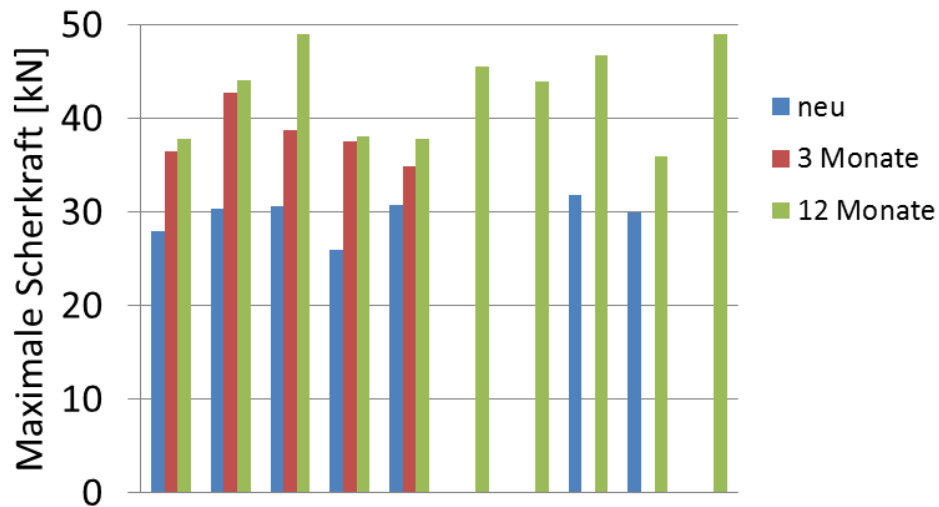


Abb. 71 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

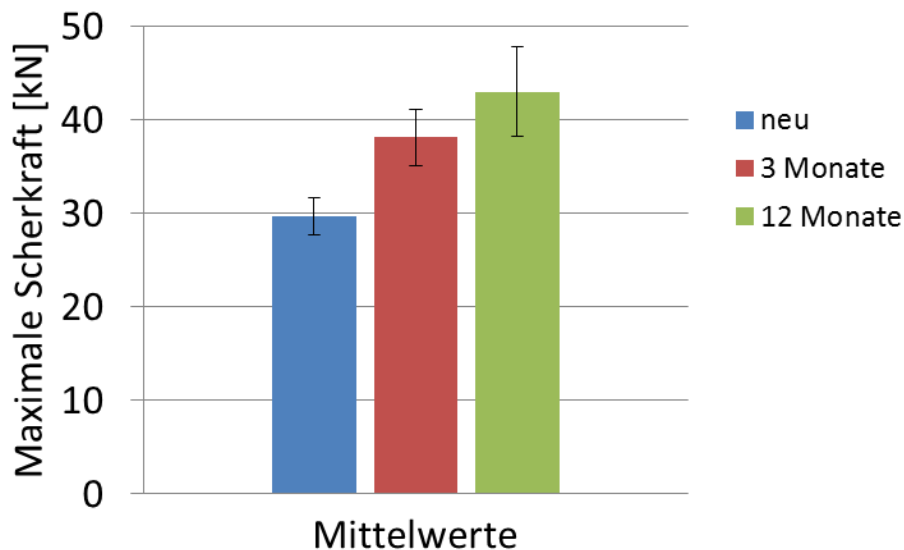


Abb. 72 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

Abbildungen 73 und 74 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC EME 22 C1 und Fräsfläche mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 12.0 kN und 27.3 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12.0 kN als unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 74 hervorgeht nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 21.9 kN auf 29.9 kN) zugenommen. Nach 12 Monaten kann zwar tendenziell eine Steigerung (der Mittelwert steigt von 21.9 kN auf 28.9 kN) festgestellt werden, der Mittelwerte hat sich aber gegenüber dem Wert nach 3 Monaten nicht verändert. Wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, kann beim AC 8 H in allen Fällen eine grosse Schwankung zwischen den Einzelwerten festgestellt werden.

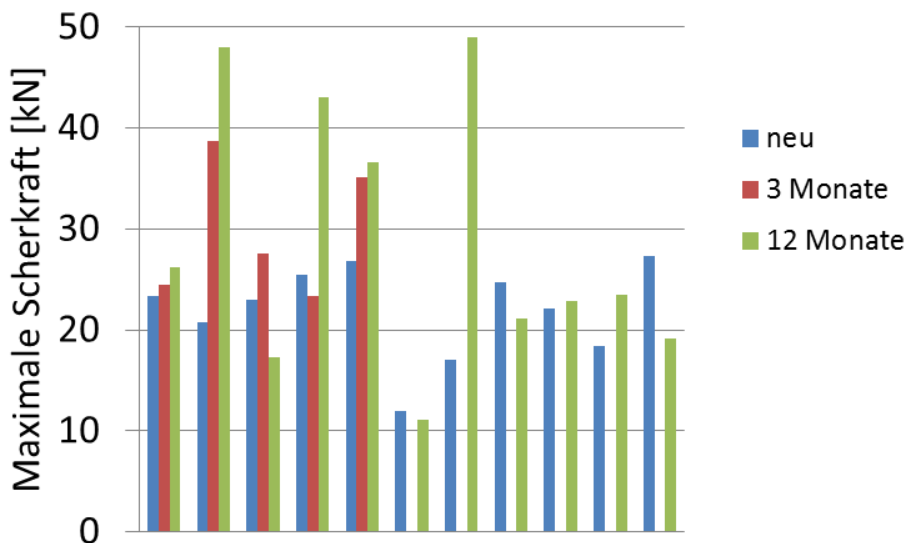


Abb. 73 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

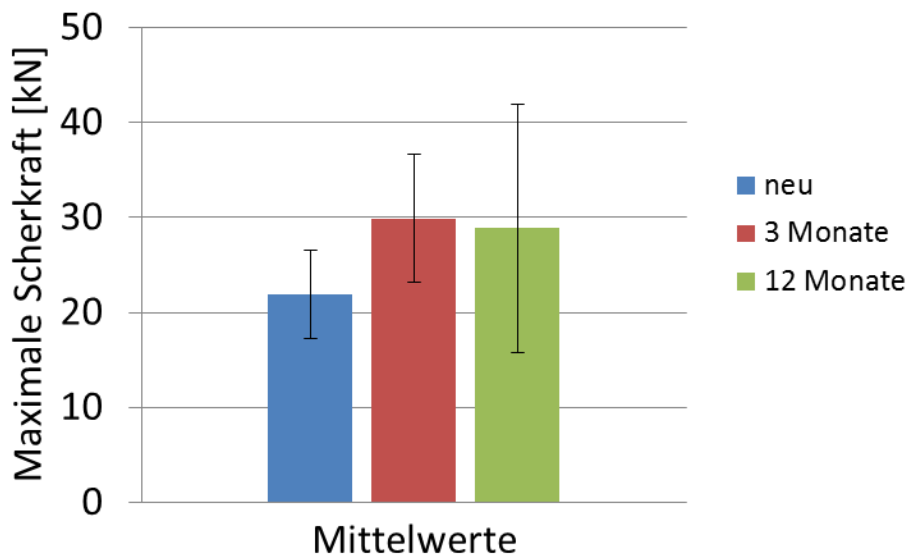


Abb. 74 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

6.1.7 A1 / Rastplatz Forrenberg Süd

Abbildungen 75 und 76 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 H und Binderschicht AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP nach Einbau und nach 3 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen beim AC 8 H zwischen 17.5 kN und 31.1 kN und erfüllen den Anforderungswert von 15.0 kN nach Schweizer Norm. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 76 hervorgeht beim AC 8 H nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 26.4 kN auf 39.3 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC 8 H in allen Fällen zu Beginn eine hohe Schwankung zwischen den Einzelwerten vorhanden ist.

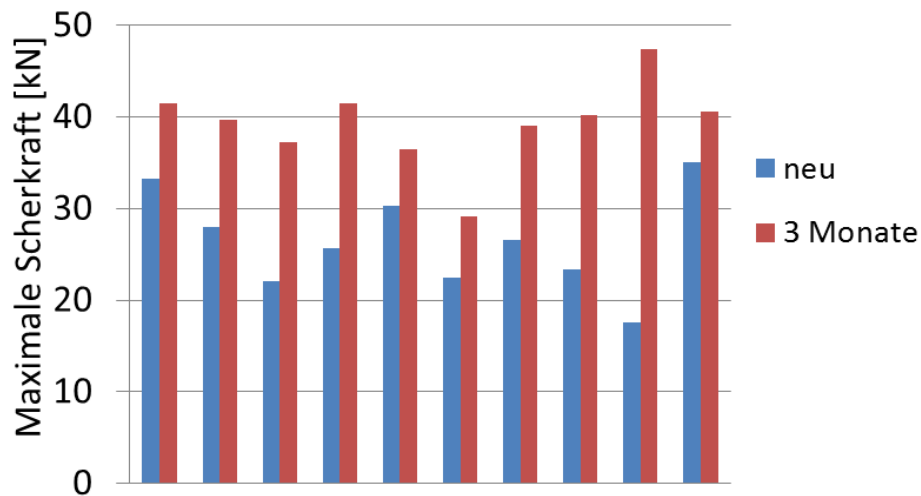


Abb. 75 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau und nach 3 Monaten.

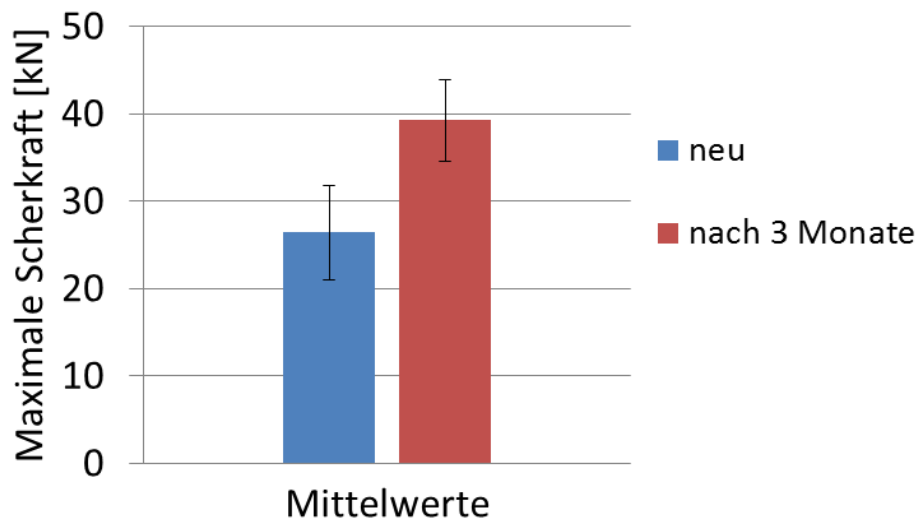


Abb. 76 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau und nach 3 Monaten.

Abbildungen 77 und 78 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC EME 22 C1 und Fräsfläche oder teilweise AC T 22 S mit einem Haftkleber HCP nach Einbau und nach 3 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 15.2 kN und 32.9 kN, an einer Stelle wurde ein Wert von 0.0kN ermittelt. Unter Ausschluss dieses Wertes können die Scherkräfte nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12.0 kN als unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 78 hervorgeht nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 23.6 kN auf 34.1 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC EME 22 C1 in allen Fällen eine hohe Schwankung zwischen den Einzelwerten vorhanden ist.

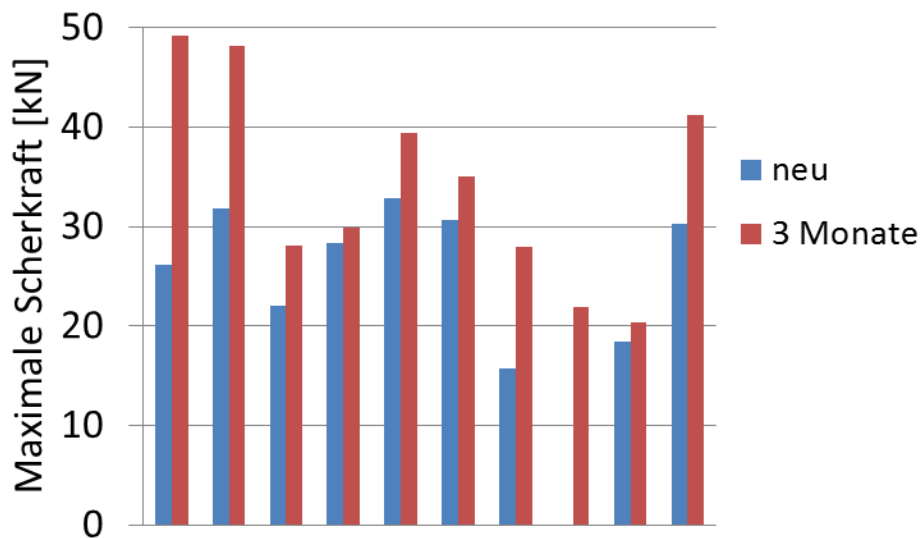


Abb. 77 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau und nach 3 Monaten.

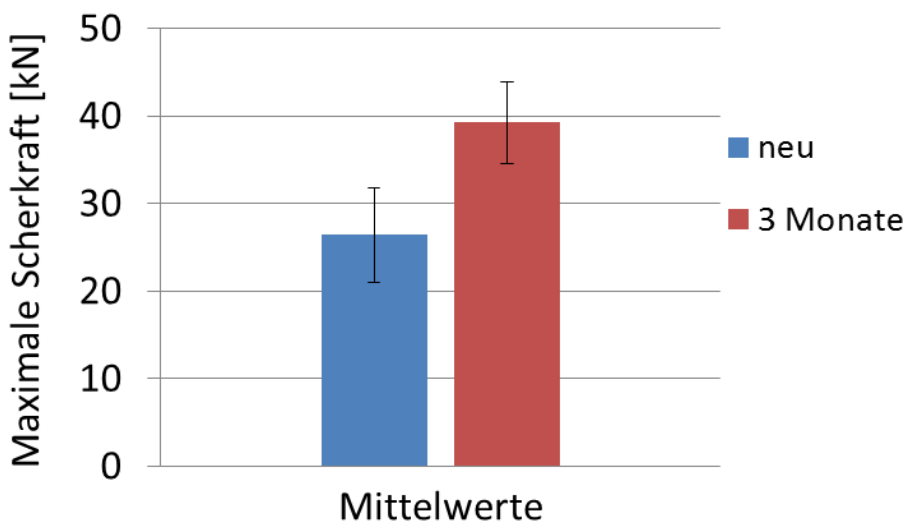


Abb. 78 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau und nach 3 Monaten.

6.1.8 Objekt Richterswil, Glarnerstrasse

Abbildungen 79 und 80 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC 8 H mit NV auf Wachsbasis und Binderschicht AC T 22 H mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen beim AC 8 H zwischen 15.2 kN und 28.1 kN und erfüllen den Anforderungswert von 15.0 kN nach Schweizer Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 80 hervorgeht beim AC 8 H nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 24.3 kN auf 35.5 kN) und nach 12 Monaten leicht (der Mittelwert steigt von 24.3 kN auf 40.0 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC 8 H in allen Fällen zu Beginn eine hohe Schwankung zwischen den Einzelwerten festzustellen ist.

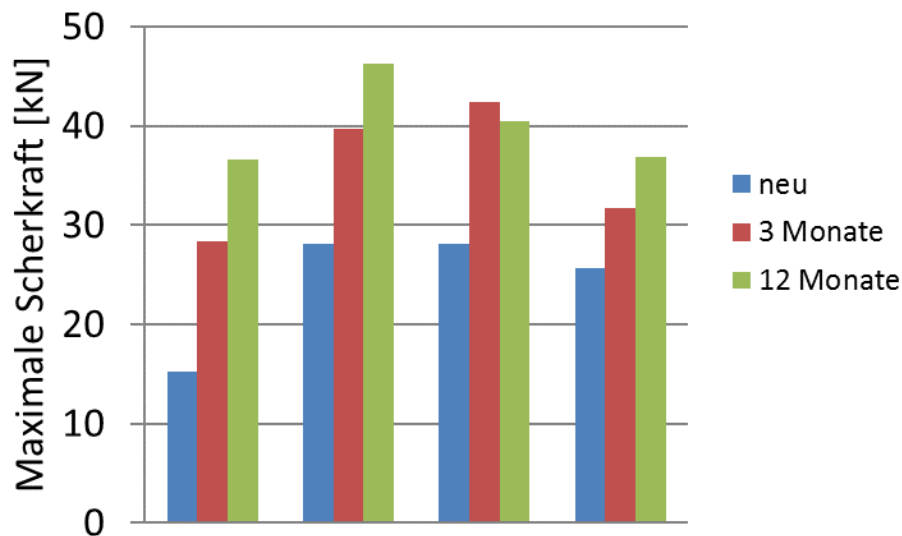


Abb. 79 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

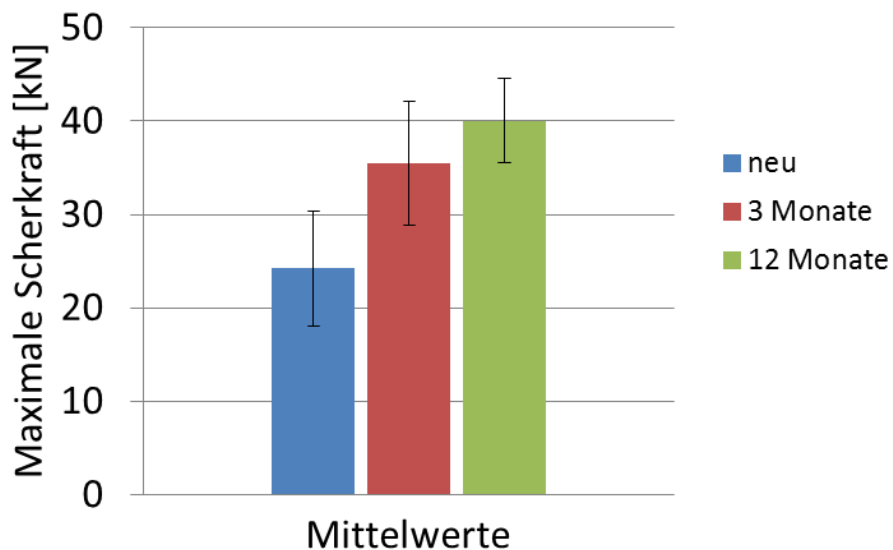


Abb. 80 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

Abbildungen 81 und 82 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC T 22 H und Fräsfläche oder teilweise AC T 22 S mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 22.1 kN und 34.0 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12.0 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 82 hervorgeht nach 3 Monaten leicht (der Mittelwert steigt von 26.3 kN auf 32.6 kN) und nach 12 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 26.3 kN auf 39.3 kN) zugenommen. Wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, kann beim AC 8 H in allen Fällen eine mittlere Schwankung zwischen den Einzelwerten festgestellt werden.

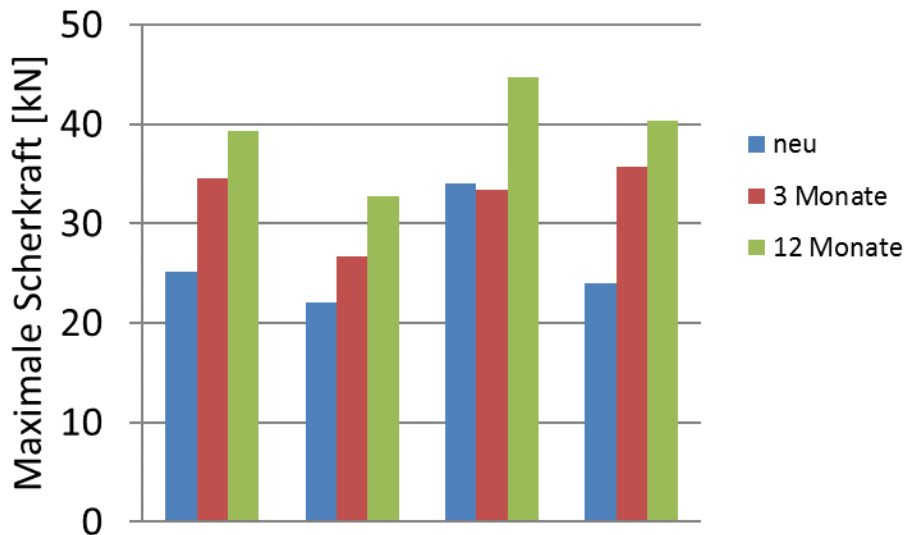


Abb. 81 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

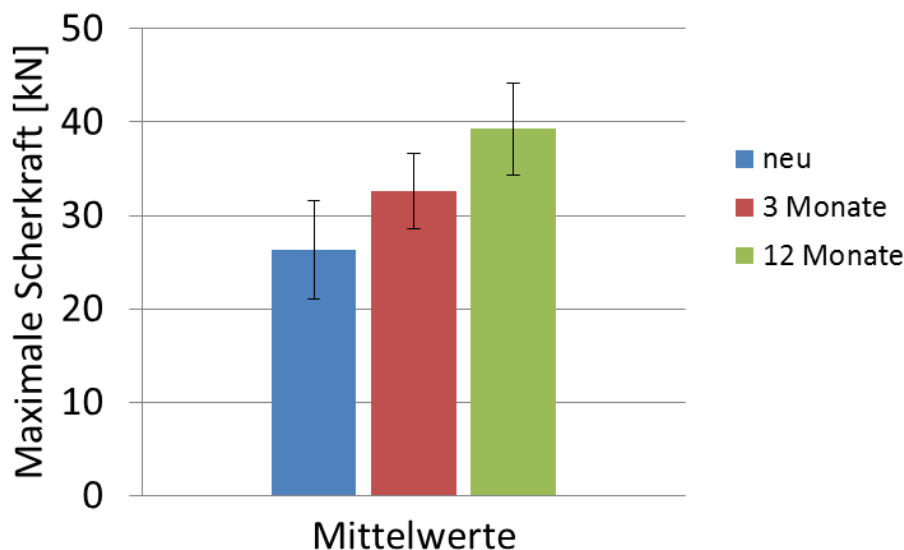


Abb. 82 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

6.1.9 Objekt Volketswil, Usterstrasse

Abbildungen 83 und 84 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC MR 8 und Binderschicht AC B 22 H mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 21.3 kN und 33.4 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12.0 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 84 hervorgeht nach 3 Monaten eine leichte Abnahme (der Mittelwert sinkt von 25.9 kN auf 24.0 kN) zu verzeichnen. Nach 12 Monaten kann eine starke Steigerung (der Mittelwert steigt von 25.9 kN auf 37.2 kN) festgestellt werden. Anhand der Standardabweichung kann beim AC MR 8 in allen Fällen eine mittlere bis grosse (nach 12 Monaten) Schwankung zwischen den Einzelwerten festgestellt werden.

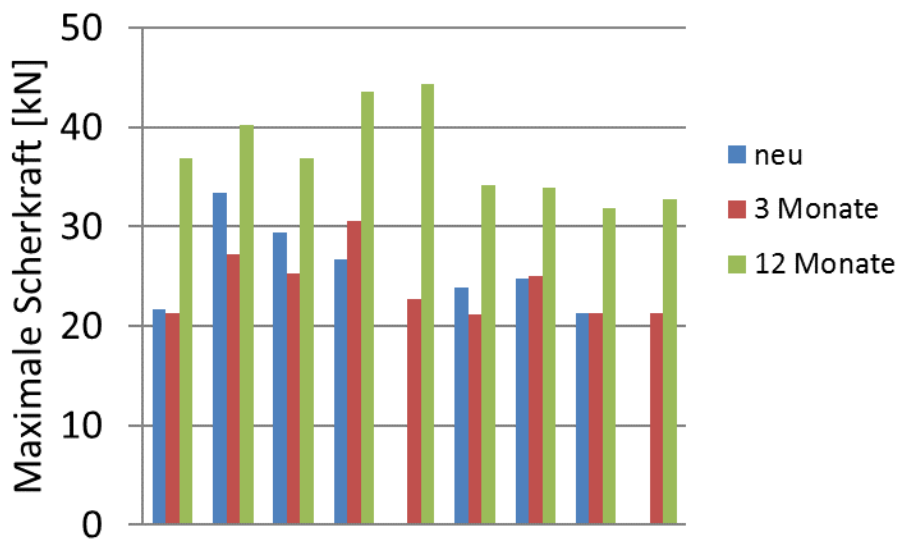


Abb. 83 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

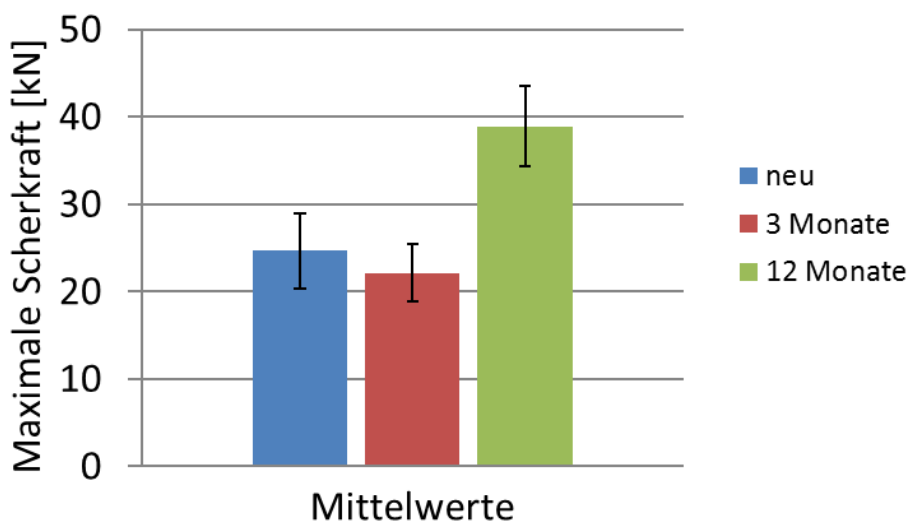


Abb. 84 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

Abbildungen 85 und 86 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC B 22 H und Fräsfläche oder teilweise AC T 22 S mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 16.7 kN und 47.1 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12.0 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 86 hervorgeht nach 3 Monaten eine Abnahme (der Mittelwert sinkt von 24.6 kN auf 22.1 kN) zu verzeichnen. Nach 12 Monaten kann eine starke Steigerung (der Mittelwert steigt von 24.6 kN auf 38.9 kN) festgestellt werden. Anhand der Standardabweichung kann beim AC B 22 H in allen Fällen eine extrem grosse Schwankung zwischen den Einzelwerten festgestellt werden.

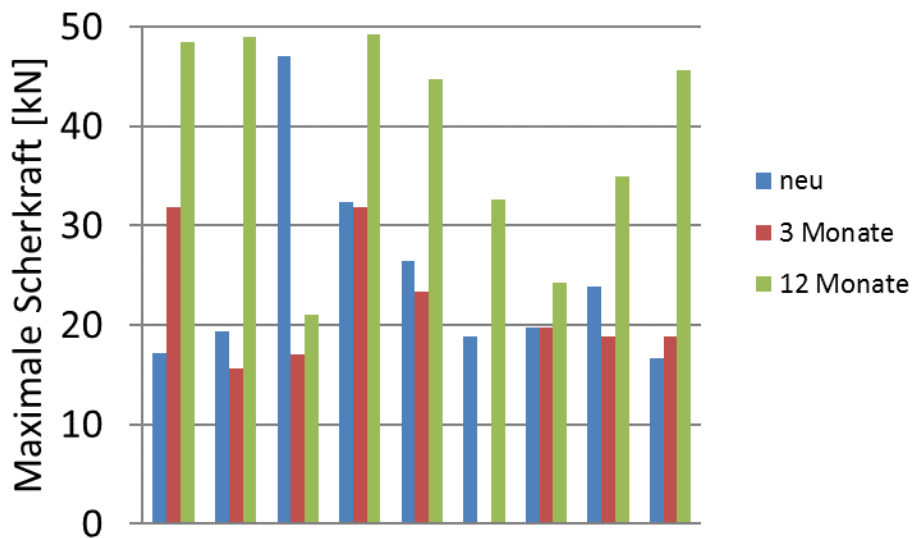


Abb. 85 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

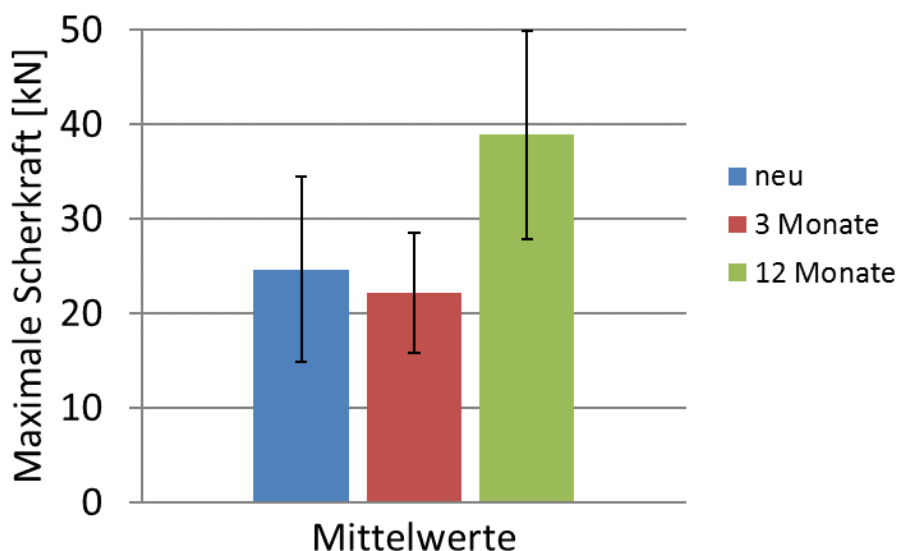


Abb. 86 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten.

6.1.10 A1 / Trasse von km 327.000 – 327.500 im Bereich Rastplatz Forrenberg Süd

Abbildungen 87 und 88 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC MR 8 und Binderschicht AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP nach Einbau und nach 3 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen beim AC MR 8 zwischen 17.5 kN und 52.1 kN und erfüllen den Anforderungswert von 15.0 kN nach Schweizer Norm. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 88 hervorgeht beim AC MR 8 nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 26.7 kN auf 28.9 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC MR 8 in allen Fällen eine hohe Schwankung zwischen den Einzelwerten vorhanden ist.

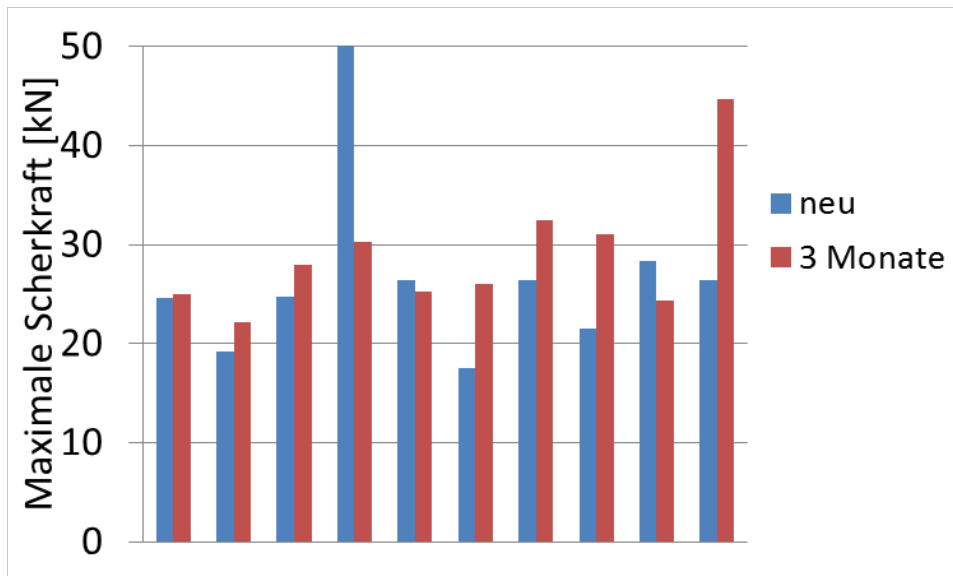


Abb. 87 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau und nach 3 Monaten.

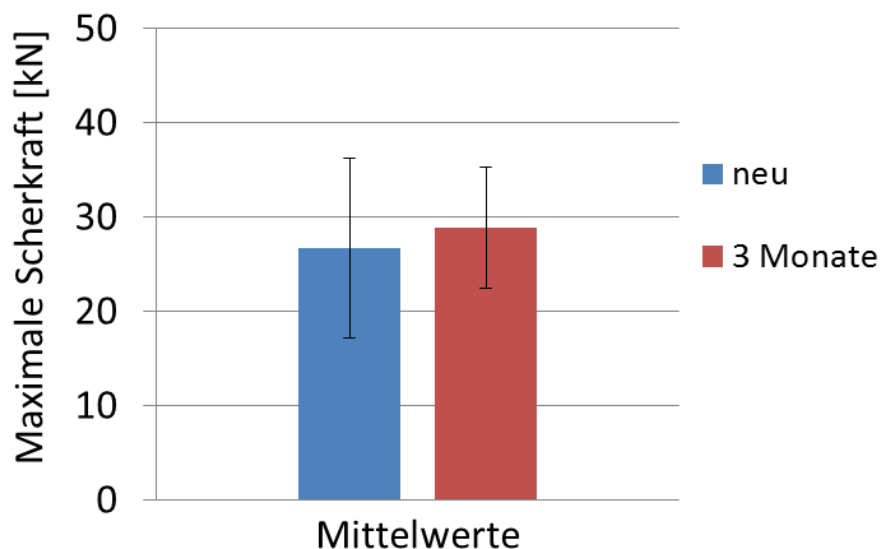


Abb. 88 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau und nach 3 Monaten.

Abbildungen 89 und 90 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC EME 22 C1 und Tragschicht AC EME 22 C2 mit einem Haftkleber HCP nach Einbau und nach 3 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 28.7 kN und 49.2 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12.0 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 90 hervorgeht nach 3 Monaten noch leicht (der Mittelwert steigt von 45.0 kN auf 48.1 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC EME 22 C1 in allen Fällen zu Beginn noch eine hohe Schwankung zwischen den Einzelwerten vorhanden ist.

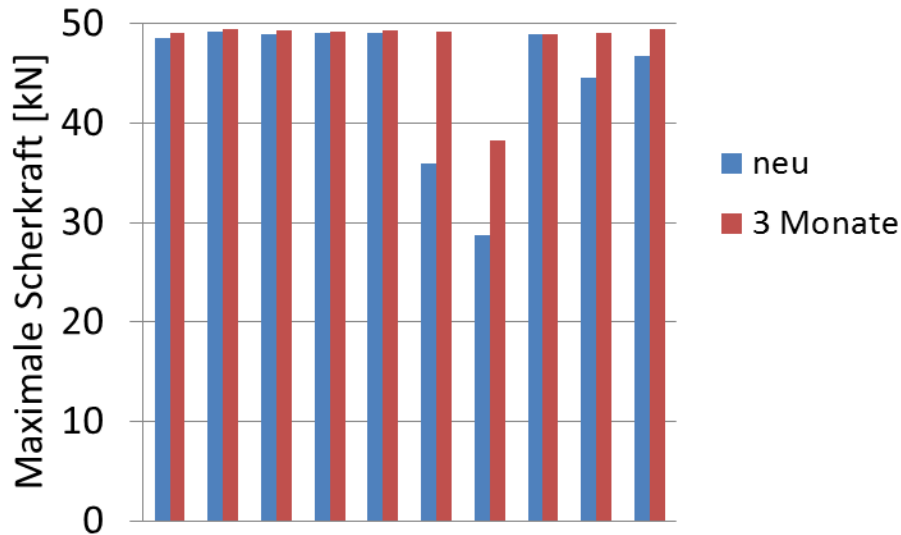


Abb. 89 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau und nach 3 Monaten.

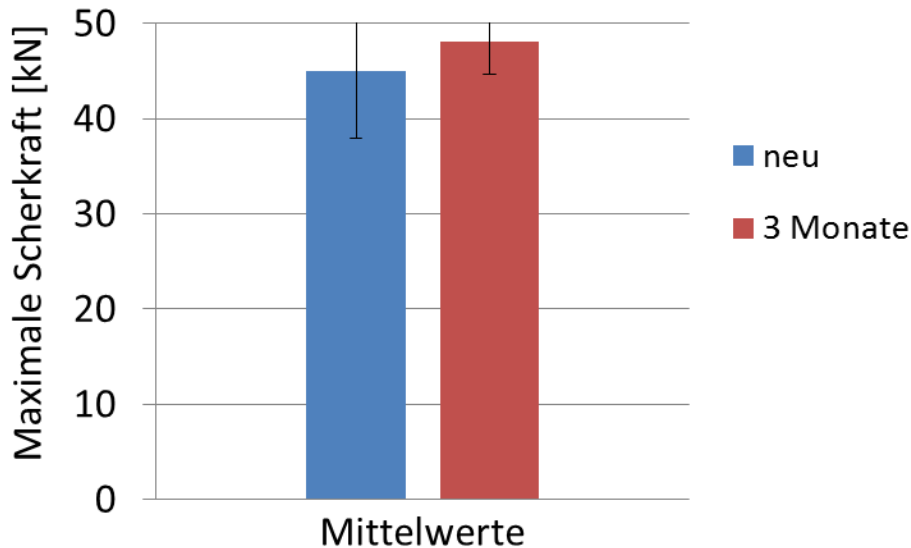


Abb. 90 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau und nach 3 Monaten.

6.1.11 A1 / Durchfahrtsstrecke Rastplatz Forrenberg Süd

Abbildungen 91 und 92 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC MR 8 und Binderschicht AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP nach Einbau und nach 3 Monaten.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen beim AC MR 8 zwischen 17.2 kN und 25.5 kN und erfüllen den Anforderungswert von 15.0 kN nach Schweizer Norm. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 92 hervorgeht beim AC MR 8 nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 22.8 kN auf 33.9 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC MR 8 in allen Fällen zu Beginn eine niedrige, nach 3 Monaten jedoch eine hohe Schwankung zwischen den Einzelwerten vorhanden ist.

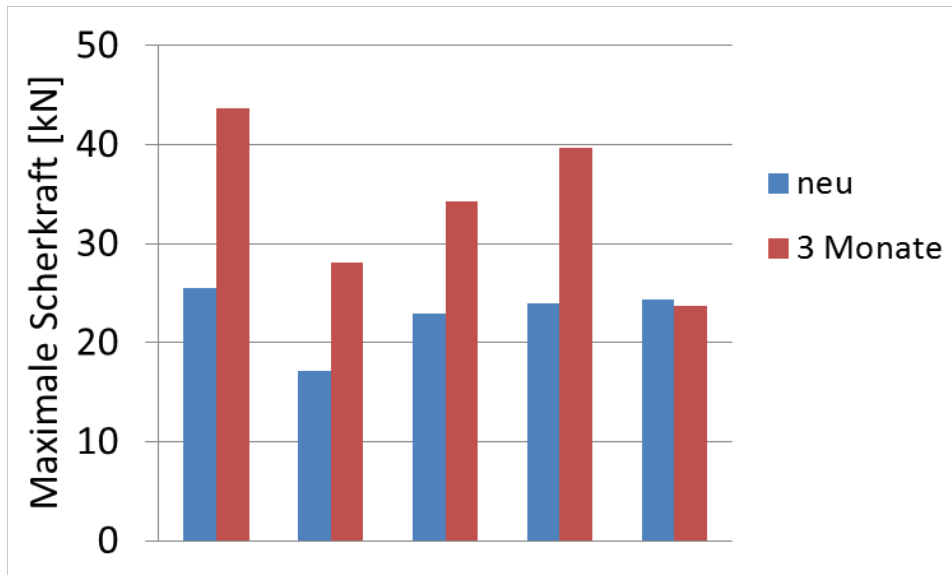


Abb. 91 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau und nach 3 Monaten.

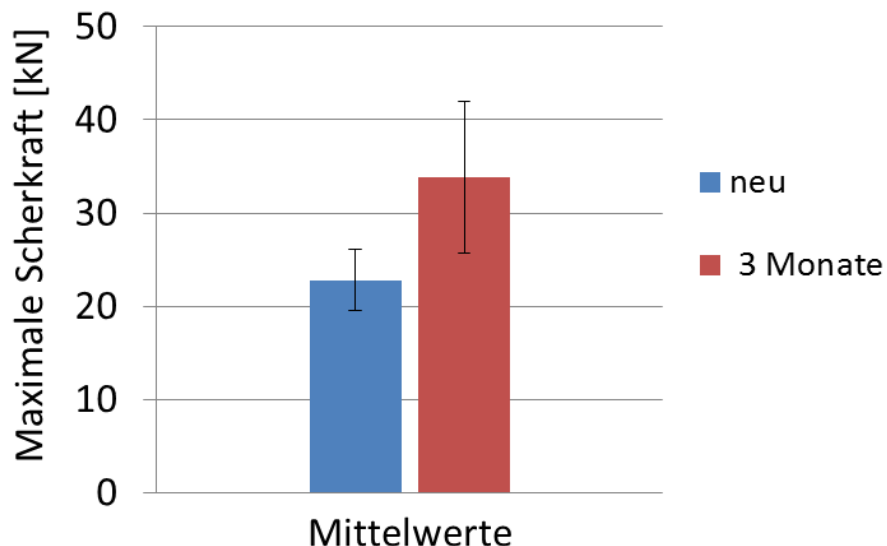


Abb. 92 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau und nach 3 Monaten.

Abbildungen 93 und 94 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC EME 22 C1 und Fräsfläche mit einem Haftkleber HCP nach Einbau und nach 3 Monaten.

Alle direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen zwischen 22.0 kN und 27.4 kN und können somit nach Schweizer Norm mit einem Anforderungswert von 12.0 kN als völlig unkritisch angesehen werden. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 94 hervorgeht nach 3 Monaten noch stark (der Mittelwert steigt von 25.8 kN auf 34.5 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC EME 22 C1 in allen Fällen zu Beginn noch eine niedrige, nach 3 Monaten jedoch eine hohe Streuung zwischen den Einzelwerten vorhanden ist.

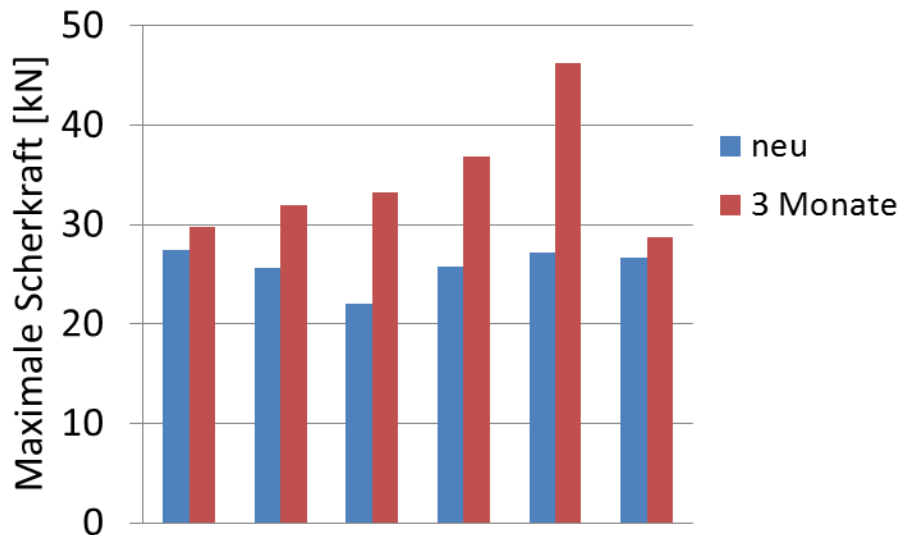


Abb. 93 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau und nach 3 Monaten.

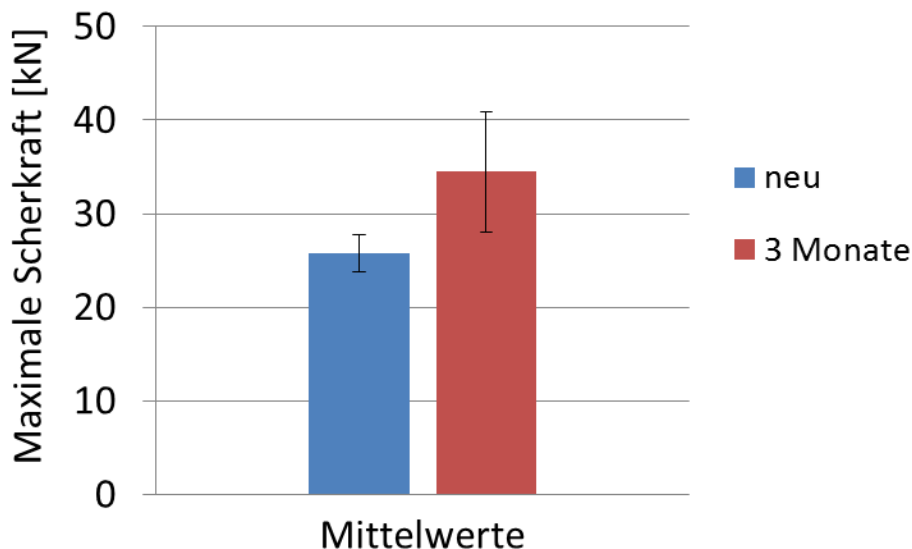


Abb. 94 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau und nach 3 Monaten.

6.2 Beschleunigte Belastung mit Mobilem Verkehrssimulator MLS10

6.2.1 Verkehrslastsimulator MLS 10 – Funktionsweise und Durchführung der Belastung

Der MLS10 beruht auf einem neuartigen Konzept. Kernstück bildet eine mit 24 linearen Induktionsmotoren (LIM) angetriebene, in sich geschlossene Kette aus vier Schienenwagen (sog. Bogies), die innerhalb der Maschine in eine Richtung umlaufen (Abb. 95). Jeder dieser Bogies ist jeweils mit einer hydraulisch gelagerten, doppel- oder einzelbereiften Halbachse zum Aufbringen der Verkehrslast bestückt. Die Bereifung der Lasträder kann mit Zwillingrädern der Größe 285/70 R19.5 oder mit Supersingles der Dimension 455/40 R22.5 erfolgen. Jeder Bogie wird auf den Umlaufschienen mit 12 Stahl-Doppelrädern geführt. Diese weisen einen Durchmesser von 250 mm auf und sind derart konstruiert, dass je nach Position des Bogies in der oberen oder unteren Hälfte der Umlaufstrecke die Führungswirkung optimal ist. Die Form der Laufschiene im Umlenkbereich ist derart optimiert, dass die Lasträder möglichst stossfrei auf den Belag aufsetzen.

Mit den hydraulisch gegen die Belagsoberfläche gepressten Reifen des jeweils untersten Bogies wird die Strasse mit einer Halbachslast von bis zu 65 kN belastet (entspricht einer Achslast von 130 kN) und über eine Länge von ca. 4.2 m mit einer maximalen Geschwindigkeit von 22 km/h überrollt. Damit zeichnet sich der Verkehrslastsimulator durch eine hohe Leistungsfähigkeit von 6'000 unidirektionalen Überrollungen pro Stunde aus.

Der MLS10 ist ca. 11 m lang, 3 m hoch und 2.5 m breit. Er hat ein Gewicht von ca. 34 t und kann auf einem Spezialtieflader zur Prüfstation transportiert werden. Einmal dort angekommen, kann der MLS10 selbstständig mit einem Hydraulikmotor auf seinen Transporträdern im Schritttempo von einer Prüfstation zur anderen manövriert werden. Dieses Fahrsystem erlaubt auch das autonome Beladen des Tiefladers über eine maximal um 10% geneigte Rampe. Für periodische Messungen und Inspektionen der Belagsoberfläche lässt sich die Anlage mittels der hydraulisch beweglichen Arme der Transporträder um ca. 80 cm anheben.

Im Betrieb benötigt der MLS10 eine elektrische Leistung von ca. 50 kW, die von einem integrierten Dieselgenerator mit Partikelfilter erbracht wird. Die Anlage ist mit 3 Dieseltanks à 1'300 l bestückt, die einerseits die statische Steifigkeit der Maschine erhöhen und andererseits deren Energie-Autonomie sicherstellen. Die Lärmentwicklung beträgt ca. 83 dB(A) und liegt damit im Bereich der am Tage in der Schweiz tolerierbaren Lärmemissionen des Strassenverkehrs. Um die einseitige Abnutzung der Laufschiene zu vermeiden ist die maximal zulässige Strassenneigung im Betriebszustand auf 3 % zu beschränken.

Der MLS10 kann mit einem Zusatzsystem ausgerüstet werden, welches auch die Simulation des in der Praxis vorkommenden seitlichen Spurdriftens um ± 300 mm erlaubt.

Bedingt durch das Antriebssystem wird beim Überrollen kein definierter Horizontalschub aufgebracht, weshalb beispielsweise der Effekt des Bremsens nicht simuliert werden kann. Gewisse Untersuchungen des Abriebverhaltens lassen sich aber dennoch durchführen. Die Anlage kann zudem auch mit künstlicher Beregnung der Belagsoberfläche betrieben werden. Dies kann sich in jenen Fällen als zweckmässig erweisen, wo die Wirkung von Wasser auf das Verhalten des Strassenbelages untersucht werden soll.

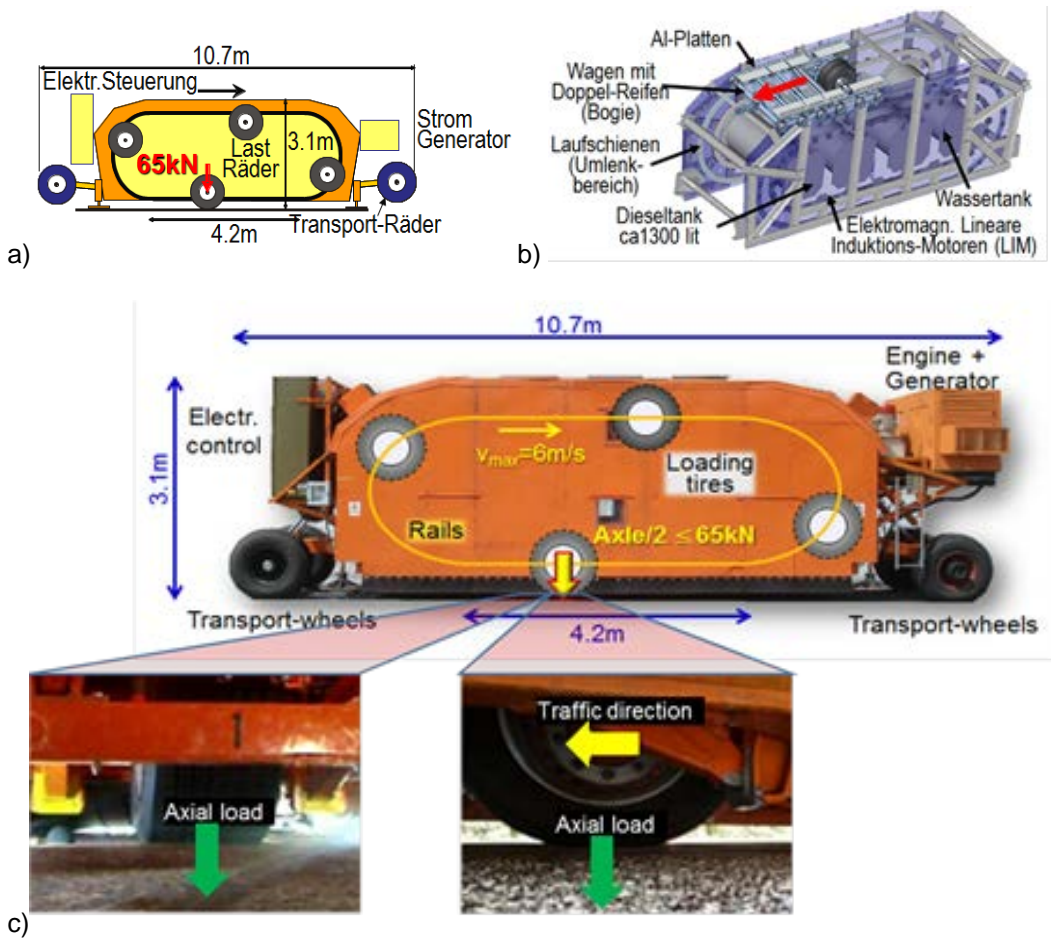


Abb. 95 Mobile Load Simulator MLS10: Funktionsprinzip (a); Umlaufsystem mit einem dargestellten Bogie (b); reale Ansicht inklusive Schema (c)

Durch den Einsatz des Verkehrslastsimulators MLS10 sollte eine rasche Simulation des Verkehrseinflusses erreicht und damit eine erneute Bohrkernentnahme nach 3 bzw. 12 Monaten vermieden werden. Aus diesem Grund wurde der Einsatz für den Autobahnbereich an 3 Stellen vorgesehen, wobei die Belastung jeweils nach Einbau der Tragschicht, der Binderschicht und der Deckschicht erfolgte. Jede der ausgewählten Stellen wurde mit 150'000 MLS10 Zyklen belastet. Die Durchschnittstemperatur während der Belastung war mit 5 °C relativ niedrig. Die Bohrkernentnahme erfolgte nach 2 Monaten jeweils in den belasteten (Radspur MLS10) und den unbelasteten Bereichen, wobei jeweils 4 Bohrkern entnommen wurden.

6.2.2 A1 / Rastplatz Forrenberg Süd

Abbildungen 96 und 97 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC MR 8 und AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP ohne und mit Belastung durch die MLS10. Zusätzlich wurde an Bohrkernen auch Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad an unbelasteten sowie durch die MLS10 belasteten Bohrkernen bestimmt.

Die ermittelten Scherkräfte in der Versuchsfläche liegen beim AC MR 8 ohne Belastung zwischen 33.9 kN und 37.7 kN. Bei den Bohrkernen mit Belastung durch MLS 10 konnten Scherkräfte zwischen 37.7 kN und 39.9 kN festgestellt werden. Im Mittelwert fand eine Zunahme von 36.2 kN auf 38.8 kN statt. Beim Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad wurde ein Mittelwert von 6.1 Vol.-% und 96.6 % ohne Belastung mit der MLS10 festgestellt. Nach der Belastung mit der MLS10 konnte eine Nachverdichtung mit Mittelwerten von 5.0 Vol.-% und 97.7 % im Hohlraumgehalt und im Verdichtungsgrad gemessen werden.

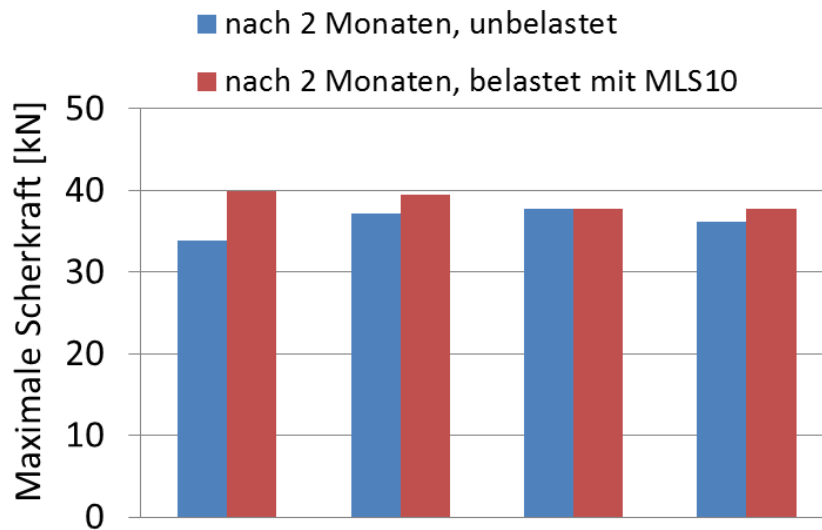


Abb. 96 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

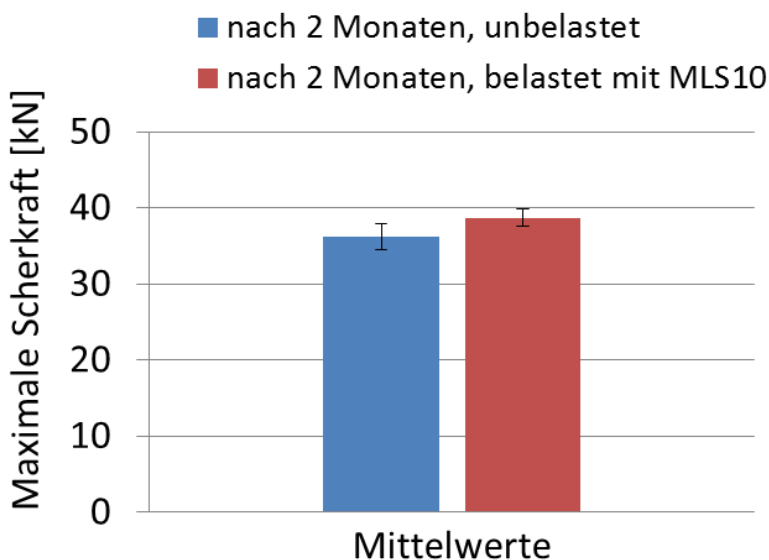


Abb. 97 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

Abbildungen 98 und 99 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC EME 22 C1 und Fräsfläche und teilweiser Tragschicht AC T 22 S mit einem Haftkleber HCP mit und ohne Belastung durch die MLS10. Zusätzlich wurde an Bohrkernen auch Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad an unbelasteten sowie durch die MLS10 belasteten Bohrkernen bestimmt.

Die ermittelten Scherkräfte in der Versuchsfläche liegen beim AC EME 22 C1 ohne Belastung zwischen 28.9 kN und 29.6 kN. Bei den Bohrkernen mit Belastung durch die MLS10 konnten Scherkräfte zwischen 20.6 kN und 22.3 kN festgestellt werden. Im Mittelwert fand eine Abnahme von 29.3 kN auf 21.4 kN statt. Bei Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad wurden Mittelwerte von 1.7 Vol.-% und 101.8 % ohne Belastung festgestellt. Nach der Belastung der MLS10 konnte eine Nachverdichtung mit Mittelwerten von 1.0 Vol.-% und 102.5 % im Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad gemessen werden.

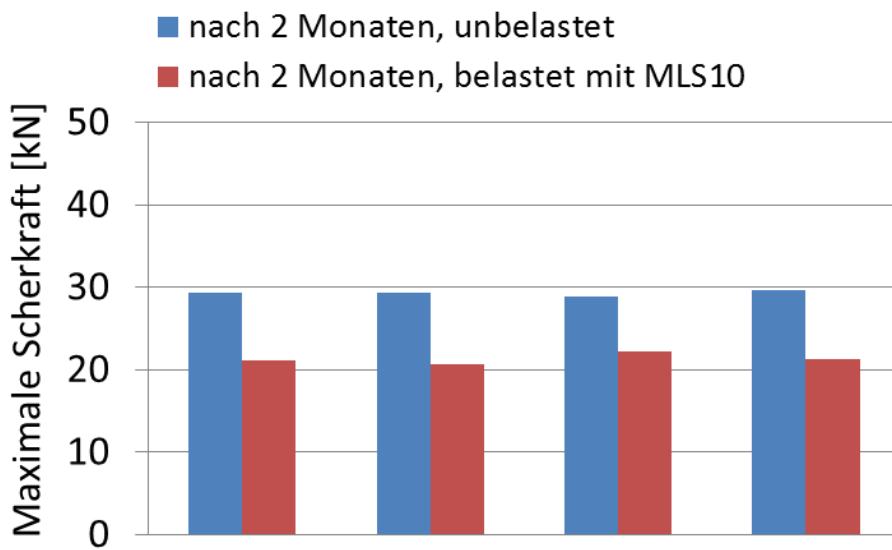


Abb. 98 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

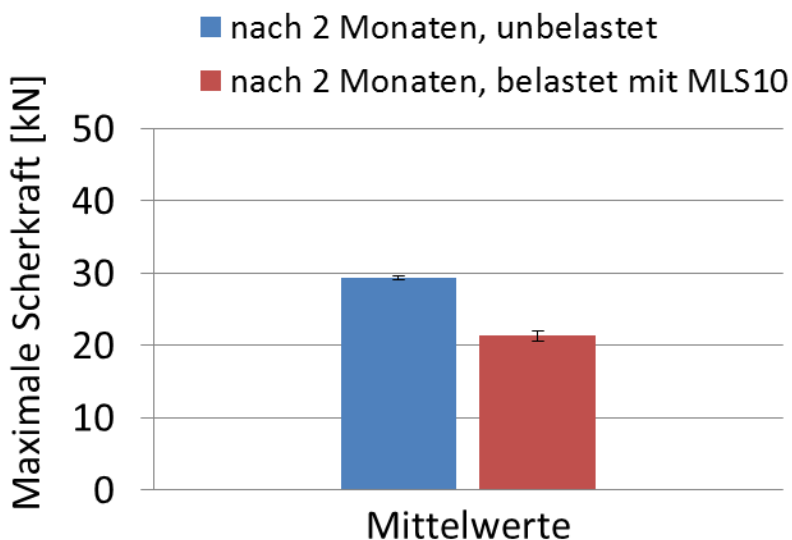


Abb. 99 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10 Zyklen.

6.2.3 A1 / Durchgangstrasse Rastplatz Forrenberg Süd

Abbildungen 100 und 101 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC MR 8 und AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP ohne und mit Belastung durch die MLS10. Zusätzlich wurde an Bohrkernen auch Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad an unbelasteten sowie durch die MLS10 belasteten Bohrkernen bestimmt.

Die ermittelten Scherkräfte in der Versuchsfläche liegen beim AC MR 8 ohne Belastung zwischen 29.8 kN und 46.5 kN. Bei den Bohrkernen mit Belastung durch die MLS10 konnten Scherkräfte zwischen 29.3 kN und 47.4 kN festgestellt werden. Im Mittelwert fand eine leichte Zunahme von 46.5 kN auf 47.4 kN statt. Bei Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad wurden Mittelwerte von 7.8 Vol.-% und 100.6 % ohne Belastung festgestellt. Nach der Belastung mit der MLS10 konnte eine Nachverdichtung mit Mittelwerten von 7.0 Vol.-% und 101.5 % für Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad festgestellt werden.

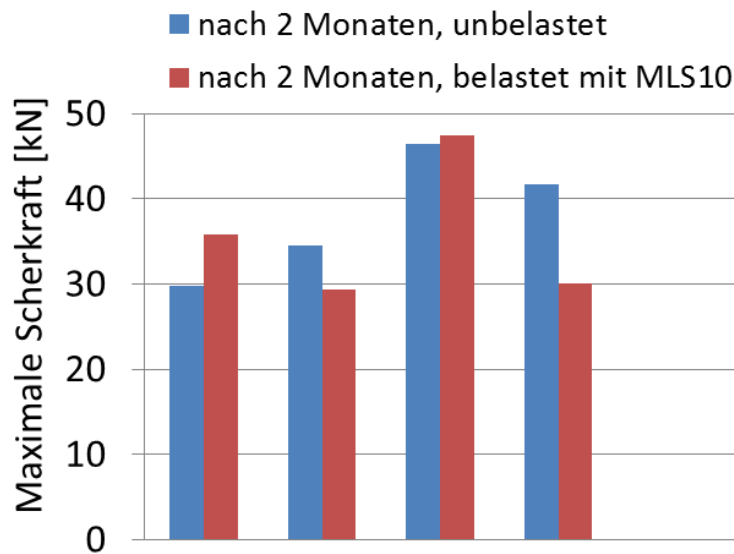


Abb. 100 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

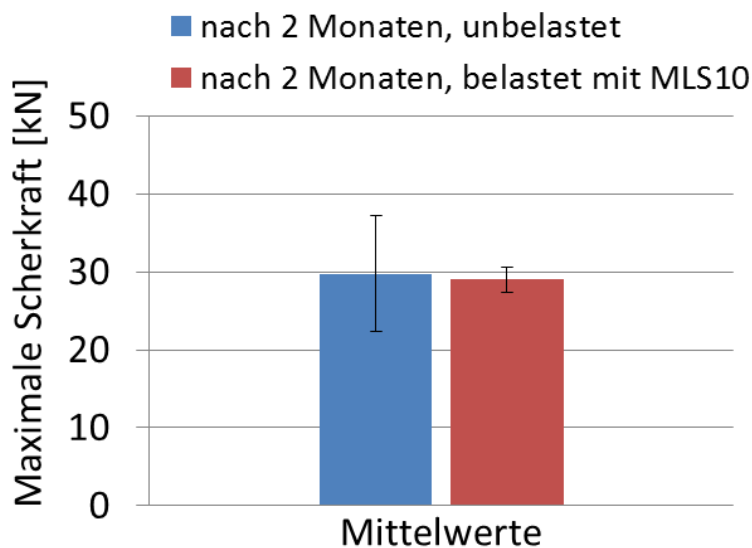


Abb. 101 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

Abbildungen 102 und 103 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC EME 22 C1 und Fräsfläche und teilweiser Tragschicht AC T 22 S mit einem Haftkleber HCP ohne und mit Belastung durch die MLS10. Zusätzlich wurde an Bohrkernen auch Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad an unbelasteten sowie durch die MLS10 belasteten Bohrkernen bestimmt.

Die ermittelten Scherkräfte in der Versuchsfläche liegen beim AC EME 22 C1 ohne Belastung zwischen 34.8 kN und 40.1 kN. Bei den Bohrkernen mit Belastung durch die MLS10 konnten Scherkräfte zwischen 27.9 kN und 41.6 kN festgestellt werden. Im Mittelwert fand eine Abnahme von 37.4 kN auf 37.1 kN statt. Bei Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad wurde ein Mittelwert von 2.3 Vol.-% und 101.9 % ohne Belastung ermittelt. Nach der Belastung der MLS10 konnte mit Mittelwerten von 3.8 Vol.-% und 100.3 % ein tieferer Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad gemessen werden.

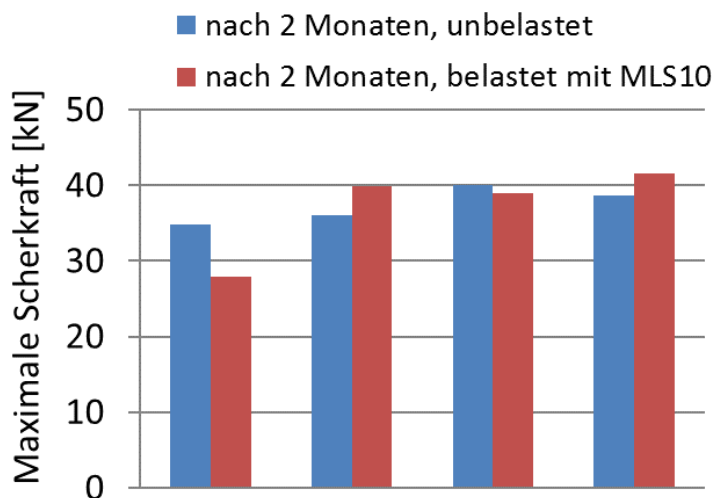


Abb. 102 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

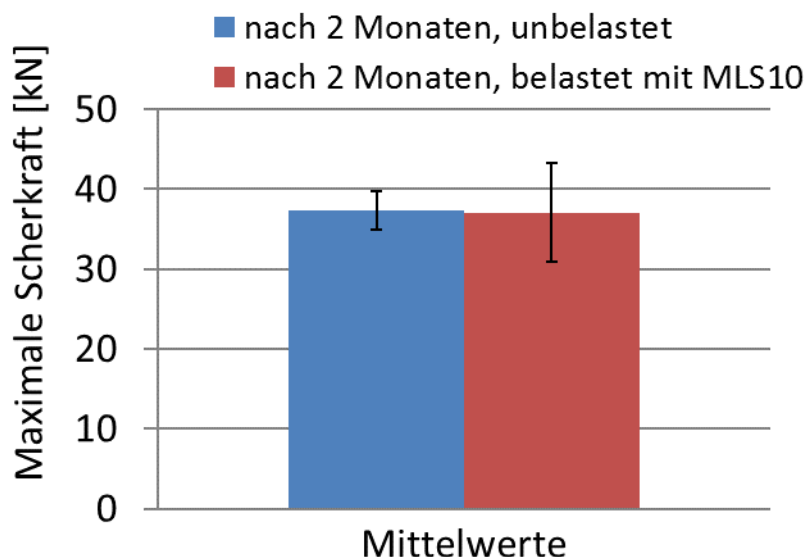


Abb. 103 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

6.2.4 A7 / Fahrbahn Richtung Winterthur

Abbildungen 104 und 105 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht AC MR 8 und AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP ohne und mit Belastung durch die MLS10. Zusätzlich wurde an Bohrkernen auch Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad an unbelasteten sowie durch die MLS10 belasteten Bohrkernen bestimmt.

Die ermittelten Scherkräfte in der Versuchsfläche liegen beim AC MR 8 ohne Belastung zwischen 25.8 kN und 41.0 kN. Bei den Bohrkernen mit Belastung durch die MLS10 konnten Scherkräfte zwischen 27.6 kN und 31.3 kN festgestellt werden. Im Mittelwert fand eine leichte Abnahme von 29.8 kN auf 29.0 kN statt. Bei Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad wurden Mittelwerte von 10.4 Vol.-% und 95.4 % ohne Belastung bestimmt. Nach der Belastung der MLS10 konnte eine Nachverdichtung mit Mittelwerten von 8.7 Vol.-% und 97.3 % für Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad gemessen werden.

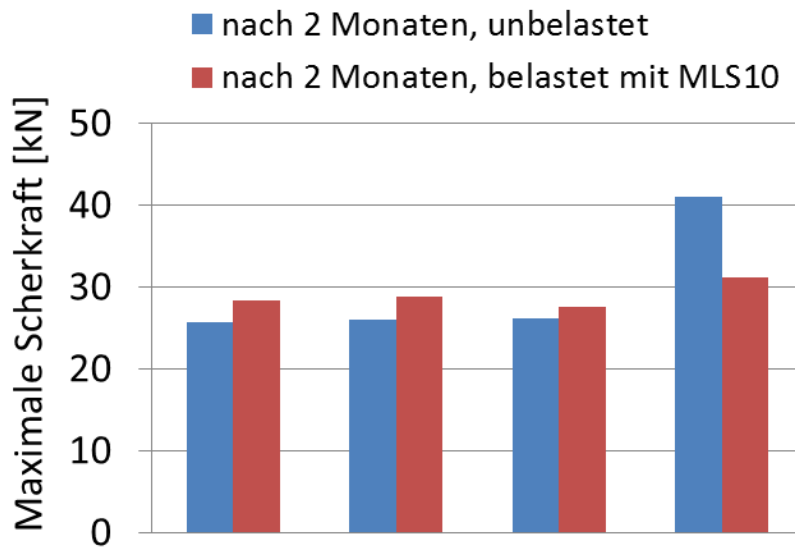


Abb. 104 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

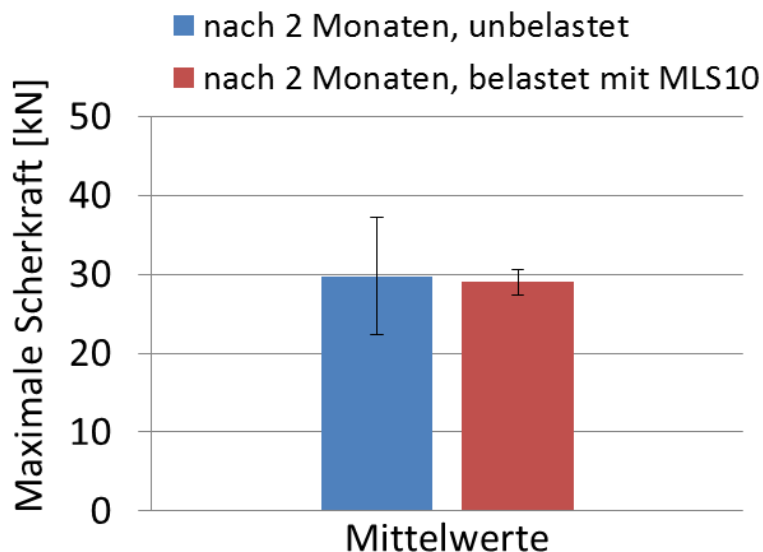


Abb. 105 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

Abbildungen 106 und 107 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Binderschicht AC EME 22 C1 und AC EME 22 C2 mit einem Haftkleber HCP ohne und mit Belastung durch die MLS10. Zusätzlich wurde an Bohrkernen auch Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad an unbelasteten sowie durch die MLS10 belasteten Bohrkernen bestimmt.

Die ermittelten Scherkräfte in der Versuchsfläche liegen beim AC EME 22 C1 ohne Belastung zwischen 49.2 kN und 49.3 kN. Bei den Bohrkernen mit Belastung durch die MLS10 konnten Scherkräfte zwischen 49.1 kN und 49.6 kN festgestellt werden. Im Mittelwert fand eine Zunahme von 49.2 kN auf 49.3 kN statt. Bei Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad wurden Mittelwerte von 1.6 Vol.-% und 101.6 % ohne Belastung bestimmt. Nach der Belastung mit der MLS10 konnte eine gleiche Verdichtung mit Mittelwerten von 1.6 Vol.-% und 101.6 % für Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad gemessen werden.

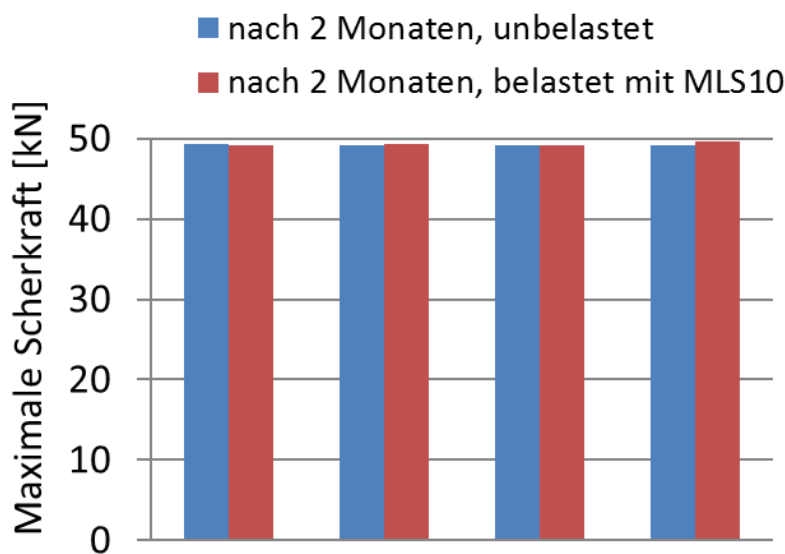


Abb. 106 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

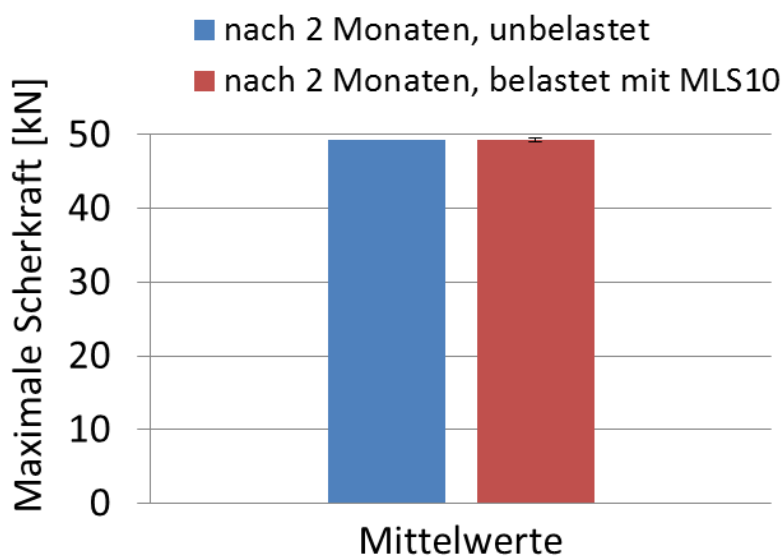


Abb. 107 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach 2 Monaten unbelastet und nach 2 Monaten belastet mit 150'000 MLS10-Zyklen.

7 Auswertungen

7.1 Vergleich Haftkleber mit und ohne PmB

Abbildungen 108 und 109 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung vergleichbarer Entnahmestellen (gleicher Belag, gleicher Haftklebertyp und -dosierung) eines polymermodifizierten Haftkleber HCP und eines nicht polymermodifizierten Haftklebers HC nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten. Alle Einzel- und Mittelwerte sind zahlenmässig zusätzlich den Tabellen im Anhang I2 zu entnehmen.

Wie aus den Mittelwerten ersichtlich, ist die erzielte Scherkraft bereits nach Einbau bei einem polymermodifizierten Haftkleber HCP mit 22.8 kN höher als bei einem nicht polymermodifizierten Haftkleber HC mit 17.5 kN, was sich auch in den Werten nach 12 Monaten mit 29.2 kN bzw. 25.0 kN wiederfindet.

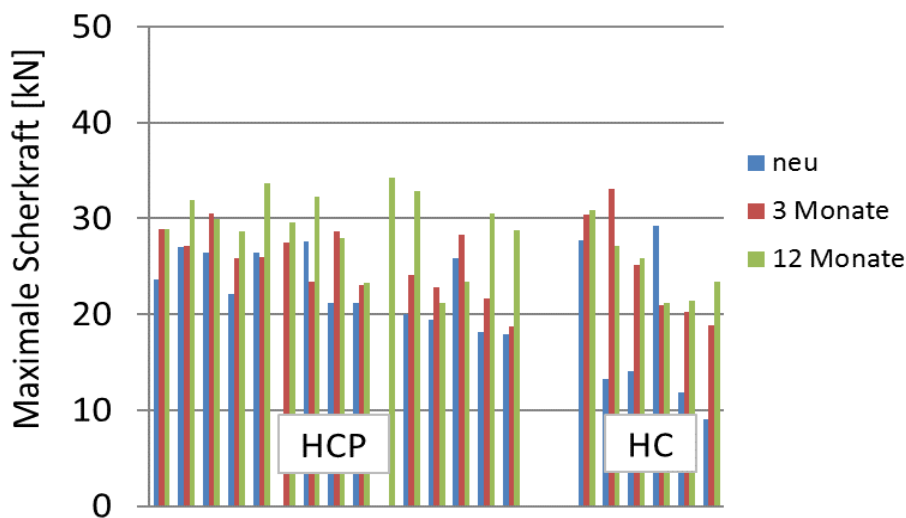


Abb. 108 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten mit modifiziertem Haftkleber HCP im Vergleich mit HC.

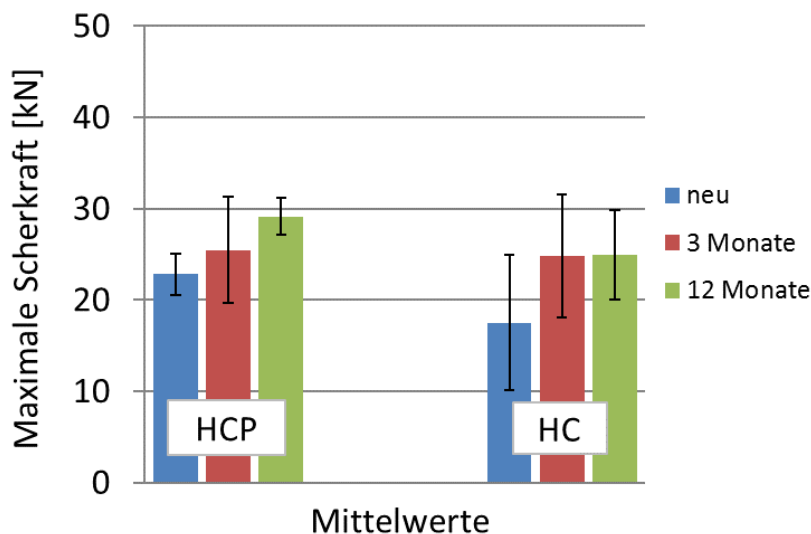


Abb. 109 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten mit modifiziertem Haftkleber HCP im Vergleich mit HC.

7.2 Schichthaftung auf Fräsflächen

Abbildungen 110 und 111 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung aller Entnahmestellen mit Binder- und/oder Tragschichten auf Fräsflächen mit polymermodifiziertem Haftkleber HCP und Dosierungen zwischen 300 und 400 g/m² nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten. Alle Einzel- und Mittelwerte sind zahlenmässig zusätzlich den Tabellen im Anhang I3 zu entnehmen.

Wie aus den Mittelwerten und den Standardabweichungen ersichtlich, ergeben sich zu allen Entnahmezeitpunkten sehr grosse Streuungen in den Werten der Scherkraft. Trotzdem liegen alle Werte von 12.0 kN – 47.1 kN mit einem Mittelwert von 23.1 kN bereits nach Einbau bei oder über 12.0 kN. Nach 12 Monaten ergibt sich ein Mittelwert von 33.7 kN, der aber noch grössere Streuung aufweist.

Wie ein Vergleich mit dem Einbau einer Deckschicht auf gefräster Unterlage (vgl. Kapitel 6.1.4) zeigt, können im Fall feinerer Belagsschichten höhere Verbundwerte erzielt werden (Deckschicht-Fräsfläche: 27.1 kN und Binder- bzw. Tragschicht – Fräsfläche: 23.1 kN).

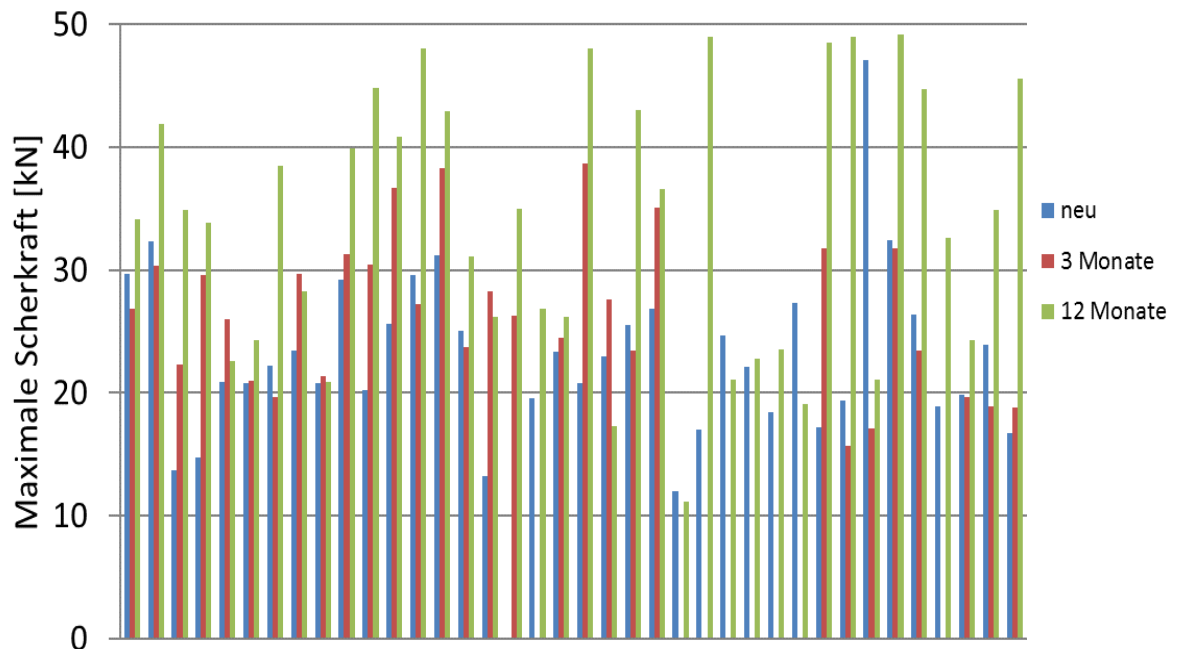


Abb. 110 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten der Binder- und Tragschicht auf Fräsflächen.

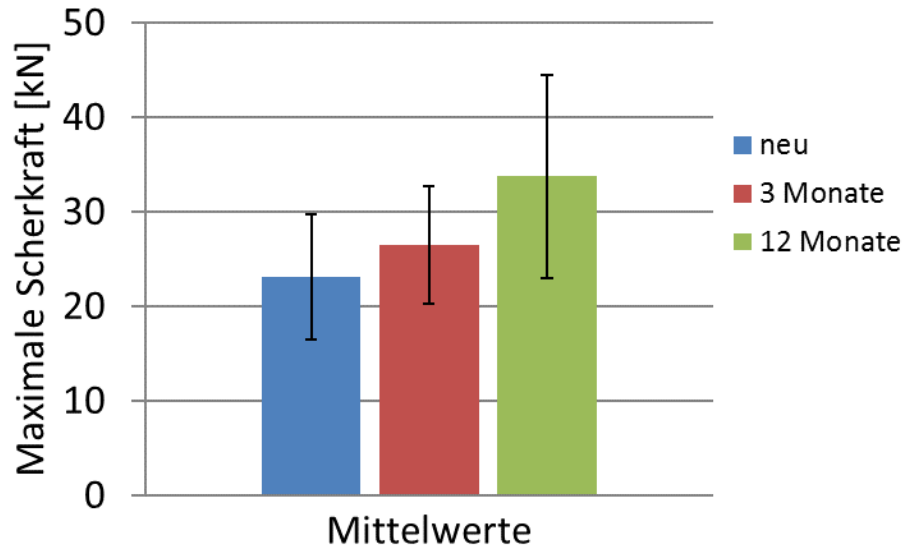


Abb. 111 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten der Binder- und Tragschicht auf Fräsflächen.

Der Schichtverbund weist gemäss *Abb. 111* eine grosse Variation in den Messwerten auf. Dies ist auch in der Standardabweichung ersichtlich. Im Vergleich mit dem Schichtenverbund von zwei neuen Belagsschichten können leicht tiefere Messwerte festgestellt werden. Die Normanforderung des Schichtenverbunds von 12.0 kN konnte jedoch in allen Messungen direkt nach dem Einbau eingehalten werden.

7.3 Schichtenverbund mit niederviskosen Bitumen im Asphalt (Wachszusatz)

Abbildungen 112 und 113 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen Deckschicht mit NV auf Wachsbasis und Binderschicht ACT 22 H mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten. Alle Einzel- und Mittelwerte sind zahlenmässig zusätzlich den Tabellen im Anhang I3 zu entnehmen.

Die direkt nach Einbau ermittelten Scherkräfte liegen beim AC 8 H zwischen 15.2 kN und 28.1 kN und erfüllen den Anforderungswert von 15.0 kN nach Schweizer Norm. Der Wert des Schichtenverbundes hat wie aus Abb. 113 hervorgeht beim AC 8 H nach 3 Monaten stark (der Mittelwert steigt von 24.3 kN auf 35.5 kN) und nach 12 Monaten leicht (der Mittelwert steigt von 24.3 kN auf 40.0 kN) zugenommen, wobei wie anhand der Standardabweichung ersichtlich, beim AC 8 H in allen Fällen zu Beginn eine hohe Schwankung zwischen den Einzelwerten festzustellen ist.

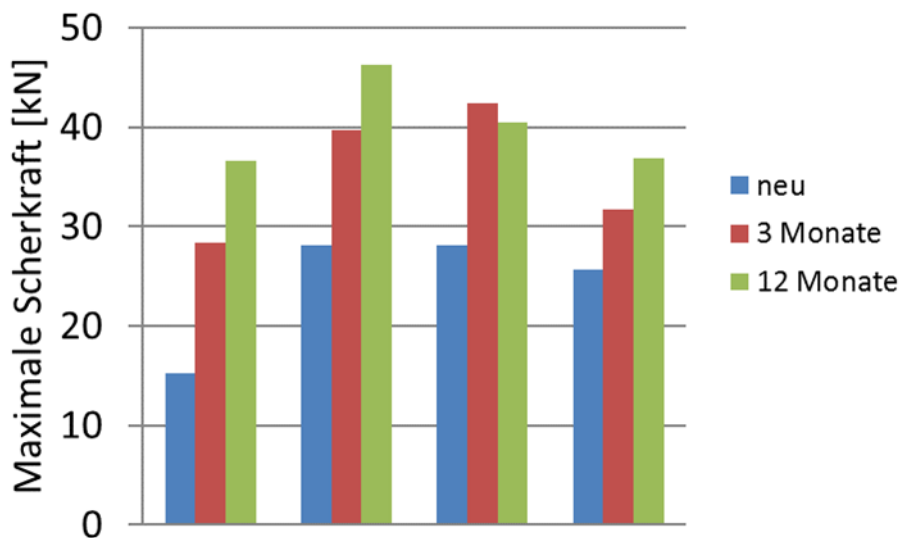


Abb. 112 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten der Deckschicht mit NV auf Wachsbasis.

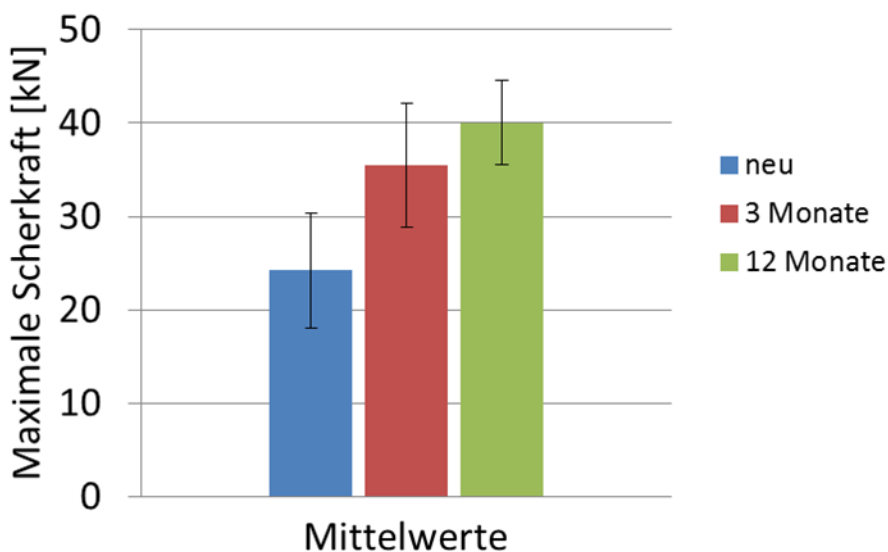


Abb. 113 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten der Deckschicht mit NV auf Wachsbasis.

7.4 Schichtenverbund bei heiss in heiss eingebauten Belägen

Abbildungen 114 und 115 zeigen vergleichsweise die Ergebnisse der Abscherprüfung zwischen der heiss in heiss und der am nächsten Tag eingebauten Deckschicht AC MR 8 auf Binderschicht AC EME 22 C1 mit einem Haftkleber HCP nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten. Alle Einzel- und Mittelwerte sind zahlenmässig zusätzlich den Tabellen im Anhang I3 zu entnehmen.

Wie aus den Mittelwerten ersichtlich, ist die erzielte Scherkraft nach dem Einbau bei beiden Verfahren gleich. Ein deutlicher Unterschied ist bei diesem Vergleich erst bei den Mittelwerten nach 12 Monaten mit 37.2 kN für das Verfahren heiss auf heiss gegenüber 33.6 kN beim Einbau am nächsten Tag festzustellen. Allerdings muss auf die geringe Anzahl von Messwerten für den Einbau am nächsten Tag hingewiesen werden. Wichtig zu erwähnen ist, dass auch beim Einbau am nächsten Tag trotz kritischer Jahreszeit mit Nebel und tiefen Temperaturen der Schichtenverbund zwischen Deck- und Binderschicht den Normwert von 15.0 kN erfüllt.

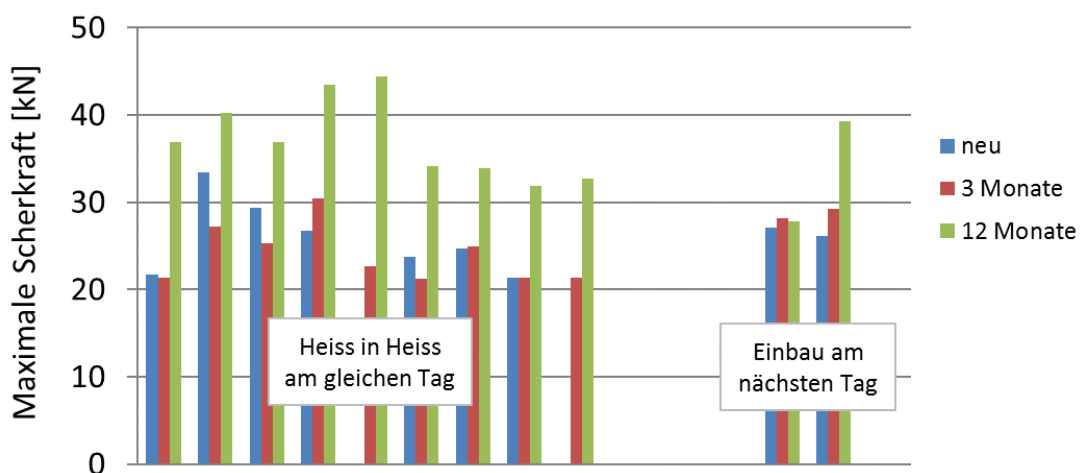


Abb. 114 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten der Heiss in Heiss (am gleichen Tag) und zum Vergleich am nächsten Tag eingebauten Deck- und Binderschicht.

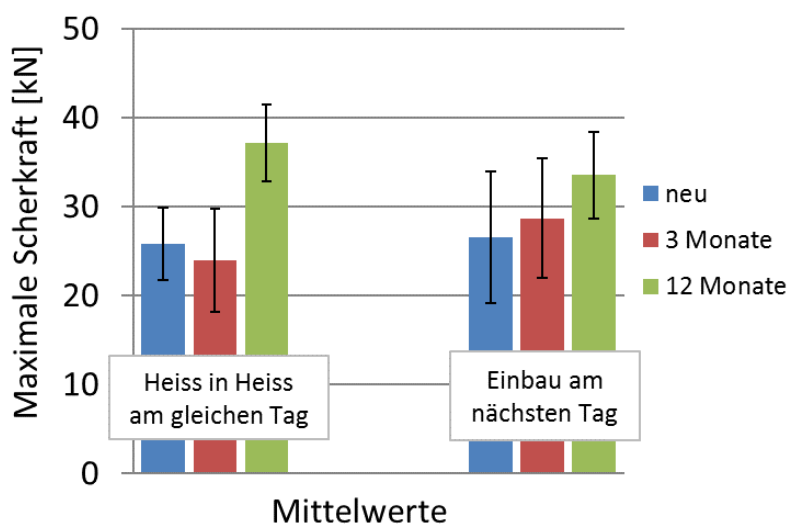


Abb. 115 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte mit Standardabweichung nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten der Heiss in Heiss (am gleichen Tag) und zum Vergleich am nächsten Tag eingebauten Deck- und Binderschicht.

7.5 Schichtenverbund bei dichten und semidichten Deckbelägen

Abbildungen 116 und 117 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung der Entnahmestellen mit dichten Deckbelägen AC 8 H und semidichten Deckbelägen AC MR 8 nach Einbau sowie nach 3 bzw. 12 Monaten. Alle Einzel- und Mittelwerte sind zahlenmässig zusätzlich den Tabellen im Anhang I3 zu entnehmen.

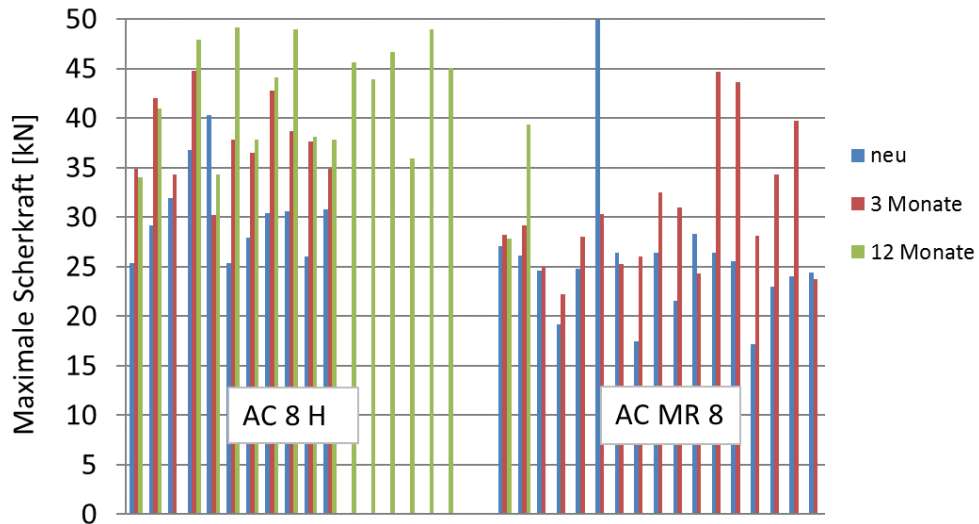


Abb. 116 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten für den Vergleich zwischen AC 8 H und AC MR 8.

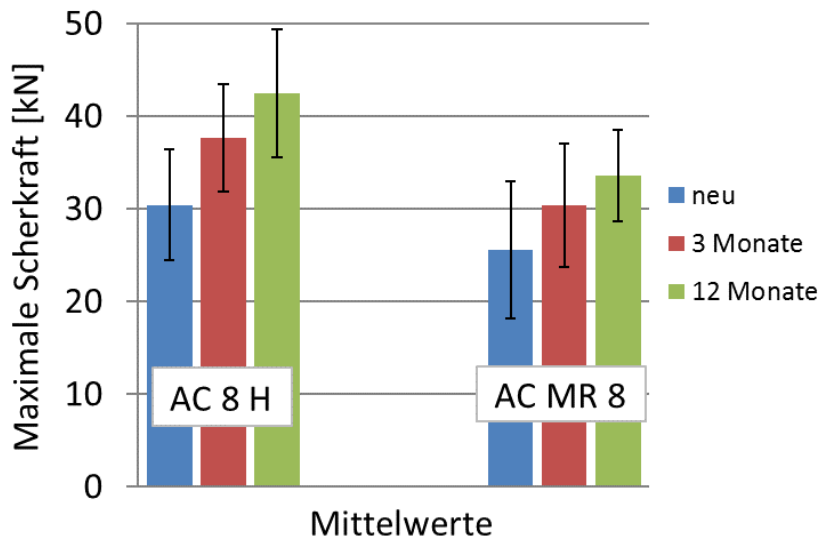


Abb. 117 Maximale Scherkraft [kN], Mittelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten für den Vergleich zwischen AC 8 H und AC MR 8.

Wie aus den Mittelwerten ersichtlich, ergeben sich bei den dichten Belägen zu allen Entnahmzeitpunkten mit 30.5 kN, 37.7 kN und 42.0 kN deutlich höhere Schichtverbundwerte als bei den semidichten Belägen mit 25.6 kN, 30.4 kN und 33.6 kN.

7.6 Schichtenverbund bei kritischen Taupunktdifferenzen

Abbildungen 118 und 119 zeigen die Ergebnisse der Abscherprüfung der Entnahmestellen, bei denen der Haftkleber entweder in den frühen Morgenstunden oder am Vortag aufgetragen wurde. Alle Einzel- und Mittelwerte sind zahlenmässig zusätzlich den Tabellen im Anhang I3 zu entnehmen.

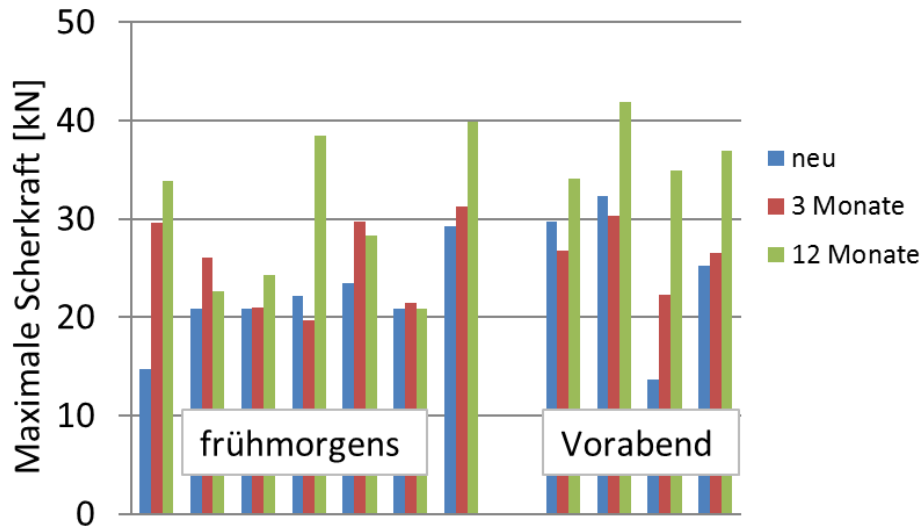


Abb. 118 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten für den Vergleich zwischen Applikationen frühmorgens und Vorabend.

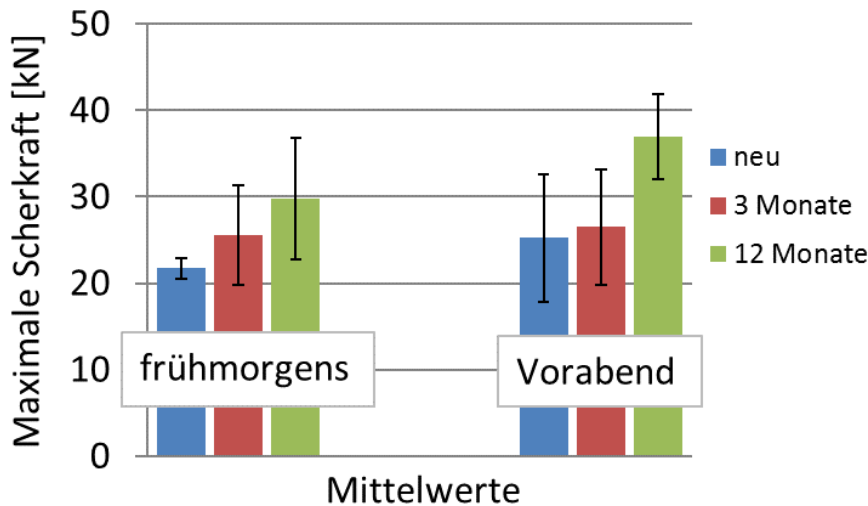


Abb. 119 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten für den Vergleich zwischen Applikationen frühmorgens und Vorabend.

Insbesondere anhand der Mittelwerte ist gut ersichtlich, dass das Anspritzen am Vorabend zu tendenziell höheren Verbundwerten führt, was auf die zu diesem Zeitpunkt weniger kritischen Taupunktdifferenzen und die längere Ruhezeit vor dem Einbau zurückzuführen ist. Allerdings konnten in beiden Fällen die in der Norm vorgeschriebenen Schichtenverbundwerte nach Einbau erreicht werden.

7.7 Schichtenverbund auf einer Heissmischfundationsschicht

Abbildung 120 und 121 zeigen im Vergleich die Werte des Schichtenverbundes zwischen einer Binderschicht zu einer Heissmischfundationsschicht AC F 22 bzw. zu einer Fräsfläche. Alle Einzel- und Mittelwerte sind zahlenmässig zusätzlich den Tabellen im Anhang I3 zu entnehmen.

Wie aus den Abbildungen hervorgeht, konnte wertemässig kein grosser Unterschied zwischen AC F 22 und gefräster Fläche festgestellt werden, wobei die Fräsfläche aber bedeutend höhere Streuungen aufweist. Allerdings sind die Werte des Schichtenverbundes der Heissmischfundationsschicht AC F 22 tiefer als diejenigen der im Projekt untersuchten Heissmischtragschichten AC T 22. Die Normanforderung des Schichtverbundes von 12.0 kN konnte jedoch schon nach dem Einbau in allen Messungen eingehalten werden.

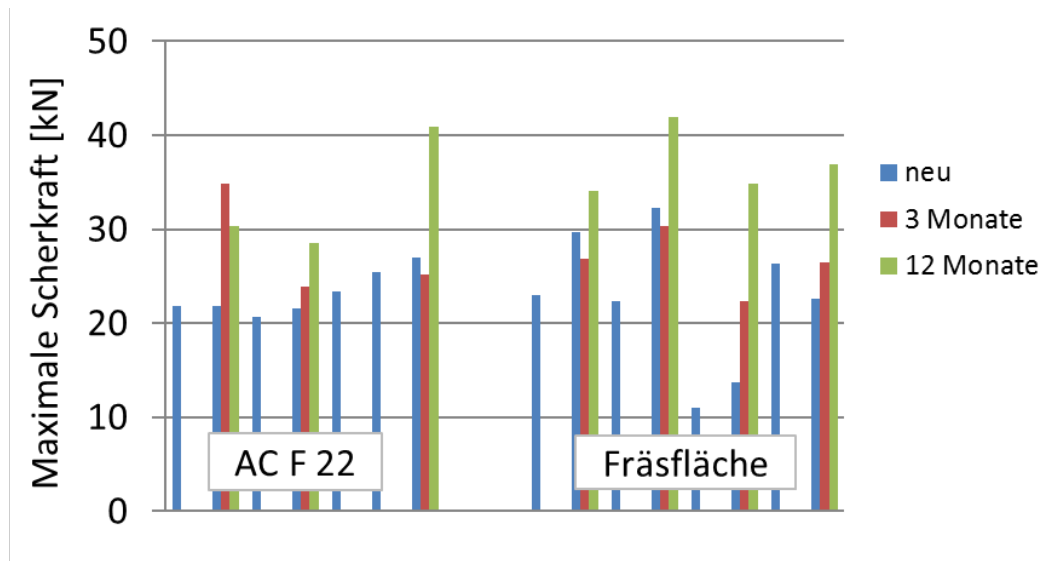


Abb. 120 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten für den Vergleich zwischen AC F 22 und gefräster Fläche.

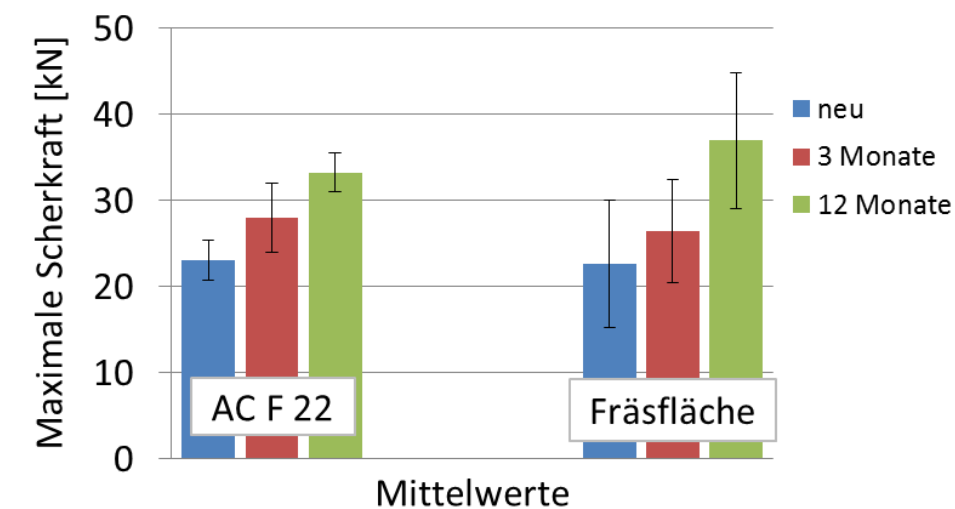


Abb. 121 Maximale Scherkraft [kN], Einzelwerte nach Einbau, nach 3 und nach 12 Monaten für den Vergleich zwischen Applikationen frühmorgens und Vorabend.

7.8 Schichtenverbund nach Belastung durch die MLS 10

Die Werte aus den Untersuchungen sind in Kapitel 6.2 und im Anhang I2 angegeben.

Der Einsatz des Verkehrslastsimulators MLS10 zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses konnte keine markanten Veränderungen beim Schichtverbund bewirken, was auf die zum Testzeitpunkt extrem tiefen Temperaturen und die im Vergleich zum steifen Belagsaufbau geringe Anzahl an Überrollungen zurückgeführt werden kann.

Interessant ist die Beobachtung, dass sich im Fall des dichten Deckbelags AC 8 eine durch Bestimmung des Hohlraumgehalts und Verdichtungsgrades ermittelte Nachverdichtung und eine Zunahme des Schichtenverbundes um knapp 7 % ergab. Hingegen wurde im Fall des AC MR 8 zwar eine mit dem AC 8 vergleichbare Nachverdichtung jedoch eine Verschlechterung des Schichtenverbundes um ebenfalls 6% festgestellt.

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

8.1 Höhe des Schichtenverbundes

Die gemessenen Scherkräfte zeigen bei allen Objekten eine Zunahme der Scherkraft über die Zeit und weisen bereits bei der Prüfung direkt nach Einbau insgesamt recht hohe Werte von in der Regel mehr als 20.0 kN auf. Somit werden die Anforderungen nach Schweizer Norm von 15.0 kN für Deckschichten bzw. 12.0 kN für alle übrigen Schichten bei allen Objekten und Schichten problemlos erfüllt.

Bei sorgfältiger Arbeitsweise und Kontrolle der Randbedingungen, wie es im Kanton Zürich üblich ist (siehe Anhang I 4, Standards zur Qualitätssicherung des Haftverbundes im Kanton Zürich), lassen sich mit den heutigen Haftklebern hohe Schichtverbundwerte erzielen, wodurch sich, die bereits in früheren Forschungsarbeiten [20] im Labor ebenfalls feststellt wurde.

8.2 Zeitliche Entwicklung des Schichtenverbundes

Ebenso war bei allen Objekten eine Zunahme der Scherkraft über die Zeit, insbesondere nach 12 Monaten, feststellbar. Bereits nach 3 Monaten zeigte sich in fast allen Fällen eine Zunahme der Verbundscherkraft im Vergleich mit dem Ausgangszustand, was auf eine Verbesserung des Schichtenverbundes durch das Abbinden (Curing) des Haftklebers hinweist. Die über längere Zeit steigenden Schichtenverbundwerte lassen sich, wie ebenfalls in früheren Forschungsprojekten festgestellt [21] auf den positiven Einfluss einer dem Strassentyp angemessenen Verkehrslast zurückführen.

Aufgrund dieser Ergebnisse liesse sich im Fall von tiefen, den Normanforderungswerten knapp nicht entsprechenden Schichtenverbundwerten direkt nach Einbau, eine Nachprüfung des Schichtenverbundes nach 3 Monaten in Erwägung ziehen.

8.3 Schichtenverbund mit HCP und HC

Ein Vergleich der Mittelwerte von polymermodifizierten und nicht polymermodifizierten Haftklebern ergab insbesondere nach Einbau und nach 12 Monaten für polymermodifizierte Haftkleber HCP tendenziell eine höhere Scherkraft als für nicht polymermodifizierte Haftkleber HC.

Diese Untersuchungen zeigen damit, dass polymermodifizierte Haftkleber ein höheres Potential als nicht modifizierte aufweisen. Sie sollten daher zumindest in kritischen Fällen bevorzugt zum Einsatz kommen. Auf jeden Fall sollten beim Einbau von Belägen mit polymermodifizierten Bindemitteln auch polymermodifizierte Haftkleber eingesetzt werden. Weiterhin stellt sich die Frage nach unterschiedlichen Anforderungswerten an den Schichtenverbund für modifizierte und nicht modifizierte Haftklebertypen, wie es beispielsweise in Österreich der Fall ist [22].

8.4 Schichtenverbund auf Fräsflächen und auf Heissmischfundationsschichten

Die Werte der auf Fräsflächen ermittelten Scherkräfte wiesen generell hohe Streuungen auf, trotzdem erreichten alle direkt nach Einbau ermittelten Werte die geforderte Normanforderung von 12.0 kN. Wie ein Vergleich mit dem Einbau einer Deckschicht auf gefräster Unterlage zeigte, können im Fall feinerer Belagsschichten sogar noch höhere Verbundwerte von mehr als 20.0 kN erzielt werden. Ähnliches gilt auch für den Schichtenverbund auf Heissmischfundationsschichten. Auch hier konnte gezeigt werden, dass 12 kN erreicht werden können, wobei allerdings nur ein Objekt untersucht werden konnte.

8.5 Schichtenverbund bei niederviskosen Bindemittel

Anhand der ermittelten Schichtverbundkräfte konnte im Projekt durch den Einsatz von niederviskosen Bitumen mit Wachszusatz kein negativer Einfluss auf den Schichtenverbund festgestellt werden.

Aufgrund dieses Ergebnisses konnte in der Forschungsarbeit gezeigt werden, dass die Verwendung niederviskoser Bindemittel mit Wachszusatz zumindest bei der Verwendung polymermodifizierter Haftkleber keinen negativen Einfluss auf den Schichtenverbund hat und diese Bindemittel damit problemlos verwendet werden können.

8.6 Schichtenverbund bei heiss auf heiss eingebauten Belägen

Bei der Bestimmung der Schichtenverbundwerte konnte kein massgebender Unterschied zwischen heiss in heiss eingebauten Belägen und dem am Vorabend mit Haftkleber besprühten und am darauffolgenden Tag eingebauten Belägen festgestellt werden. Im Vergleich über die Zeit können beim Verfahren heiss in heiss jedoch tendenziell höhere Schichtverbundwerte erreicht werden.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen bietet sich das Verfahren heiss in heiss besonders bei Klimasituationen im Herbst und Frühling mit kritischen Situationen bezüglich Taupunkt, bei feuchten Tunneleinbauten oder wenn im Fall einer Totalsperrung Deck- und Binderschicht möglichst schnell eingebaut werden müssen, an.

8.7 Schichtenverbund bei dichten und semidichten Deckbelägen

Die Bestimmung der Schichtenverbundwerte ergab für dichte Deckbeläge AC 8 zu allen Entnahmezeitpunkten deutlich höhere Schichtverbundwerte als für semidichte Deckbeläge AC MR 8. Wobei schon die direkt nach dem Einbau bestimmten Werte für dichte Beläge um 20 % höher liegen.

Der Einsatz des Verkehrslastsimulators MLS10 zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses ergab im Fall des dichten Deckbelags AC 8 eine durch Bestimmung des Hohlraumgehalts und Verdichtungsgrades ermittelte Nachverdichtung und eine Zunahme des Schichtenverbundes um knapp 7% ergab. Hingegen wurde im Fall des semidichten AC MR 8 zwar ebenfalls eine mit dem AC 8 vergleichbare Nachverdichtung jedoch eine Verschlechterung des Schichtenverbundes um 6% festgestellt.

Aufgrund der Forschungsergebnisse empfiehlt es sich daher im Hinblick auf den Schichtenverbund, bei der Belagswahl ohne lärmtechnische Auflagen dichte Deckbeläge einzubauen.

8.8 Schichtenverbund bei kritischen Taupunktdifferenzen

Zwar konnte der Einfluss des Taupunktes in der Forschung aufgrund der in den meisten Fällen günstigen Bedingungen nicht ausreichend untersucht werden. Jedoch ist es zu empfehlen, den Haftkleber, wenn möglich, lieber am Vorabend als in den frühen Morgenstunden aufzubringen. Aus der Praxis ist auch bekannt, dass der Taupunkt besonders bei Tunnelbaustellen mit schlechter Durchlüftung problematisch und hier eine klimatische Optimierung zu empfehlen ist.

8.9 Schichtenverbund nach Belastung durch die MLS 10

Der Einsatz des Verkehrslastsimulators MLS10 zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses zeigte keine messbare Verbesserung des Schichtenverbundes. Dies ist mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die zum Testzeitpunkt extrem tiefen Temperaturen und die im Vergleich zum steifen Belagsaufbau geringe Anzahl an Überrollungen zurückzuführen.

8.10 Menge des applizierten Haftklebers

Bei allen in diesem Forschungsprojekt untersuchten Objekten wurde die Eigenschaft der Oberfläche nicht speziell überprüft und daher die vorgeschriebene, auf Erfahrungswerten beruhende Haftklebermenge appliziert. Aufgrund der in diesem Forschungsprojekt erzielten durchschnittlich hohen Schichthaftungswerte, könnte aber im Sinne eines reduzierten Haftkleberverschrauchs die Optimierung der Applikationsmenge und deren Anpassung an die jeweiligen Oberflächeneigenschaften in Betracht gezogen werden.

9 Forschungsbedarf

In diesem Forschungsauftrag konnte die Grenze bezüglich des Taupunkts nicht ermittelt werden, da auch im Fall niedriger Taupunktdifferenzen kein negativer Einfluss auf den Schichtenverbund festgestellt werden konnte. Beim Einbau anderer Objekte wurde aber festgestellt, dass zwar die Emulsion gebrochen, aber keinen Kontakt mit dem Untergrund eingegangen war; ein klassisches Beispiel dafür, dass die Taupunktdifferenz nicht berücksichtigt wurde. Diesbezüglich wäre es daher wichtig, mehr Informationen über kritische Taupunktdifferenzen und Grenzwerte, bei denen keine ausreichende Schichthaftung gewährleistet werden kann, zu ermitteln. Solche Forschungen müssten möglichst praxisnah an kontrollierten Versuchsflächen durchgeführt werden.

Im Forschungsauftrag hat sich gezeigt, dass je nach Lage eines Objekts bzw. aufgrund der herrschenden Witterungsverhältnissen (Windverhältnisse, Feuchtigkeit und Temperatur) stark unterschiedliche Brechzeiten der Emulsion festgestellt werden konnten. Gerade diese unbekanntes Zeitgrösse kann aber, nicht zuletzt wegen eines durch die Räder der Einbaufahrzeuge bedingten Abtrags, zu ungenügenden Schichtenverbund führen. Einige Emulsionsfirmen verfügen bereits über Diagramme, aus denen sich die Brechzeit eines Produkts anhand der Temperatur bestimmen lässt. Solche Diagramme könnten verifiziert werden aufgrund weitere Vergleiche in der gesamten Schweiz.

Bei Vorspritzarbeiten ist in erster Linie ein Trocknen der kationischen Bitumenemulsion für das „Brechen“ verantwortlich. Aus diesem Grund ist auch die Taupunkt Differenztemperatur so wichtig bzw. kritisch. Die Emulsion bricht nur, wenn sie mit blankem Gestein oder mit einem Dope-, Brechmittel in Kontakt kommt. In diesem Zusammenhang wäre ein Forschungsbedarf, das Verhalten beim Doppel- Spritzbalken System (Emulsion, Dopemittel) näher zu untersuchen. Auch um zu überprüfen, ob der Taupunkt hier nicht mehr so relevant wäre, da das Brechen der Emulsion mit Hilfe einer Lösung eingeleitet wird.

Die Reinigung der Oberfläche erfolgte bei alle in diesem Forschungsprojekt untersuchten Objekten mit Wasserhochdruck. Bei diesem Verfahren muss die Oberfläche wieder abtrocknen, bevor die Bitumenemulsion appliziert werden kann, was je nach Witterung und Tageszeit einige Zeit in Anspruch nehmen kann. Da aufgrund des immer grösser werdenden Verkehrsaufkommens Strassen jedoch vermehrt in der Nacht saniert werden müssen, wäre die Überprüfung gleichwertiger, aber zeitsparender Reinigungsverfahren sicher lohnenswert.

Anhänge

I	Messdaten.....	101
I.1	Auswertung Bohrkerne und Schichtenverbund.....	101
I.1.1	Objekt Thalwil, Tischloostrasse.....	101
I.1.2	Objekt Stadel / Weiach, Kaiserstuhl- und Stadlerstrasse	103
I.1.3	Schlatt, Büel-, Heitertal- und Eggerstrasse.....	104
I.1.4	Objekt Oetwil am See, Chrüzlenstrasse	105
I.1.5	Objekt Buchs / Regensdorf, Furtal-, Buchserstrasse.....	106
I.1.6	Objekt Dietikon / Oetwil a.d.Limmat, Limmat-, Mutschellenstrasse.....	108
I.1.7	A1 / Rastplatz Forrenberg Süd.....	110
I.1.8	Objekt Richterswil, Glarnerstrasse.....	111
I.1.9	Objekt Volketswil, Usterstrasse.....	112
I.1.10	A1 / Trasse von km 327.000 – 327.500 im Bereich Rastplatz Forren-berg Süd	113
I.1.11	A1 / Durchfahrtsstrecke Rastplatz Forrenberg Süd	114
I.2	Auswertung Bohrkerne und Schichtverbund ohne oder mit MLS 10.....	117
I.2.1	A1 / Rastplatz Forrenberg Süd.....	117
I.2.2	A1 / Durchgangstrasse Rastplatz Forrenberg Süd	119
I.2.3	A7 / Fahrbahn Richtung Winterthur	121
I.3	Messdaten für Vergleiche	123
I.3.1	Schichtenverbund Haftkleber mit und ohne PmB	123
I.3.2	Schichtenverbund auf Fräsflächen	124
I.3.3	Schichtenverbund mit niederviskosen Bitumen im Asphalt (Wachszusatz)	125
I.3.4	Schichtenverbund bei heiss in heiss eingebauten Belägen.....	126
I.3.5	Schichtenverbund auf dichten und semidichten Deckschichten.....	127
I.4	Standards zur Qualitätssicherung des Haftklebers im Kanton Zürich	129

I Messdaten

I.1 Auswertung Bohrkerne und Schichtenverbund

An den Bohrkerne wurden folgende Werte ermittelt: Schichtdicke, Verbundscherkraft nach 3 Tage, 3 Monate und 12 Monate, Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad.

I.1.1 Objekt Thalwil, Tischloostrasse

AC 8 S, 50/70 auf AC B 22 S, 50/70, Haftkleber HCP, Typ 8

Objekt:	Thalwil, 384/Tischloostrasse					
Abschnitt:	km 5.100 - 5.650					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Haftklebertyp	HCP		
Belagstyp:	AC 8 S		Spritzmenge	250 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
747	25	23.6	28.9	28.9	3.0	103.1
748	44	27.0	27.1	31.9	5.7	100.2
749	29	26.4	30.5	29.9	8.0	97.8
750	25	22.1	25.8	28.7	5.6	100.3
751	32	26.4	26.0	33.7	5.4	100.5
752	23	-	27.5	29.6	6.4	99.5
MW	30	25.1	27.6	30.5	5.7	100.2
Max	44	27.0	30.5	33.7	8.0	103.1
Min	23	22.1	25.8	28.7	3.0	97.8
sw	8	2.1	1.8	2.0	1.6	1.7

Abb. 1 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC B 22 S, 50/70 auf Fräsfläche, Haftkleber HC, Typ 8

Objekt:	Thalwil, 384/Tischloostrasse					
Abschnitt:	km 5.375 - 5.650					
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche	Haftklebertyp	HCP			
Belagstyp:	AC B 22 S	Spritzmenge	300 g/m ²			
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
696	90	23.0	--	--	--	--
750	81	29.7	26.8	34.1	2.4	102.3
697	85	22.4	--	--	--	--
751	85	32.3	30.3	41.9	2.4	102.3
698	87	11.0	--	--	--	--
752	87	13.7	22.3	34.9	2.3	102.4
699	85	26.3	--	--	--	--
MW	85	22.6	26.5	37.0	2.4	102.3
Max	87	32.3	30.3	41.9	2.4	102.4
Min	81	11.0	22.3	34.1	2.3	102.3
sw	2	8.6	4.0	4.3	0.1	0.1

Abb. 2 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

Objekt:	Thalwil, 384/Tischloostrasse					
Abschnitt:	km 5.100 - 5.375					
Schicht:	Binderschicht auf Heissmischfundationsschicht	Haftklebertyp	HCP			
Belagstyp:	AC B 22 S	Spritzmenge	300 g/m ²			
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
692	90	21.9	--	--	--	--
747	88	21.8	34.9	30.4	2.7	102.0
693	80	20.7	--	--	--	--
748	78	21.6	23.9	28.6	2.4	102.3
694	90	23.4	--	--	--	--
695	90	25.5	--	--	--	--
749	87	27.0	25.2	40.9	2.0	102.8
MW	86	23.3	28.0	33.3	2.4	102.4
Max	90	27.0	34.9	40.9	2.7	102.8
Min	78	20.7	23.9	28.6	2.0	102.0
sw	5	2.5	6.0	6.6	0.4	0.4

Abb. 3 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.2 Objekt Stadel / Weiach, Kaiserstuhl- und Stadlerstrasse

AC 8 S 50/70 auf AC B 22 S 50/70, Haftkleber HC, Typ 8

Objekt:	Stadel / Weiach, 566 / Kaiserstuhl- / Stadlerstrasse					
Abschnitt:	km 4.620 - 6.000					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HC	
Belagstyp:	AC 8 S			Spritzmenge	250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
947	33	26.5	33.3	42.7	4.2	99.0
948	37	25.1	31.3	33.0	3.9	99.2
949	40	26.2	--	34.3	3.4	99.8
950	45	26.5	25.3	35.8	4.6	98.6
951	45	30.3	32.8	33.3	5.1	98.1
952	43	31.2	34.0	39.2	5.5	97.6
953	44	19.0	30.1	29.3	4.5	98.6
MW	41	26.4	31.1	35.4	4.5	98.7
Max	45	31.2	34.0	42.7	5.5	99.8
Min	33	19.0	25.3	29.3	3.4	97.6
sw	5	4.0	3.2	4.4	0.7	0.7

Abb. 4 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC B 22 S 50/70 auf Fräsfläche oder AC T 22 N, 70/100, Haftkleber HC, Typ 8

Objekt:	Stadel / Weiach, 566 / Kaiserstuhl- / Stadlerstrasse					
Abschnitt:	km 4.620 - 6.000					
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche			Haftklebertyp	HC	
Belagstyp:	AC B 22 S			Spritzmenge	400 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
947	80	14.7	29.6	33.8	2.6	101.6
948	74	20.9	26.0	22.6	2.7	101.5
949	71	20.8	21.0	24.3	2.9	101.2
950	73	22.2	19.7	38.5	2.9	101.2
951	80	23.4	29.7	28.3	3.1	101.0
952	82	20.8	21.4	20.9	3.1	101.0
953	82	29.2	31.3	39.9	3.5	100.6
MW	77	21.7	25.5	29.8	3.0	101.2
Max	82	29.2	31.3	39.9	3.5	101.6
Min	71	14.7	19.7	20.9	2.6	100.6
sw	5	4.3	4.8	7.7	0.3	0.3

Abb. 5 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.3 Schlatt, Büel-, Heitertal-und Eggerstrasse

AC 8 S, 50/70 auf AC T 22 S, 50/70, Haftkleber HCP, Typ 1

Objekt:	Schlatt, 830 / Büelstrasse,					
Abschnitt:	km 3.340 - 3.450					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC 8 S			Spritzmenge	200 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1122	33	27.6	23.4	32.3	6.2	99.0
1123	31	21.2	28.6	28.0	8.4	96.7
1124	40	21.2	23.1	23.3	9.5	95.5
1125	33	9.9	12.7	34.2	4.5	100.8
MW	34	20.0	22.0	29.5	7.2	98.0
Max	40	27.6	28.6	34.2	9.5	100.8
Min	31	9.9	12.7	23.3	4.5	95.5
sw	4	7.4	6.7	4.9	2.2	2.4

Abb. 6 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

Objekt:	Schlatt, 822 / Heitertalstrasse,					
Abschnitt:	km 11,830 - 12,210					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC 8 S			Spritzmenge	200 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1126	35	20.0	24.1	32.9	5.5	99.7
1127	31	19.4	22.8	21.2	4.9	100.4
1128	30	25.9	28.3	23.4	7.4	97.8
1129	40	18.1	21.6	30.5	4.0	101.3
1130	36	17.9	18.7	28.8	4.5	100.9
MW	34	20.3	23.1	27.4	5.3	100.0
Max	40	25.9	28.3	32.9	7.4	101.3
Min	30	17.9	18.7	21.2	4.0	97.8
sw	4	3.3	3.5	4.9	1.3	1.4

Abb. 7 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC 8 S, 50/70 auf AC T 22 S, 50/70, Haftkleber HC, Typ 1

Objekt:	Schlatt, 822 / Elggerstrasse,					
Abschnitt:	km 12.200 - 12.470					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Haftklebertyp	HC		
Belagstyp:	AC 8 S		Spritzmenge	200 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
859	35	27.7	30.4	30.9	2.0	101.9
860	38	13.3	33.1	27.1	3.2	100.7
861	34	14.1	25.2	25.9	2.8	101.1
862	50	29.2	21.0	21.2	2.8	101.1
863	35	11.9	20.2	21.4	3.1	100.8
864	50	9.0	18.9	23.4	2.8	101.1
MW	40	17.5	24.8	25.0	2.8	101.1
Max	50	29.2	33.1	30.9	3.2	101.9
Min	34	9.0	18.9	21.2	2.0	100.7
sw	8	8.6	5.8	3.7	0.4	0.4

Abb. 8 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.4 Objekt Oetwil am See, Chrüzlenstrasse

AC 8 S, 50/70 auf Fräsfläche, Haftkleber HC, Typ 3

Objekt:	Oetwil am See, 714/Chrüzlenstrasse					
Abschnitt:	km 6.675 - 6.895					
Schicht:	Deckschicht auf gefräster Fläche		Haftklebertyp	HC		
Belagstyp:	AC 11 S		Spritzmenge	300 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
876	40	40.8	42.8	47.4	4.1	99.7
877	50	20.7	29.3	34.7	4.2	99.6
878	42	24.3	31.6	26.9	4.5	99.3
879	45	22.6	23.9	27.9	3.5	100.4
MW	44	27.1	31.9	34.2	4.1	99.8
Max	50	40.8	42.8	47.4	4.5	100.4
Min	40	20.7	23.9	26.9	3.5	99.3
sw	4	9.3	8.0	9.4	0.4	0.5

Abb. 9 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.5 Objekt Buchs / Regensdorf, Furttal-, Buchserstrasse

AC 8 H, PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, PmB 10/40-70, 6 Bohrkerne, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	Buchs / Regensdorf, 297 / Furttal-, Buchserstrasse					
Abschnitt:	km 5.721 - 6.770					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC 8 H			Spritzmenge	250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
771	33	25.4	34.9	34.0	5.2	99.0
772	31	29.2	42.0	41.0	4.0	100.3
773	40	31.9	34.3	--	3.3	101.1
774	33	36.8	44.8	47.9	5.1	99.1
775	36	40.3	30.2	34.3	3.9	100.4
776	28	25.4	37.8	49.1	5.2	99.0
MW	34	31.5	37.3	41.3	4.5	99.8
Max	40	40.3	44.8	49.1	5.2	101.1
Min	28	25.4	30.2	34.0	3.3	99.0
sw	4	6.1	5.4	7.2	0.8	0.9

Abb. 10 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkerenschichten.

AC MR 8, PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, PmB 10/40-70, 2 Bohrkerne, Haftkleber HCP, Typ 10

Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC MR 8			Spritzmenge	250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
777	36	27.1	28.2	27.8	5.9	100.5
778	35	26.1	29.2	39.3	4.9	101.5
MW	36	26.6	28.7	33.6	5.4	101.0
Max	36	27.1	29.2	39.3	5.9	101.5
Min	35	26.1	28.2	27.8	4.9	100.5
sw	1	0.7	0.7	8.1	0.7	0.7

Abb. 11 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkerenschichten.

AC EME 22 C1, PmB 10/40-70 auf Fräsfläche, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	Buchs / Regensdorf, 297 / Furttal-, Buchserstrasse					
Abschnitt:	km 5.721 - 6.770					
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche	Haftklebertyp			HCP	
Belagstyp:	AC EME 22 C1 mit PmB	Spritzmenge			400 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
771	92	20.2	30.4	44.8	1.9	102.6
772	112	25.6	36.7	40.8	2.5	102.1
773	108	29.6	27.2	48.0	2.7	101.8
774	98	31.2	38.3	42.9	1.9	102.8
775	86	25.0	23.7	31.1	2.0	102.5
776	123	13.2	28.3	26.2	2.9	101.7
777	95	--	26.3	35.0	2.4	102.1
778	100	19.6	--	26.8	2.2	102.4
MW	102	23.5	30.1	37.0	2.3	102.3
Max	123	31.2	38.3	48.0	2.9	102.8
Min	86	13.2	23.7	26.2	1.9	101.7
sw	12	6.3	5.4	8.4	0.4	0.4

Abb. 12 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.6 Objekt Dietikon / Oetwil a.d.Limmat, Limmat-, Mutschellenstrasse

AC 8 H, PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, PmB 10/40-70, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	Dietikon / Oetwil a.d.L., 295 / Limmattalstrasse, 618 / Mutschellenstrasse					
Abschnitt:	km 0.620 - 0.925, km 1.630 - 2.355					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Haftklebertyp	HCP		
Belagstyp:	AC 8 H		Spritzmenge	250 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1151	30	27.9	36.5	37.8	5.4	100.3
1152	26	30.4	42.8	44.1	5.0	100.7
1153	31	30.6	38.7	49.0	4.1	101.7
1154	35	26.0	37.6	38.1	4.3	101.5
1155	26	30.8	34.9	37.8	4.8	101.0
1419	34	--	--	45.6	6.9	98.8
1420	28	--	--	43.9	5.2	100.6
1421	32	31.8	--	46.7	6.0	99.7
1422	33	30.0	--	35.9	4.4	101.4
1423	33	--	--	49.0	6.3	99.4
1424	30	--	--	45.1	5.6	100.2
MW	31	29.6	38.1	42.4	5.3	100.5
Max	35	31.8	42.8	49.0	6.9	101.7
Min	26	26.0	34.9	35.9	4.1	98.8
sw	3	2.2	3.0	4.6	0.9	0.9

Abb. 13 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC EME 22 C1, PmB 10/40-70 auf Fräsfläche, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	Dietikon / Oetwil a.d.L., 295 / Limmattalstrasse, 618 / Mutschellenstrasse					
Abschnitt:	km 0.620 - 0.925, km 1.630 - 2.355					
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche	Haftklebertyp			HCP	
Belagstyp:	AC EME 22 C1 PmB	Spritzmenge			400 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1151	110	23.3	24.5	26.2	2.3	102.3
1152	95	20.8	38.7	48.0	2.6	102.0
1153	96	23.0	27.6	17.3	2.9	101.6
1154	102	25.5	23.4	43.0	1.9	102.7
1155	110	26.8	35.1	36.6	1.8	102.8
1419	125	12.0	--	11.1	1.4	103.2
1420	103	17.0	--	49.0	2.9	101.6
1421	93	24.7	--	21.1	2.2	102.4
1422	110	22.1	--	22.8	1.9	102.7
1423	96	18.4	--	23.5	2.6	102.0
1424	105	27.3	--	19.1	2.2	102.4
MW	104	21.9	29.9	28.9	2.2	102.3
Max	125	27.3	38.7	49.0	2.9	103.2
Min	93	12.0	23.4	11.1	1.4	101.6
sw	9	4.6	6.7	13.1	0.5	0.5

Abb. 14 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.7 A1 / Rastplatz Forrenberg Süd

AC 8 H, PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, PmB 10/40-70, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	A1, Rastplatz Forrenberg Süd					
Abschnitt:	A1, km 327.000 - 327.500					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC 8 H			Spritzmenge	250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
779	31	33.2	41.5	weggelassen	5.0	98.7
780	37	28.0	39.7	weggelassen	4.4	99.4
781	28	22.1	37.2	weggelassen	4.7	99.1
782	36	25.7	41.5	weggelassen	5.7	98.1
783	32	30.3	36.4	weggelassen	3.7	100.2
784	44	22.4	29.1	weggelassen	3.9	100.0
785	50	26.5	39.0	weggelassen	4.2	99.6
786	46	23.3	40.2	weggelassen	3.9	99.9
787	31	17.5	47.4	weggelassen	8.5	95.1
788	46	35.1	40.6	weggelassen	4.6	99.2
MW	38	26.4	39.3	--	4.9	98.9
Max	50	35.1	47.4	--	8.5	100.2
Min	28	17.5	29.1	--	3.7	95.1
sw	8	5.4	4.7	--	1.4	1.5

Abb. 15 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC EME 22 C1, PmB 10/40-70 auf Fräsfläche oder teilweise AC T 22, S 50/70, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	A1, Rastplatz Forrenberg Süd					
Abschnitt:	A1, km 327.000 - 327.500					
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC EME 22 C1 PmB			Spritzmenge	300 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
779	117	26.2	49.2	weggelassen	1.8	102.1
780	69	31.8	48.2	weggelassen	2.7	101.1
781	90	22.1	28.1	weggelassen	2.2	101.6
782	88	28.4	29.9	weggelassen	5.4	98.4
783	120	32.9	39.4	weggelassen	3.6	100.2
784	103	30.6	35.0	weggelassen	3.0	100.8
785	110	15.7	27.9	weggelassen	2.9	100.9
786	100	0.0	21.9	weggelassen	1.4	102.5
787	82	18.4	20.4	weggelassen	3.1	100.7
788	95	30.3	41.2	weggelassen	3.6	100.2
MW	97	23.6	34.1	--	3.0	100.9
Max	120	32.9	49.2	--	5.4	102.5
Min	69	0.0	20.4	--	1.4	98.4
sw	16	10.1	10.2	--	1.1	1.1

Abb. 16 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.8 Objekt Richterswil, Glarnerstrasse

AC 8 H, PmB 45/80-65 NV (Wachs) auf AC T 22 H, PmB 25/55-65, Haftkleber HCP, Typ 2

Objekt:	Richterswil, 388 / Glarner-/Zugerstrasse					
Abschnitt:	km 0.000 - 0.110					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC 8 H, Spezialbitumen NV			Spritzmenge	450 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1131	51	15.2	28.3	36.6	4.4	98.2
1132	37	28.1	39.7	46.2	6.1	96.5
1133	32	28.1	42.4	40.5	6.4	96.2
1134	35	25.6	31.7	36.8	4.4	25.6
MW	39	24.3	35.5	40.0	5.3	79.1
Max	51	28.1	42.4	46.2	6.4	98.2
Min	32	15.2	28.3	36.6	4.4	25.6
sw	8	6.1	6.6	4.5	1.1	35.7

Abb. 17 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC T 22 H, PmB 25/55-65 auf Fräsfläche oder AC T 22 S, 50/70, Haftkleber HCP, Typ 2

Objekt:	Richterswil, 388 / Glamer-/Zugerstrasse					
Abschnitt:	km 0.000 - 0.110					
Schicht:	Binderschicht auf Tragschicht		Haftklebertyp	HCP		
Belagstyp:	AC B 22 H		Spritzmenge	400 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1131	77	25.2	34.6	39.3	3.3	102.9
1132	88	22.1	26.7	32.7	6.0	100.0
1133	77	34.0	33.4	44.7	3.8	102.4
1134	70	24.0	35.7	40.3	5.0	101.1
MW	78	26.3	32.6	39.3	4.5	101.6
Max	88	34.0	35.7	44.7	6.0	102.9
Min	70	22.1	26.7	32.7	3.3	100.0
sw	7	5.3	4.0	5.0	1.2	1.3

Abb. 18 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.9 Objekt Volketswil, Usterstrasse

AC MR 8, PmB 45/80-65 auf AC B 22 H, PmB 25/55-65, Haftkleber HCP, Typ 7

Objekt:	Volketswil, 340 / Usterstrasse					
Abschnitt:	km 6.755 - 6.980					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Haftklebertyp	HCP		
Belagstyp:	AC MR 8		Spritzmenge	250 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1147	22	21.7	21.3	36.9	7.9	97.5
1148	35	33.4	27.2	40.2	4.7	100.9
1149	33	29.4	25.3	36.9	6.1	99.4
1150	30	26.7	30.5	43.5	7.9	97.5
1282	22	--	22.7	44.4	6.9	98.5
1283	28	23.8	21.2	34.1	8.5	96.8
1284	32	24.7	25.0	33.9	7.3	98.1
1285	30	21.3	21.3	31.9	6.7	98.8
1286	22	--	21.3	32.7	6.0	99.4
MW	28	25.9	24.0	37.2	6.9	98.5
Max	35	33.4	30.5	44.4	8.5	100.9
Min	22	21.3	21.2	31.9	4.7	96.8
sw	5	4.4	3.3	4.6	1.2	1.3

Abb. 19 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC B 22 H, PmB 25/55-65 auf Fräsfläche oder AC T 22 S, 50/70, Haftkleber HCP, Typ 7

Objekt:	Volketswil, 340 / Usterstrasse					
Abschnitt:	km 6.755 - 6.980					
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche			Haftklebertyp HCP		
Belagstyp:	AC EME 22 C1 PmB			Spritzmenge 350 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1147	135	17.2	31.8	48.5	3.0	101.4
1148	140	19.4	15.7	49.0	2.8	101.7
1149	130	47.1	17.1	21.1	1.9	102.6
1150	120	32.4	31.8	49.2	2.0	102.5
1282	121	26.4	23.2	44.7	3.1	101.4
1283	118	18.9	--	32.6	3.1	101.4
1284	122	19.8	19.7	24.3	3.6	100.8
1285	103	23.9	18.9	34.9	3.1	101.4
1286	126	16.7	18.8	45.6	3.4	101.0
MW	124	24.6	22.1	38.9	2.9	101.6
Max	140	47.1	31.8	49.2	3.6	102.6
Min	103	16.7	15.7	21.1	1.9	100.8
sw	11	9.8	6.3	11.0	0.6	0.6

Abb. 20 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.10 A1 / Trasse von km 327.000 – 327.500 im Bereich Rastplatz Forrenberg Süd

AC MR 8 PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, 15/25, Haftkleber HCP, Typ 6

Objekt:	A1, 5 BK Streifen 1, 5 BK Standspur, Fahrriichtung St. Gallen					
Abschnitt:	A1, km 327.000 - 327.500					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp HCP		
Belagstyp:	AC MR 8			Spritzmenge 250 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
795	39	24.6	25.0	weggelassen	8.1	96.9
796	40	19.2	22.2	weggelassen	10.2	94.7
797	35	24.8	28.0	weggelassen	8.5	96.5
798	34	52.1	30.3	weggelassen	8.3	96.7
799	32	26.4	25.3	weggelassen	9.6	95.2
800	32	17.5	26.0	weggelassen	7.9	97.1
801	34	26.4	32.5	weggelassen	7.4	97.6
802	35	21.5	31.0	weggelassen	7.4	97.6
803	32	28.3	24.3	weggelassen	9.9	94.9
804	35	26.4	44.7	weggelassen	7.2	97.8
MW	35	26.7	28.9	--	8.5	96.5
Max	40	52.1	44.7	--	10.2	97.8
Min	32	17.5	22.2	--	7.2	94.7
sw	3	9.6	6.4	--	1.1	1.2

Abb. 21 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC EME 22 C1, 15/25 auf AC EME 22 C2, 10/20, Haftkleber HCP, Typ 6

Objekt:	A1, 5 BK Streifen 1, 5 BK Standspur, Fahrrichtung St. Gallen					
Abschnitt:	A1, km 327.000 - 327.500					
Schicht:	Binderschicht auf Tragschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC EME 22 C1			Spritzmenge	300 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
651	81	48.6	49.1	weggelassen	3.9	100.0
652	73	49.2	49.4	weggelassen	3.1	100.9
653	80	48.9	49.3	weggelassen	2.9	101.0
654	75	49.1	49.2	weggelassen	3.3	100.6
655	84	49.1	49.3	weggelassen	3.0	101.0
656	69	35.9	49.2	weggelassen	2.5	101.5
657	81	28.7	38.2	weggelassen	3.9	100.0
658	88	49.0	49.0	weggelassen	3.1	100.8
659	92	44.5	49.1	weggelassen	2.1	101.9
660	81	46.7	49.5	weggelassen	4.3	99.6
MW	80	45.0	48.1	--	3.2	100.7
Max	92	49.2	49.5	--	4.3	101.9
Min	69	28.7	38.2	--	2.1	99.6
sw	7	7.0	3.5	--	0.7	0.7

Abb. 22 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.1.11 A1 / Durchfahrtsstrecke Rastplatz Forrenberg Süd

AC MR 8, PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, 15/25, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	A1 Rastplatz Forrenberg, Durchgangsstrasse Fahrrichtung St. Gallen					
Abschnitt:	km A1, km 327.000 - 327.500					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC MR 8			Spritzmenge	250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
789	23	--	--	weggelassen	10.8	94.0
790	27	25.5	43.6	weggelassen	6.2	98.9
791	30	17.2	28.1	weggelassen	8.5	96.4
792	31	23.0	34.3	weggelassen	5.3	99.8
793	32	24.0	39.7	weggelassen	7.2	97.8
794	30	24.4	23.7	weggelassen	7.5	97.5
MW	29	22.8	33.9	--	7.6	97.4
Max	32	25.5	43.6	--	10.8	99.8
Min	23	17.2	23.7	--	5.3	94.0
sw	3	3.3	8.1	--	1.9	2.0

Abb. 23 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

AC EME 22 C1, 15/25 auf Fräsfläche, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	A1 Rastplatz Forrenberg, Durchgangsstrasse Fahrriichtung St. Gallen					
Abschnitt:	km A1, km 327.000 - 327.500					
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche	Haftklebertyp			HCP	
Belagstyp:	AC EME 22 C1	Spritzmenge			300 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
789	65	27.4	29.7	weggelassen	2.0	102.0
790	74	25.7	31.9	weggelassen	3.1	100.9
791	65	22.0	33.2	weggelassen	2.4	101.6
792	63	25.8	36.9	weggelassen	2.6	101.4
793	70	27.2	46.3	weggelassen	4.1	99.8
794	98	26.7	28.7	weggelassen	6.5	97.3
MW	73	25.8	34.5	--	3.5	100.5
Max	98	27.4	46.3	--	6.5	102.0
Min	63	22.0	28.7	--	2.0	97.3
sw	13	2.0	6.5	--	1.7	1.7

Abb. 24 Zusammenstellung der Messdaten der einzelnen Bohrkernschichten.

I.2 Auswertung Bohrkerne und Schichtverbund ohne oder mit MLS 10

Vom Bohrkern wurden folgende Werte ermittelt: Schichtdicke, Verbundscherkraft nach 2 Monate ohne oder mit MLS 10, Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad.

I.2.1 A1 / Rastplatz Forrenberg Süd

AC 8 H, PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, PmB 10/40-70, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	A1, Rastplatz Forrenberg Süd, Bereich MLS			
Abschnitt:	PW-Parkplätze Anfangs linke Seite			
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Belastung:	ohne MLS 10
Belagstyp:	AC 8 H		Haftkleber / Spritzmenge:	HCP / 250 g/m ²
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraumgehalt	Verdichtungsgrad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1543	30	33.9	6.1	96.6
1544	30	37.2	5.9	96.8
1545	33	37.7	6.1	96.6
1546	31	36.1	6.3	96.4
MW	31	36.2	6.1	96.6
Max	33	37.7	6.3	96.8
Min	30	33.9	5.9	96.4
sw	1.4	1.7	0.2	0.2

Abb. 25 Zusammenstellung der Messdaten ohne Belastung durch MLS 10.

Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Belastung:	mit MLS 10
Belagstyp:	AC 8 H		Haftkleber / Spritzmenge:	HCP / 250 g/m ²
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraumgehalt	Verdichtungsgrad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1547	30	39.9	5.6	97.1
1548	30	39.4	4.9	97.8
1549	30	37.8	4.6	98.1
1550	30	37.7	4.9	97.8
MW	30	38.7	5.0	97.7
Max	30	39.9	5.6	98.1
Min	30	37.7	4.6	97.1
sw	0.0	1.1	0.4	0.4

Abb. 26 Zusammenstellung der Messdaten mit Belastung durch MLS 10.

AC EME 22 C1, PmB 10/40-70 auf Fräsfläche, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	A1, Rastplatz Forrenberg Süd, Bereich MLS			
Abschnitt:	PW-Parkplätze Anfangs linke Seite			
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche	Belastung:	ohne MLS 10	
Belagstyp:	AC EME 22 C1	Haftkleber / Spritzmenge:	HCP / 300 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1543	100	29.3	1.1	102.4
1544	100	29.4	1.4	102.1
1545	95	28.9	2.3	101.2
1546	93	29.6	2.0	101.5
MW	97	29.3	1.7	101.8
Max	100	29.6	2.3	102.4
Min	93	28.9	1.1	101.2
sw	3.6	0.3	0.5	0.5

Abb. 27 Zusammenstellung der Messdaten ohne Belastung durch MLS 10.

Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche	Belastung:	mit MLS 10	
Belagstyp:	AC EME 22 C1	Haftkleber / Spritzmenge:	HCP / 300 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1547	97	21.2	0.7	102.8
1548	95	20.6	0.9	102.6
1549	96	22.3	1.0	102.5
1550	100	21.3	1.3	102.2
MW	97	21.4	1.0	102.5
Max	100	22.3	1.3	102.8
Min	95	20.6	0.7	102.2
sw	2.2	0.7	0.3	0.2

Abb. 28 Zusammenstellung der Messdaten mit Belastung durch MLS 10.

I.2.2 A1 / Durchgangstrasse Rastplatz Forrenberg Süd

AC MR 8, PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, 15/25, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	A1, Durchgangstrasse, Rastplatz Forrenberg Süd, Bereich MLS			
Abschnitt:	gegenüber Raststättergebäude			
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Belastung:	ohne MLS 10
Belagstyp:	AC MR 8		Haftkleber / Spritzmenge:	HCP / 250 g/m ²
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1556	29	29.8	8.4	100.0
1557	28	34.6	7.8	100.6
1558	30	46.5	7.6	100.8
1559	29	41.7	7.4	101.0
MW	29	38.2	7.8	100.6
Max	30	46.5	8.4	101.0
Min	28	29.8	7.4	100.0
sw	0.8	7.4	0.4	0.4

Abb. 29 Zusammenstellung der Messdaten ohne Belastung durch MLS 10.

Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Belastung:	mit MLS 10
Belagstyp:	AC MR 8		Haftkleber / Spritzmenge:	HCP / 250 g/m ²
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1552	28	35.8	7.3	101.2
1553	28	29.3	7.3	101.1
1554	30	47.4	6.6	101.9
1555	32	30.1	6.8	101.7
MW	30	35.7	7.0	101.5
Max	32	47.4	7.3	101.9
Min	28	29.3	6.6	101.1
sw	1.9	8.4	0.4	0.4

Abb. 30 Zusammenstellung der Messdaten mit Belastung durch MLS 10.

AC EME 22 C1, PmB 10/40-70 auf Fräsfläche, Haftkleber HCP, Typ 10

Objekt:	A1, Durchgangstrasse, Rastplatz Forrenberg Süd, Bereich MLS			
Abschnitt:	gegenüber Raststättengebäude			
Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche	Belastung: ohne MLS 10		
Belagstyp:	AC EME 22 C1	Haftkleber / Spritzmenge: HCP / 300 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1556	60	34.8	2.3	101.8
1557	60	36.0	2.1	102.0
1558	58	40.1	2.5	101.6
1559	58	38.6	2.1	102.0
MW	59	37.4	2.3	101.9
Max	60	40.1	2.5	102.0
Min	58	34.8	2.1	101.6
sw	1.2	2.4	0.2	0.2

Abb. 31 Zusammenstellung der Messdaten ohne Belastung durch MLS 10.

Schicht:	Binderschicht auf gefräster Fläche	Belastung: mit MLS 10		
Belagstyp:	AC EME 22 C1	Haftkleber / Spritzmenge: HCP / 300 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1552	57	27.9	5.0	99.0
1553	56	39.9	3.7	100.3
1554	57	38.9	3.2	100.8
1555	55	41.6	3.2	100.9
MW	56	37.1	3.8	100.3
Max	57	41.6	5.0	100.9
Min	55	27.9	3.2	99.0
sw	1.0	6.2	0.9	0.9

Abb. 32 Zusammenstellung der Messdaten ohne Belastung durch MLS 10.

I.2.3 A7 / Fahrbahn Richtung Winterthur

AC MR 8, PmB 45/80-65 auf AC EME 22 C1, 15/25, Haftkleber HCP, Typ 6

Objekt:	A7, Fahrbahn Richtung Winterthur, Bereich MLS			
Abschnitt:	Ausstellplatz km 1.300			
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Belastung:	ohne MLS 10
Belagstyp:	AC MR 8	Haftkleber / Spritzmenge:		HCP / 250 g/m ²
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1229	30	25.8	9.8	96.1
1230	30	26.1	10.3	95.5
1231	28	26.2	10.5	95.3
1232	30	41.0	11.0	94.8
MW	29.5	29.8	10.4	95.4
Max	30	41.0	11.0	96.1
Min	28	25.8	9.8	94.8
sw	1.0	7.5	0.5	0.5

Abb. 33 Zusammenstellung der Messdaten ohne Belastung durch MLS 10.

Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Belastung:	mit MLS 10
Belagstyp:	AC MR 8	Haftkleber / Spritzmenge:		HCP / 250 g/m ²
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1225	30	28.4	8.4	97.6
1226	30	28.8	8.4	97.6
1227	33	27.6	9.6	96.3
1228	31	31.3	8.3	97.6
MW	31	29.0	8.7	97.3
Max	33	31.3	9.6	97.6
Min	30	27.6	8.3	96.3
sw	1.4	1.6	0.6	0.6

Abb. 34 Zusammenstellung der Messdaten mit Belastung durch MLS 10.

AC EME 22 C1, 15/25 auf AC EME 22 C1, 10/20, Haftkleber HCP, Typ 6

Objekt:	A7, Fahrbahn Richtung Winterthur, Bereich MLS			
Abschnitt:	Ausstellplatz km 1.300			
Schicht:	Binderschicht auf Tragschicht		Belastung: ohne MLS 10	
Belagstyp:	AC EME 22 C1	Haftkleber / Spritzmenge: HCP / 300 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1229	88	49.3	1.9	101.3
1230	91	49.2	1.3	101.9
1231	87	49.2	1.6	101.6
1232	90	49.2	1.7	101.5
MW	89	49.2	1.6	101.6
Max	91	49.3	1.9	101.9
Min	87	49.2	1.3	101.3
sw	1.8	0.0	0.2	0.3

Abb. 35 Zusammenstellung der Messdaten ohne Belastung durch MLS 10.

Schicht:	Binderschicht auf Tragschicht		Belastung: mit MLS 10	
Belagstyp:	AC EME 22 C1	Haftkleber / Spritzmenge: HCP / 300 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke	Verbundscherkraft	Hohlraum- gehalt	Verdichtungs- grad
	[mm]	[kN]	[Vol-%]	[%]
1225	84	49.1	2.2	100.9
1226	85	49.3	1.4	101.8
1227	87	49.2	1.5	101.7
1228	83	49.6	1.4	101.8
MW	85	49.3	1.6	101.6
Max	87	49.6	2.2	101.8
Min	83	49.1	1.4	100.9
sw	1.7	0.2	0.4	0.4

Abb. 36 Zusammenstellung der Messdaten mit Belastung durch MLS 10.

I.3 Messdaten für Vergleiche

An den Bohrkernen wurden folgende Werte ermittelt: Schichtdicke, Verbundscherkraft nach 3 Tage, 3 Monate und 12 Monate, Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad.

I.3.1 Schichtenverbund Haftkleber mit und ohne PmB

Vergleich Haftkleber HCP / HC						
Schicht	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstypen:	AC 8 S auf AC B 22 S			Spritzmenge	200 - 250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1122	33	27.6	23.4	32.3	6.2	99.0
1123	31	21.2	28.6	28.0	8.4	96.7
1124	40	21.2	23.1	23.3	9.5	95.5
1125	33	-	-	34.2	4.5	100.8
1126	35	20.0	24.1	32.9	5.5	99.7
1127	31	19.4	22.8	21.2	4.9	100.4
1128	30	25.9	28.3	23.4	7.4	97.8
1129	40	18.1	21.6	30.5	4.0	101.3
1130	36	17.9	18.7	28.8	4.5	100.9
747	25	23.6	28.9	28.9	3.0	103.1
748	44	27.0	27.1	31.9	5.7	100.2
749	29	26.4	30.5	29.9	8.0	97.8
750	25	22.1	25.8	28.7	5.6	100.3
751	32	26.4	26.0	33.7	5.4	100.5
752	23	-	27.5	29.6	6.4	99.5
MW	32	22.8	25.5	29.2	5.9	99.6
Max	44	27.6	30.5	34.2	9.5	103.1
Min	23	17.9	18.7	21.2	3.0	95.5
sw	6	3.5	3.3	3.9	1.8	1.9

Abb. 37 AC 8 S auf AC B 22 S mit Haftkleber HCP.

Vergleich Haftkleber HCP / HC						
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HC	
Belagstyp:	AC 8 S auf AC B 22 S			Spritzmenge	200 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
859	35	27.7	30.4	30.9	2.0	101.9
860	38	13.3	33.1	27.1	3.2	100.7
861	34	14.1	25.2	25.9	2.8	101.1
862	50	29.2	21.0	21.2	2.8	101.1
863	35	11.9	20.2	21.4	3.1	100.8
864	50	9.0	18.9	23.4	2.8	101.1
MW	40	17.5	24.8	25.0	2.8	101.1
Max	50	29.2	33.1	30.9	3.2	101.9
Min	34	9.0	18.9	21.2	2.0	100.7
sw	8	8.6	5.8	3.7	0.4	0.4

Abb. 38 AC 8 S auf AC B 22 S mit Haftkleber HC.

I.3.2 Schichtenverbund auf Fräsflächen

Zusammenstellung: Schichtverbund auf gefräster Flächen						
Schicht:	Schicht auf gefrästen Flächen	Haftklebertyp			HCP	
Belagstypen:	AC B 22 S und AC EME 22 C1	Spritzmenge			300 - 400 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
750	81	29.7	26.8	34.1	2.4	102.3
751	85	32.3	30.3	41.9	2.4	102.3
752	87	13.7	22.3	34.9	2.3	102.4
947	80	14.7	29.6	33.8	2.6	101.6
948	74	20.9	26.0	22.6	2.7	101.5
949	71	20.8	21.0	24.3	2.9	101.2
950	73	22.2	19.7	38.5	2.9	101.2
951	80	23.4	29.7	28.3	3.1	101.0
952	82	20.8	21.4	20.9	3.1	101.0
953	82	29.2	31.3	39.9	3.5	100.6
771	92	20.2	30.4	44.8	1.9	102.6
772	112	25.6	36.7	40.8	2.5	102.1
773	108	29.6	27.2	48.0	2.7	101.8
774	98	31.2	38.3	42.9	1.9	102.8
775	86	25.0	23.7	31.1	2.0	102.5
776	123	13.2	28.3	26.2	2.9	101.7
777	95	--	26.3	35.0	2.4	102.1
778	100	19.6	--	26.8	2.2	102.4
1151	110	23.3	24.5	26.2	2.3	102.3
1152	95	20.8	38.7	48.0	2.6	102.0
1153	96	23.0	27.6	17.3	2.9	101.6
1154	102	25.5	23.4	43.0	1.9	102.7
1155	110	26.8	35.1	36.6	1.8	102.8
1419	125	12.0	--	11.1	1.4	103.2
1420	103	17.0	--	49.0	2.9	101.6
1421	93	24.7	--	21.1	2.2	102.4
1422	110	22.1	--	22.8	1.9	102.7
1423	96	18.4	--	23.5	2.6	102.0
1424	105	27.3	--	19.1	2.2	102.4
1147	135	17.2	31.8	48.5	3.0	101.4
1148	140	19.4	15.7	49.0	2.8	101.7
1149	130	47.1	17.1	21.1	1.9	102.6
1150	120	32.4	31.8	49.2	2.0	102.5
1282	121	26.4	23.2	44.7	3.1	101.4
1283	118	18.9	--	32.6	3.1	101.4
1284	122	19.8	19.7	24.3	3.6	100.8
1285	103	23.9	18.9	34.9	3.1	101.4
1286	126	16.7	18.8	45.6	3.4	101.0
MW	102	23.1	26.5	33.7	2.6	101.9
Max	140	47.1	38.7	49.2	3.6	103.2
Min	71	12.0	15.7	11.1	1.4	100.6
sw	18	6.7	6.2	10.8	0.5	0.7

Abb. 39 Binder-, Tragschichten auf Fräsflächen mit Haftkleber HCP.

I.3.3 Schichtenverbund mit niederviskosen Bitumen im Asphalt (Wachszusatz)

Objekt:	Richterswil, 388 / Glarner-/Zugerstrasse					
Abschnitt:	km 0.000 - 0.110					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Haftklebertyp	HCP		
Belagstyp:	AC 8 H, Spezialbitumen NV		Spritzmenge	450 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1131	51	15.2	28.3	36.6	4.4	98.2
1132	37	28.1	39.7	46.2	6.1	96.5
1133	32	28.1	42.4	40.5	6.4	96.2
1134	35	25.6	31.7	36.8	4.4	25.6
MW	39	24.3	35.5	40.0	5.3	79.1
Max	51	28.1	42.4	46.2	6.4	98.2
Min	32	15.2	28.3	36.6	4.4	25.6
sw	8	6.1	6.6	4.5	1.1	35.7

Abb. 40 Schichtverbund mit niederviskosen Bitumen im Deckbelag AC 8 H (Wachszusatz).

I.3.4 Schichtenverbund bei heiss in heiss eingebauten Belägen

Zusammenstellung: Heiss in Heiss eingebaute Deckbeläge auf Binderschichten						
Schicht:	Deckschicht heiss in heiss auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC MR 8			Spritzmenge	250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
1147	22	21.7	21.3	36.9	7.9	97.5
1148	35	33.4	27.2	40.2	4.7	100.9
1149	33	29.4	25.3	36.9	6.1	99.4
1150	30	26.7	30.5	43.5	7.9	97.5
1282	22	--	22.7	44.4	6.9	98.5
1283	28	23.8	21.2	34.1	8.5	96.8
1284	32	24.7	25.0	33.9	7.3	98.1
1285	30	21.3	21.3	31.9	6.7	98.8
1286	22	--	21.3	32.7	6.0	99.4
MW	28	25.9	24.0	37.2	6.9	98.5
Max	35	33.4	30.5	44.4	8.5	100.9
Min	22	21.3	21.2	31.9	4.7	96.8
sw	5	4.4	3.3	4.6	1.2	1.3

Abb. 41 Schichtverbundwerte der Heiss in Heiss eingebauten Deck- AC MR 8 und Binderschicht AC EME 22 C1.

Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC MR 8			Spritzmenge	250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
777	36	27.1	28.2	27.8	5.9	100.5
778	35	26.1	29.2	39.3	4.9	101.5
MW	36	26.6	28.7	33.6	5.4	101.0
Max	36	27.1	29.2	39.3	5.9	101.5
Min	35	26.1	28.2	27.8	4.9	100.5
sw	1	0.7	0.7	8.1	0.7	0.7

Abb. 42 Für den Vergleich der Schichtverbundwerte der Heiss in Heiss eingebauten Deck- AC MR 8 und Binderschicht AC EME 22 C1 mit konventionell eingebauten Belagschichten (am nächsten Tag).

I.3.5 Schichtenverbund auf dichten und semidichten Deckschichten

Vergleich Schichtverbund AC 8 H und AC MR 8 auf Binderschicht						
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht			Haftklebertyp	HCP	
Belagstyp:	AC 8 H			Spritzmenge	250 g/m ²	
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
771	33	25.4	34.9	34.0	5.2	99.0
772	31	29.2	42.0	41.0	4.0	100.3
773	40	31.9	34.3	--	3.3	101.1
774	33	36.8	44.8	47.9	5.1	99.1
775	36	40.3	30.2	34.3	3.9	100.4
776	28	25.4	37.8	49.1	5.2	99.0
1151	30	27.9	36.5	37.8	5.4	100.3
1152	26	30.4	42.8	44.1	5.0	100.7
1153	31	30.6	38.7	49.0	4.1	101.7
1154	35	26.0	37.6	38.1	4.3	101.5
1155	26	30.8	34.9	37.8	4.8	101.0
1419	34	--	--	45.6	6.9	98.8
1420	28	--	--	43.9	5.2	100.6
1421	32	31.8	--	46.7	6.0	99.7
1422	33	30.0	--	35.9	4.4	101.4
1423	33	--	--	49.0	6.3	99.4
1424	30	--	--	45.1	5.6	100.2
MW	32	30.5	37.7	42.0	5.0	100.2
Max	40	40.3	44.8	49.1	6.9	101.7
Min	26	25.4	30.2	34.0	3.3	98.8
sw	4	4.5	4.3	5.3	0.9	0.9

Abb. 43 Zusammenstellung dichter Beläge AC 8 H.

Vergleich:	Schichtverbund AC 8 H und AC MR 8 auf Binderschicht					
Schicht:	Deckschicht auf Binderschicht		Haftklebertyp	HCP		
Belagstyp:	AC MR 8		Spritzmenge	250 g/m ²		
Nr.	Schichtdicke [mm]	Verbundscherkraft			Hohlraum- gehalt [Vol-%]	Verdichtungs- grad [%]
		3 Tage [kN]	3 Monate [kN]	12 Monate [kN]		
777	36	27.1	28.2	27.8	5.9	100.5
778	35	26.1	29.2	39.3	4.9	101.5
795	39	24.6	25.0	--	8.1	96.9
796	40	19.2	22.2	--	10.2	94.7
797	35	24.8	28.0	--	8.5	96.5
798	34	52.1	30.3	--	8.3	96.7
799	32	26.4	25.3	--	9.6	95.2
800	32	17.5	26.0	--	7.9	97.1
801	34	26.4	32.5	--	7.4	97.6
802	35	21.5	31.0	--	7.4	97.6
803	32	28.3	24.3	--	9.9	94.9
804	35	26.4	44.7	--	7.2	97.8
789	23	--	--	--	10.8	94.0
790	27	25.5	43.6	--	6.2	98.9
791	30	17.2	28.1	--	8.5	96.4
792	31	23.0	34.3	--	5.3	99.8
793	32	24.0	39.7	--	7.2	97.8
794	30	24.4	23.7	--	7.5	97.5
MW	33	25.6	30.4	33.6	7.8	97.3
Max	40	52.1	44.7	39.3	10.8	101.5
Min	23	17.2	22.2	27.8	4.9	94.0
sw	4	7.6	6.7	8.1	1.6	2.0

Abb. 44 Zusammenstellung semidichter Beläge AC MR 8.

I.4 Standards zur Qualitätssicherung des Haftklebers im Kanton Zürich

Der vorliegende Leitfaden basiert auf der Vorgehensweise im Kanton Zürich, wie sie sich zur Vermeidung von Problemen mit dem Schichtenverbund als zielführend herausgestellt hat:

- Vorgabe von Haftklebern mit 50 %-igen Bitumenanteil (Abweichungen bedürfen einer Genehmigung des Bauherrn).
- Wasserhochdruckreinigung vor Haftkleberapplikation aller Belags- und Fräsflächen (andere Massnahmen bedürfen eine Genehmigung des Bauherrn).
- Mengenangabe des Haftklebers für jede Schichtgrenze, deren Festlegung aufgrund der tatsächlich vorhandenen Oberflächenstruktur (optische Beurteilung vor Ort) angepasst werden kann.
- Überprüfung der Leistungserklärung des verwendeten Haftklebers in Bezug auf die Normanforderungen (Dies ist bei ausländischen Produkten erschwert.).
- Applikation des Haftklebers am Vorabend mit der Überprüfung der Taupunktdifferenz. (Abweichungen bedürfen eine Abklärung und die Definition der geeigneten Massnahmen und sind im Bausitzungsprotokoll zu vermerken.)
- Die Eigenschaften der Witterung sowie Luft- und Bodentemperaturen, Spritzmenge und Produkt sind im Einbauprotokoll zu vermerken.
- Absaugen von Wasser und ständiger Überprüfung der Luft- und Bodentemperatur im Fall des Einbaus bei Regen (Bedingung: Die Haftkleberapplikation hat unter trockenen Bedingungen zu erfolgen).
- Reinigung von Verschmutzungen der angespritzten Flächen, bei denen sich der Belagseinbau aus Witterungsgründen verzögerte und erneutes Anspritzen mit reduzierter Haftklebermenge (hauptsächlich Schmutzbindung).
- Prüfung des Schichtverbundes an sämtlichen Objekten ist ein Bestandteil der Qualitätskontrolle im Kanton Zürich.
- Zusätzlich zur Mittelwertanforderung wurde im Werkvertrag die gleiche Anforderung an den Einzelwert gestellt. Zusätzlich müssen 75 % der Einzelwerte die Einzelwertanforderung erreichen.

Glossar

Begriff	Bedeutung
AC	Asphaltbeton (Asphalt concrete)
AC EME	Asphalt Mischgut mit erhöhtem Modul
AC MR	Asphalt concrete magro rugueux, semidichter Asphalt
AC T	Heissmischtragschicht
AC F	Heissmischfundationsschicht
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BS	Binderschicht
CEN	Europäisches Komitee für Normung (CEN)
d	Durchmesser
DS	Deckschicht
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EN	Europäische Norm
HC	nicht polymermodifizierter Haftkleber
HCP	polymermodifizierter Haftkleber
MLS10	Mobiler Verkehrslastsimulator
NV	niederviskos
PK	Prüfkörper
PmB	Polymerhaltiges Bitumen
RAP	Ausbauasphalt oft auch Recyclingasphaltgranulat (Reclaimed Asphalt Pavement)
SMA	Splittmastixasphalt
SN	Schweizer Norm
TBA	Tiefbauamt (Kanton ZH)
Stabw.	Standardabweichung
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

Literaturverzeichnis

-
- [1] C. Raab, M.N. Partl: Prüfung von Haftklebern, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen. FA 1999/277 auf Antrag der VSS, Bericht Nr. 1196, Oktober (2007)
-
- [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 Asphaltschichten im Straßenbau, Dissertation TH Darmstadt, 1991
-
- [4] SN 640431-1bNA, EN 13108-1, Asphaltmischgut – Anforderungen – Teil 1: Asphaltbeton, Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, 2005
-
- [5] Schweizer Norm SN 670461: Bituminöses Mischgut, Bestimmung des Schichtenverbunds (nach Leutner), Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2000.
-
- [6] Schweizer Norm SN 670461: Bituminöses Mischgut, Bestimmung des Schichtenverbunds (nach Leutner), Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2000
-
- [7] C. Raab, M.N. Partl: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Haftvermittler auf den Schichtenverbund von Asphaltbelägen, EMPA Bericht Nr. 840621, 2002
-
- [8] 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] D. Mravira, 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
-
- [11] S. Nikolova, K. Grossey: Study of the influence of types of emulsion on the shear stress. Proceedings 2nd World Congress on Emulsions, Lyon, 2002
-
- [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] West, Randy C.: Zhang, Jingna; Moore, Jason: Evaluation of bond strength between pavement layers. NCAT Report 05-08, National Center for Asphalt Technology, 2005
-
- [14] 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.
-
- [15] M. B. Kulkarni: Effect of Tack and Prime Coats, and Baghouse Fines on Composite asphalt Pavements. PHD Thesis North Carolina State University, 2004
-
- [16] J. Uzan, M. Livneh, and Y. Eshed: Investigation of adhesion properties between asphaltic-concrete layers, Asphalt Paving Technology, Vol.47, 1978
-
- [17] J. Romanoschi, J. B. Metcalf, The Characterization of Pavement Layer Interfaces, Proceedings of the 9th International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, 2002
-
- [18] L. N. Mohammad, A. Bae and M. Elseifi: Effect of Tack coat materials and application rate on the interface shear strength, Proceedings of 6th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control Mairepav6, 8-10th July in Torino, Italy, Vol II, pp 636-645, 2009
-
- [19] Schweizer Norm 670205-NA:2005, EN 13808, Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel, Rahmenwerk für die Spezifizierung kationischer Bitumenemulsionen, Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS, 2005
-
- [20] C. Raab, M.N. Partl, Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen. Bericht Nr. 442, 1999.
-
- [21] C. Raab, M.N. Partl: Langzeiterfassung des Schichtenverbunds – Relation zwischen Prüfwert nach Einbau und Langzeitverhalten, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen. FA 2005/503 auf Antrag der VSS, Bericht Nr. 1195, 2007.
-
- [22] ÖNORM B 3639, 1997. Technische Asphalte für den Straßenbau und verwandte Gebiete - Prüfung - Haftverbund von Asphaltschichten. Austrian Standards Institute.
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 20. Oktober 2017 / 24. November 2017

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2008/401
 Projekttitel: Leistungsfähigkeit von Haftklebern in der Praxis
 Enddatum: 21. November 2017

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Das Ziel des Forschungsprojekts war die Untersuchung der Wirksamkeit von Haftklebern in der Praxis, d.h. unter realen Baustellenbedingungen. Hierbei handelte es sich im Wesentlichen um Baustellen des Tiefbauamts (TBA) des Kantons Zürich, wobei auch einige Autobahnobjekte des ASTRAS einbezogen werden konnten. Die Wirksamkeit von Haftklebern wurde mit Hilfe der Abscherprüfung nach Leutner bestimmt, wobei unterschiedliche Parameter und Situationen, wie Haftklebertyp, und -dosierung, Bindemiteleigenschaften, Oberflächenbeschaffenheit der Unterlage und als wesentlicher Parameter die Langzeitwirkung berücksichtigt wurden. Ein wichtiger Punkt, im Hinblick auf die Wirksamkeit von Haftklebern, war die Frage des Langzeitverhaltens bzw. die Frage, nach welcher Zeit sich der Schichtenverbund optimal ausgebildet hat. Aus diesem Grund erfolgte die Untersuchung des Verbunds direkt nach Einbau, nach 3 Monaten und nach einer gewissen Verkehrsbelastung und einer bestimmten Zeit (ca. 12 Monate nach Einbau). Zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses sollte der Verkehrslastsimulator MLS10 zur Anwendung kommen. Insgesamt wurden mehr als 10 Objekte mit unterschiedlichen Schichtaufbauten und Haftklebertypen untersucht.

Aufgrund der Untersuchungen zeigte sich, dass bei praktisch allen Objekten bereits die nach Einbau gemessenen Scherkräfte recht hohe Werte von in der Regel mehr als 20kN aufwiesen und somit zumindest für den Mittelwert die Anforderungen nach Schweizer Norm bei allen Objekten und Schichten problemlos erfüllt wurden. Weiterhin war bei allen Objekten eine Zunahme der Scherkraft über die Zeit, insbesondere nach 12 Monaten, feststellbar. Bereits nach 3 Monaten zeigte sich in fast allen Fällen schon eine Zunahme der Verbundscherkraft im Vergleich mit dem Ausgangszustand, was auf eine Verbesserung des Schichtenverbundes durch das Abbinden (Curing) des Haftklebers hinweist. Ein Vergleich der Mittelwerte von polymmermodifizierten HCP und nicht polymmermodifizierten Haftklebern HC ergab insbesondere nach Einbau und nach 12 Monaten für Haftkleber HCP tendenziell eine höhere Scherkraft als für Haftkleber HC. Die Werte der auf Fräsflächen ermittelten Scherkräfte wiesen generell hohe Streuungen auf, trotzdem erreichten alle direkt nach Einbau ermittelten Werte die geforderte Normanforderung von 12kN. Wie ein Vergleich mit dem Einbau einer Deckschicht auf gefräster Unterlage zeigte, können im Fall feinerer Belagsschichten sogar noch höhere Verbundwerte von mehr als 20kN erzielt werden. Auch war im Projekt durch den Einsatz von niederviskosen Bitumen mit Wachszusatz kein negativer Einfluss auf den Schichtenverbund nachweisbar. Dagegen wurden zu allen Entnahmepunkten für dichte Deckbeläge (AC 8) deutlich höhere Schichtverbundwerte als für semidichten Deckbeläge (AC MR 8) bestimmt. Schon die direkt nach dem Einbau bestimmten Werte liegen für dichte Beläge um 20% höher. Auch wenn im Projekt im Fall tiefer Taupunkte keine unzureichenden Schichtenverbundwerte feststellbar waren, zeigte es sich, dass durch Spritzen des Haftklebers am Vorabend tendenziell höhere Werte erreicht werden können, als wenn dieser erst in den frühen Morgenstunden aufgebracht wird.

Der Einsatz des Verkehrslastsimulators MLS10 zur raschen Simulation des Verkehrseinflusses zeigte dagegen keine messbare Verbesserung des Schichtenverbundes, was sich mit der zum Testzeitpunkt extrem tiefen Temperaturen und die im Vergleich zum steifen Belagaufbau geringen Anzahl an Überrollungen erklären lässt.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Das Ziel des Forschungsprojekts war die Untersuchung der Wirksamkeit von Haftklebern in der Praxis, d.h. unter realen Baustellenbedingungen, wobei unterschiedliche Parameter und Situationen, wie Haftklebertyp, Haftkleberdosierung, Bindemittelbeschaffenheit, d.h. Auswirkung unterschiedlicher Bindemittel, Oberflächenbeschaffenheit der Unterlage, Verkehrseinfluss und Langzeitwirkung, berücksichtigt werden sollen. Die Wirksamkeit von Haftklebern sollte dabei anhand der Abscherprüfung nach Leutner untersucht werden.

Im wesentlichen wurden alle vorgegebene Ziele erreicht (siehe Projektergebnisse und Folgerungen). Ein nicht berücksichtigter Punkt ist die Oberflächenbeschaffenheit der Unterlage und die damit verbundene Haftklebermenge. In den im Forschungsprojekt untersuchten Objekten wurde die Haftklebermenge wie ausgeschrieben verwendet. Auch aufgrund der erzielten tendenziell hohen Schichtenverbundwerte ergibt sich, wie im Forschungsbericht beschrieben, hier sicher noch Optimierungspotential.

Folgerungen und Empfehlungen:

Insgesamt lassen sich aus der vorliegenden Untersuchung folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:

- Bei sorgfältiger Arbeitsweise und Kontrolle der Randbedingungen, wie es im Kanton Zürich üblich ist, lassen sich mit den heutigen Haftklebern sehr hohe Schichtverbundwerte erzielen.
- Der Schichtenverbund nimmt innerhalb kurzer Zeit aufgrund des Curings zu, innerhalb längerer Zeit steigen diese Werte weiter an. Aufgrund dieser Ergebnisse könnte im Fall von tiefen, den Normanforderungswerten knapp nicht entsprechenden Schichtenverbundwerten direkt nach Einbau, eine Nachprüfung des Schichtenverbundes nach 3 Monaten in Erwägung gezogen werden.
- Grundsätzlich haben polymermodifizierte Haftkleber ein höheres Potential als nicht modifizierte und sollten zumindest in kritischen Fällen bevorzugt zum Einsatz kommen. Auf jeden Fall sollte beim Einbau von Belägen mit polymermodifizierten Bindemitteln auch polymermodifizierte Haftkleber eingesetzt werden.
- Die Werte der auf Fräsflächen ermittelten Scherkräfte wiesen generell hohe Streuungen auf, trotzdem erreichten alle direkt nach Einbau ermittelten Werte von mindestens 12kN.
- Der Einfluss des Taupunktes konnte in der Forschung aufgrund der in den meisten Fällen günstigen Bedingungen nicht ausreichend untersucht werden. Jedoch ist es empfehlenswert den Haftkleber, wenn möglich, lieber am Vorabend als in den frühen Morgenstunden aufzubringen. Aus der Praxis ist auch bekannt, dass der Taupunkt besonders bei Tunnelbaustellen mit schlechter Durchlüftung problematisch ist und hier eine klimatische Optimierung zu empfehlen ist.

Publikationen:

ASTRA Forschungsbericht

Geplant sind auch Publikationen in Strasse und Verkehr und an internationalen Tagungen

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Schellenberg

Vorname: Urs

Amt, Firma, Institut: Tiefbauamt, Kanton Zürich

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Resultate der Forschungsarbeit entsprechen im wesentlichen der Zielsetzung des Auftrages. Es ist bedauerlich, dass die Grenze bezüglich der Taupunktdifferenz nicht besser untersucht werden konnte (siehe Kapitel 9 Forschungsbedarf). Auch der Einsatz des Verkehrslastsimulators MLS10 hat bedauerlicher Weise nicht zum gewünschten Ergebnis geführt. Als negativ muss die lange Dauer der Forschungsarbeit insbesondere der Berichterstellung angesehen werden.

Umsetzung:

Es wurden die Standards zur Qualitätssicherung des Haftverbundes im Kanton Zürich abgebildet, die als Grundlage für die Applikation und Verwendung des Haftklebers und die Prüfung des Schichtverbundes dienen kann.

weitergehender Forschungsbedarf:

siehe Kapitel 9 "Forschungsbedarf"

Einfluss auf Normenwerk:

Präzisierung der Prüfnorm SN 670 461 "Bestimmung des Schichtverbundes nach Leutner": Das Abscheren der Bohrkerne soll in Fahr- beziehungsweise Fräsrichtung erfolgen.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Zippo

Vorname: Adrian

Amt, Firma, Institut: Shell (Switzerland) AG, CH-6340 Baar

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter **Fehler! Hyperlink-Referenz ungültig.**www.astra.admin.ch (*Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.