



Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen

**Paquet de recherche Etanchéité de ponts :
EP6 - Raccords pour les étanchéités de ponts**

**Research Package Bridge-deck Systems:
EP6 - Edge connections to bridge deck waterproofings**

**CES Bauingenieur AG, Sarnen
P. Lehmann, dipl. Bauingenieur ETH/SIA**

**BTS Bauexpert AG, Schlieren
A. Bernhard, dipl. Chemiker FH**

Forschungsprojekt VSS 2006/516_OBF auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

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

Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen

**Paquet de recherche Etanchéité de ponts :
EP6 - Raccords pour les étanchéités de ponts**

**Research Package Bridge-deck Systems:
EP6 - Edge connections to bridge deck waterproofings**

**CES Bauingenieur AG, Sarnen
P. Lehmann, dipl. Bauingenieur ETH/SIA**

**BTS Bauexpert AG, Schlieren
A. Bernhard, dipl. Chemiker FH**

Forschungsprojekt VSS 2006/516_OBF auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Pierre Lehmann, CES Bauingenieur AG, Sarnen

Mitglied

Andreas Bernhard, BTS Bauexpert AG, Schlieren

Federführende Fachkommission

Fachkommission: FK 5 Strassenbautechnik

Gesamtprojektleitung

Remy Gubler, Remy Gubler Beratung, Thusis

Begleitkommission

Begleitkommission Gesamtprojekt

Präsident

Hans Hürzeler

Mitglieder

Heinz Aeschlimann
Harry Fehlmann
Kurt Frei
Jean-Christophe Putallaz
Jean-Marc Waeber
Hans Wahlen

Begleitkommission Einzelprojekt EP6

Präsident

Kurt Frei

Mitglieder

Sivatha Hean
Franz Meier
Oskar Neubauer
Paul Roser
Rolf Werner
Jean-Marc Waeber

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
1.1 Veranlassung	13
1.2 Zielsetzung	13
1.3 Änderung	14
2 Grundlagen	15
2.1 Allgemeine Bemerkungen	15
2.2 Normpositionen-Katalog NPK 2008	15
2.3 ASB-Richtlinien 1990	15
2.3.1 Allgemeines	15
2.3.2 Randverklebungen	15
2.3.3 Anschlussfuge zwischen Gussasphalt-Deckschicht und Rand	15
2.3.4 Anschlüsse und Einbauten	16
2.3.5 Übersicht	17
2.3.6 Neuere Konstruktionen	17
2.4 ASTRA-Richtlinien 2005	18
2.4.1 Anforderungen an Anschlüsse	18
2.4.2 Anschlüsse an Einbauten aus Stahl oder Guss	18
2.4.3 Anschluss an Konsolkopf oder Leitmauer mit Fugenmasse	19
2.4.4 Anschlüsse mit PVC-Fugenband und Geotextil	20
2.4.5 Anschlüsse mit Hypalon-Dichtungsband	21
2.4.6 Anschlüsse mit PCV-Band hinter dem Randabschluss	22
2.4.7 Anschlüsse mit Flüssigkunststoff	22
2.5 ASTRA-Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K)	23
2.5.1 Standardanschluss an Leitmauer/Konsolkopf	23
2.5.2 Standarddetail Einlaufschacht	24
2.5.3 Standarddetail Randstein	24
3 Methodik	25
3.1 Kriterium für die Dichtheit der Abdichtungsanschlüsse	25
3.2 Untersuchungen während Instandsetzungen von Brücken des Nationalstrassennetzes	26
3.3 Versuchsfelder Lopperviadukt Hergiswil	27
3.4 Umfrage über gebräuchliche Anschlüsse	27
4 Ergebnisse	29
4.1 Anschlüsse von Abdichtungen aus PBD	29
4.1.1 Stahlwinkel mit aufgeschraubter Klemmschiene	29
4.1.2 Flachstahl mit aufgeschraubter Klemmschiene	31
4.1.3 Stahlwinkel mit aufgeschraubter Klemmschiene, Beton beschichtet	33
4.1.4 Geklemmter Anschluss auf Beton	35
4.1.5 Geklebter Anschluss mit Hypalon-Kunststoff	37
4.1.6 Geklebter Anschluss mit PCV-Fugenband	39
4.1.7 Geklebter Anschluss mit GFK-Polyester	41
4.1.8 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss	43
4.1.9 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss	45
4.1.10 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss	47
4.1.11 Geklebter Anschluss mit 2-Komponenten Polyurethan (PUR)	49
4.1.12 Geklebter Anschluss mit 2-Komponenten Polyurethan (PUR)	50

4.2	Anschlüsse von Abdichtungen aus Flüssigkunststoff (FLK)	52
4.2.1	Anschluss mit 2-Komponenten Polyurethan (PUR)	52
4.2.2	Anschluss mit 2-Komponenten Polyurethan (PUR)	54
4.3	Anschlüsse von Abdichtungen ohne Verbund	55
4.3.1	Anschluss mit PBD-Randverklebung	55
4.3.2	Schwimmende Abdichtung aus Asphaltmastix (AM) ohne Randverklebung	57
4.3.3	Schwimmende Abdichtung aus Asphaltmastix (AM) ohne Randverklebung	60
4.3.4	Anschluss mit Bitumen-Dichtungsbahn mit Jute-Trägereinlage	63
4.4	Zusammenfassung Ergebnisse Chloridgehalt Mittelwerte	65
4.5	Zusatzprojekt zerstörungsfreie Verfahren	65
5	Beurteilung und Folgerung	67
	Anhänge	69
	Verständigung	107
	Literaturverzeichnis	108
	Projektabschluss	109
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	112

Zusammenfassung

Die Anschlüsse der Brückenabdichtungen sind für die Funktionstüchtigkeit der Abdichtung von unbestritten grosser Bedeutung, weil das Tragwerk dadurch wirksam gegen physikalische (Feuchtigkeit) und chemische (Salze) Einwirkungen geschützt werden kann. Bei Undichtheiten in der Abdichtung oder deren Anschluss können Schäden entstehen, welche nur mit teuren Erhaltungsmassnahmen behoben werden können und mit unangenehmen Einschränkungen für die Verkehrsteilnehmer verbunden sind. Bei sorgfältiger Projektierung mit durchdachten Systemen und fachmännischer Ausführung mit qualitativ hochwertigen Materialien lassen sich hingegen die Erhaltungsmassnahmen erheblich reduzieren, wodurch langfristig namhafte Kosteneinsparungen erzielbar sind.

Es existiert eine Vielzahl von verschiedenen Anschlussdetails, von denen man aber meistens nicht nachweisbar weiss, ob sie längerfristig dicht sind und somit gebrauchstauglich. Das Ziel dieser Arbeit ist, an Hand von Materialprüfungen an verschiedenen bestehenden Brückenobjekten abzuklären, wie sich die unterschiedlichen Anschlussdetails während der langjährigen Nutzungsdauer bewährt haben. Auf Grund der Ergebnisse soll es anschliessend möglich sein, Empfehlungen für die Anwendung von erprobten, funktionstüchtigen Anschlussdetails abzugeben. Die Abklärungen richten sich also vorwiegend an die projektierenden Planer.

Als Kriterium für die Funktionstüchtigkeit der Anschlüsse von Brückenabdichtungen wählte die Forschungsstelle die Chloridversalzung des durch die Abdichtung geschützten Betons. Es wurden in jedem untersuchten Querschnitt drei Bohrkern entnommen:

- Eine horizontale Kernbohrung **oberhalb** des Abdichtungsanschlusses.
Diese Stellen sind den physikalischen (Temperatur, Feuchtigkeit), chemischen (Salz) und biologischen Einwirkungen während der Nutzungsdauer ungeschützt ausgesetzt.
- Eine horizontale Kernbohrung **unterhalb** des Abdichtungsanschlusses.
Bei einem dichten Anschluss ist die Chloridversalzung an dieser Stelle theoretisch nicht nachweisbar.
- Eine vertikale Kernbohrung in die Fahrbahnplatte.
Bei dieser Materialprüfung geht es darum, eine allfällige Unterläufigkeit der Abdichtung mit Schadstoffen in die Fahrbahnplatte nachzuweisen.

Das Bundesamt für Strassen ASTRA stellte der Forschungsstelle eine Liste von Brückenobjekten zur Verfügung, welche während der Bearbeitungszeit dieses Einzelprojekts EP 6 instand gestellt wurden. Daraus wurden mehrere Bauwerke ausgewählt, an denen die Funktionstüchtigkeit von verschiedenen, während mehreren Jahren dem Strassenverkehr und der Witterung ausgesetzten Anschlussdetails **zerstörend** untersucht werden konnte. Die Forschungsstelle achtete nach Möglichkeit darauf, dass die Abdichtungsanschlüsse immer noch aktuell sind und in der Praxis weiterhin angewendet werden. Wegen des beschränkten Angebots an für zerstörende Untersuchungen geeigneten Brückenobjekten wurden aber auch Anschlussdetails kontrolliert, die heute nicht mehr gebaut werden. In der Gesamtbeurteilung ist die Berücksichtigung auch dieser Abdichtungsanschlüsse wichtig, damit eine möglichst umfassende Aussage abgegeben werden kann.

Im Weiteren wurden die bestehenden Versuchsfelder auf dem Lopperviadukt der N2 in Hergiswil nochmals untersucht. In den Jahren 1985 bis 1992 hatte man neun verschiedene Abdichtungsanschlüsse eingebaut und nach 4 Jahren erstmals kontrolliert. Die Untersuchungen waren von Anfang an auf eine langjährige Beobachtungszeit ausgerichtet, wovon die Forschungsstelle nach der Nutzungsdauer von 24 Jahren hervorragend profitieren konnte.

Die Auswertung der Chloridversalzung in den Fahrbahnplatten von 18 verschiedenen Anschlussdetails mit einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von über 26 Jahren zeigt eine überaus erfreuliche Erkenntnis:

Bei den insgesamt 73 Bohrkernen war nur eine einzige Probe, welche in der Fahrbahnplatte einen Chloridgehalt von über 0.050 Masse-% Beton aufweist (kaum Korrosionsrisiko vorhanden). Der entsprechende Maximalwert von 0.055 Masse-% Beton lag im Tiefenprofil 0 bis 10 mm. In der Tiefe 10 bis 20 mm betrug der Maximalwert nur noch 0.025 Masse-% Beton.

Dies bedeutet, dass alle untersuchten Randanschlüsse als dicht beurteilt werden können, und die Hinterläufigkeit des Randanschlusses der Abdichtung mit chloridbelastetem Oberflächenwasser kein so grosses Risiko darstellt, wie bisher mangels vertiefter Abklärungen angenommen worden war.

Auf Grund dieser Erkenntnis rückt (neben den Kosten) hauptsächlich die **Baustellentauglichkeit** der Randanschlüsse von Brückenabdichtungen in den Vordergrund.

Das Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K) des Bundesamts für Strassen ASTRA sieht für Brücken des ASTRA nur noch Brückenabdichtungen aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen PBD vor. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingung und auf Grund der Erkenntnisse des vorliegenden Berichts ist es fachgerecht, den Abdichtungsanschluss mit der vorgeschriebenen, einfachen und daher baustellentauglichen Randfuge aus Polymerbitumen (heiss verarbeitbare Fugenmasse) auszuführen. Die Details beim Einlaufschacht und mit Randstein sind sinngemäss herzustellen. Dieses Anschlussdetail kann (bei Belagsaufbauten mit oder ohne Binderschicht) bei Deckschichten aus Gussasphalt MA, Asphaltbeton AC und AC MR8 Typ ASTRA angewendet werden

Die Randfuge aus Polymerbitumen (heiss verarbeitbare Fugenmasse) muss die Norm SN 670 064a "Fugeneinlagen und Fugenmassen für Verkehrsflächen" erfüllen. Sie gilt als **Fugendichtung** und hat deshalb die Aufgabe und Funktion, den Fugenspalt zu dichten.

Aus den Erkenntnissen des Forschungsberichts kann weiter gefolgert werden, dass Randanschlüsse von Flüssigkunststoff-Abdichtungen FLK sowie von schwimmenden Gussasphalt-Abdichtungen MA vergleichbare Gebrauchstauglichkeit und Nutzungsdauer aufweisen wie das oben beschriebene Anschlussdetail gemäss Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K) des Bundesamts für Strassen ASTRA.

Auf Grundlage des vorliegenden Forschungsberichts wird die Empfehlung abgegeben, „Anschlüsse von Brückenabdichtungen“ in einem Kapitel der SN 640 450 "Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken" zu behandeln und auf die Erarbeitung einer eigenen Norm „Anschlüsse von Brückenabdichtungen“ zu verzichten.

Résumé

Les raccords d'étanchéité de ponts sont d'une importance primordiale pour le bon fonctionnement de l'ensemble de l'étanchéité de l'ouvrage. La structure porteuse doit en effet être protégée contre les influences physiques (humidité) et chimiques (sel). Une étanchéité ou des raccords présentant des malfaçons peuvent conduire à des dégâts qui ne peuvent être réparés qu'avec des travaux d'entretien très onéreux et qui sont liés à des restrictions de circulation désagréables. Une étude de projet minutieuse, un système d'étanchéité approprié, une mise en œuvre selon les règles de l'art et un choix de matériaux de haute qualité seront garants d'une réduction sensible de travaux d'entretien et à longue échéance d'une économie notable.

Il existe une multitude de différents détails de raccords dont il n'est pas prouvé pour la plupart qu'ils soient étanche à longue échéance et de ce fait qu'ils soient adaptés. Le but de l'étude est, sur la base de contrôles des matériaux utilisés pour des ponts existants, d'apporter la certitude que les détails des raccords ont fait leurs preuves dans le temps. Il est de ce fait possible, sur la base des résultats, de pouvoir formuler des recommandations au sujet de l'exécution de raccords fonctionnels. L'étude s'oriente en priorité vers le planificateur du projet.

L'Institut de Recherche a étudié, comme critère de bon fonctionnement des raccords d'étanchéité de ponts, l'influence de la salinité sur l'étanchéité de protection du béton. Il fut procédé à trois carottages dans chaque section examinée:

- Un carottage horizontal en partie **supérieure** des raccords d'étanchéité.
Ces parties sont soumises aux actions physiques (températures, humidité), chimiques (sel) et biologiques, à savoir non protégées durant leur durée d'utilisation.
- Un carottage horizontal en partie **inférieure** des raccords d'étanchéité.
Si le raccord est effectué de manière étanche, la salinité n'est théoriquement pas décevable à cet endroit.
- Un carottage vertical dans le tablier du pont.
L'objectif de ce contrôle de matériaux est de détecter sous l'étanchéité, jusque dans le tablier du pont, d'éventuelles infiltrations accompagnées d'agents agressifs.

L'Office fédéral des routes OFROU a mis à disposition de l'Institut de Recherche, une liste de ponts, durant la période d'étude, dont l'EP 6 était en cours de restauration. Plusieurs ouvrages furent sélectionnés. Le fonctionnement du complexe de construction de ces ouvrages exposés durant plusieurs années au trafic et aux effets météorologiques fut contrôlé et plus spécialement les détails de raccords qui furent **démontés**. L'Institut de Recherche s'assura à ce que les raccords d'étanchéité soient d'actualité et encore mis en œuvre à ce jour. En raison du nombre restreint de ponts où les contrôles ne purent être effectués en démontant certaines parties, d'autres détails de raccords, plus pratiqués à ce jour, furent également contrôlés. Le contrôle de ces raccords d'étanchéité a une importance non négligeable quant à l'évaluation globale de cette étude et des conclusions à tirer.

D'autre part, les essais expérimentaux existants pratiqués sur le viaduc de Lopper sur la A2 à Hergiswil furent à nouveau examinés. Neuf différents raccords d'étanchéité furent mis en œuvre durant les années 1985 à 1992 et contrôlés pour la première fois après 4 ans. Les examens furent étalés sur une période d'observation portant sur plusieurs années. De ce fait, l'Institut de Recherche pu profiter de données explicites de cet ouvrage qui est en service depuis 24 ans.

L'examen de la salinité dans le tablier du pont sur 18 divers détails de raccords, après une durée d'utilisation moyenne de 26 ans, apporta des résultats des plus positifs :

Un seul prélèvement dans le béton du tablier du pont, sur un total de 73 carottages, afficha une teneur en chlorure de 0.050 % de la masse (pratiquement pas de risque de corrosion). La valeur maximale de 0.055 % de la masse fut découverte dans un profil d'une profondeur de 0 à 10 mm. La valeur maximale de 0.025 % de la masse de béton fut constatée à une profondeur de 10 à 20 mm.

Ces résultats démontrent que tous les raccords de relevés examinés peuvent être considérés comme étanches et que les infiltrations d'eau de surface contenant du chlorure sous l'étanchéité de ces raccords ne présentent pas un si gros risque, tel qu'on aurait pu le croire, faute d'examen approfondis à ce jour.

Sur la base de cette étude, la constatation primordiale (outre les coûts) était de mettre en évidence **l'aptitude des raccords** des relevés des étanchéités de ponts.

Le "manuel technique ouvrages d'art" (FHB K) de l'Office fédéral des routes OFROU prévoit pour l'étanchéité des ponts de l'OFROU uniquement des lés d'étanchéité de bitume polymère LBP. En tenant compte des ces données et sur la base des conclusions du présent rapport, il est professionnellement recommandé d'exécuter l'étanchéité des raccords et des joints avec du bitume polymère (masse mise en œuvre à chaud). Il en est de même pour les détails de raccords aux pièces d'écoulement et aux bordures. Ce détail de raccord peut être utilisé (pour des revêtements avec ou sans liant) pour des couches de revêtement en asphalte coulé MA, des couches de revêtement d'enrobés bitumineux AC et AC MR8, type OFROU.

Les joints en bitume polymère (masse mise en œuvre à chaud) doivent répondre aux exigences de la Norme SN 670 064a : "produits d'obturation et de scellement de joints pour zones de circulation". Le bitume polymère est considéré comme **étanchéité de joints** et a de ce fait la tâche et la fonction d'étancher les ouvertures de joints.

En référence aux résultats du rapport de recherches, il peut être ainsi conclu que l'étanchéité des raccords de relevés effectuées avec un système d'étanchéité liquide (FLK) ou avec de l'asphalte coulé flottant MA, démontre une aptitude et une durée dans le temps comparable aux détails de raccords décrits ci-dessus, selon le Manuel Technique d'ouvrages d'art (FHB K) de l'Office fédéral des routes OFROU.

Sur la base du présent rapport de recherches, il est émis la recommandation de traiter les "raccords d'étanchéité de ponts" dans un chapitre de la SN 640 450 "systèmes d'étanchéité et couches bitumineuses sur ponts en béton" et de renoncer à concevoir une propre norme "raccords d'étanchéité de ponts".

Summary

The edge connections of concrete bridge deck waterproofings are indisputably of crucial importance to the proper functioning of the waterproofing because the load-bearing structure can be effectively protected by these against physical (moisture) and chemical (sodium) ingress. Damage may occur if there are leaks in the waterproofing or their connection and it may only be repaired through maintenance work causing considerable expense and with inconvenient restrictions on traffic. If the project is planned carefully with well-thought out systems and is carried out with great expertise using high-quality materials, maintenance measures can be significantly reduced, on the other hand, allowing considerable costs to be saved over the long term.

There are a large number of various details relating to the connection, however, one does not know, which one of these connections are suitable for long term use and therefore applicable. The objective of this work is to use material tests on various existing bridge structures to find out how different connecting details have held up over long years of usage. The results should then allow recommendations to be formulated for the use of tried-and-proven, properly functioning connection details. The results are thus primarily addressed to the project planners.

As criteria for the proper functioning of the connections for the bridge waterproofing, the research office selected chloride salt impact on the concrete protected by the waterproofing. Three drill cores were taken in each cross-section examined:

- One horizontal drill core **above** the waterproofing connection. These areas are subjected to physical (temperature, moisture), chemical (sodium) and biological impact without protection during the period of use.
- A horizontal drill core **below** the waterproofing connection. If the waterproofing is tight, no chloride salts should theoretically be found here.
- A vertical drill core in the concrete bridge deck. The task in this material testing is to determine whether contaminants are seeping through the waterproofing into the concrete bridge deck.

The Federal Roads Office (FEDRO) provided the research office a list of bridges which had been repaired during the period in which this individual project EP 6 was being carried out. Several structures were selected from this regarding which the proper functioning of several connection details subjected to several years of road traffic and weather could be **destructively** tested. The research office made sure wherever possible that the waterproofing connections are still up to date and are still being used in the actual field of practice. As a result of the limited supply of bridge structures available for destructive testing, however, connection details were investigated which are no longer built nowadays. These waterproofing connections were also important in the overall assessment in order to allow an analysis to be submitted which is as broad as possible.

Thereafter, existing fields of trials were examined once again on the Lopper Viaduct of the N2 in Hergiswil. Nine different waterproofing connections were installed here in the years 1985 to 1992 and inspected for the first time 4 years later. The inspections were based on a period of observation lasting many years from the outset, whereby the research office was able to profit greatly following a usage period of 24 years.

The assessment of the chloride salt in the concrete bridge deck for 18 different connection details with an average usage period of over 26 years produced very positive findings:

Out of the total of 73 drill cores, only one single specimen had a chloride content in the concrete bridge deck of over 0.050 mass % cement (scarcely any risk of corrosion). The respective maximum level of 0.055 mass % concrete was in a depth profile of 0 to 10 mm. The maximum level in the depth 10 to 20 mm was only 0.025 mass % concrete.

This means that all of the edge connections tested can be assessed as tight, and ingress on the edge connection of the waterproofing with surface water contaminated with chloride does not constitute such a great risk as had been assumed to date in lieu of any detailed investigations.

As a result of these findings (in addition to the costs), the focus primarily moves to the **building site integrity** of the edge connections of bridge deck waterproofing.

The Federal Roads Office (FEDRO) manual for engineering structures (FHB K) only provides for bridge connection waterproofing made of polymer bitumen sealing membranes PBD now. Taking into account this edge condition and based on the findings of this report, the proper approach is to construct the waterproofing connection with a simple edge joint made of polymer bitumen (sealant applied in heated state) appropriate for building sites as described in the foregoing. The details in the inlet shaft and with the curb are to be executed in the same manner. This connection detail (with structures built on the surface with or without a binder layer) can be used with cover layers made of poured asphalt MA, asphalt concrete AC and AC MR8 type FEDRO.

The edge joint made of polymer bitumen (sealant applied in heated state) has to meet the standard SN 670 064a "Joint fillers and joint mass for traffic surfaces". It is considered to be a **joint sealant** and therefore has the task and function of sealing the joint gap.

It can furthermore be surmised from the findings of the research report that edge connections of liquid-applied synthetic waterproofings FLK and floating poured asphalt waterproofing MA perform and have a lifetime comparable with the connection detail as set out in the manual for engineering structures (FHB K) of the Federal Roads Office (FEDRO) described in the foregoing.

The recommendation is made on the basis of this research report to treat "connections of bridge waterproofings" in a chapter of SN 640 450 "waterproofing systems and layers on concrete bridges containing bitumen" and not create any separate standard for "connections of concrete bridge deck waterproofings".

1 Einleitung

1.1 Veranlassung

Brücken nehmen eine Schlüsselstellung im Strassennetz ein. Die Investitionen für die Erstellung und den Unterhalt dieser Bauwerke haben aus naheliegenden Gründen eine hohe volkswirtschaftliche Bedeutung: Brücken sind teure und unterhaltsintensive Bauwerke. Deshalb sind die Bauwerkseigentümer stark daran interessiert, dass bei der Projektierung und der Ausführung dieser Werke grossen Wert auf die Dauerhaftigkeit gelegt wird, weil dadurch Verkehrsbehinderungen wegen Unterhaltsarbeiten und dementsprechend Unterhaltskosten minimal gehalten werden können.

An Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Brücken werden besonders hohe Anforderungen bezüglich Gebrauchstauglichkeit gestellt. Abdichtung und Decke bilden ein System, dessen Bestandteile verträglich aufeinander abgestimmt sein müssen. Die Systemwahl richtet sich dabei nach konkreten Anforderungen, die vielfältig sein können: Der Verkehr verlangt eine hochwertige Oberfläche, was im Einzelnen Ebenheit, Griffigkeit, Oberflächenentwässerung und Dauerhaftigkeit bedeutet. Zum andern muss die Tragkonstruktion der Brücken vor dem Eindringen von Feuchtigkeit und Wasser mit darin gelösten Schadstoffen geschützt werden, wobei es in erster Linie darum geht, Bewehrungskorrosion zu verhindern.

Bei der Überarbeitung der VSS-Norm SN 640 450 "Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken" [4] zeigte sich, dass verschiedene Themen zum Normeninhalt nicht oder nur ungenügend beantwortet werden konnten. Die anschliessende Vernehmlassung bestärkte die Expertenkommission darin, ein entsprechendes gesamtheitliches Forschungspaket zu beantragen, welches aus folgenden Einzelprojekten EP besteht

- EP 1: Standfester Gesamtaufbau
Prüfung und Bewertung
- EP 2: Flüssigkunststoff-Abdichtung
Erfassen der Verbundproblematik
- EP 3: Langzeitverhalten des Verbundes Abdichtung/Schutzschicht
- EP 4: Zerstörungsfreie Prüfung ZFP
Beurteilung von Verbund und Oberflächen
- EP 5: Mechanismen der Blasenbildung
- EP 6: Anschlüsse von Brückenabdichtungen.

Der vorliegende Bericht beinhaltet das Einzelprojekt EP 6 "Anschlüsse von Brückenabdichtungen". Als Anschluss von Brückenabdichtungen wird der Übergang von der Abdichtung zum Brückenrand (Konsolkopf, Leitmauer) definiert.

1.2 Zielsetzung

Die Anschlüsse der Brückenabdichtungen sind für die Funktionstüchtigkeit der Abdichtung von unbestritten grosser Bedeutung, weil das Tragwerk dadurch wirksam gegen physikalische (Feuchtigkeit) und chemische (Salze) Einwirkungen geschützt werden kann. Bei Undichtheiten in der Abdichtung oder deren Anschluss können Schäden entstehen, welche nur mit teuren Erhaltungsmassnahmen behoben werden können und mit unangenehmen Einschränkungen für die Verkehrsteilnehmer verbunden sind. Bei sorgfältiger Projektierung mit durchdachten Systemen und fachmännischer Ausführung mit qualitativ hochwertigen Materialien lassen sich hingegen die Erhaltungsmassnahmen erheblich reduzieren, wodurch langfristig namhafte Kosteneinsparungen erzielbar sind.

Es existiert eine Vielzahl von verschiedenen Anschlussdetails, von denen man aber meistens nicht nachweisbar weiss, ob sie längerfristig dicht sind und somit gebrauchstauglich. Das Ziel dieser Arbeit ist, an Hand von Materialprüfungen an verschiedenen bestehenden Brückenobjekten abzuklären, wie sich die unterschiedlichen Anschlussdetails während der langjährigen Nutzungsdauer bewährt haben. Auf Grund der Ergebnisse soll es anschliessend möglich sein, Empfehlungen für die Anwendung von erprobten, funktionstüchtigen Anschlussdetails abzugeben. Die Abklärungen richten sich also vorwiegend an die projektierenden Planer.

1.3 Änderung

Das Einzelprojekt EP 6 umfasste ursprünglich Randanschlüsse und Anschlüsse an Einbauten. Im Verlaufe der Diskussionen mit den beteiligten Fachleuten zeigte sich, dass die Materialentnahmen vor Ort an Einbauten wie Brückeneinlaufschächten und Fahrbahnübergängen in der Praxis nicht durchführbar waren. Aus diesem Grund beschränkte die Forschungsstelle in Absprache mit der Begleitkommission ihre Untersuchungen auf die Randanschlüsse von Brückenabdichtungen. Diese sind längenmässig bedeutend wichtiger als die Abwicklung von Einbauten, sodass diese Änderung vertretbar ist.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeine Bemerkungen

Die Konsultation der Dokumentationen aus der schweizerischen Brückenforschung der letzten Jahre ergibt, dass die Funktionstüchtigkeit der Abdichtungsanschlüsse vor allem von den projektierenden Ingenieuren als wichtig erachtet wird. An verschiedenen Tagungen und in diversen Publikationen wurde der Wunsch geäußert, dass die Zahl der Abdichtungssysteme mit den entsprechenden Anschlussdetails reduziert und einheitliche Richtlinien ausgearbeitet werden. Es muss aber festgehalten werden, dass heute trotzdem noch eine grosse Anzahl Richtzeichnungen von Kantonen und Gemeinden bestehen und eine Vereinheitlichung der Abdichtungsanschlüsse weiterhin nicht erreicht ist.

2.2 Normpositionen-Katalog NPK 2008

Der Normpositionen-Katalog der Schweizer Bauwirtschaft NPK 172 "Abdichtungen von Bauten unter Terrain und für Brücken" (D/08) [3] beinhaltet die Anschlussdetails für Brückenabdichtungen aus Gussasphalt, Polymerbitumen-Dichtungsbahnen und Flüssigkunststoffen. Damit stehen Ausschreibungsunterlagen zur Verfügung, welche die Zusammenarbeit zwischen Planern und Unternehmern durch Vorgaben erleichtern. Die Normpositionen erlauben aber keine Rückschlüsse, welche Anschlüsse praxistauglich und funktionstüchtig sind.

2.3 ASB-Richtlinien 1990

Das Bundesamt für Strassen ASTRA (bzw. das Bundesamt für Strassenbau ASB) publizierte bereits 1990 in den "Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken" Vorschläge für die Gestaltung der Anschlussdetails (Kapitel 5 Abdichtungen und Beläge) [1]. Weil die Untersuchungen für die vorliegende Forschungsarbeit teilweise auf Grundlagen von Abdichtungsanschlüssen der oben erwähnten Richtlinien beruhen, werden die wichtigsten Forderungen der ASB-Richtlinien 1990 an dieser Stelle kurz wiederholt.

2.3.1 Allgemeines

Der Dichtungsfunktion der Anschlüsse der Abdichtungen an Ränder und Einbauten kommt für die Funktionstüchtigkeit eine massgebende Bedeutung zu. Es sind zahlreiche Schäden an Brücken wegen des Eindringens von Tausalzlösungen bei den Anschlüssen bekannt.

2.3.2 Randverklebungen

Verschiedene Abdichtungen - insbesondere auch schwimmende - werden vielfach mit geklebten Polymer-Bitumen-Dichtungsbahn PBD an Ränder und Einbauten angeschlossen. Dies gilt speziell für Abdichtungen aus Gussasphalt. Die Ausführung erfolgt dabei analog den Anschlüssen von Abdichtungen mit Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen PBD.

2.3.3 Anschlussfuge zwischen Gussasphalt-Deckschicht und Rand

Fuge mit Heissvergussmasse

Bei Gussasphalt-Deckschichten ist allgemein längs des Randes eine Fuge mit einer Fugenvergussmasse (Heissverguss) gemäss der (damaligen) VSS-Norm SN 640 470 [5] anzuordnen. Diese bietet einen mindestens beschränkten Schutz gegen das Eindringen von Wasser oder Tausalzlösungen. Die Haftflächen sind vor dem Vergiessen sorgfältig zu reinigen und mit einem Haftvermittler vorzustreichen.

Zum Schutz der Fuge gegen mechanische Einwirkungen und Verschmutzungen ist über dieser ein Kittkeil anzuordnen. Dieser muss periodisch kontrolliert und instandgesetzt werden.

Fuge mit polymermodifizierten Fugenbändern

Mit der Anordnung von Polymer-Bitumen-Dichtungsbändern zwischen dem GA-Belag und der Randkonstruktion werden folgende Zielsetzungen erreicht:

- Schutz der Randkonstruktion vor thermischen Einwirkungen beim Einbau des GA-Belages
- Verhindern des Abreissens einer hochgezogenen PBD von der Randkonstruktion bei einer Kontraktion des GA-Belages.

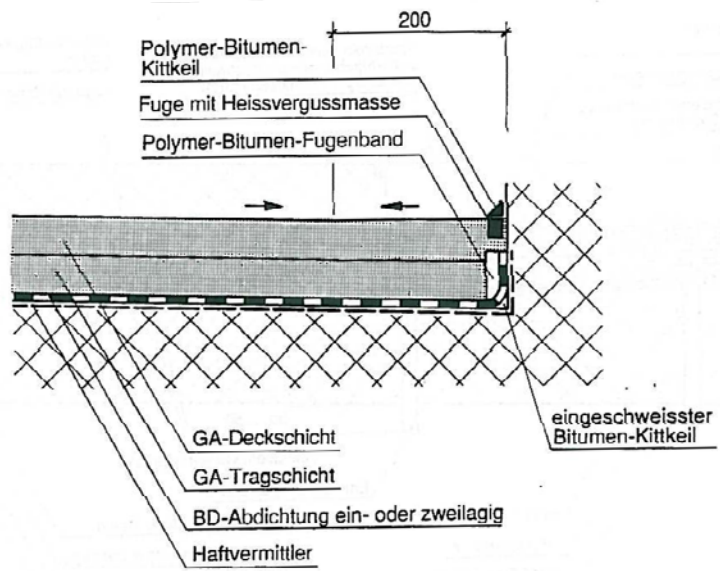


Abb. 2.1 Beispiel eines Randanschlusses bei Abdichtungen aus PBD (Abb. 9 aus [1])

2.3.4 Anschlüsse und Einbauten

Für die Randverklebung müssen die Einbauten (Fahrbahnübergänge, Einlaufschächte usw.) einen ebenen Rand von 100 mm aufweisen

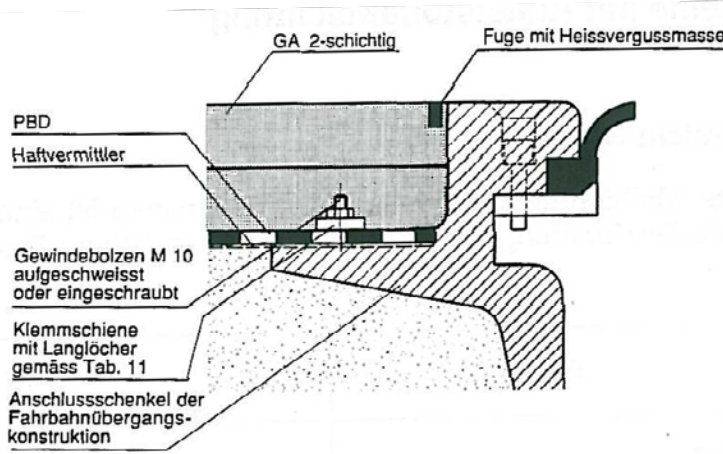


Abb. 2.2 Beispiel eines Anschlusses an eine Einbaute bei Abdichtungen mit PBD (Abb. 17 aus [1])

2.3.5 Übersicht

Neben konventionellen Anschlüssen an Rändern und Einbauten mit einer Randverklebung und Hochziehen der PBD werden nachfolgend neuere Konstruktionen gezeigt. Eine Zusammenstellung mit Beurteilung von Anschlussystemen findet sich in der nachstehenden Tabelle.

Abb. 2.3 Übersicht Anschlüsse von Abdichtungen mit PBD an Rändern und Einbauten

Anschlussystem	Beurteilung		Einsatzbereich	Bemerkungen
	Ausführung	Dichtungsfunktion		
Anschlussfuge mit Heissverguss (Abb. 2.1)	einfach	gewährleistet bei sorgfältigem Unterhalt	an allen Rändern	grosser Aufwand für Überwachung und Unterhalt
mit Klemmschiene (Abb. 2.4)	tauglich	tauglich	an allen Rändern	
mit Klemmschiene hinter Schutzbord (Abb. 2.5)	tauglich	tauglich	an Konsolköpfen und Gehwegen	
mit PVC-Fugendichtungssystem (Abb. 2.6)	tauglich	tauglich	an Konsolköpfen und Gehwegen	Ausführung nur bei Temperaturen über 5 °C

2.3.6 Neuere Konstruktionen

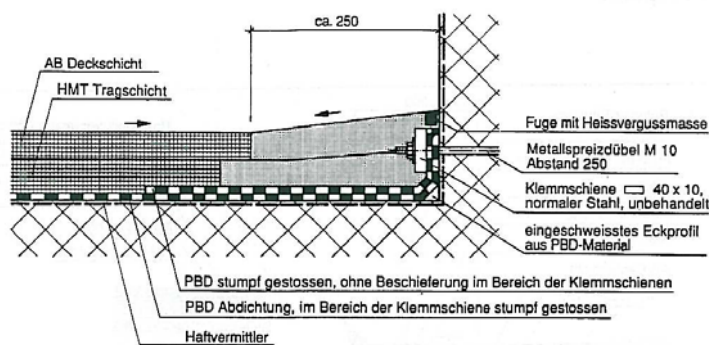


Abb. 2.4 Anschluss mit Klemmschiene (Abb. 15 aus [1])

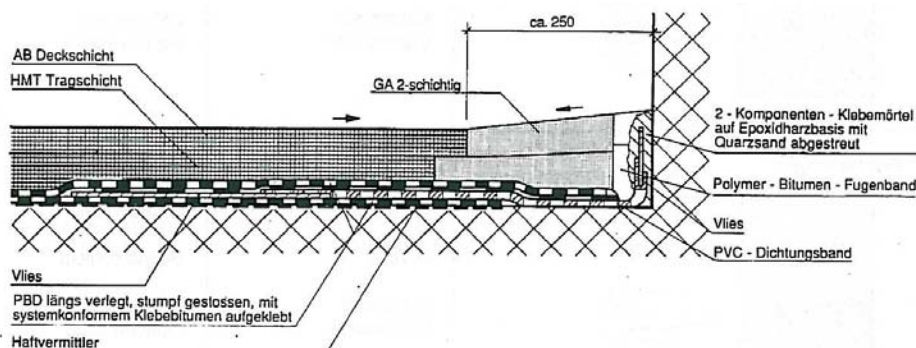


Abb. 2.5 Anschluss mit PVC-Fugendichtungssystem (Abb. 18 aus [1])

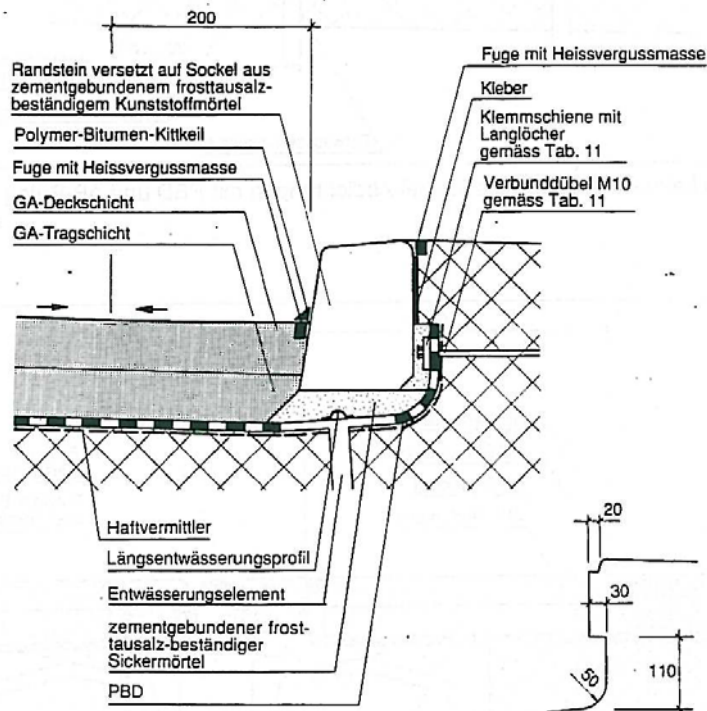


Abb. 2.6 Anschluss mit Klemmschiene hinter Schutzbord (Abb. 16 aus [1])

2.4 ASTRA-Richtlinien 2005

Im März 2005 gab das Bundesamt für Strassen ASTRA das revidierte Kapitel 5 Abdichtungen und Beläge der "Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken" [2] heraus. Weil die Untersuchungen für die vorliegende Arbeit teilweise ebenfalls auf Grundlagen des revidierten Kapitels 5 vorgenommen worden sind, werden die wichtigsten Forderungen der ASTRA-Richtlinien 2005 nachfolgend zusammengefasst.

2.4.1 Anforderungen an Anschlüsse

Die Anschlüsse zwischen der Abdichtung, dem Belag und den Rändern oder den Einbauten haben zur Verhinderung von Unterläufigkeit folgende allgemeine Anforderungen zu erfüllen:

- Die Anschlüsse müssen dicht sein, damit kein Wasser eindringen und unter die Abdichtung gelangen kann.
- Die Anschlüsse müssen dauerhaft sein. Sie dürfen sich nicht vom Belag, vom Rand, von der Abdichtung und von den Einbauten ablösen.

2.4.2 Anschlüsse an Einbauten aus Stahl oder Guss

Bei den Einbauten handelt es sich im Wesentlichen um Fahrbahnübergänge und Einlaufschächte. Für die Anschlüsse gelten folgende Anforderungen:

- Alle Einbauten müssen Flansche oder Ränder mit einer Breite von 100 mm aufweisen.
- Die Flansche oder Ränder aus Stahl oder Guss sind blank ohne Anstrich zu verlegen, vor dem Einbau der Abdichtung zu reinigen und insbesondere zu entfetten. Je nach Abdichtungs- und Belagsmaterial und Oberfläche ist im Hinblick auf die Haftung und die Materialverträglichkeit allenfalls ein Haftvermittler aufzutragen.
- Der Aufbau des Systems Abdichtung und Belag ist ausser in Spezialfällen bis zum Anschluss unverändert beizubehalten.

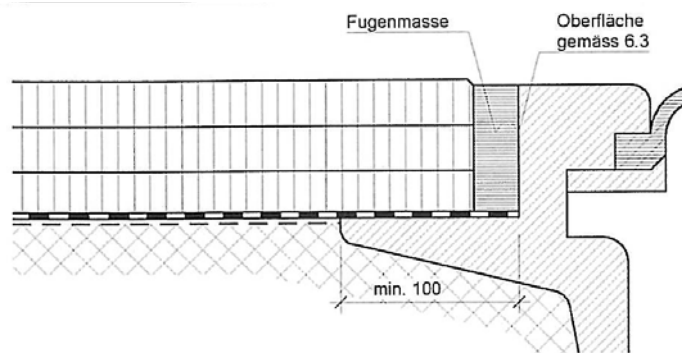


Abb. 2.7 Anschluss mit Fugenmasse an Fahrbahnübergang aus Stahl (Bild 13 aus [2])

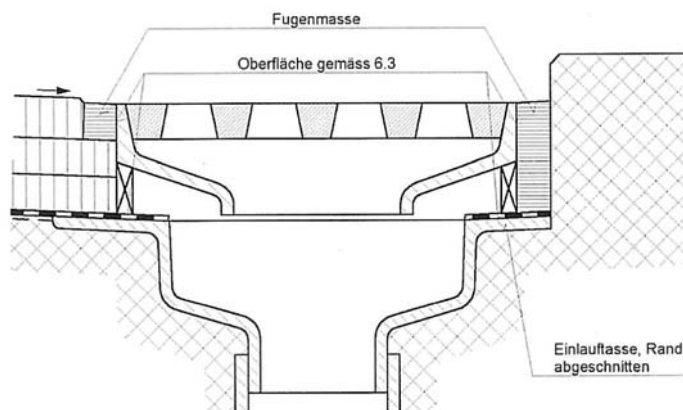


Abb. 2.8 Anschluss mit Fugenmasse an Einlaufschacht (Bild 14 aus [2])

2.4.3 Anschluss an Konsolkopf oder Leitmauer mit Fugenmasse

Grundsätzlich werden zwei Fugentypen, schmale und breite Fugen, ausgeführt. Die Eigenschaften sind nachfolgend beschrieben:

- **Fugenspaltbreite**
Die schmalen Fugen (Abb. 2.9) sind maximal 30 mm breit. Die breiten Fugen (Abb. 2.10) sind an der Oberfläche über 50 mm breit und können nach unten abgestuft sein.
- **Material**
Die Fugen werden aus heissverarbeitbarer Fugenmasse, bei breiten Fugen mit Stützkorn, hergestellt.
- **Trenneinlagen**
Um eine hinsichtlich der Spannungen in der Fugenverfüllung ungünstige Drei-Flanken-Haftung zu verhindern, können in Fugen Unterfüllstoffe, Trennstreifen oder Moosgummi-profile eingebaut werden. Diese können jedoch in Längsrichtung wasserführende Trennschichten bewirken. Allfällige Trenneinlagen sind Bestandteil des vom Unternehmer offerierten Fugensystems.
- **Haftvermittler**
Die Applikation von Haftvermittlern oder Versiegelungen (Haftvermittler mit dichtender Wirkung) an die vertikale Betonfläche erfolgt nach Vorschlag des Unternehmers.

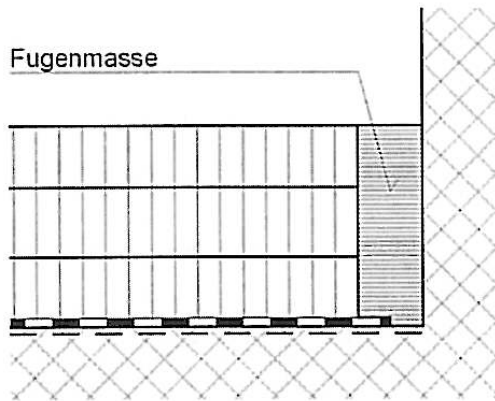


Abb. 2.9 Anschluss mit Fugenmasse an Konsolkopf oder Leitmauer mit schmaler Fuge
(Bild 11 aus [2])

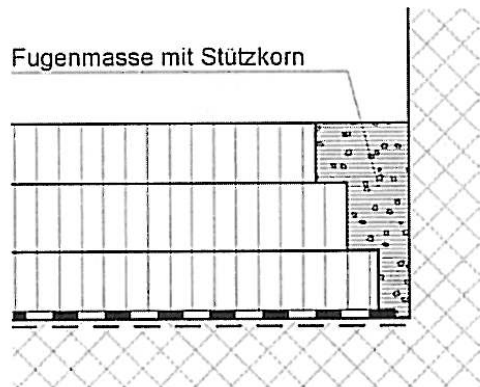


Abb. 2.10 Anschluss mit Fugenmasse an Konsolkopf oder Leitmauer mit breiter Fuge
(Bild 12 aus [2])

2.4.4 Anschlüsse mit PVC-Fugenband und Geotextil

Die Verbindung zwischen dem Randelement und der PBD erfolgt mit einem vorkonfektionierten PVC-Fugenband. Dieses wird mit einem Zweikomponenten-Mörtel auf Epoxidharzbasis am Randelement angebracht. Fahrbahnseitig wird das PVC-Fugenband mit einem zwischen zwei PBD-Bahnen eingeklebten Geotextil mit der Abdichtung verbunden.

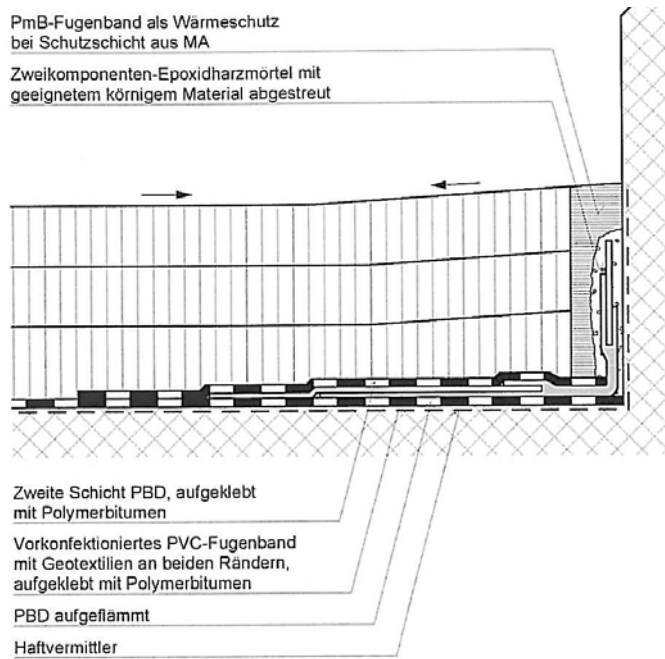


Abb. 2.11 Anschluss mit PVC-Fugenband an Konsolkopf oder Leitmauer (Bild 17 aus [2])

2.4.5 Anschlüsse mit Hypalon-Dichtungsband

Die Verbindung zwischen dem Randelement und der PBD-Abdichtung erfolgt mit einem am Randelement und an der Brückenplatte verklebten Dichtungsband aus Hypalon.

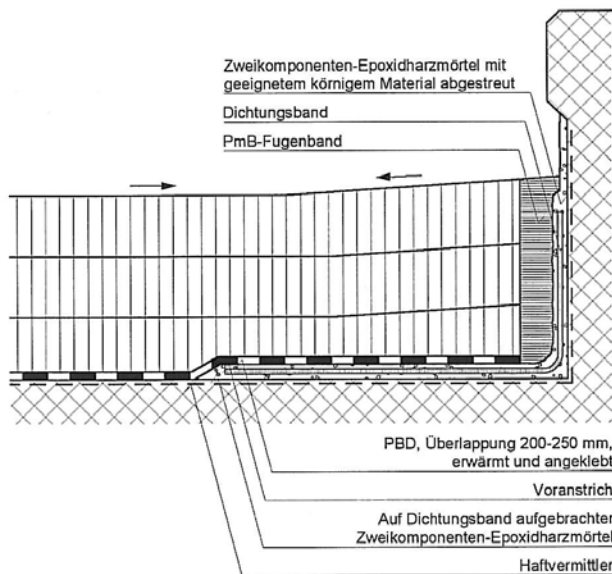


Abb. 2.12 Anschluss mit Hypalon-Dichtungsband an Konsolkopf oder Leitmauer (Bild 18 aus [2])

2.4.6 Anschlüsse mit PCV-Band hinter dem Randabschluss

Dieser Anschlussstyp kann auf Brücken mit häufigen Einwirkungen von Tausalzlösungen eingesetzt werden.

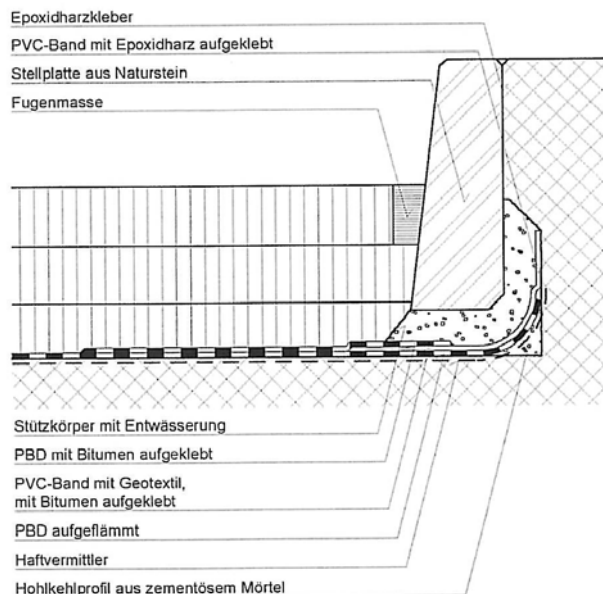


Abb. 2.13 Anschluss mit PVC-Band hinter dem Randabschluss
(Bild 19 aus [2])

2.4.7 Anschlüsse mit Flüssigkunststoff

Die Anschlüsse mit Flüssigkunststoff sind konstruktiv einfach. Sie bestehen aus einem auf die Brückenplatte und die Anschlussfläche aufgetragenen Flüssigkunststoff. Dieser muss gegenüber Polymerbitumen beständig sein.

Die Ausführung mit FLK bedingt den Einsatz von spezialisierten Arbeitsgruppen. Im Weiteren sind weitergehende Kontrollen des Betonuntergrundes, der Grundierung und eine laufende Überwachung der Klimaverhältnisse während der Ausführung notwendig.

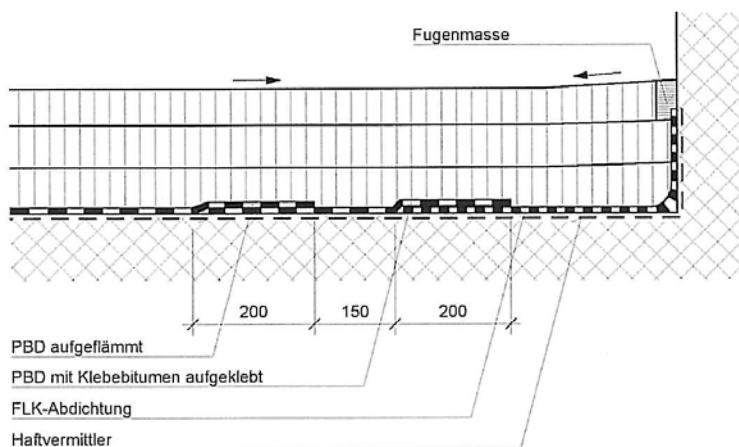


Abb. 2.14 Anschluss mit FLK-Abdichtung an Konsolkopf oder Leitmauer
(Bild 20 aus [2])

2.5 ASTRA-Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K)

Mit der Umstellung der Organisation des ASTRA auf die Bedürfnisse des Neuen Finanzausgleiches NFA wurde die Abteilung Strasseninfrastruktur mit der Umsetzung der technischen Nationalstrassen-Standards betraut.

Es gilt, innerhalb geltender technischer Weisungen, Richtlinien und Normen die Ausführungsmöglichkeiten auf wenige Standardlösungen und -prinzipien zu reduzieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass unter Gewährleistungen der Sicherheit das beste Kosten-Leistungsverhältnis über den gesamten Lebenszyklus der Anlagen aufzuweisen ist, der Strassenraum für Betrieb und Unterhalt möglichst wenig beansprucht wird und Einheitlichkeit von der Projektierung über die Beschaffung bis zu Betrieb und Unterhalt geschaffen wird. In den sogenannten Fachhandbüchern (FHB) sollen diese Beschränkungen auf technische Standardlösungen festgelegt werden.

2.5.1 Standardanschluss an Leitmauer/Konsolkopf

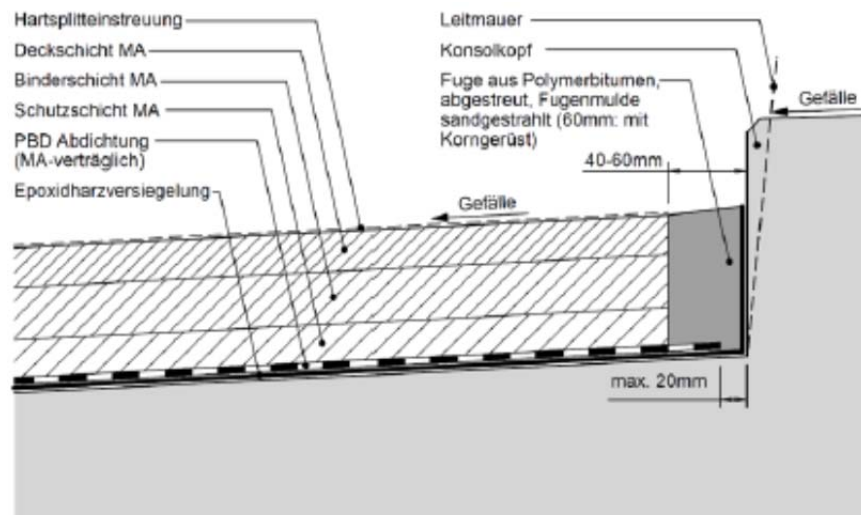


Abb. 2.15 Anschluss an Leitmauer/Konsolkopf (Bild 22 001-12610 aus [10])

2.5.2 Standarddetail Einlaufschacht

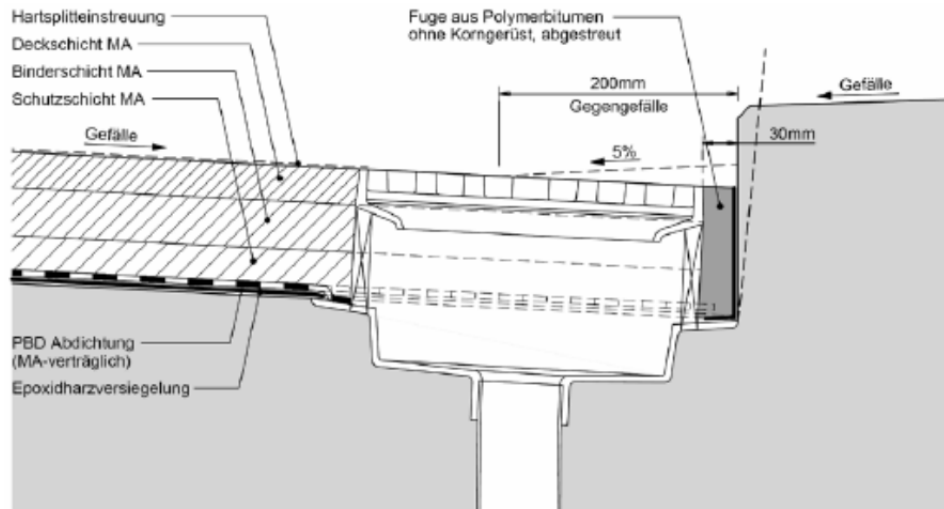


Abb. 2.16 Detail Einlaufschacht (Bild 22 001-12611 aus [10])

2.5.3 Standarddetail Randstein

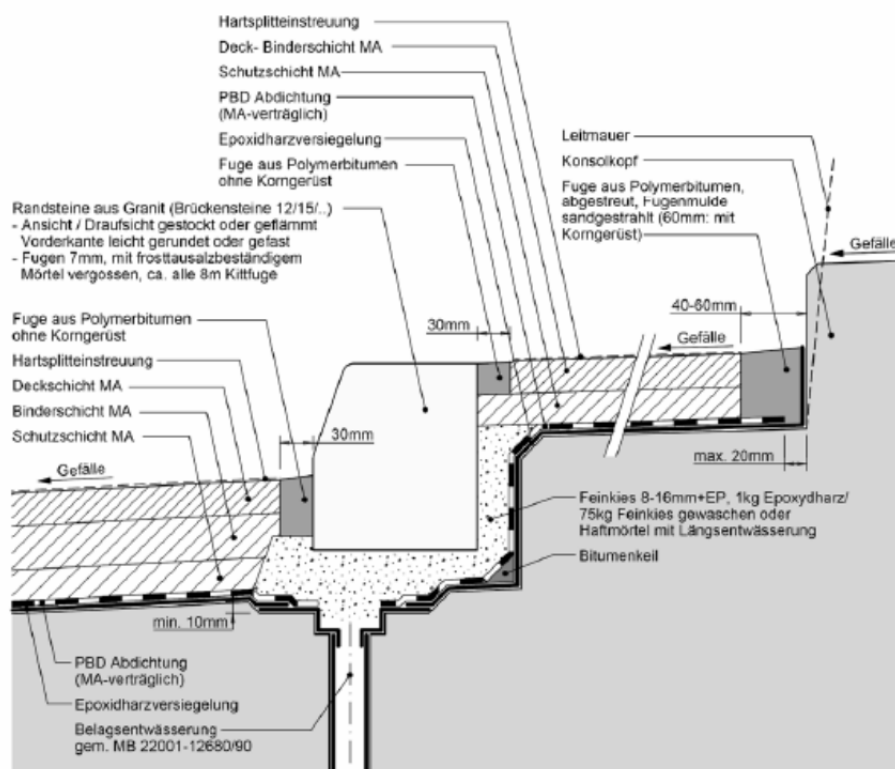


Abb. 2.17 Detail Randstein (Bild 22 001-12612 aus [10])

3 Methodik

In Absprache mit der vorbereitenden Expertenkommission wurde das folgende Vorgehen gewählt, welches auch Bestandteil des Kreditbegehrens ist.

3.1 Kriterium für die Dichtheit der Abdichtungsanschlüsse

Als Kriterium für die Funktionstüchtigkeit der Anschlüsse von Brückenabdichtungen wurde die Chloridversalzung des durch die Abdichtung geschützten Betons gewählt. Es wurden in jedem untersuchten Querschnitt drei Bohrkerne entnommen:

- Eine horizontale Kernbohrung **oberhalb** des Abdichtungsanschlusses.
Diese Stellen sind den physikalischen (Temperatur, Feuchtigkeit), chemischen (Salz) und biologischen Einwirkungen während der Nutzungsdauer ungeschützt ausgesetzt.
- Eine horizontale Kernbohrung **unterhalb** des Abdichtungsanschlusses.
Bei einem dichten Anschluss ist die Chloridversalzung an dieser Stelle theoretisch nicht nachweisbar.
- Eine vertikale Kernbohrung in die Fahrbahnplatte.
Bei dieser Materialprüfung geht es darum, eine allfällige Unterläufigkeit der Abdichtung mit Schadstoffen in die Fahrbahnplatte nachzuweisen.

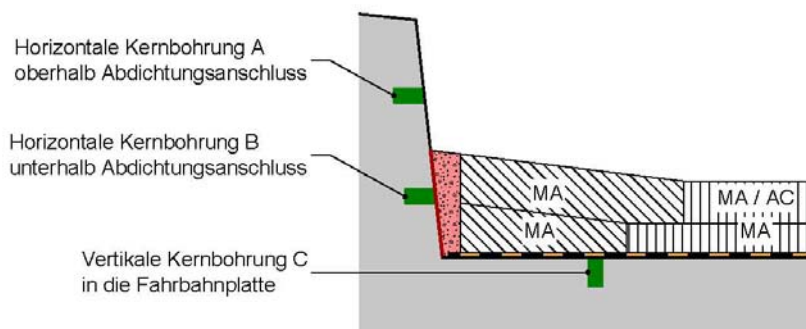


Abb. 3.18 Prinzip der Bohrkernentnahmen zur Ermittlung der Chloridversalzung

Bei der Beurteilung des kritischen Chloridgehalts als **Mass für die Dichtheit des Abdichtungsanschlusses** orientiert sich die Forschungsstelle an der Norm SIA 269/2 "Erhaltung von Tragwerken - Betonbau" (Ausgabe 2011) [6]. Das Korrosionsrisiko wird aufgrund des Gesamtchloridgehalts auf Bewehrungsniveau beurteilt: Schadenpotential am Tragwerk besteht erst, wenn die Chloridversalzung ein bestimmtes Mass an der Bewehrung erreicht. Für normalen Betonstahl und eine Betonfeuchtigkeit im Bereich der Bewehrung, die maximal etwa 80 % relativer Luftfeuchtigkeit entspricht, gilt unter der Annahme einer Rohdichte von 2'400 kg/m³ und einem Bindemittelgehalt von 300 kg/m³:

Abb. 3.19 Chloridgehalt und Korrosionsrisiko

Chloridgehalt Massen-% Zementgehalt	Chloridgehalt Massen-% Beton	Korrosionsrisiko
< 0.4	< 0.050	kaum Korrosionsrisiko vorhanden
0.4 bis 1.0	0.050 bis 0.125	Korrosion möglich
> 1.5	> 0.187	hohes Korrosionsrisiko

Ist die Betonfeuchtigkeit höher, der pH-Wert des Betons infolge Karbonatisierung abgesenkt oder sind weitere Schadstoffe wie z.B. Sulfate usw. vorhanden, ist der kritische Chloridgehalt auf Bewehrungsniveau tiefer anzusetzen. Weil bei Konsolköpfen und Betonleitmauern davon auszugehen ist, dass eine oder mehrere der oben aufgeführten erschwerenden Umwelteinflüsse auftreten, sind die in der Abbildung 3.19 erwähnten Grenzwerte eher als hoch zu betrachten.

Der Chloridgehalt wurde nach der Norm SN EN 14629 [7] nach der Methode "Aufschluss mit Salpetersäure kalt" ermittelt. Die untere Nachweisgrenze der Methode liegt bei 0.004 Masse-% Chlorid, bezogen auf den Beton. Bei der Beurteilung der Chloridgehalte ging man allgemein von einem Bindemittelgehalt von 300 kg/m³ und einer Rohdichte des Betons von 2'400 kg/m³ aus.

3.2 Untersuchungen während Instandsetzungen von Brücken des Nationalstrassennetzes

Das Bundesamt für Strassen stellte der Forschungsstelle eine Liste von Brückenobjekten zur Verfügung, welche während der Bearbeitungszeit dieses Einzelprojekts EP 6 instand gestellt wurden. Daraus wurden mehrere Bauwerke ausgewählt, an denen die Funktionsfähigkeit von verschiedenen, während mehreren Jahren dem Strassenverkehr und der Witterung ausgesetzten Anschlussdetails **zerstörend** untersucht werden konnte. Die Forschungsstelle achtete nach Möglichkeit darauf, dass die Abdichtungsanschlüsse immer noch aktuell sind und in der Praxis weiterhin angewendet werden. Wegen des beschränkten Angebots an für zerstörende Untersuchungen geeigneten Brückenobjekten wurden aber auch Anschlussdetails kontrolliert, die heute nicht mehr gebaut werden. In der Gesamtbeurteilung ist die Berücksichtigung auch dieser Abdichtungsanschlüsse wichtig, damit eine möglichst umfassende Aussage abgegeben werden kann.

Die Untersuchungen wurden an folgenden Brücken vorgenommen:

Abb. 3.20 Übersicht Brücken mit Untersuchungen während Instandsetzungen

Brückenbezeichnung	Fahrriichtung	Einbau Anschluss
N2 Lopperviadukt, Hergiswil	Luzern-Gotthard	1987
Suhrebrücke Nord B-161, Aarau		1979
N1/409 Überführung SBB, Mägenwil	Bern - Zürich Zürich - Bern	1968
N1/312 Aabachtalviadukt, Lenzburg	Zürich - Bern	1966
N4 Unterführung Filderen/Hubel, Cham	Luzern - Zug	1971
N4 Unterführung 368 Bösch, Hünenberg	Luzern - Zug	1987
N4 Lorzenthalbrücke, Cham	Luzern - Zug	1994
N4 Unterführung Sinslerstrasse 25, Cham	Luzern - Zug	1997
Lehnenviadukt Intschi, Gurtnellen	beide Richtungen	1999
Brücke Rothausstrasse über N2, Muttenz	Schweizerhalle	1992
N2 Überführung Eichli, Stans	beide Richtungen	1992
N4 Brücke über Reuss Objekt 426, Flüelen	Flüelen - Luzern	1999

3.3 Versuchsfelder Lopperviadukt Hergiswil

Eine Arbeitsgruppe unter der Leitung des damaligen Kantonsingenieurbüros Nidwalden erarbeitete im Auftrag des Bundesamtes für Strassenbau ASB in den Jahren 1985 bis 1992 einen Untersuchungsbericht zu den Anschlüssen von Brückenabdichtungen aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen PBD [8]. Die Arbeitsgruppe nahm eine Bestandesaufnahme der damals in der Schweiz gebräuchlichen Abdichtungsanschlüsse vor und baute einige repräsentative Beispiele in Versuchsfeldern auf dem Lopperviadukt der N2 in Hergiswil ein. Dabei wurden Anschlüsse aus den ASB-Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken [1], bereits in der Praxis angewendete Ausführungen sowie damals neuere Entwicklungen in die Untersuchungen miteinbezogen. Insgesamt wurden neun verschiedene Abdichtungsanschlüsse hergestellt.

Neben verschiedenen praxisorientierten Labor- und Feldversuchen wurde grossen Wert auf die Beurteilung der Eignung für den Einbau unter Baustellenbedingungen (der Baustellentauglichkeit) gelegt. Die Untersuchungen waren von Anfang an auf eine langjährige Beobachtungszeit ausgerichtet. Die Dichtheit der Anschlüsse wurde nach deren Herstellung in regelmässigen Zeitabständen mit Hilfe von eingebauten Plexiglasrohren visuell überwacht. Nach vier Jahren wurde die Haftung der PBD-Abdichtungen auf der Fahrbahnplatte und die Dichtheit der Anschlüsse an Hand von Kernbohrungen kontrolliert. Die Prüfung der Haftung der Abdichtung und die Dichtheit der Anschlüsse geschah vor Ort, die Bohrkerne wurden anschliessend im Labor geschnitten und der Zustand von Abdichtung und Belag visuell beurteilt. Es wurde schon 1993 festgestellt, dass ein Abdichtungsanschluss, der allen Ansprüchen genügt und damit generell zu empfehlen ist, nicht gefunden werden konnte. Der geeignete Anschluss müsse bei jedem Brückenbauwerk auf Grund der jeweiligen Randbedingungen aus möglichen Lösungen ausgewählt werden.

3.4 Umfrage über gebräuchliche Anschlüsse

Als weiteren Bestandteil des Projekts führte die Forschungsstelle eine Umfrage bei den fünf ASTRA-Filialen durch, welche Abdichtungsanschlüsse in ihrem Verantwortungsbereich bevorzugt angewendet werden.

4 Ergebnisse

4.1 Anschlüsse von Abdichtungen aus PBD

4.1.1 Stahlwinkel mit aufgeschraubter Klemmschiene

Objekt: N2 Lopperviadukt, Hergiswil
Fahrrichtung: Luzern - Gotthard
Einbaujahr: 1987
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 24 Jahre

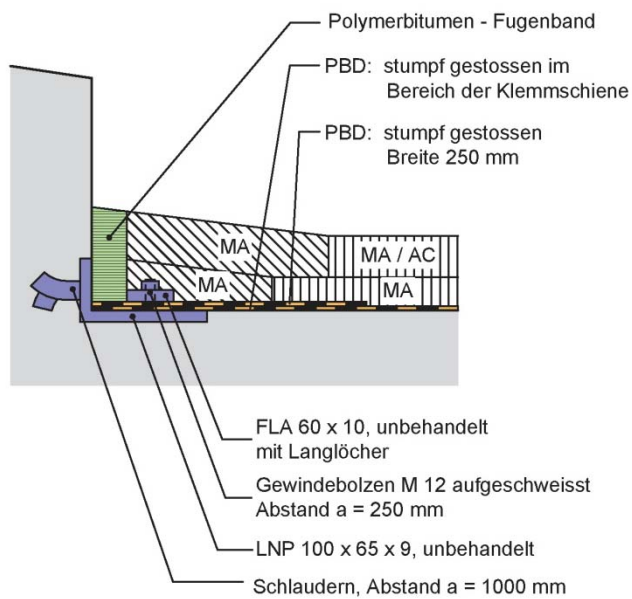


Abb. 4.21 Anschluss Stahlwinkel mit aufgeschraubter Klemmschiene



Abb. 4.22 An die Bewehrung befestigter Stahlwinkel LNP vor dem Reprofilieren der Brüstung und der Fahrbahnplatte

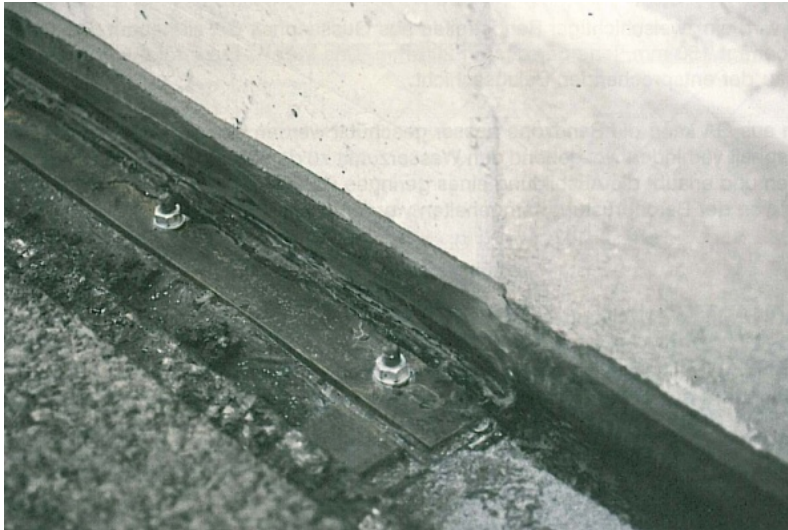


Abb. 4.23 Fertig applizierte Abdichtung und montierter Flachstahl FLA

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.24 Stahlwinkel mit aufgeschraubter Klemmschiene (1987)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal 2 Bohrkern (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.088 bis 0.102
	im Mittel (2)	0.095
horizontal 2 Bohrkern (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.050 bis 0.082
	im Mittel (2)	0.066
horizontal 2 Bohrkern (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.035 bis 0.053
	im Mittel (2)	0.044
horizontal 1 Bohrkern (in Brüstung, ungeschützt)	A 30 bis 40 mm	0.034
vertikal 5 Bohrkern (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.004 bis 0.006
	im Mittel (5)	0.004
vertikal 5 Bohrkern (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.003 bis 0.005
	im Mittel (5)	0.004

Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird nur im ungeschützten Bereich der Betonleitmauer in Tiefen bis 20 mm überschritten. Im durch die Abdichtung geschützten Bereich kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss ist nach 24 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.2 Flachstahl mit aufgeschraubter Klemmschiene

Objekt: N2 Lopperviadukt, Hergiswil
Fahrriichtung: Luzern - Gotthard
Einbaujahr: 1987
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 24 Jahre

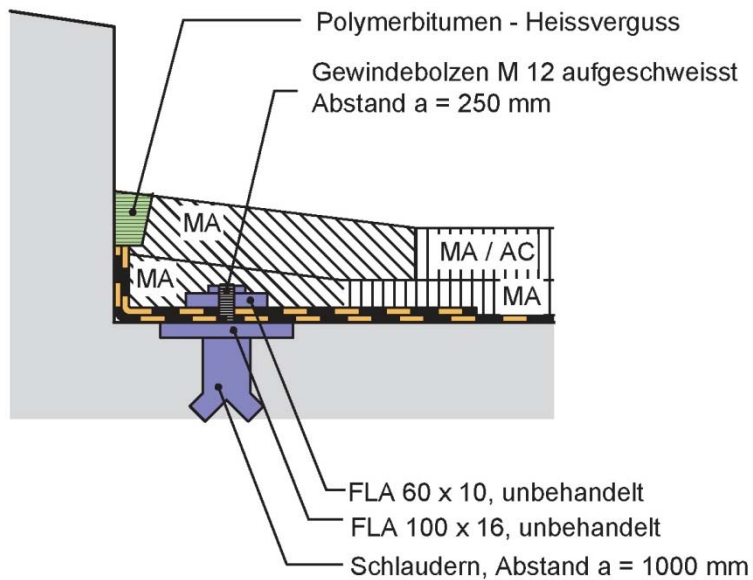


Abb. 4.25 Anschluss Flachstahl mit aufgeschraubter Klemmschiene



Abb. 4.26 Fertig applizierte Abdichtung und montierter Flachstahl

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.27 Flachstahl mit aufgeschraubter Klemmschiene (1987)

Entnahmestelle		Tiefe	Chloridgehalt
vertikal 5 Bohrkerne (in Fahrbahnplatte)	C	00 bis 10 mm	0.004 bis 0.007
		im Mittel (5)	0.005
vertikal 5 Bohrkerne (in Fahrbahnplatte)	C	10 bis 20 mm	0.004 bis 0.005
		im Mittel (5)	0.004

Kommentar:

Im durch die Abdichtung geschützten Bereich kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss ist nach 24 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.3 Stahlwinkel mit aufgeschraubter Klemmschiene, Beton beschichtet

Objekt: N2 Lopperviadukt, Hergiswil
Fahrriichtung: Luzern - Gotthard
Einbaujahr: 1987
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 24 Jahre

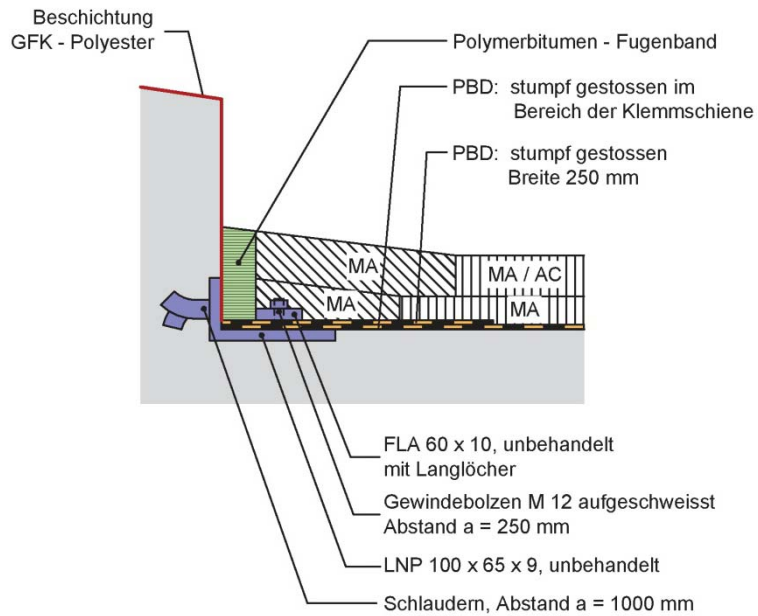


Abb. 4.28 Anschluss Stahlwinkel mit aufgeschraubter Klemmschiene, Beton beschichtet



Abb. 4.29 GFK-beschichtete Brüstung, Stahlwinkel einbetoniert und PBD-Streifen verlegt, Fahrbahnplatte bereit für Applikation der PBD-Abdichtung

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.30 Stahlwinkel mit aufgeschraubter Klemmschiene, Beton beschichtet (1987)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
vertikal 5 Bohrkerne (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.005 bis 0.007
	im Mittel (5)	0.006
vertikal 5 Bohrkerne (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.004 bis 0.006
	im Mittel (5)	0.005

Kommentar:

Im durch die Abdichtung geschützten Bereich kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss ist nach 24 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.4 Geklemmter Anschluss auf Beton

Objekt: N2 Lopperviadukt, Hergiswil
Fahrriichtung: Luzern - Gotthard
Einbaujahr: 1987
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 24 Jahre

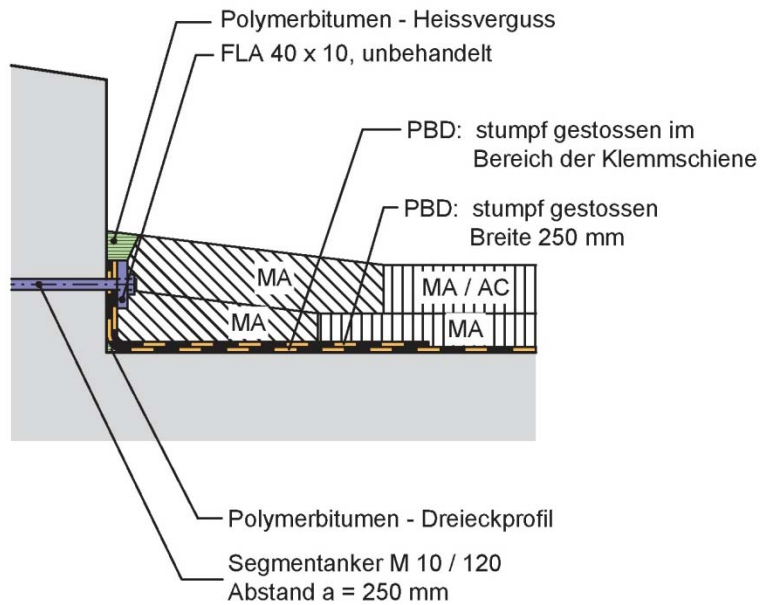


Abb. 4.31 Geklemmter Anschluss auf Beton



Abb. 4.32 Fertig versetzte Klemmschiene an Betonbrüstung geschraubt

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.33 Geklemmter Anschluss auf Beton (1987)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal 2 Bohrkerne (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.063 bis 0.228
	im Mittel (2)	0.146
horizontal 2 Bohrkerne (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.052 bis 0.060
	im Mittel (2)	0.056
horizontal 2 Bohrkerne (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.019 bis 0.035
	im Mittel (2)	0.027
vertikal 5 Bohrkerne (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.004 bis 0.010
	im Mittel (5)	0.006
vertikal 5 Bohrkerne (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.004 bis 0.010
	im Mittel (5)	0.006

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird nur im ungeschützten Bereich der Betonleitmauer in Tiefen bis 20 mm überschritten. Im durch die Abdichtung geschützten Bereich kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss ist nach 24 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.5 Geklebter Anschluss mit Hypalon-Kunststoff

Objekt: N2 Lopperviadukt, Hergiswil
Fahrrichtung: Luzern - Gotthard
Einbaujahr: 1987
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 24 Jahre

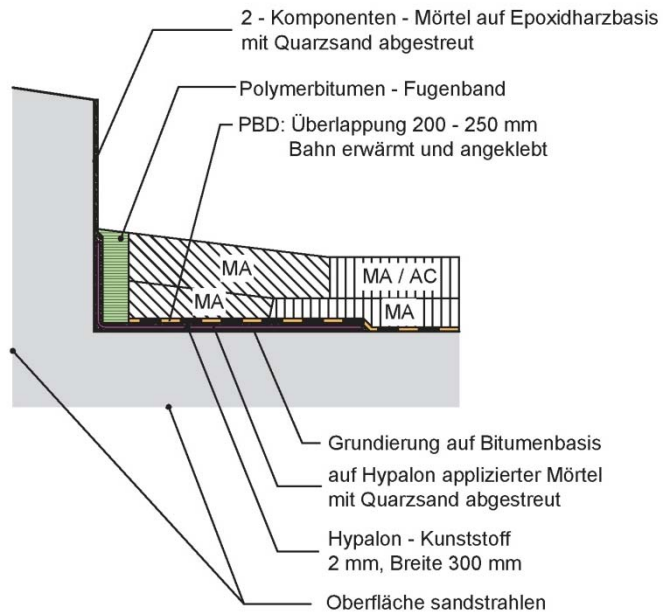


Abb. 4.34 Anschluss Geklebter Anschluss mit Hypalon-Kunststoff



Abb. 4.35 1. Schicht Hypalon-Kunststoffdichtungsbahn verlegt, mit Quarzsand abgestreuter Mörtel



Abb. 4.36 Applikation Grundierung auf Bitumenbasis zur Haftvermittlung mit PBD-Abdichtung

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.37 Geklebter Anschluss mit Hypalon-Kunststoff (1987)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
vertikal 5 Bohrkern (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.006 bis 0.010
	im Mittel (5)	0.008
vertikal 5 Bohrkern (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.004 bis 0.005
	im Mittel (5)	0.005

Kommentar:

Im durch die Abdichtung geschützten Bereich kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss ist nach 24 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.6 Geklebter Anschluss mit PCV-Fugenband

Objekt: N2 Lopperviadukt, Hergiswil
 Fahrriichtung: Luzern - Gotthard
 Einbaujahr: 1987
 Prüfdatum: 2011
 Nutzungsdauer: 24 Jahre

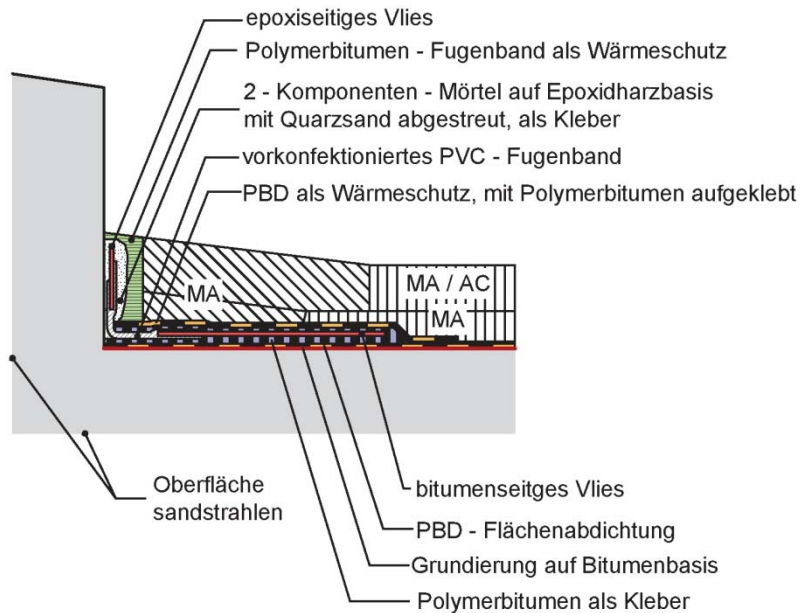


Abb. 4.38 Geklebter Anschluss mit PCV-Fugenband



Abb. 4.39 Befestigung epoxidseitiges Vlies mit 2-Komponenten-Mörtel



Abb. 4.40 PBD-Wärmeschutz auf dem PVC-Fugenband, mit Schieferplättchen abgestreut

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.41 Geklebter Anschluss mit PVC-Fugenband (1987)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal 2 Bohrkerne (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.076 bis 0.095
	im Mittel (2)	0.086
horizontal 2 Bohrkerne (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.028 bis 0.045
	im Mittel (2)	0.037
vertikal 5 Bohrkerne (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.004 bis 0.005
	im Mittel (5)	0.005
vertikal 5 Bohrkerne (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.004 bis 0.005
	im Mittel (5)	0.005

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird nur im ungeschützten Bereich der Betonleitmauer in Tiefen bis 10 mm überschritten. Im durch die Abdichtung geschützten Bereich kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss ist nach 24 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.7 Geklebter Anschluss mit GFK-Polyester

Objekt: N2 Lopperviadukt, Hergiswil
 Fahrriichtung: Luzern - Gotthard
 Einbaujahr: 1987
 Prüfdatum: 2011
 Nutzungsdauer: 24 Jahre

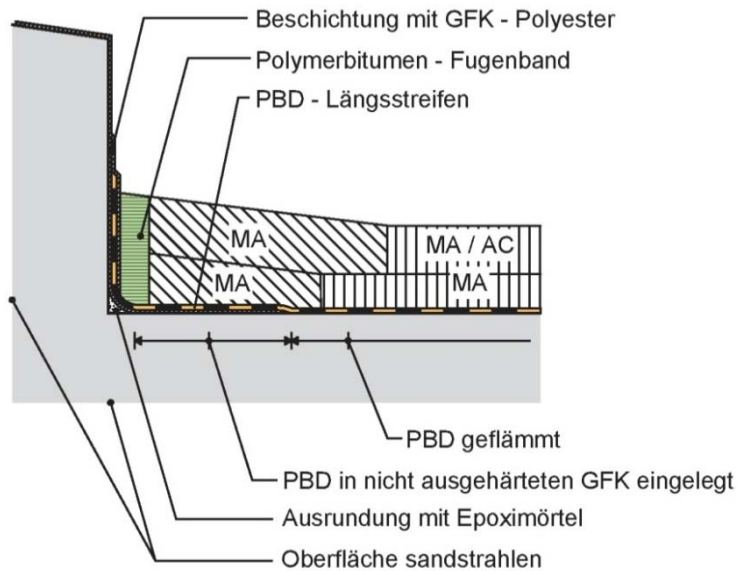


Abb. 4.42 Anschluss mit GFK-Polyester



Abb. 4.43 1. Schicht GFK-Polyester auf
 Fahrbahnplatte und Brüstung
 aufgetragen, PBD-Längsstrei-
 fen in nicht ausgehärteten
 GFK verlegt



Abb. 4.44 2. Schicht GFK-Polyester über
 PBD-Aufbordung gezogen

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.45 Geklebter Anschluss mit GFK-Polyester (1987)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
vertikal 5 Bohrkern (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.005
	im Mittel (5)	0.005
vertikal 5 Bohrkern (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.005 bis 0.006
	im Mittel (5)	0.005

Kommentar:

Im durch die Abdichtung geschützten Bereich kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss ist nach 24 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.8 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss

Objekt: N4 Unterführung 368 Bösch, Hünenberg
Fahrrichtung: Luzern - Zug
Einbaujahr: 1987
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 24 Jahre

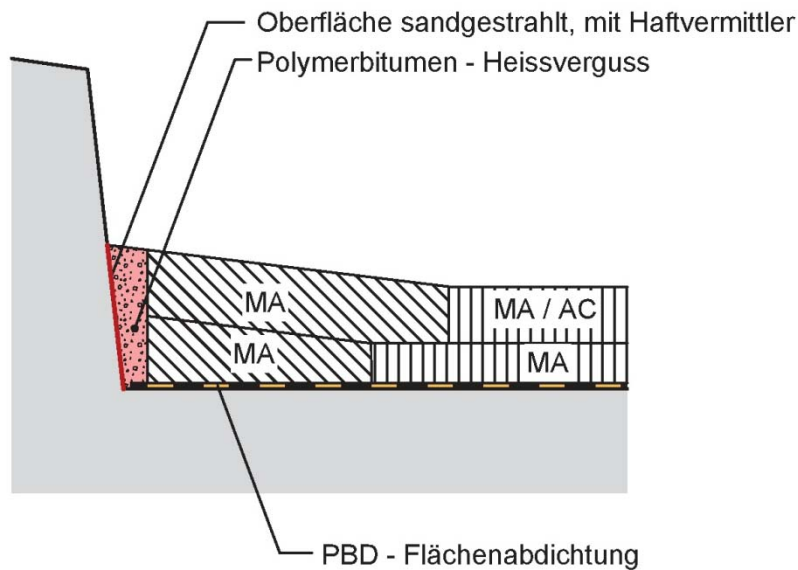


Abb. 4.46 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss



Abb. 4.47 Belagsabbruch und Entfernen der vollflächig verklebten PBD-Abdichtung, stumpf angeschlossen mit Polymerbitumen-Verguss

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.48 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss (1987)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.091 bis 0.165
	im Mittel (3)	0.127
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.013 bis 0.027
	im Mittel (3)	0.021
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.006 bis 0.010
	im Mittel (3)	0.008
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.010 bis 0.033
	im Mittel (3)	0.019
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.005 bis 0.014
	im Mittel (3)	0.009
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.008 bis 0.027
	im Mittel (3)	0.016
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.009 bis 0.060
	im Mittel (3)	0.037

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird nur im ungeschützten Bereich der Betonleitmauer in Tiefen bis 10 mm überschritten. Im durch die Abdichtung geschützten Bereich besteht ein leicht erhöhter Chloridgehalt, der aber unterhalb eines Korrosionsrisikos liegt. Der Abdichtungsanschluss ist nach 24 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.9 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss

Objekt: N4 Lorzentalbrücke, Cham
Fahrrichtung: Luzern - Zug
Einbaujahr: 1994
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 17 Jahre

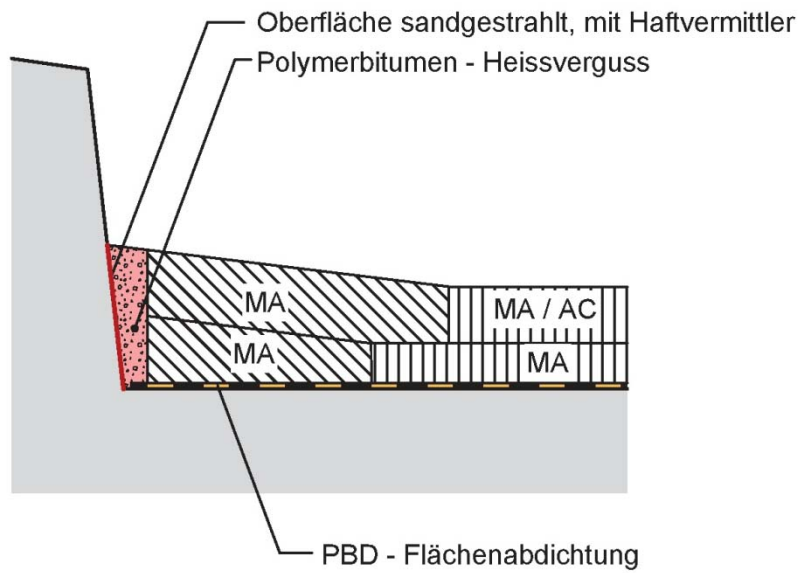


Abb. 4.49 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss



Abb. 4.50 Trennen des Konsolkopfs für die Verbreiterung der Lorzentalbrücke

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.51 *Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss (1987)*

Entnahmestelle		Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A	00 bis 10 mm	0.096 bis 0.187
		im Mittel (3)	0.134
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A	10 bis 20 mm	0.049 bis 0.105
		im Mittel (3)	0.084
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A	20 bis 30 mm	0.025 bis 0.042
		im Mittel (3)	0.032
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B	00 bis 10 mm	0.020 bis 0.037
		im Mittel (3)	0.028
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B	10 bis 20 mm	0.011 bis 0.027
		im Mittel (3)	0.021
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C	00 bis 10 mm	0.006 bis 0.009
		im Mittel (3)	0.008
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C	10 bis 20 mm	0.006 bis 0.008
		im Mittel (3)	0.007

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird nur im ungeschützten Bereich des Konsolkopfs in Tiefen bis 20 mm überschritten. Im durch die Abdichtung geschützten Bereich besteht ein leicht erhöhter Chloridgehalt, der aber unterhalb eines Korrosionsrisikos liegt. Der Abdichtungsanschluss ist nach 17 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.10 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss

Objekt: N4 Unterführung Sinslerstrasse 25, Cham
Fahrrichtung: Luzern - Zug
Einbaujahr: 1997
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 14 Jahre

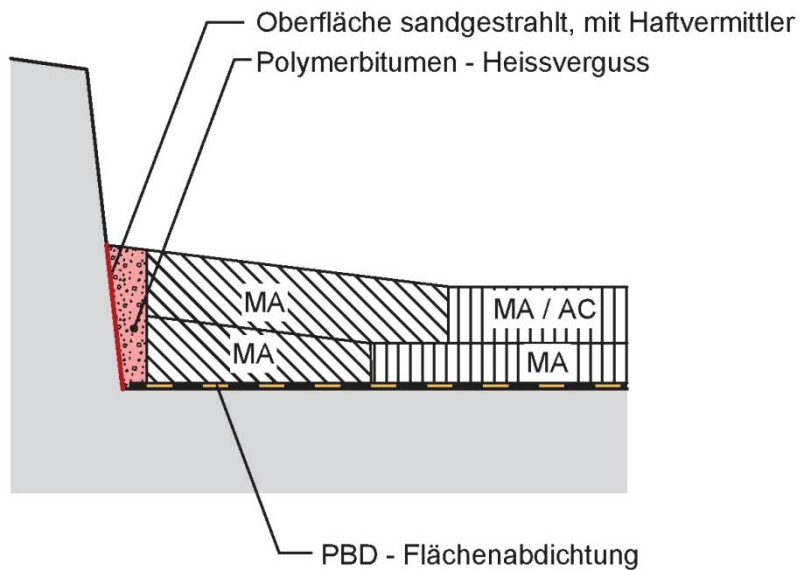


Abb. 4.52 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss



Abb. 4.53 abgetrennter Konsolkopf

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.54 Geklebter Anschluss mit PmB-Heissverguss (1997)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.009 bis 0.014
	im Mittel (3)	0.011
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.004 bis 0.006
	im Mittel (3)	0.005
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.004 bis 0.006
	im Mittel (3)	0.005
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.009 bis 0.018
	im Mittel (3)	0.014
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.005 bis 0.009
	im Mittel (3)	0.007
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.006
	im Mittel (3)	0.006
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.005 bis 0.007
	im Mittel (3)	0.006

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird sowohl oberhalb des Abdichtungsanschlusses (Konsolkopf) wie auch im durch die Abdichtung geschützten Bereich nicht erreicht. Der Abdichtungsanschluss war nach 14 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.11 Geklebter Anschluss mit 2-Komponenten Polyurethan (PUR)

Objekt: N2 Überführung Eichli, Stans
 Fahrriichtung: beide Richtungen (Gemeindestrasse)
 Einbaujahr: 1992
 Prüfdatum: 2013
 Nutzungsdauer: 21 Jahre

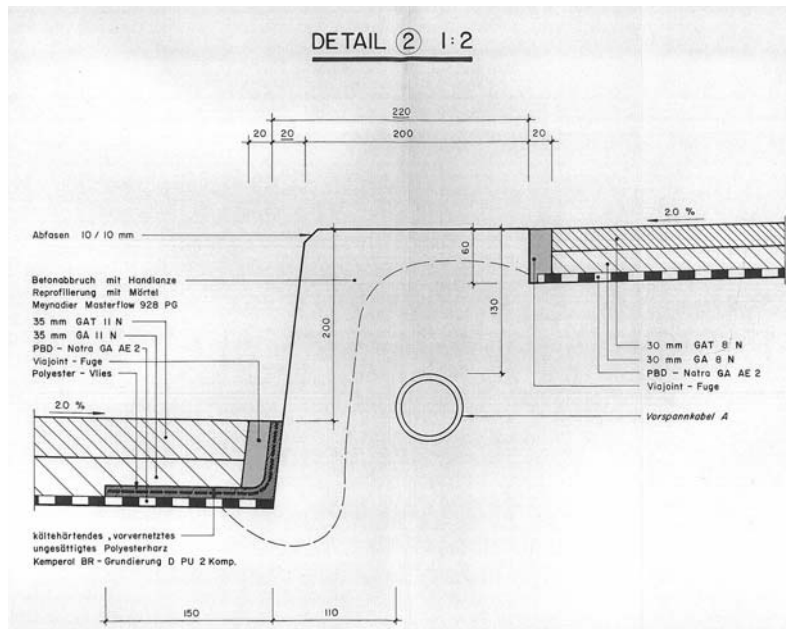


Abb. 4.55 Anschluss mit 2-Komponenten PUR (System Kemperol BR)

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.56 Anschluss mit 2-Komponenten PUR (1992)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK4 (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.015 bis 0.064
	im Mittel (4)	0.033
horizontal BK4 (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.015 bis 0.030
	im Mittel (4)	0.021
vertikal BK4 (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.004 bis 0.016
	im Mittel (4)	0.008
vertikal BK4 (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.003 bis 0.015
	im Mittel (4)	0.008

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird sowohl oberhalb des Abdichtungsanschlusses (Konsolkopf) wie auch im durch die Abdichtung geschützten Bereich nicht erreicht. Der Abdichtungsanschluss ist nach 21 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.1.12 Geklebter Anschluss mit 2-Komponenten Polyurethan (PUR)

Objekt: Brücke Rothausstrasse über N2, MuttENZ
FahrriChtung: MuttENZ - Schweizerhalle (Gemeindestrasse)
Einbaujahr: 1992
Prüfdatum: 2013
Nutzungsdauer: 21 Jahre

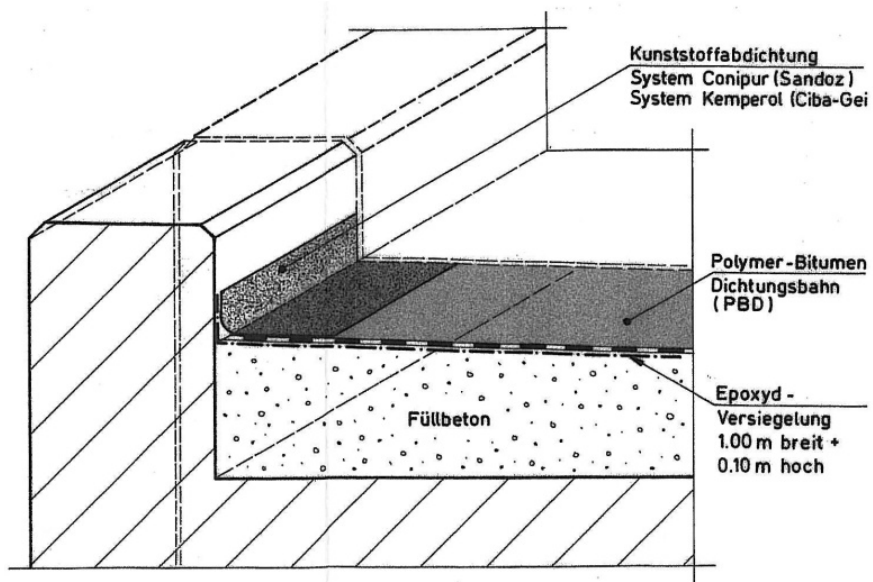


Abb. 4.57 Anschluss mit 2-Komponenten PUR (System Kemperol/Conipur)

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.58 Anschluss mit 2-Komponenten PUR (1992)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK3 (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.046 bis 0.162
	im Mittel (3)	0.092
horizontal BK3 (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.026 bis 0.100
	im Mittel (3)	0.061
horizontal BK3 (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.043 bis 0.049
	im Mittel (3)	0.046
horizontal BK3 (im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.011 bis 0.017
	im Mittel (3)	0.014
horizontal BK3 (im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.018 bis 0.025
	im Mittel (3)	0.022
horizontal BK3 (im Belagsbereich)	B 20 bis 30 mm	0.016 bis 0.029
	im Mittel (3)	0.021
horizontal BK3 (im Belagsbereich)	B 30 bis 40 mm	0.025 bis 0.038
	im Mittel (3)	0.032
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.007 bis 0.011
	im Mittel (3)	0.009
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.006
	im Mittel (3)	0.006

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird nur im ungeschützten Bereich des Konsolkopfs in Tiefen bis 20 mm überschritten. Im durch die Abdichtung geschützten Bereich kann nur ein leicht erhöhter Chloridgehalt festgestellt werden, dieser liegt aber unterhalb des Korrosionsrisikos, vor allem in der Fahrbahnplatte.

4.2 Anschlüsse von Abdichtungen aus Flüssigkunststoff (FLK)

4.2.1 Anschluss mit 2-Komponenten Polyurethan (PUR)

Objekt: Lehnenviadukt Intschi, Gurnellen
Fahrrichtung: beide Richtungen (Kantonsstrasse)
Einbaujahr: 1999
Prüfdatum: 2013
Nutzungsdauer: 14 Jahre

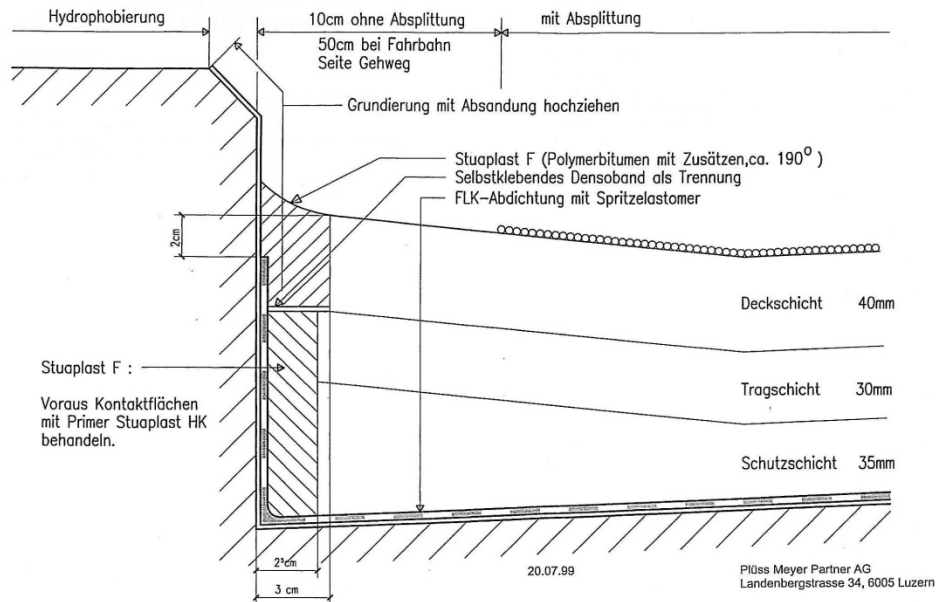


Abb. 4.59 Anschluss mit 2-Komponenten PUR (System Conipur 255)

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.60 Anschluss mit 2-Komponenten PUR (1999)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK4 (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.019 bis 0.172
	im Mittel (3)	0.072
horizontal BK4 (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.010 bis 0.130
	im Mittel (4)	0.069
horizontal BK4 (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.062 bis 0.063
	im Mittel (2)	0.063
horizontal BK4 (in Brüstung, ungeschützt)	A 30 bis 40 mm	0.026 bis 0.033
	im Mittel (2)	0.030
horizontal BK4 (im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.004 bis 0.007
	im Mittel (3)	0.005
horizontal BK4 (im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.004 bis 0.006
	im Mittel (4)	0.005
horizontal BK1 (im Belagsbereich)	B 20 bis 30 mm	0.005
vertikal BK4 (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.007 bis 0.042
	im Mittel (4)	0.016
vertikal BK4 (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.005 bis 0.026
	im Mittel (4)	0.010

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird nur im ungeschützten Bereich des Konsolkopfs in Tiefen bis 30 mm überschritten. Im durch die Abdichtung geschützten Bereich unterhalb des Anschlusses kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Bei der Fahrbahnplatte muss berücksichtigt werden, dass dieser Bauteil von der Instandsetzung 1999 nicht tangiert war: Es wurde nur ein Teilersatz des Konsolkopfs (inkl. Erneuerung Abdichtung und Belag) ausgeführt. Dies dürfte der Grund sein, dass die Fahrbahnplatte eine leicht erhöhte Chloridversalzung aufweist.

4.2.2 Anschluss mit 2-Komponenten Polyurethan (PUR)

Objekt: N4 Brücke über Reuss Objekt 426, Flüelen
 Fahrrichtung: Flüelen - Luzern
 Einbaujahr: 1999
 Prüfdatum: 2013
 Nutzungsdauer: 14 Jahre

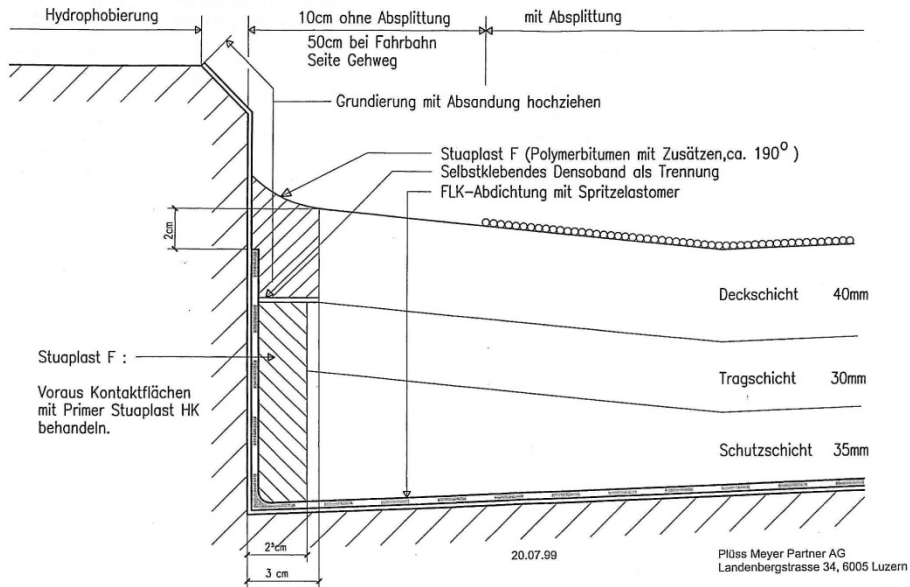


Abb. 4.61 Anschluss mit 2-Komponenten PUR (System Conipur 255)

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.62 Anschluss mit 2-Komponenten PUR (1999)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal (in Brüstung, ungeschützt hydrophiert)	A 00 bis 10 mm	0.002 bis 0.020
	im Mittel (3)	0.009
horizontal (in Brüstung, ungeschützt hydrophiert)	A 10 bis 20 mm	0.004 bis 0.006
	im Mittel (3)	0.005
horizontal (in Brüstung, ungeschützt hydrophiert)	A 20 bis 30 mm	0.005
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.005 bis 0.007
	im Mittel (3)	0.006
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.004 bis 0.005
	im Mittel (3)	0.005

Kommentar:

Bei diesem Anschluss kann sowohl im ungeschützten wie auch im durch die Abdichtung geschützten Bereich praktisch keine Chloridversalzung nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss ist nach 14 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.3 Anschlüsse von Abdichtungen ohne Verbund

4.3.1 Anschluss mit PBD-Randverklebung

Objekt: Suhrebrücke Nord B-161, Aarau
Einbaujahr: 1979
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 32 Jahre

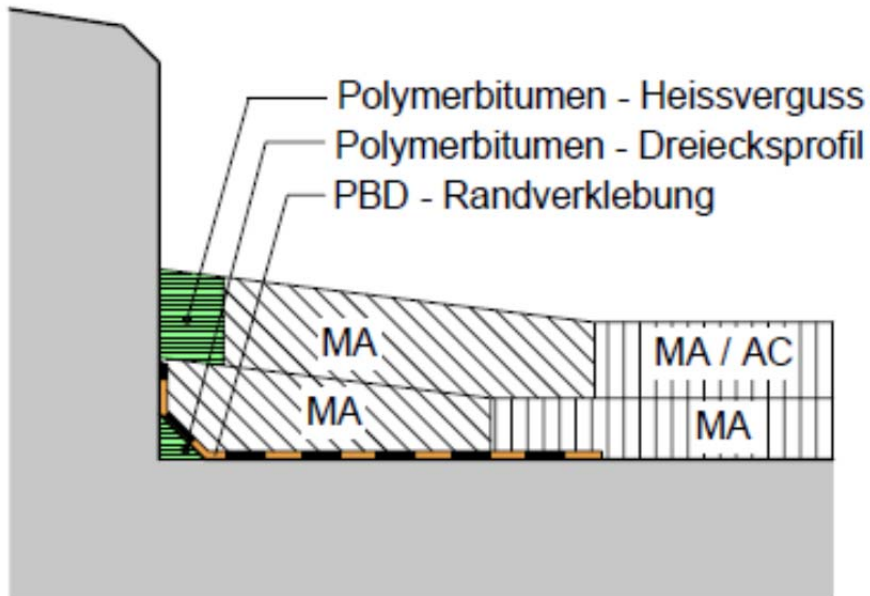


Abb. 4.63 Anschluss mit PBD-Randverklebung



Abb. 4.64 Bohrkern-Entnahmestellen
2011



Abb. 4.65 hochgezogener PBD-Abdichtungstreifen als Randverklebung

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.66 Anschluss mit PBD-Randverklebung (1979)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK3 (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.093 bis 0.177
	im Mittel (3)	0.123
horizontal BK3 (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.070 bis 0.163
	im Mittel (3)	0.127
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.005 bis 0.131
	im Mittel (3)	0.074
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.005 bis 0.132
	im Mittel (3)	0.061
vertikal BK1 (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.004 bis 0.006
	im Mittel (3)	0.005
vertikal BK1 (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.004
	im Mittel (3)	0.004

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird sowohl im ungeschützten als auch im Belagsbereich des Konsolkopfs bis in Tiefen von 20 mm überschritten. In der Fahrbahnplatte ist die Chloridversalzung hingegen praktisch nicht nachweisbar. Der Abdichtungsanschluss war auch nach über 30 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.3.2 Schwimmende Abdichtung aus Asphaltmastix (AM) ohne Randverklebung

Objekt: N1/409 Überführung SBB, Mägenwil
 Fahrrichtungen: Bern - Zürich und Zürich - Bern
 Einbaujahr: 1968
 Prüfdatum: 2011
 Nutzungsdauer: 43 Jahre

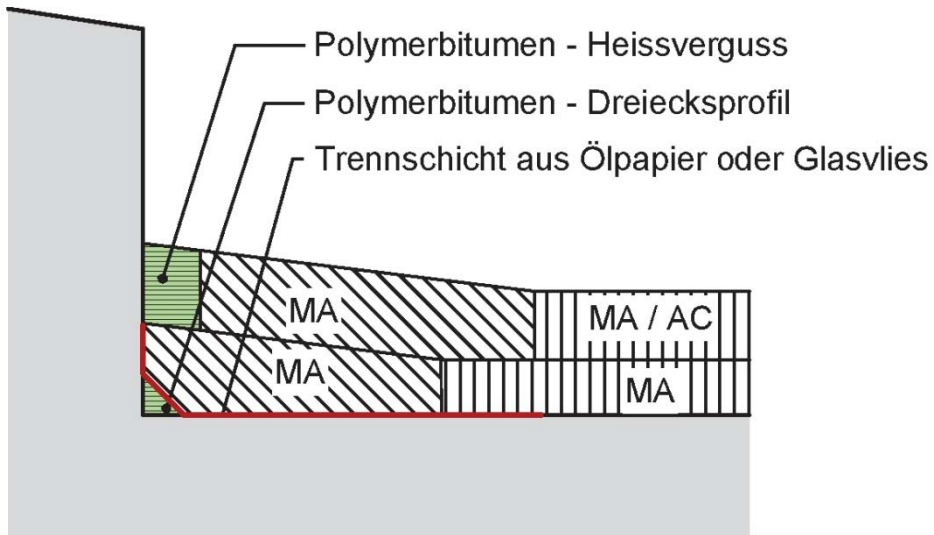


Abb. 4.67 Anschluss Schwimmende Abdichtung aus AM

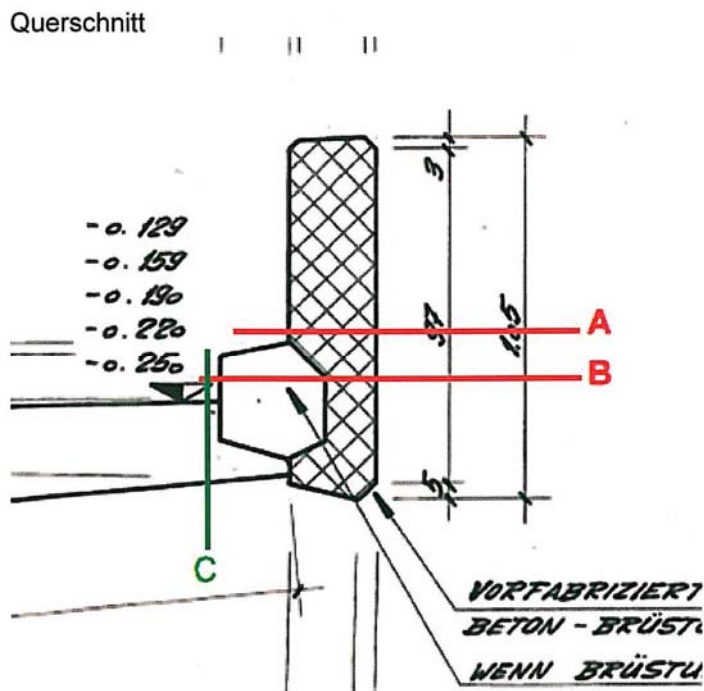


Abb. 4.68 Bohrkern-Entnahmestellen 2011

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.69 Schwimmende Abdichtung aus AM (1968): Fahrriktion Zürich

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BKA (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.070 bis 0.159
	im Mittel (3)	0.128
horizontal BKA (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.040 bis 0.076
	im Mittel (3)	0.063
horizontal BKA (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.022 bis 0.026
	im Mittel (3)	0.024
horizontal BKB (Brüstung im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.015 bis 0.017
	im Mittel (3)	0.016
horizontal BKB (Brüstung im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.013 bis 0.015
	im Mittel (3)	0.014
vertikal BKC (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.016 bis 0.035
	im Mittel (3)	0.025
vertikal BKC (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.005 bis 0.010
	im Mittel (3)	0.008

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.70 Schwimmende Abdichtung aus AM (1968): Fahrriktion Bern

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BKA (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.074 bis 0.106
	im Mittel (3)	0.088
horizontal BKA (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.049 bis 0.066
	im Mittel (3)	0.058
horizontal BKA (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.018 bis 0.031
	im Mittel (3)	0.024
horizontal BKB (Brüstung im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.014 bis 0.046
	im Mittel (3)	0.026
horizontal BKB (Brüstung im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.008 bis 0.027
	im Mittel (3)	0.017
vertikal BKC (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.032 bis 0.055
	im Mittel (3)	0.042
vertikal BKC (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.014 bis 0.025
	im Mittel (3)	0.020

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton, Korrosion möglich) wird nur im ungeschützten Bereich der Konsolköpfe in Tiefen bis 20 mm überschritten. Im durch die Abdichtung geschützten Bereich des Polymerbitumen-Heissvergusses kann praktisch kein Chlorideintrag nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss war nach 43 Jahren Nutzungsdauer grösstenteils immer noch dicht.

Die im gleichen Jahr 2011, in welchem die Bohrkern zur Ermittlung der Chloridversalzung in den Anschlussbereichen entnommen wurden, führte man auch Potenzialmessungen an der Fahrbahnplatte Fahrriichtung Zürich (Fläche ca. 1'900 m²) durch. Potenzialmessungen erlauben eine nahezu zerstörungsfreie, grossflächige Prüfung des Korrosionszustandes der Bewehrung von Stahlbetonbauten. Das Potenzial eines korrodierenden Bewehrungsstahls unterscheidet sich von jenem eines nichtkorrodierenden, passiven Bewehrungsstahls um mehrere 100 mV. Dadurch entsteht ein Stromfluss zwischen den Bereichen mit unterschiedlichen Potenzialen. Diese Potenzialdifferenz wird bei der Potenzialmessung genutzt, um eine Aussage über den Korrosionszustand der Bewehrung zu machen und korrodierende Bewehrung zu lokalisieren [9].

Die Potenzialmessungen zeigten folgende Ergebnisse:

- 70 % der gemessenen Potenzialwerte liegen im passiven Bereich (Masse-% Beton < 0.050)
- 29 % der gemessenen Potenzialwerte liegen im Übergangsbereich, wo Korrosion nicht ausgeschlossen werden kann (0.050 < Masse-% Beton < 0.125)
- 1 % ist negativer als das Grenzpotenzial für Korrosion, was auf aktive Korrosion hindeutet (Masse-% Beton > 0.187). Diese Stellen liegen im Bereich der Fahrbahnübergänge und der Einlaufschächte sowie von Flickstellen im Belag.

4.3.3 Schwimmende Abdichtung aus Asphaltmastix (AM) ohne Randverklebung

Objekt: N1/312 Aabachtalviadukt, Lenzburg
Fahrrichtung: Zürich - Bern
Einbaujahr: 1966
Prüfdatum: 2012
Nutzungsdauer: 46 Jahre

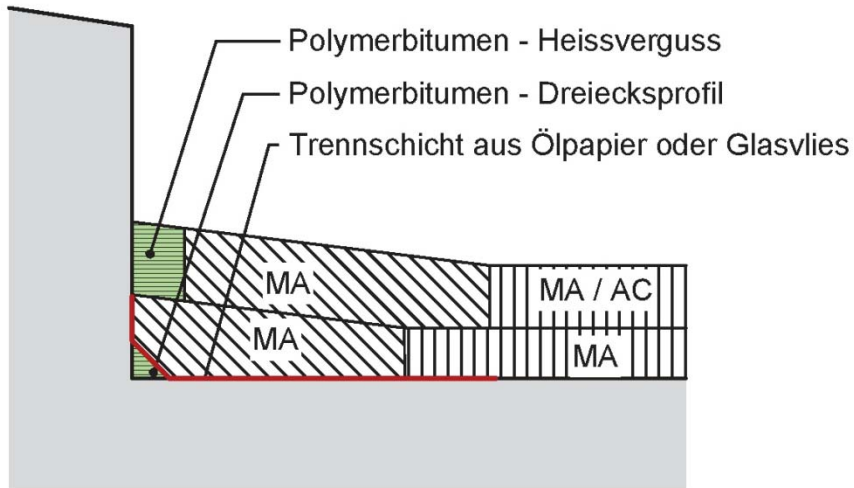


Abb. 4.71 Anschluss Schwimmende Abdichtung aus AM



Abb. 4.72 Bereich Konsolkopf nach Belagsabbruch (Fahrrichtung Zürich)



Abb. 4.73 Trennschnitt (Mitte) und Betonabbruch mit Hochdruckwasserstrahlen zur Wiederverwendung der Querbewehrung (links unten)

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.74 Schwimmende Abdichtung aus AM (1966)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK BEA (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.024 bis 0.284
	im Mittel (3)	0.128
horizontal BK BEA (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.014 bis 0.229
	im Mittel (3)	0.095
horizontal BK BEA (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.013 bis 0.141
	im Mittel (3)	0.059
horizontal BKB (Brüstung im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.148 bis 0.334
	im Mittel (3)	0.264
horizontal BKB (Brüstung im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.085 bis 0.255
	im Mittel (3)	0.195
horizontal BK BEC (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.012 bis 0.020
	im Mittel (3)	0.015
horizontal BK BEC (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.005
	im Mittel (3)	0.005

 Grenzwert der Chloridversalzung überschritten

Kommentar:

Der für mögliche chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (0.05 Masse-% Beton) massgebende obere Grenzwert wurde im ungeschützten Bereich des Konsolkopfs bis in Tiefen von 30 mm erreicht, im Belagsbereich des Konsolkopfs bis in Tiefen von 20 mm. In diesem Abschnitt bestand örtlich sogar ein hohes Korrosionsrisiko (Masse-% Beton > 0.187). In der Fahrbahnplatte hingegen wurden Werte festgestellt, die auf ein kaum vorhandenes Korrosionsrisiko hindeuten.

Während der Instandsetzung des Aabachtalviadukts wurden Potenzialmessungen entlang des Mittelstreifens und an den Fahrbahnplatten Richtung Zürich und Richtung Bern durchgeführt. Die Messungen ergaben folgendes Bild:

Mittelstreifen (Fläche ca. 2'500 m²)

- 51 % der gemessenen Potenzialwerte liegen im passiven Bereich.
- 46 % der gemessenen Potenzialwerte liegen im Übergangsbereich, wo Korrosion nicht ausgeschlossen werden kann.
- 3 % ist negativer als das Grenzpotenzial für Korrosion, was auf aktive Korrosion hindeutet. Diese Stellen liegen im Bereich der Fahrbahnübergänge und der Einlaufschächte sowie an Stellen von wenig überdeckter schlaffer Bewehrung.
- Alle gemessenen Chloridgehalte von 6 Bohrkernen liegen unterhalb des Grenzwertes von 0.4 Masse-% Zement bzw. 0.05 Masse-% Beton für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion.

Fahrrichtung Zürich (Fläche ca. 2'200 m²)

- 17 % der gemessenen Potenzialwerte liegen im passiven Bereich.
- 82 % der gemessenen Potenzialwerte liegen im Übergangsbereich, wo Korrosion nicht ausgeschlossen werden kann (vermutlich auf stark erhöhte Betonfeuchte vor Messungen zurückzuführen).
- 1 % ist negativer als das Grenzpotenzial für Korrosion, was auf aktive Korrosion hindeutet. Diese Stellen liegen im Bereich der Fahrbahnübergänge und der Einlaufschächte.
- Chloridgehalte an Bohrkernen wurden nicht bestimmt, da die Potenzialfeldmessung auf ähnliche Bedingungen wie für den Mittelstreifen hindeuteten, der im Sommer 2010 gemessen wurde: alle < 0.050 Masse-% Beton.

Fahrrichtung Bern (Fläche ca. 2'400 m²)

- 80 % der gemessenen Potenzialwerte liegen im passiven Bereich.
- 19 % der gemessenen Potenzialwerte liegen im Übergangsbereich, wo Korrosion nicht ausgeschlossen werden kann.
- 1 % ist negativer als das Grenzpotenzial für Korrosion, was auf aktive Korrosion hindeutet. Diese Stellen liegen im Bereich der Fahrbahnübergänge.
- Alle gemessenen Chloridgehalte von 5 Bohrkernen liegen unterhalb des Grenzwertes von 0.4 Masse-% Zement bzw. 0.05 Masse-% Beton für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion (Maximalwert: 0.054 Masse-% Beton).

4.3.4 Anschluss mit Bitumen-Dichtungsbahn mit Jute-Trägereinlage

Objekt: N4 Unterführung Filderen/Hubel, Cham
Fahrrichtung: Luzern - Zug
Einbaujahr: 1971
Prüfdatum: 2011
Nutzungsdauer: 40 Jahre

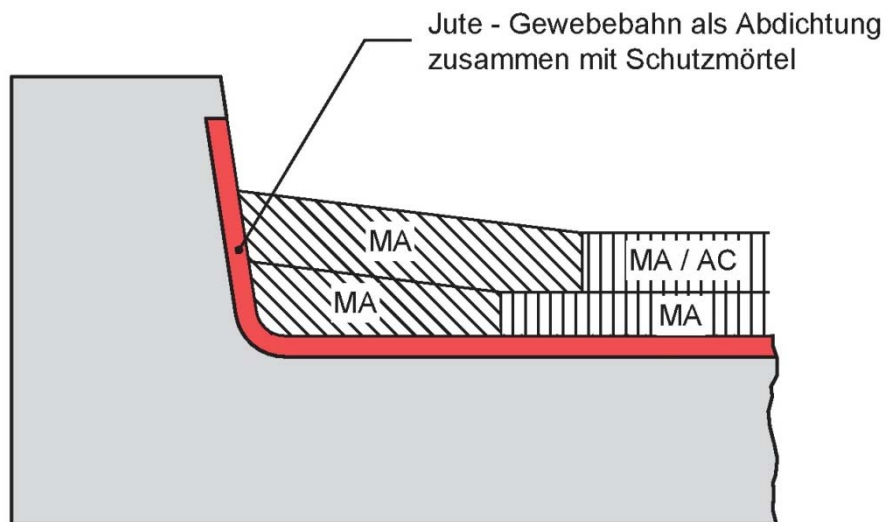


Abb. 4.75 Anschluss mit Bitumen-Dichtungsbahn mit Jute-Trägereinlage

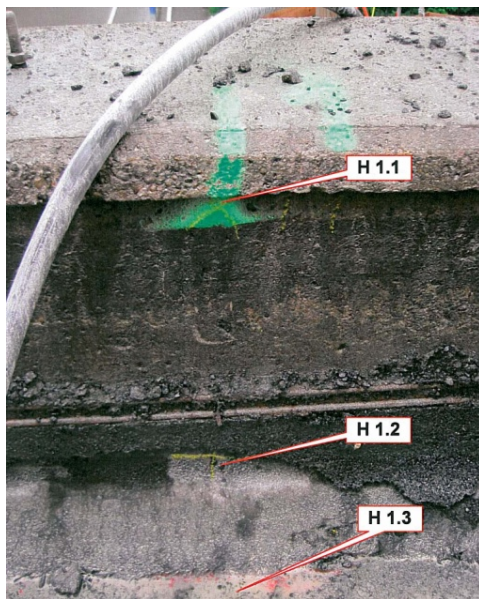


Abb. 4.76 Konsolkopf nach Betonab-
bruch, unten Reste der
Bitumen-Dichtungsbahn
mit Jute-Trägereinlage



Abb. 4.77 Übergang Unterführung/
Trassee: hochgezogene Bitu-
men-Dichtungsbahn mit Jute-
Trägereinlage, vollflächig ver-
klebt, mit Schutzmörtel

Ergebnisse Chloridgehalt

(in Masse-% Beton, Randbedingungen siehe Kapitel 3.1)

Abb. 4.78 Abdichtung mit Bitumen-Dichtungsbahn mit Jute-Trägereinlage (1971)

Entnahmestelle	Tiefe	Chloridgehalt
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 00 bis 10 mm	0.014 bis 0.016
	im Mittel (3)	0.015
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 10 bis 20 mm	0.011 bis 0.015
	im Mittel (3)	0.012
horizontal BK1 (in Brüstung, ungeschützt)	A 20 bis 30 mm	0.010 bis 0.013
	im Mittel (3)	0.012
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B 00 bis 10 mm	0.007 bis 0.009
	im Mittel (3)	0.008
horizontal BK2 (im Belagsbereich)	B 10 bis 20 mm	0.006 bis 0.008
	im Mittel (3)	0.007
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 00 bis 10 mm	0.005 bis 0.006
	im Mittel (3)	0.006
vertikal BK3 (in Fahrbahnplatte)	C 10 bis 20 mm	0.005 bis 0.006
	im Mittel (3)	0.006

Kommentar:

Bei diesem Anschluss kann sowohl im ungeschützten wie auch im durch die Abdichtung geschützten Bereich praktisch keine Chloridversalzung nachgewiesen werden. Der Abdichtungsanschluss war nach 40 Jahren Nutzungsdauer immer noch dicht.

4.4 Zusammenfassung Ergebnisse Chloridgehalt Mittelwerte

Abb. 4.79 Überschreitung gegenüber Grenzwert von 0.050 Masse-% Beton

Entnahmestelle	Tiefe	Anzahl Prüfkörper	Überschreitung	Prozentanteil
horizontal BK A (in Brüstung, ungeschützt)	00 bis 10 mm	43	30	70 %
	10 bis 20 mm	44	26	59 %
	20 bis 30 mm	31	5	16 %
horizontal BK B (im Belagsbereich)	00 bis 10 mm	30	6	20 %
	10 bis 20 mm	30	3	10 %
vertikal BK C (in Fahrbahnplatte)	00 bis 10 mm	73	1	1 %
	10 bis 20 mm	73	0	0 %

Kommentar:

Der Grenzwert für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion von 0.050 Masse-% Beton wird im ungeschützten Bereich A bis in Tiefen von 30 mm bei mehr als der Hälfte der Prüfkörper überschritten, während der Grenzwert im Bereich B auf 10% bis 20% sinkt und ihn in der Fahrbahnplatte C nur bei einer von 146 Proben geringfügig übertrifft.

4.5 Zusatzprojekt zerstörungsfreie Verfahren

Im Rahmen eines Zusatzprojekts wurde versucht, zerstörungsfreie Verfahren zur Bestimmung der Chloridkonzentration im Anschlussbereich der Abdichtungen in den Versuchsfeldern Lopperviadukt Hergiswil mit den Ergebnissen der Bohrkernuntersuchungen nach SN EN 14629 [6] zu korrelieren. Es wurden folgende Verfahren angewendet:

- Ultraschall-Verfahren
Das Verfahren liefert Informationen zur Homogenität von Beton.
- Magnetfeld-Verfahren
Das Verfahren liefert Informationen zur Tiefenlage von Bewehrungen.
- Georadar
Das Verfahren liefert Informationen zur Dielektrizitätskonstanten.
- Kombination Georadar-Laufzeitkorrektur Dieses Verfahren sollte grundsätzlich alle Informationen der drei vorerwähnten Verfahren liefern.

Die Ergebnisse des Zusatzprojekts sind im Anhang aufgeführt.

Die Folgerung aus dem Zusatzprojekt lautet:

- Die Schallmessungen ergaben keinen Zusammenhang mit den Ergebnissen der Chloridkonzentrationen nach SN EN 14629 [6].
- Die Kombination Georadar mit dem Quotienten der Laufzeitkorrektur (Quotient der Reflexionsamplituden an der Betonoberfläche mit den Reflexionsamplituden an der obersten Bewehrungslage) ergab ebenfalls keinen Zusammenhang mit den Resultaten nach SN EN 14629 [6].

5 Beurteilung und Folgerung

Die Auswertung der Chloridversalzung in den Fahrbahnplatten von 18 verschiedenen Anschlussdetails mit einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von über 26 Jahren zeigt eine überaus erfreuliche Erkenntnis:

Bei den insgesamt 73 Bohrkernen war nur eine einzige Probe, welche in der Fahrbahnplatte einen Chloridgehalt von über 0.050 Masse-% Beton aufweist (kaum Korrosionsrisiko vorhanden, Abb. 4.70). Der entsprechende Maximalwert von 0.055 Masse-% Beton lag im Tiefenprofil 0 bis 10 mm. In der Tiefe 10 bis 20 mm betrug der Maximalwert nur noch 0.025 Masse-% Beton.

Dies bedeutet, dass alle untersuchten Randanschlüsse als dicht beurteilt werden können, und die Hinterläufigkeit des Randanschlusses der Abdichtung mit chloridbelastetem Oberflächenwasser kein so grosses Risiko darstellt, wie bisher mangels vertiefter Abklärungen angenommen worden war.

Auf Grund dieser Erkenntnis rückt (neben den Kosten) hauptsächlich die **Baustellentauglichkeit** der Randanschlüsse von Brückenabdichtungen in den Vordergrund.

Das Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K) des Bundesamts für Strassen ASTRA [10] sieht für Brücken des ASTRA nur noch Brückenabdichtungen aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen PBD vor. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingung und auf Grund der Erkenntnisse des vorliegenden Berichts ist es fachgerecht, den Abdichtungsanschluss mit der vorgeschriebenen, einfachen und daher baustellentauglichen Randfuge aus Polymerbitumen (heiss verarbeitbare Fugenmasse) auszuführen. Die Details beim Einlaufschacht und mit Randstein sind sinngemäss herzustellen. Dieses Anschlussdetail kann (bei Belagsaufbauten mit oder ohne Binderschicht) bei Deckschichten aus Gussasphalt MA, Asphaltbeton AC und AC MR8 Typ ASTRA angewendet werden.

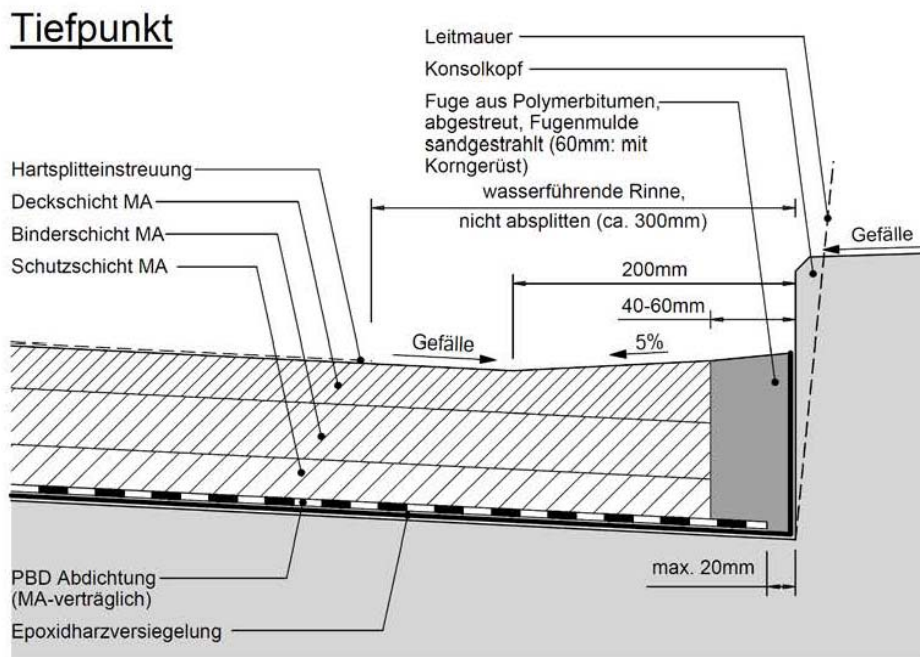


Abb. 5.80 Technisches Merkblatt des ASTRA [10]

Die Randfuge aus Polymerbitumen (heiss verarbeitbare Fugenmasse) muss die Norm SN 670 064a "Fugeneinlagen und Fugenmassen für Verkehrsflächen" [11] erfüllen. Sie gilt als **Fugendichtung** und hat deshalb die Aufgabe und Funktion, den Fugenspalt zu dichten.

Aus den Erkenntnissen des Forschungsberichts kann weiter gefolgert werden, dass der Schutz der Fahrbahnplatten aus Beton auch mit den Abdichtungsanschlüssen aus FLK (z.B. Abb. 4.55 und 4.59) sowie mit der PBD-Randverklebung (Abb. 4.63) bei schwimmenden Gussasphalt-Abdichtungen fachgerecht bewerkstelligt werden kann. Dies bedeutet, dass Randanschlüsse von Flüssigkunststoff-Abdichtungen FLK sowie von schwimmenden Gussasphalt-Abdichtungen MA vergleichbare Gebrauchstauglichkeit und Nutzungsdauer aufweisen wie das oben beschriebene Anschlussdetail gemäss Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K) des Bundesamts für Strassen ASTRA [10].

Auf Grundlage des vorliegenden Forschungsberichts wird die Empfehlung abgegeben, „Anschlüsse von Brückenabdichtungen“ in einem Kapitel der zu revidierenden SN 640 450: "Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken" [4] zu behandeln und auf die Erarbeitung einer eigenen Norm „Anschlüsse von Brückenabdichtungen“ zu verzichten.

Als Vorschlag für die Einarbeitung der Abdichtungsanschlüsse in die SN 640 450: 2009 "Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken" [4] werden die empfohlenen Abdichtungsanschlüsse nachstehend tabellarisch aufgeführt.

Abb. 5.81 Empfehlung Abdichtungsanschlüsse

Abdichtung	Abdichtungsanschluss	Abbildung
PBD-Abdichtung	PBD-Anschluss FHB K	Abb. 5.80
FLK-Abdichtung	FLK-Anschluss	Abb. 4.59
Gussasphalt schwimmend	PBD-Anschluss FHB K (als Randverklebung) oder FLK-Anschluss (als Randverklebung)	Abb. 5.80 sinngemäss Abb. 4.59 sinngemäss

Anhänge

I	Zusatzprojekt "Zerstörungsfreie Verfahren"	70
I.1	EMPA Prüfbericht 209038 "Georadar-Untersuchungen"	70
I.2	Irscat ag, Bericht "Zusatzprojekt VSS 2006/516_OBF"	103

I Zusatzprojekt "Zerstörungsfreie Verfahren"

I.1 EMPA Prüfbericht 209038 "Georadar-Untersuchungen"

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 44 823 55 11
F +41 44 821 62 44
www.empa.ch



Prüfbericht Nr. 209038

Prüfauftrag:	Georadar-Untersuchung
Auftraggeber:	Zusatzkredit VSS 2006/516_OBF
Prüfobjekt:	Versuchstrecke Lopper
Ihr Auftrag vom:	16. September 2011
Ausführung der Messungen:	20. April 2012
Anzahl Seiten:	34
Beilage:	Ergebnisse der IRSCAT AG

Empa
Dübendorf, 4. Oktober 2012

Prüfleiter / Prüfleiterin:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Hugenschmidt".

Dr. Johannes Hugenschmidt

Abteilungsleiter / Abteilungsleiterin:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "i.v. P. Partl".

Prof. Dr. Manfred Partl

Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosse Hinweis darauf sowie auszugswiseses Veröffentlichendes bedürfen der Genehmigung der Empa (vgl. Merkblatt). Bericht und Unterlagen werden 10 Jahre archiviert.

Abb. I.1 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 1.

Inhalt

Zusammenfassung.....	4
1 Vorhandene Berichte und Informationen.....	5
2 Situation vor Ort.....	5
3 Durchführung der Messungen	6
4 Belagsdicke und Eisenüberdeckung.....	7
5 Reflexionsamplituden an Betonoberfläche	12
6 Reflexionsamplituden Betonoberfläche und oberste Bewehrungslage.....	15
7 Vergleich mit den Ergebnissen der IRSCAT AG	24
8 Funktionsweise des Georadar-Verfahrens.....	26
9 Literatur.....	32
10 Beilage A – Ergebnisse der IRSCAT AG	33

Abb. I.2 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 3 (Seite 2 ist eine Leerseite)

Zusammenfassung

Auf dem Viadukt Lopper wurde eine Georadar Untersuchung durchgeführt, um Hinweise auf die Dichtigkeit verschiedener Randabschlüsse zu gewinnen. Leider waren 40 Bohrstellen nach Entnahme der Bohrkern nicht wieder verschlossen worden. Somit wurden an 40 Stellen Pfade für Wasser und Chloride geschaffen, welche zum Zeitpunkt der Georadar Messung seit über einem Jahr aktiv waren. Auch die damals erhaltenen Werte für die Chloridgehalte dürften mittlerweile verändert sein.

Dennoch wurden die Messungen wie geplant durchgeführt und analysiert. Belagsdicke, Eisenüberdeckung der obersten Bewehrungslage sowie weitere Informationen über den Aufbau der Brückenplatte konnten ermittelt werden. Weiterhin wurden insbesondere die Reflexionsamplituden am Übergang Asphalt-Beton und an der obersten Bewehrungslage untersucht, da hieraus Ergebnisse bezüglich Chlorid- und Feuchtigkeitsgehalten im Beton gewonnen werden können. Die daraus gewonnenen Ergebnisse enthalten Hinweise auf den Einfluss der offenen Bohrlöcher und deuten allenfalls auf lokale Chloridbelastungen hin. Allerdings ist hinzuzufügen, dass die Ergebnisse unkalibriert sind, da keine aktuellen Sondiererergebnisse vorliegen.

Eine Analyse der Ergebnisse der IRSCAT AG ergab ebenfalls keinen klaren Zusammenhang zwischen den verschiedenen Randabschlüssen und den gemessenen Daten.

Abb. I.3 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 4.

1 Vorhandene Berichte und Informationen

Zur Vorbereitung der Untersuchungen und zur Unterstützung der Auswertungen standen zur Verfügung:

- Photodokumentation Versuchsfelder Lopper inkl. Übersichtsplan erstellt durch BTS Bauexpert AG
- Prüfbericht C6513-01 Bohrkern/Chloridgehalt erstellt durch die Tecnotest AG
- Diverse mündliche Informationen

Der Prüfbericht C6513-01 beschreibt zwar die Ergebnisse für jeden einzelnen Bohrkern, die genaue Zuordnung welcher Bohrkern an welcher Stelle entnommen wurde, ist allerdings nicht möglich. Anfragen per Telefon und E-Mail führten ebenfalls nicht zum Ziel. Die Zuordnung welcher Bohrkern aus welchem Feld stammt, wurde deshalb ausschliesslich über die Bezeichnungen der Bohrkern vorgenommen (z.B. Bohrkern A1.4 stammt aus Versuchsfeld A). Die Analysen der Bohrkern aus der Fahrbahnplatte ergaben einen Chloridgehalt in Masseprozenten bezüglich des Zementgehaltes von maximal 0.10 Prozent. Somit erscheint zumindest im März 2011 keine relevante Chloridbelastung in der Fahrbahnplatte vorhanden gewesen zu sein.

2 Situation vor Ort

Ein Augenschein am 6. März 2012 ergab, dass die Bohrlöcher nach der Entnahme der Bohrkern nicht wieder verschlossen worden waren. Die Bohrlöcher waren lediglich mit Wasser oder Schmutz verfüllt (Abbildung 1, Abbildung 2). Gemäss dem Bericht C6513-01 wurden die Bohrkern am 1. März 2011 entnommen. Somit waren die Bohrlöcher zum Zeitpunkt der Georadar Messung am 20. April 2012 seit über einem Jahr offen. Es muss also davon ausgegangen, dass dies einen erheblichen Einfluss auf den Chlorid- und Feuchtigkeitsgehalt in der Umgebung der Bohrpositionen hat. Die acht Felder haben insgesamt eine Länge von 140.10 m, auf dieser Länge befinden sich 35 Bohrungen. Der mittlere Abstand zwischen den einzelnen Bohrpositionen beträgt somit 4.12 m.

Abb. I.4 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 5.



Abbildung 1: Offenes Bohrloch

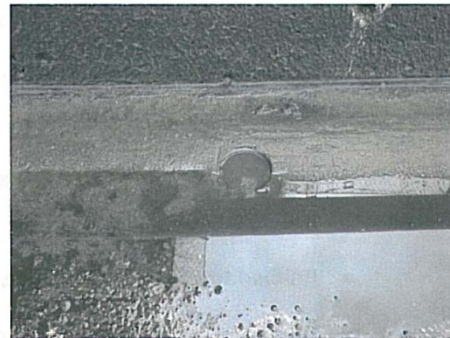


Abbildung 2: Offenes Bohrloch

3 Durchführung der Messungen

Die Messungen wurden am 20. April 2012 bei feuchter Witterung durchgeführt. Insgesamt wurden vier Linien in Längsrichtung parallel zur Betonbordüre gemessen:

- a) 1.5 m ab Betonbordüre
- b) 1 m ab Betonbordüre
- c) 0.5 m ab Betonbordüre
- d) direkt über Bohrlöcher

Die Linienpositionen waren mit Farbspray markiert (Abbildung 3). Die ersten drei Messlinien (a, b, c) entsprechen dabei dem Messraster, welches am gleichen Tag von der Irsat AG für Schallmessungen benutzt wurde. Alle Georadar Messungen wurden mit einer 1.5 GHz Antenne durchgeführt, welche manuell über die Oberfläche geführt wurde (Abbildung 4). Die eingesetzten Geräte und die Aufzeichnungsparameter sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgelistet. Einen Ausschnitt aus den Rohdaten von 10 m Länge aufgezeichnet auf der Linie a) zeigt die Abbildung 5.

Tabelle 1: eingesetzte Geräte

Antenne	GSSI Modell 5100
Radargerät	GSSI SIR-20
Zubehör	diverses

Abb. I.5 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 6.

Tabelle 2: Aufzeichnungsparameter	
Messpunkte pro Meter	100
Samples pro Messpunkt	1024
Spurlänge (Aufzeichnungsdauer pro Messpunkt)	20 ns
Datenverarbeitung während der Messung	keine



Abbildung 3: Markierung der Linienpositionen auf der Fahrbahn und Metrierung



Abbildung 4: Georadar Messung mit 1.5 GHz Antenne

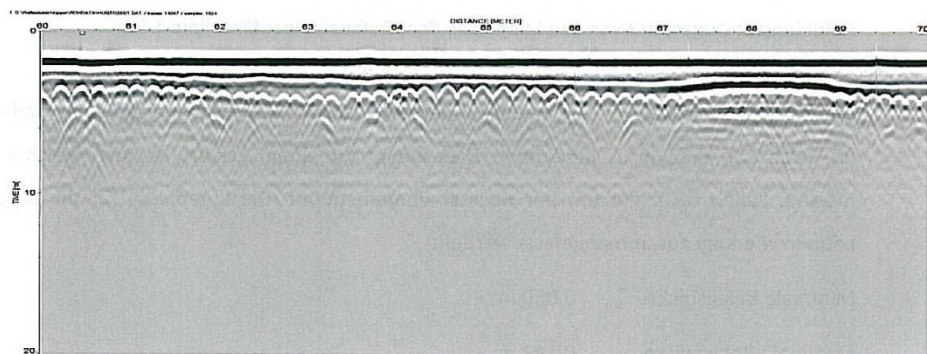


Abbildung 5: Rohdaten, Ausschnitt von 10 m Länge aufgezeichnet auf der Linie 1.5 m

4 Belagsdicke und Eisenüberdeckung

Die Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt von 2.0 m Länge aus dem Datensatz der Messlinie 1.5 m nach der Datenverarbeitung. Deutlich erkennbar ist die Reflexion am Übergang Asphalt-Beton

Abb. I.6 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 7.

(roter Pfeil) an den Bewehrungsstäben der obersten Bewehrungslage (gelbe Pfeile), weiteren Objekten, bei denen es sich z.B. um einzelne Bewehrungsstäbe handeln könnte (blauer Pfeil), sowie einer weiteren Bewehrungslage und der Untergrenze der Brückenplatte (grüner Pfeil). Die Reflexionen am Übergang Asphalt-Beton und an der obersten Bewehrungslage wurden im Weiteren genauer analysiert.

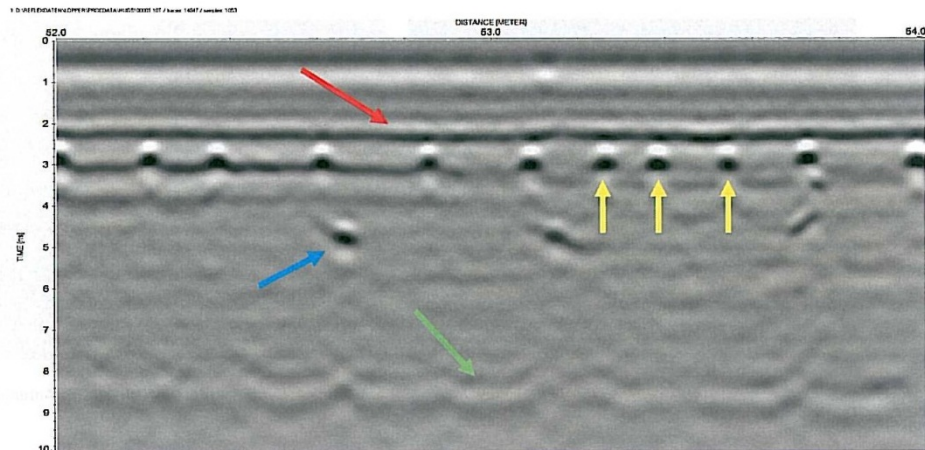


Abbildung 6: Ausschnitt von 2 m Länge aus dem Datensatz der Messlinie 1.5 m

Die Belagsdicke wurde mit einer unkalibrierten Ausbreitungsgeschwindigkeit des Radarsignals im Belag von 0.12 m/ns berechnet. Dies entspricht einem Erfahrungswert, welcher in den meisten Fällen recht gut mit der Realität übereinstimmt. Die Ergebnisse für die Belagsdicke können wie folgt zusammengefasst werden:

Minimale Belagsdicke: 0.059 m

Maximale Belagsdicke: 0.142 m

Mittlere Belagsdicke: 0.098 m

Die Abbildung 7 zeigt die Belagsdicken auf dem gemessenen Streifen von 140m Länge (vertikale Achse) und 1.5m Breite (horizontale Achse). Rechts im Bild sind die Bereiche der Varianten der Randabschlüsse eingezeichnet.

Abb. I.7 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 8.

Die Eisenüberdeckung wurde anhand der Differenz der Laufzeiten für die beiden Reflexionen Asphalt-Beton und oberste Bewehrungslage ermittelt. Das Ergebnis (unkalibriert) ist in der Abbildung 8 dargestellt. Die Ergebnisse für die Eisenüberdeckung können wie folgt zusammengefasst werden:

Minimale Eisenüberdeckung:	0.000 m
Maximale Eisenüberdeckung:	0.085 m
Mittlere Eisenüberdeckung:	0.035 m

Abb. I.8 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 9.

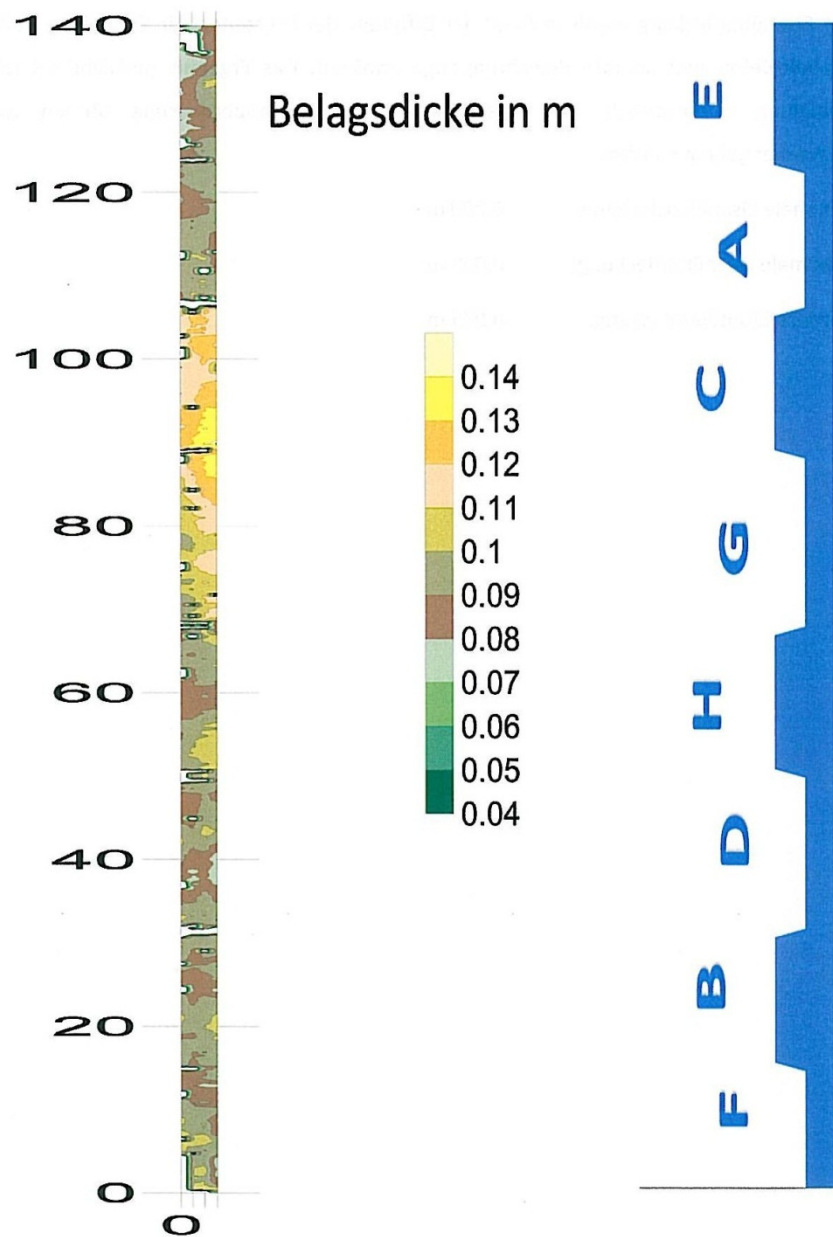


Abbildung 7: Belagsdicke (links) und Prüffelder (rechts)

Abb. I.9 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 10.

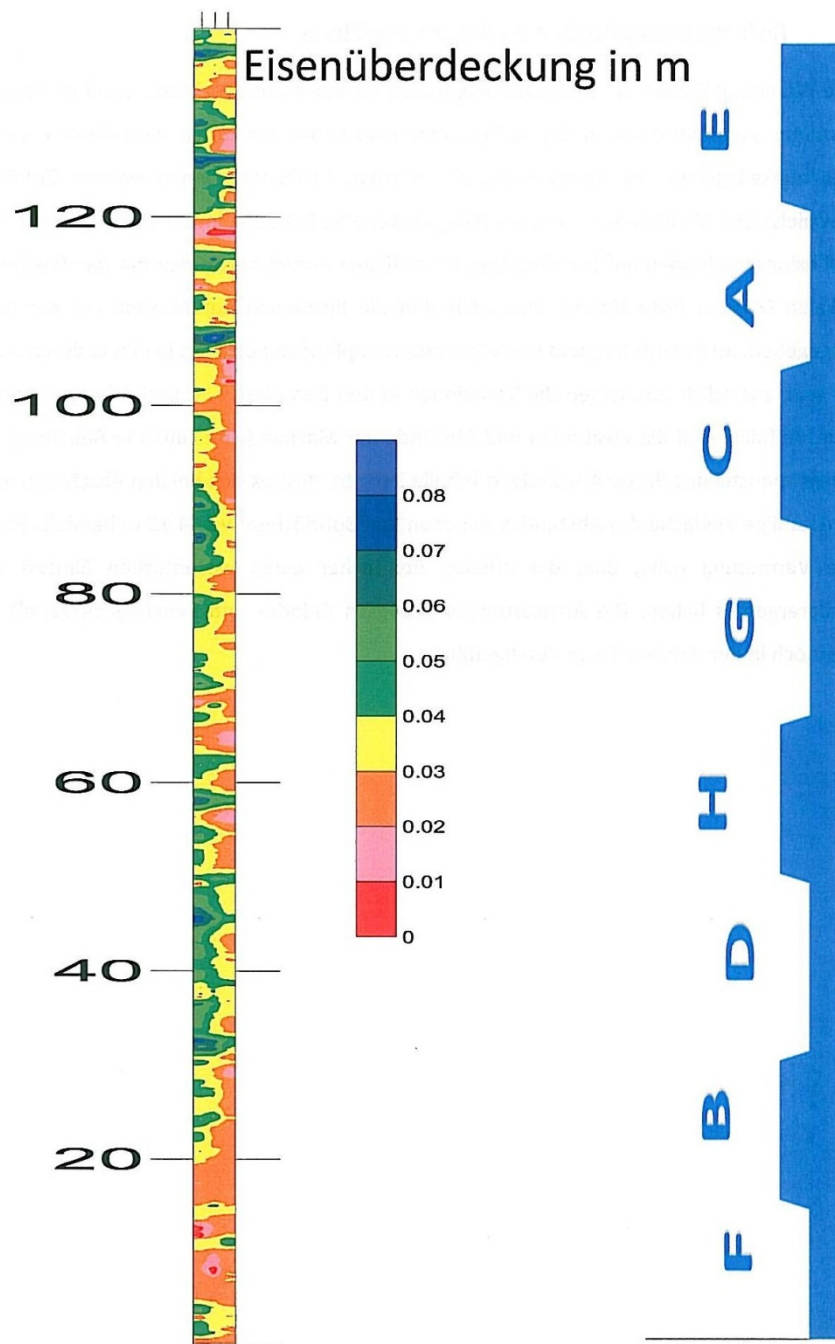


Abbildung 8: Eisenüberdeckung

Abb. I.10 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 11.

5 Reflexionsamplituden an Betonoberfläche

Die Abbildung 9 zeigt die Reflexionsamplituden an der Betonoberfläche auf dem gemessenen Streifen. Veränderungen in der Reflexionsamplitude können durch veränderte Chlorid- und Feuchtigkeitsgehalte im Beton verursacht werden. Zusätzlich können weitere Einflüsse, wie beispielsweise Veränderungen in der Belagsdicke, eine Rolle spielen. Die Abbildung 10 zeigt die Reflexionsamplituden auf der Messlinie 1.5 m (blaue Kurve) zusammen mit den Positionen der lokalen Maxima (rote Linien). Zusätzlich sind die Positionen der Maxima auf der Messlinie angegeben. Im Bereich B scheinen die Reflexionsamplituden höher als in den anderen Bereichen zu sein, zusätzlich erscheinen die Variationen in den Bereichen F, C und A besonders gross zu sein. Auffällig sind die Positionen und Abstände der Maxima (rote Linien in Abbildung 10). Die Zusammenstellung dieser Abstände in Tabelle 3 ergibt, dass es sich bei den Abständen meist um ganzzahlige Vielfache des Abstandes zwischen den Bohrlöchern von 4.12 m handelt. Somit liegt die Vermutung nahe, dass die offenen Bohrlöcher einen wesentlichen Einfluss auf das Radarergebnis haben. Die Auswertungen bezüglich Chlorid- und Feuchtigkeitsgehalt wurden dennoch in der üblichen Form durchgeführt.

Abb. I.11 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 12.

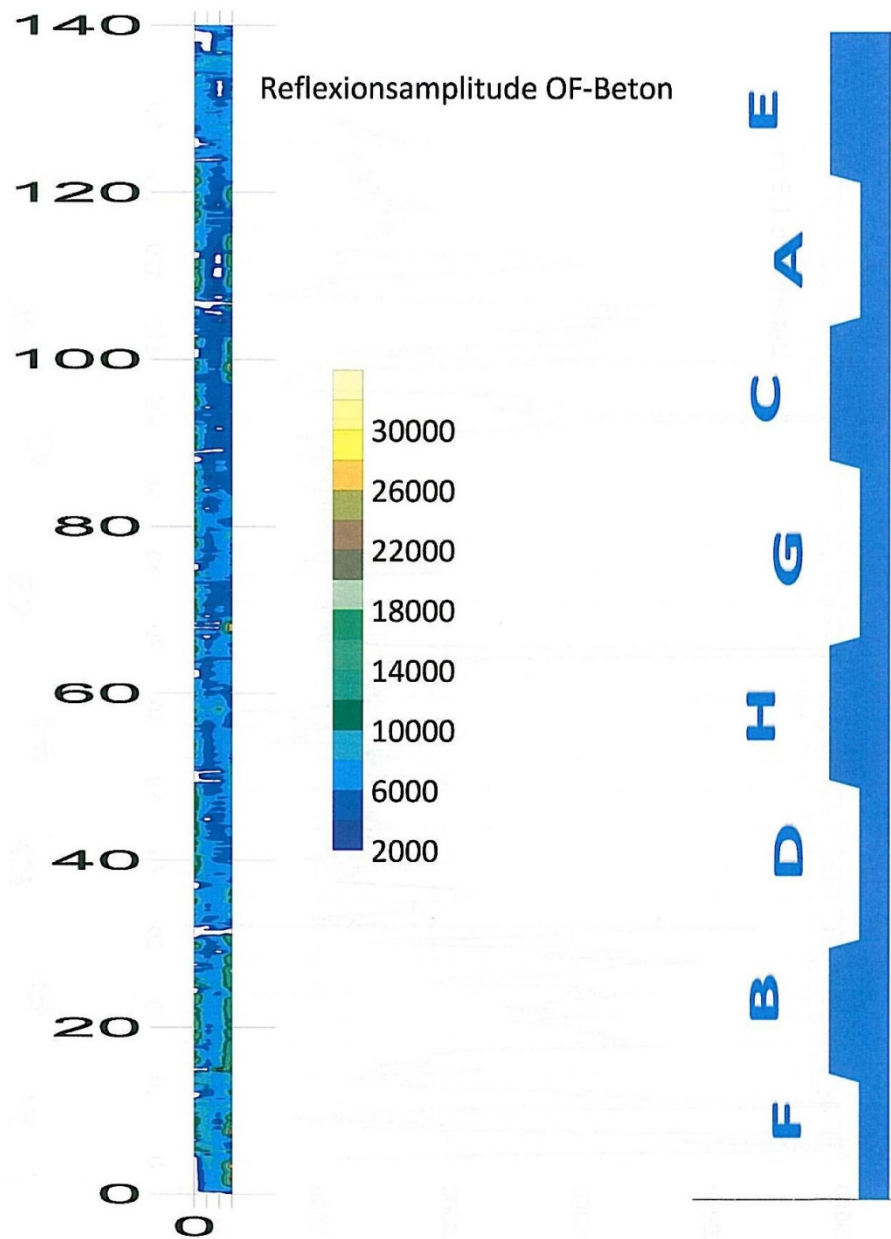


Abbildung 9: Reflexionsamplituden an Betonoberfläche

Abb. I.12 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 13.

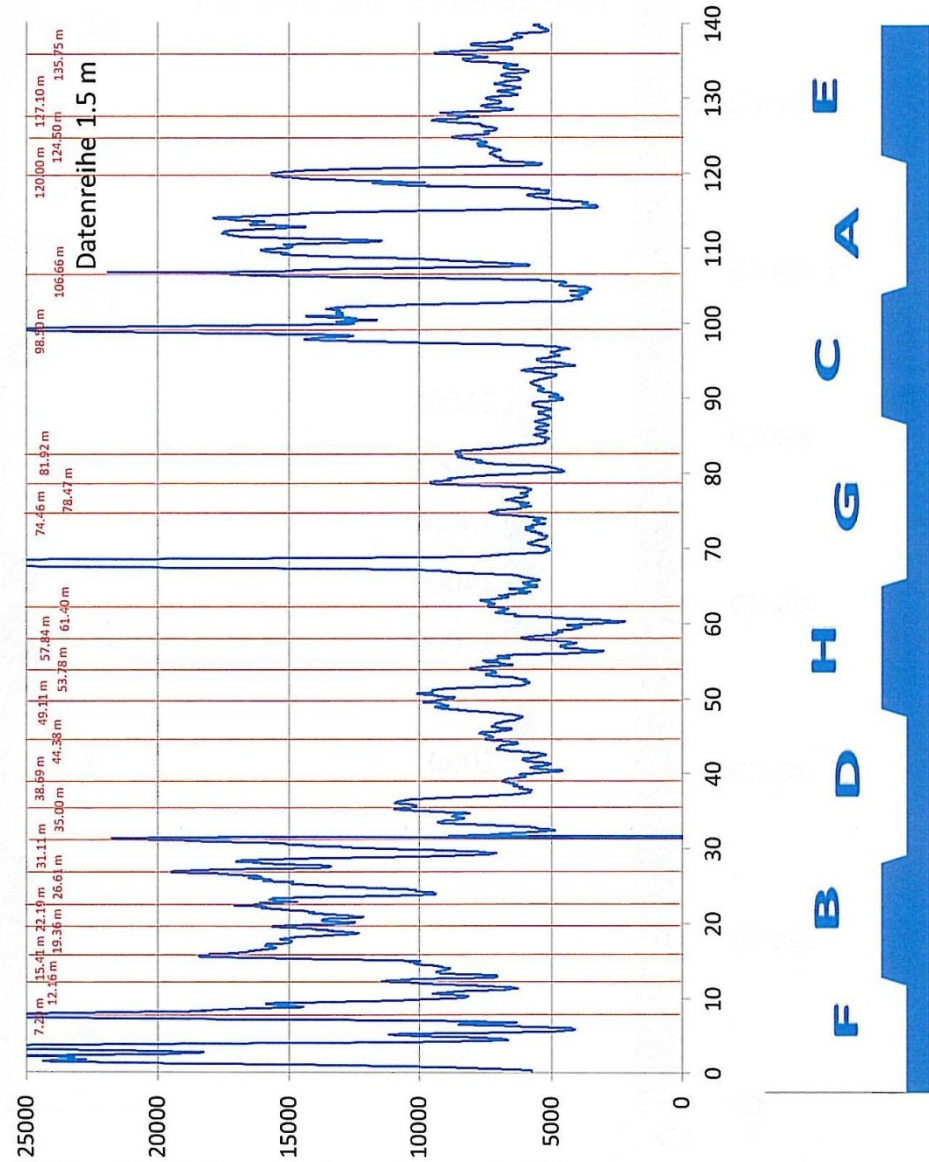


Abbildung 10: Reflexionsamplituden an der Betonoberfläche auf der Messlinie 1.5 m und Position der Maxima (rote Linien)

Abb. I.13 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 14.

Tabelle 3: Position der Maxima (Position in m), Distanzen zwischen Maxima (Deltapos in m) und Division mit 4.12 (Deltapos/4.12) auf der Linie 1.5 m

Position in m	Deltapos in m	Deltapos/4.12
135.75		
127.1	8.7	2.1
124.5	2.6	0.6
120	4.5	1.1
106.66	13.3	3.2
98.5	8.2	2.0
81.92	16.6	4.0
78.47	3.5	0.8
74.46	4.0	1.0
61.4	13.1	3.2
57.84	3.6	0.9
53.78	4.1	1.0
49.11	4.7	1.1
44.38	4.7	1.1
38.69	5.7	1.4
35	3.7	0.9
31.11	3.9	0.9
26.61	4.5	1.1
22.19	4.4	1.1
19.36	2.8	0.7
15.41	4.0	1.0
12.16	3.3	0.8
7.2	5.0	1.2

6 Reflexionsamplituden Betonoberfläche und oberste Bewehrungslage

Um Hinweise auf mit Chloriden und Feuchtigkeit belastete Bereiche zu gewinnen wurden die Reflexionsamplituden an der Betonoberfläche gemeinsam mit den Reflexionsamplituden an der obersten Bewehrungslage ausgewertet. Dabei wurde zunächst eine Korrektur in Abhängigkeit von der Laufzeit für die Reflexionen an der obersten Bewehrungslage vorgenommen (Laufzeitkorrektur), da die Reflexionsamplitude mit zunehmender Tiefe abnimmt. Anschliessend

Abb. I.14 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 15.

wurde der Quotient der Reflexionsamplituden an der Betonoberfläche und der obersten Bewehrungslage berechnet. Diese Vorgehensweise entspricht derjenigen, welche in einem in Hugenschmidt und Loser (2008) beschriebenen Laborexperiment angewendet und beschrieben wurde.

Die Abbildung 11 zeigt den berechneten Quotienten ohne Laufzeitkorrektur für die Messlinie 1.5 m. In Abbildung 12 ist die Abhängigkeit der Reflexionsamplitude an der obersten Bewehrungslage von der Laufzeit des Signals im Beton dargestellt. Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit zwischen Amplituden und Laufzeiten, welche durch die rote Regressionsgerade verdeutlicht wird. Die Quotienten wurden nun mit Hilfe des Regressionskoeffizienten von 3906 korrigiert um die Abhängigkeit von der Laufzeit zu beseitigen. Die Quotienten nach Korrektur der Reflexionsamplituden an der Bewehrung zeigt die Abbildung 13. Hier zeigt sich ein deutlich homogeneres Bild als in der Abbildung 11. Eine Zuordnung der mittleren Quotienten für die einzelnen Varianten der Randabschlüsse auf der Messlinie 1.5 m zeigt die Abbildung 14.

Diese Vorgehensweise wurde nun auf alle Messlinien angewendet. Ein Vergleich der Quotienten auf den einzelnen Varianten der Randabschlüsse (Abbildung 14, Abbildung 17, Abbildung 19) ergibt kein einheitliches Bild. Somit besteht kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den einzelnen Feldern und Feuchtigkeits- oder Chloridgehalten. Dies könnte einerseits bedeuten, dass sich die einzelnen Varianten bezüglich der Chlorid- und Feuchtigkeitseinträge nicht wesentlich unterscheiden, andererseits könnten die gleichmässig verteilten offenen Bohrlöcher einen vorher vorhandenen Zusammenhang überdecken.

Abb. I.15 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 16.

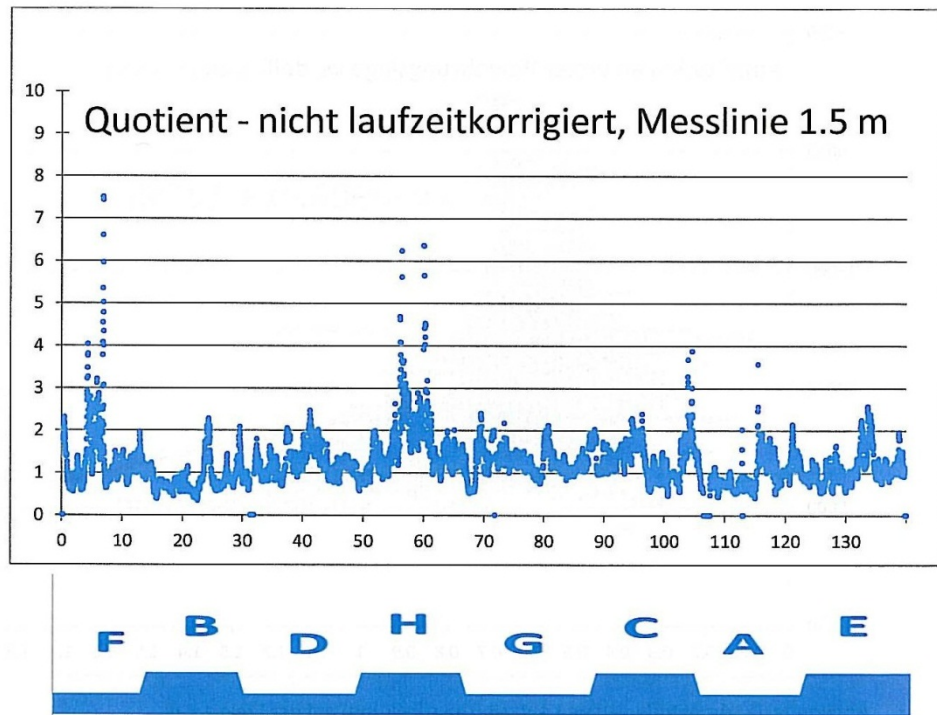


Abbildung 11: Quotient Reflexionsamplitude Betonoberfläche/Bewehrung, ohne Laufzeitkorrektur

Abb. I.16 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 17.

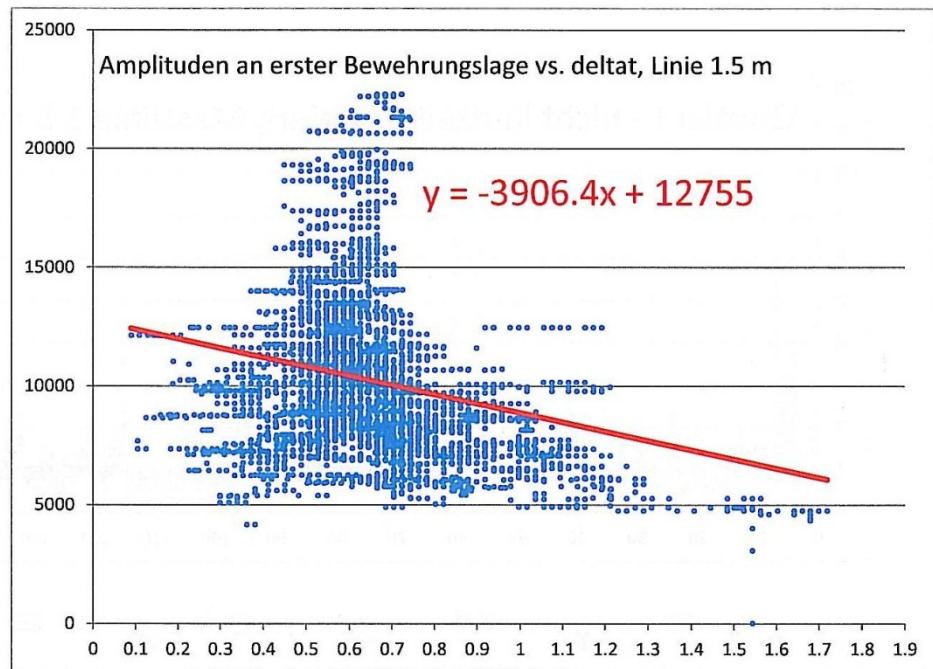


Abbildung 12: Amplitude versus Laufzeit (Überdeckung) auf der Linie 1.5 m

Abb. I.17 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 18.

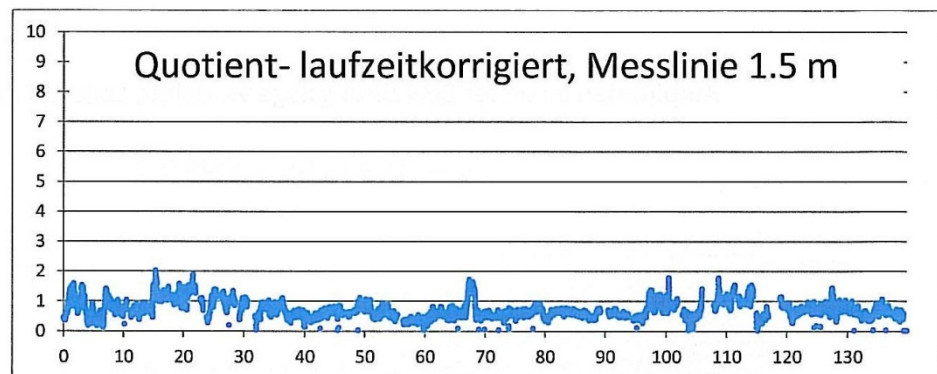


Abbildung 13: Quotient Reflexionsamplitude Betonoberfläche/Bewehrung, mit Laufzeitkorrektur

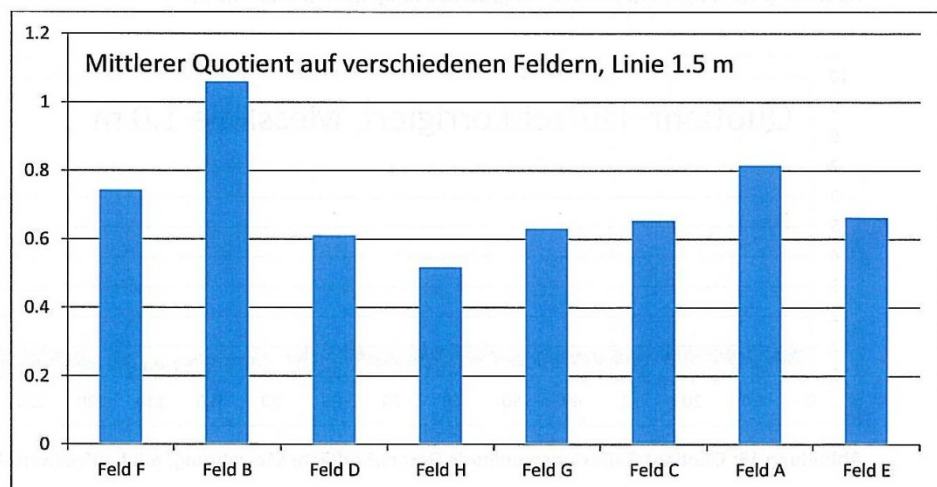


Abbildung 14: Mittlere Quotienten mit Laufzeitkorrektur vs. Felder auf der Linie 1.5 m

Abb. I.18 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 19.

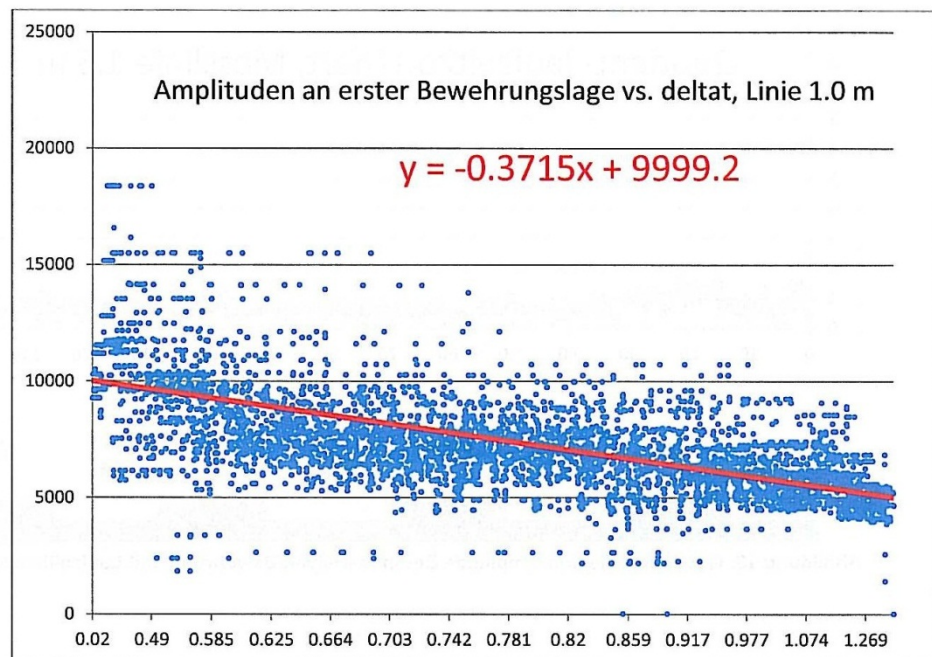


Abbildung 15: Amplitude vs. Laufzeit (Überdeckung) auf der Linie 1.0 m

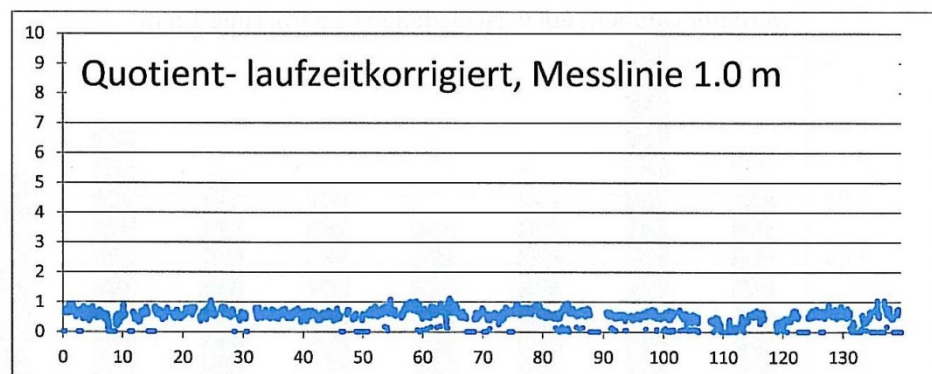


Abbildung 16: Quotient Reflexionsamplitude Betonoberfläche/Bewehrung, mit Laufzeitkorrektur

Abb. I.19 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 20.

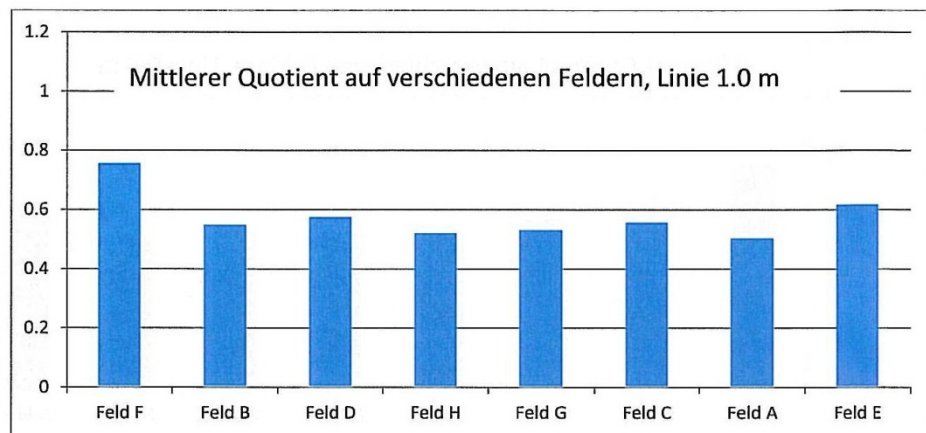


Abbildung 17: Mittlere Quotienten mit Laufzeitkorrektur vs. Felder auf der Linie 1.0 m

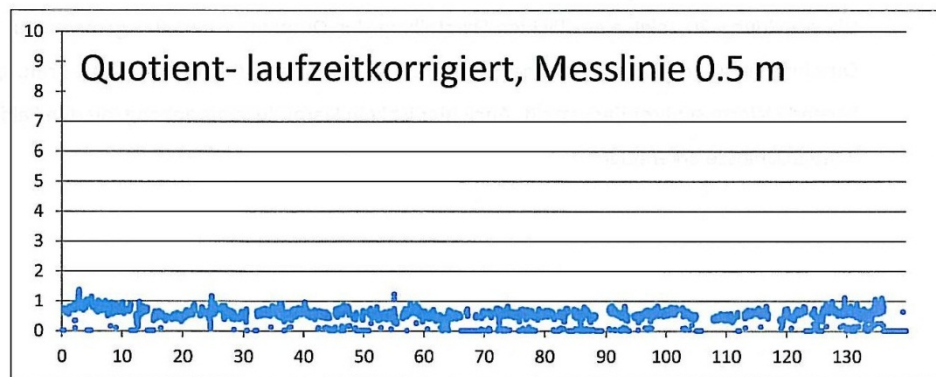


Abbildung 18: Quotient Reflexionsamplitude Betonoberfläche/Bewehrung, mit Laufzeitkorrektur

Abb. I.20 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 21.

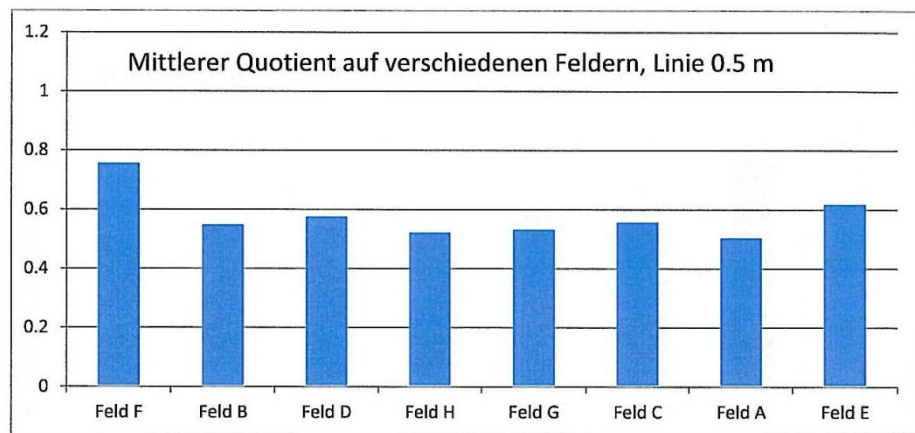


Abbildung 19: Mittlere Quotienten mit Laufzeitkorrektur vs. Felder auf der Linie 0.5 m

Die Abbildung 20 zeigt eine flächige Darstellung der Quotienten auf der gemessenen Fläche. Quotienten unterhalb eines Grenzwertes von 1 (links) bzw. 0.6 (rechts) sind grün, darüber liegende Werte sind rot dargestellt. Auch hier ist kein klarer Zusammenhang mit den Feldern der Randabschlüsse erkennbar.

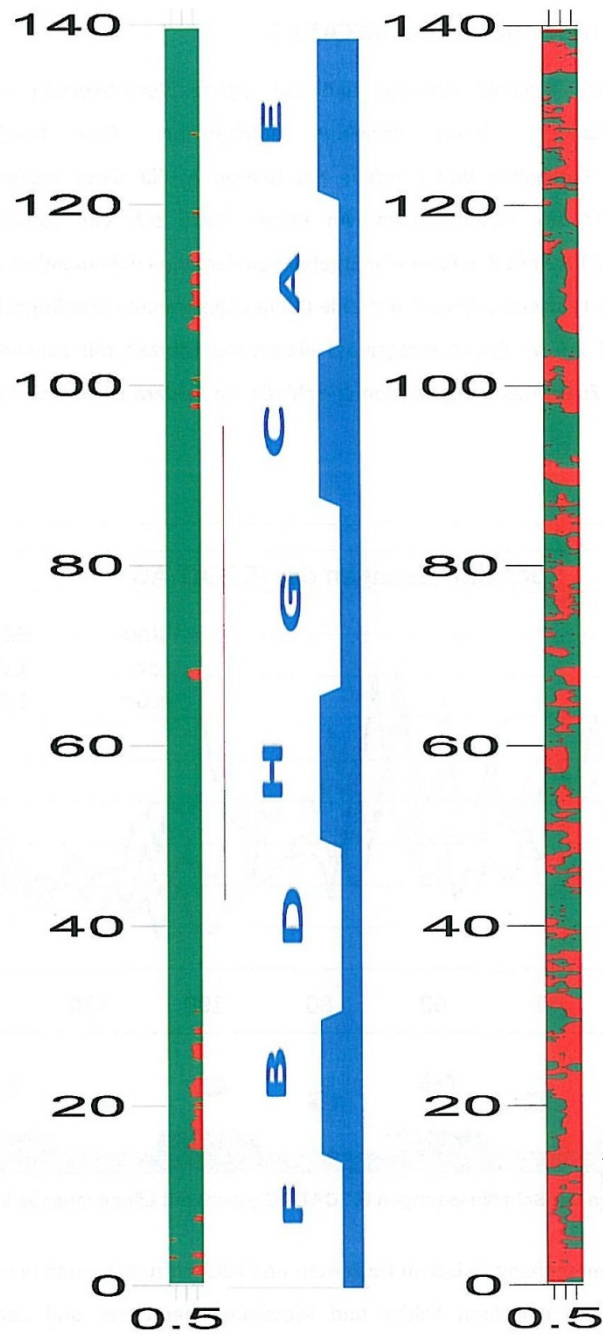


Abbildung 20: Darstellung der Quotienten mit Grenzwerte 1 (links) und Grenzwert 0.6 (rechts)

Abb. I.22 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 23.

7 Vergleich mit den Ergebnissen der IRSCAT AG

Die IRSCAT AG hat nach eigenem Konzept und auf eigene Verantwortung mehrere Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes durchgeführt. Eine tabellarische Zusammenfassung dieser Ergebnisse findet sich in der Beilage A. Für diese Ergebnisse ist ausschliesslich die IRSCAT AG verantwortlich. An dieser Stelle soll ein Vergleich der Schallmessungen der IRSCAT AG mit den Georadar Ergebnissen der Empa dokumentiert werden. Die Abbildung 21 zeigt die Laufzeiten des auf der Linie 0.0 m abgestrahlten Schallsignal zu den Linien 0.5 m, 1.0 m und 1.5 m. Erwartungsgemäss nimmt die Laufzeit mit zunehmendem Abstand ebenfalls zu. Ein Zusammenhang mit den verschiedenen Feldern ist zunächst nicht zu erkennen.

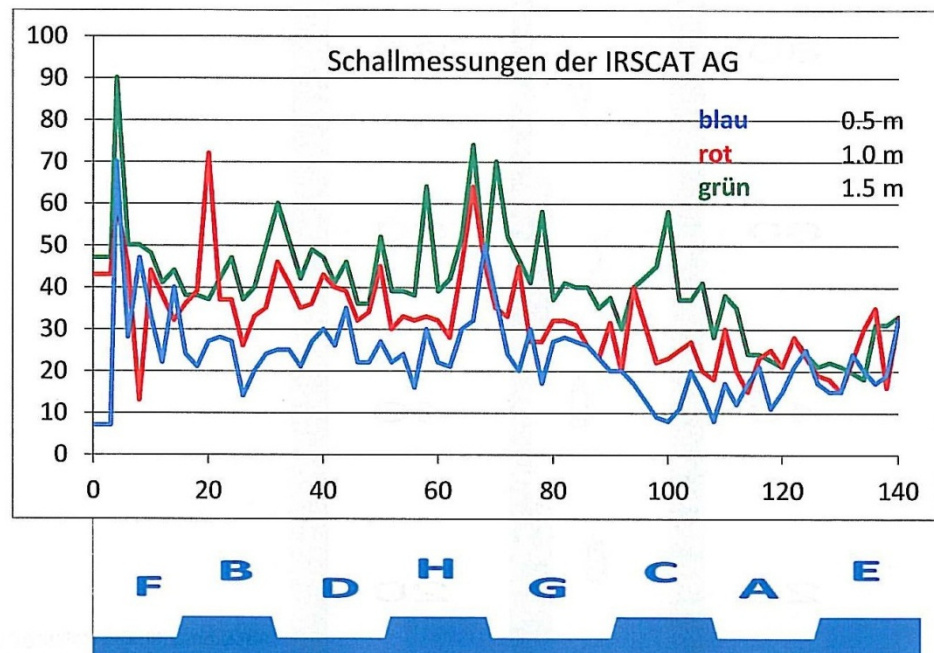


Abbildung 21: Laufzeiten der Schallmessungen IRSCAT AG (oben) mit Längenangabe in m und Prüffelder (unten)

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Laufzeiten und Feldern zu erkennen wurden die mittleren Laufzeiten für die einzelnen Felder und Messlinien berechnet und dargestellt

(Abbildung 22). Zwar ergeben sich Unterschiede bezüglich der einzelnen Felder, allerdings sind die Resultate für die einzelnen Linien widersprüchlich. Somit lässt sich mit den Laufzeiten der Schallmessungen kein klarer Zusammenhang zu den einzelnen Randabschlüssen feststellen.

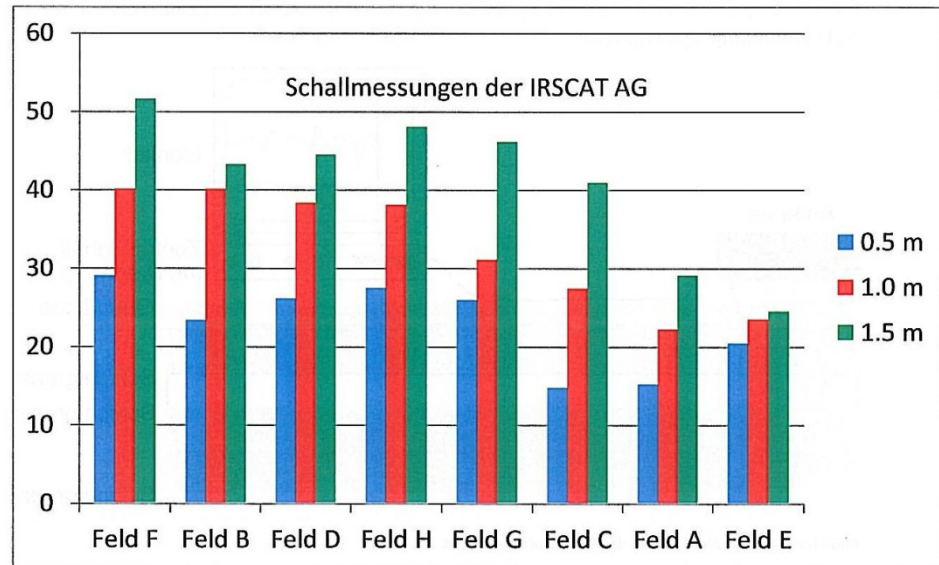


Abbildung 22: Laufzeiten der IRSCAT AG, mittlere Laufzeiten in den einzelnen Feldern

8 Funktionsweise des Georadar-Verfahrens

Unter Georadar versteht man ein elektromagnetisches Wellenverfahren. Andere gebräuchliche Bezeichnungen dieses Verfahrens sind Bodenradar, Ground Penetrating Radar (GPR), Surface Penetrating Radar und Elektromagnetisches Reflektionsverfahren (EMR). Das Funktionsprinzip ist in Abbildung 23 dargestellt.

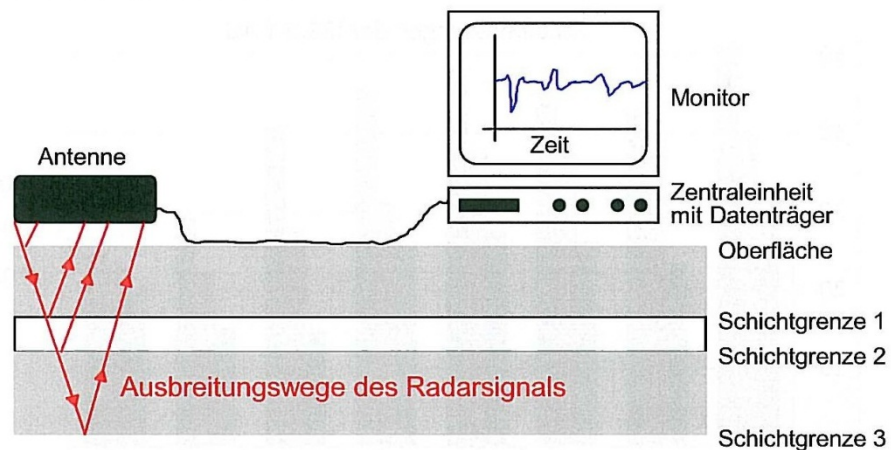


Abbildung 23: Funktionsprinzip des Georadar Verfahrens

Ein elektromagnetisches Signal wird von der Antenne abgestrahlt und an verschiedenen Grenzflächen reflektiert. Das reflektierte Signal wird von der Antenne empfangen und kann, nach Aufbereitung durch die Zentraleinheit, auf einem Monitor dargestellt und zur weiteren Bearbeitung auf einem PC auf Datenträger abgespeichert werden. Eine einzelne derartige Messung bestehend aus Messwerten über eine bestimmte Zeit an einem Ort wird als Spur, Einzelspur oder Scan bezeichnet. Diese Zeitreihe kann auf verschiedene Arten dargestellt werden. Im Wiggle-Modus wird eine Kurve geplottet, bei der vielfach die zwischen der Kurve und dem Nullpunkt liegenden Flächen eingefärbt sind. (siehe Abbildung 24, links). Eine andere übliche Darstellung ist die Codierung der Signalstärke in Farben oder Graustufen (Abbildung 24, Mitte).

Das Prinzip der Einzelmessung an einem Ort ist schematisch in der Abbildung 24 (rechts) dargestellt.

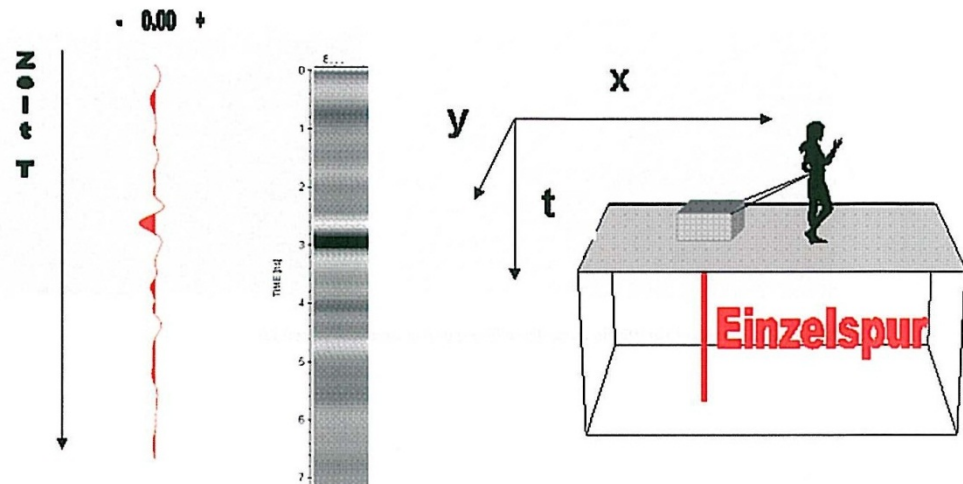


Abbildung 24: Einzelspur im Wiggle-Modus (links), in Graustufendarstellung (Mitte) und schematische Darstellung der Einzelmessung an einem Ort (rechts)

Radardaten werden meist entlang von Linien als Serie von Einzelspuren aufgezeichnet. Werden viele dieser Spuren nebeneinander geplottet, so ergibt sich ein Bild, welches durch Eigenschaften des Untergrundes bestimmt wird. Beispiel derartiger Darstellungen, aufgezeichnet auf einer bewehrten Betonplatte zeigt Abbildung 25. Eine derartige Darstellung wird als Radargramm oder Radarprofil bezeichnet. Eine schematische Darstellung des Zustandekommens eines Radargramms ist in Abbildung 26 dargestellt.

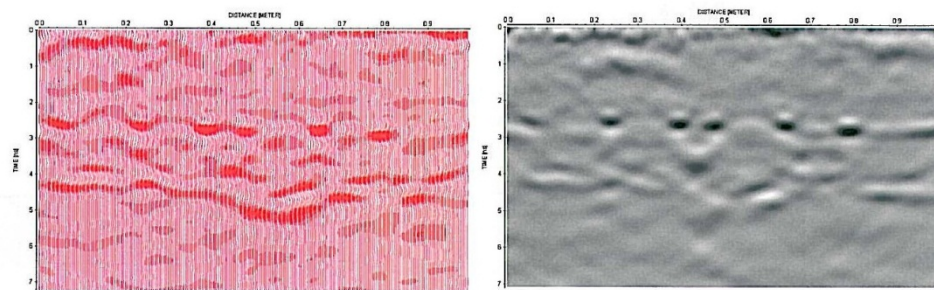


Abbildung 25: Radarprofil in Wiggle Darstellung (links) und in Graustufen (rechts)

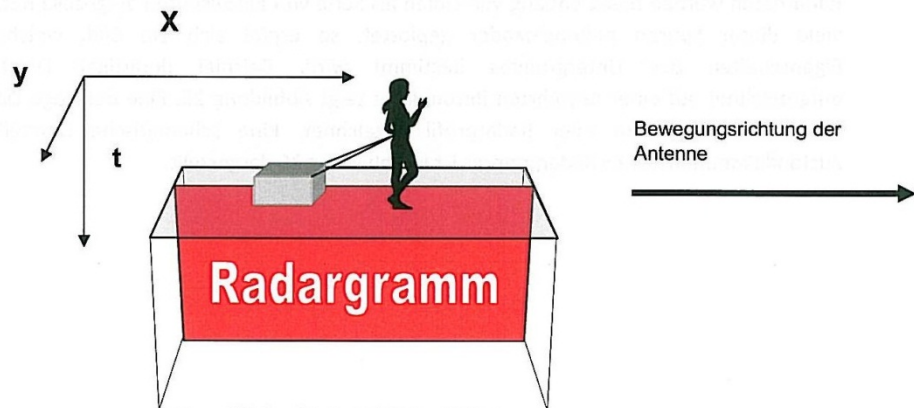


Abbildung 26: Schematische Darstellung zur Aufzeichnung eines Radargramms

Abb. I.27 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 28.

Ein derartiges Radarprofil gibt zwar Charakteristika des Untergrundes bzw. des untersuchten Mediums wieder, stellt jedoch keinen Schnitt durch dieses Medium dar. Für diesen Sachverhalt sind verschiedene Effekte verantwortlich, zwei davon sollen an einem Beispiel verdeutlicht werden.

Die Abbildung 27 stellt schematisch eine Radarmessung über einem aus zwei Schichten aufgebauten Untergrund dar. In der oberen Schicht befindet sich ein punktförmiger Störkörper. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Radarsignals in der oberen Schicht soll deutlich geringer sein als in der unteren. Die Radarantenne wird entlang einer geraden Linie über die Oberfläche bewegt.

Das dieser Situation entsprechende Radarprofil ist in Abbildung 28 dargestellt. Der punktförmige Störkörper verursacht eine Reflexion in Form einer Hyperbel, weil die Antenne nicht nur senkrecht nach unten sondern auch seitlich abstrahlt bzw. empfängt. Dadurch wird nicht nur direkt über dem Körper (Pos. 1) sondern auch davor bzw. danach (Pos. 1 und 3) eine Reflexion registriert. Da der Weg des Signals zum Störkörper und zurück in den Positionen 1 und 3 länger ist als in Pos. 2, benötigt das Radarsignal mehr Zeit und wird deshalb zu einem späteren Zeitpunkt registriert.

Die horizontalen Schichtgrenzen S1 und S2 innerhalb des Mediums (Abb. 2.4) erscheinen im Messergebnis als horizontale Reflexionen. Da die Geschwindigkeit in der unteren Schicht deutlich höher ist als im oberen, benötigt das Signal für die Durchquerung weniger Zeit, weshalb die Reflexion an Schichtgrenze S2 im Radarprofil "nach oben verschoben" erscheint.

Abb. I.28 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 29.

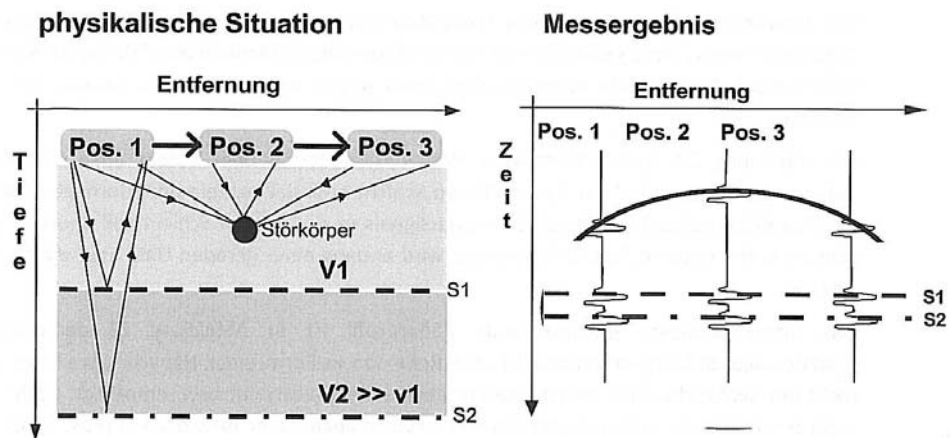


Abbildung 27: physikalische Situation

Abbildung 28: Messergebnis

Weitere Effekte, die bewirken, dass man mit einem Radarprofil zunächst keinen Schnitt durch den Untergrund erhält sind beispielsweise die Dämpfung des Signals und der Einfluss von neben dem Profil liegenden unter- oder oberirdischen Strukturen.

Durch eine geeignete Datenverarbeitung können die oben genannten Effekte zu einem grossen Teil korrigiert werden, so dass in Verbindung mit einer sachkundigen Interpretation im allgemeinen detaillierte und zuverlässige Informationen über den Aufbau des untersuchten Objektes gewonnen werden können.

Radardaten können nicht nur entlang von Linien sondern auch flächig aufgezeichnet werden, beispielsweise durch die Aufzeichnung entlang vieler paralleler Linien. Dies ermöglicht flächige oder dreidimensionale Darstellungen. Eine Zeitscheibe stellt die Radardaten einer bestimmten Zeit oder Zeitspanne dar. Die Abbildung 29 zeigt ein auf einem bewehrten Betonboden aufgezeichnetes Beispiel, die durch die einzelnen Bewehrungsseisen verursachten Reflexionsmaxima zeichnen sich deutlich ab. Das Prinzip der Zeitscheibe ist schematisch in der Abbildung 30 verdeutlicht.

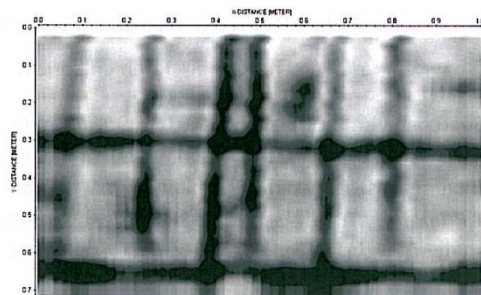


Abbildung 29: Zeitscheibe aus Datensatz aufgezeichnet auf bewehrtem Betonboden

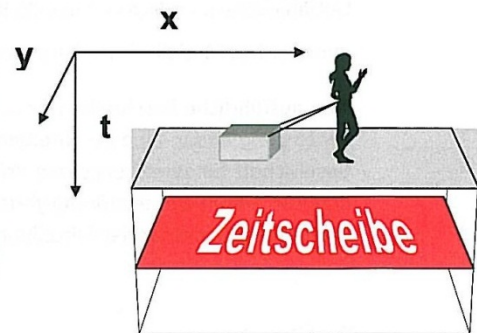


Abbildung 30: schematische Darstellung zum Prinzip der Zeitscheibe

Als weitere Möglichkeit können flächig erhobene Daten auch direkt als Datenkubus dargestellt werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind hier Vereinfachungen erforderlich. So können beispielsweise nur diejenigen Daten dargestellt werden, die einen gewissen Grenzwert überschreiten. Ein derartiges Beispiel zeigt die Abbildung 31, wo wiederum die Daten des Betonfussbodens dargestellt sind. Eine Skizze des Prinzips zeigt die Abbildung 32.

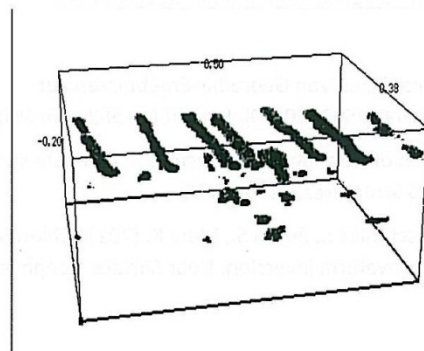


Abbildung 31: Datenkubus des auf dem Betonfussboden aufgezeichneten Datensatzes

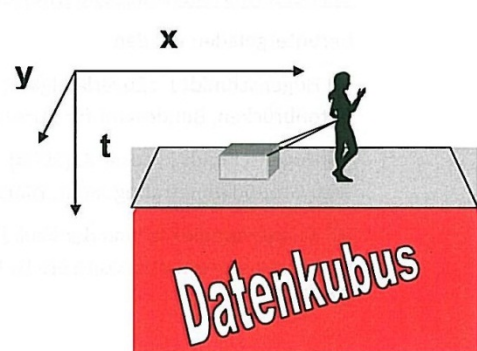


Abbildung 32: Schematische Darstellung zum Datenkubus

Ausser dem Aufbau von Objekten, können mittels Georadar auch Materialeigenschaften untersucht werden. Ein Beispiel hierfür sind Chloride- und Feuchtigkeitsgehalte in Beton. Hier sind verschiedene Arten von Auswertungen möglich. Die Quotientenmethode (Hugenschmidt und Loser, 2008) basiert auf der Abnahme von Reflexionsamplituden durch erhöhte elektrische

Leitfähigkeiten. Andere Ansätze (Kalogeropoulos et al., 2011) verwenden eine Inversion, d.h. ein numerisches Modell wird solange angepasst, bis es den gemessenen Daten entspricht.

Eine ausführliche Beschreibung des Georadar-Verfahrens findet sich bei *David Daniels, Ground Penetrating Radar*, eine Beschreibung der Anwendung im Bauwesen in dem von der Deutschen Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung herausgegebenen Merkblatt B10, *Merkblatt über das Radarverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen*, diverse Anwendungsbeispiele im *Sonderband Georadar* der Mitteilungen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft.

9 Literatur

- [1] Daniels D. J.: *Ground Penetrating Radar*, The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, second edition, 2004
- [2] Merkblatt über das Radarverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen, Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, Februar 2008, 2. Auflage
- [3] Hugenschmidt J.: Georadar zur zerstörungsfreien Prüfung von Verkehrsbauwerken, MITTEILUNGEN der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Sonderband 2/2006, pp 69-84, kann unter http://www.dgg-online.de/mitteilungen/sonderhefte/volltext/DGG2006_Kolloquium_Georadar.pdf heruntergeladen werden
- [4] Hugenschmidt J. : Zuverlässigkeit und Genauigkeit von Georadar-Ergebnissen auf Betonbrücken, Bundesamt für Strassen, AGB 2000/553 (90/00), Bericht Nr. 582 vom März 2005
- [5] Hugenschmidt J., Loser R. (2008) Detection of chlorides and moisture in concrete structures with Ground penetrating radar, *Materials and Structures*, 41:785-792
- [6] Kalogeropoulos A., van der Kruk J., Hugenschmidt J., Busch S., Merz K. (2011) Chlorides and moisture assessment in concrete by GPR full waveform inversion, *Near Surface Geophysics*, 9: 277-286

Abb. I.31 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 32.

10 Beilage A – Ergebnisse der IRSCAT AG

Die Ergebnisse der IRSCAT AG wurden unverändert in diesen Bericht übernommen, so wie sie von der IRSCAT AG geliefert wurden. Die Verantwortung für diese Ergebnisse liegt somit ausschliesslich bei der IRSCAT AG.

Tabelle 4: Ergebnisse der IRSCAT AG

Lopper Zusatzauftrag - Zerstörungsfreie Chloridbestimmung an der Fahrbahnabdichtung											
Metrierung Von Null	Schall- Laufzeitmessung			Bitumen- dicke	Bewehrungs- lage tiefe	Spannstahl Lage	Feld Gemäss Plan	Feld- breite	Bemerkung		
	Messort 1.5	Messort 1	Messort 0.5								
0	47	43	7	50	110	210			Fehlmessung		
2	47	43	7	60	120	250	F		Fehlmessung		
3	47	43	7	0	0	0	E		Erste Messung		
4	90	60	70	70	140	200	L				
6	50	45	28	80	110	190	D				
8	50	13	47	40	120	200		15 m	Komisch		
10	48	44	33	80	120	210	F				
12	41	38	22	90	140	250					
14	44	32	40	90	150	240					
16	38	36	24	90	150	250					
18	38	39	21	100	150	240	F				
20	37	72	27	90	130	200	E		Komisch		
22	42	37	28	100	130	220	L				
24	47	37	27	Gestörte Zone im Radarbild			D				
26	37	26	14	Gestörte Zone im Radarbild							
28	40	33	20	Gestörte Zone im Radarbild			B	16 m			
30	50	35	24	90	130	250					
32	60	46	25	80	140	250					
34	51	41	25	90	140	250			schlecht		
36	42	35	21				F				
38	49	36	27	Oben dargestellt sind die durch uns noch zusätzlich durchgeführten Messungen mit dem Radarsystem und dem Magnetfeldsystem. Gemessen wurden mit den Zusatz- Verfahren Fels F und Feld B			E				
40	47	43	30					L			
42	41	40	26					D		19 m	
44	46	39	35								
46	36	32	22					D			
48	36	34	22								
50	52	45	27								
52	39	30	22								
54	39	33	24				F				
56	38	32	16				E				
58	64	33	30				L				
60	39	32	22				D				
62	42	28	21						Komisch		
64	52	45	30				H	17 m			
66	74	64	32								
68	45	46	50						Komisch		
70	70	35	37								
72	52	33	24				F				
74	46.5	45	20				E				
76	41	27	30				L		Komisch		
78	58	27	17				D				
80	37	32	27								
82	41	32	28				G				
84	40	31	27					20.5 m			
86	40	26	26								
88	35	23	23								

Abb. I.32 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 33.

90	37.5	31.5	20			
92	30	20	20		F	
94	40	40	17		E	
96	42.5	31	13		L	
98	45	22	9		D	
100	58	23	8			
102	37	25	11		C	17.4 m
104	37	27	20			
106	41	20	15			
108	28	18	8		F	
110	38	30	17		E	
112	35	20	12		L	
114	24	15	17		D	
116	24	23	21			
118	22.5	25	11		A	17.2 m
120	21	21	15			
122	28	28	21			
124	24	23.5	25			
126	21	19	17		F	
128	22	18	15		E	
130	21	15	15		L	
132	19.5	22.5	24		D	18 m
134	18	30	20			Komisch
136	31	35	17		E	
138	31	16	19			
140	33	32.5	32			

Abb. I.33 EMPA Prüfbericht 209038, Seite 34.

I.2 Irscat ag, Bericht "Zusatzprojekt VSS 2006/516_OBF"

irscat ag
bauteil- und bauwerkscanning
Aawasserstrasse 10
CH – 6370 Oberdorf, NW
Tel.: +41 (0)41 871 39 86
Fax: +41 (0)41 871 39 87
info@irscat.ch
www.irscat.ch



Zusatzprojekt VSS 2006/516_OBF

Zerstörungsfreie Verfahren zur Bestimmung der Chlorid- Konzentration in Stahlbetonkonstruktionen

Ultraschall, Magnetfeldverfahren und Radar

Im Rahmen des Zusatzprojektes wurden das Ultraschallverfahren, das Magnetfeldverfahren und das Radarverfahren eingesetzt um die Randabschlüsse auf dem Lopperviadukt zu inspizieren. Ziel der Zusatzabklärungen war es, ein Verfahren oder eine Verfahrenskombination zu finden um zerstörungsfrei einen erhöhten Chlorid- Eintrags in die Konstruktion festzustellen.

Örtliche Stitution

Die verschiedenen Verfahren wurden in allen Abschnitten angewendet. Die Versuchsfelder sind in der Folge dargestellt.

Zusatzprojekt



26.06.2012



Versuchsfeld	Abstand (m)	Variante
Versuchsfeld 5	18,00	Variante E
Versuchsfeld 1	17,20	Variante A
	17,40	Variante C
Versuchsfeld 4	-20,50	Variante G
Versuchsfeld 7	-17,00	Variante H
Versuchsfeld 2	18,00	Variante D
	18,00	Variante B
	18,00	Variante F

PORTAL
ACHEREGGTUNNEL SÜD

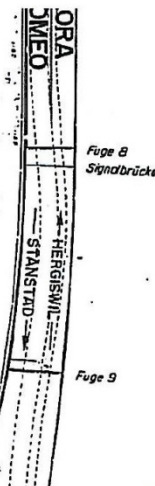


Abb. I.34 Irscat Bericht, Seite 1.

Im geplanten Projekt wurden Bohrkern-entnommen um den Chloridgehalt mit gängigen Verfahren festzustellen. An den Bohrkern-Entnahmestellen ist demzufolge die Chloridkonzentration bekannt, sofern sich zwischen der Bohrkern-Entnahme und der zerstörungsfreien Messung keine entscheidende Veränderung in der Konstruktion ergeben hat.

Gegenstand/Zweck	Bohrkerne/Chloridgehalt	
Auftrags-, Prüfungs- und Probedaten		
Auftragserteilung	28.02.2011 durch Herrn Bernhard, BTS Bauexpert AG	
Unterlagen/Angaben	Keine	
Entnahme	01.03.2011 durch die Herren Baumann und Strickler, Tecnotest AG 07.03.2011 durch Herrn Baumann, Tecnotest AG	
Probenanlieferung	07.03.2011 durch Tecnotest AG	
Art der Proben	46 Bohrkern-Ø 50 mm	
Bezeichnung	Versuchsfelder: A bis H	
Wareneingangs-Nr.	14549	
Prüfdatum	21.03.2011 und 05. bis 08.04.2011	
Prüfverfahren	Chloridgehalt PC001 (akkr. Pr.)	
Bemerkungen	Die Probeentnahmestellen wurden durch Herrn Bernhard, BTS Bauexpert AG, vorgegeben und dokumentiert	
		Seite
Prüfergebnisse	Chloridgehalt	2-12
		
26.06.2012	Zusatzprojekt	

Die Zusammenfassung ist unter:

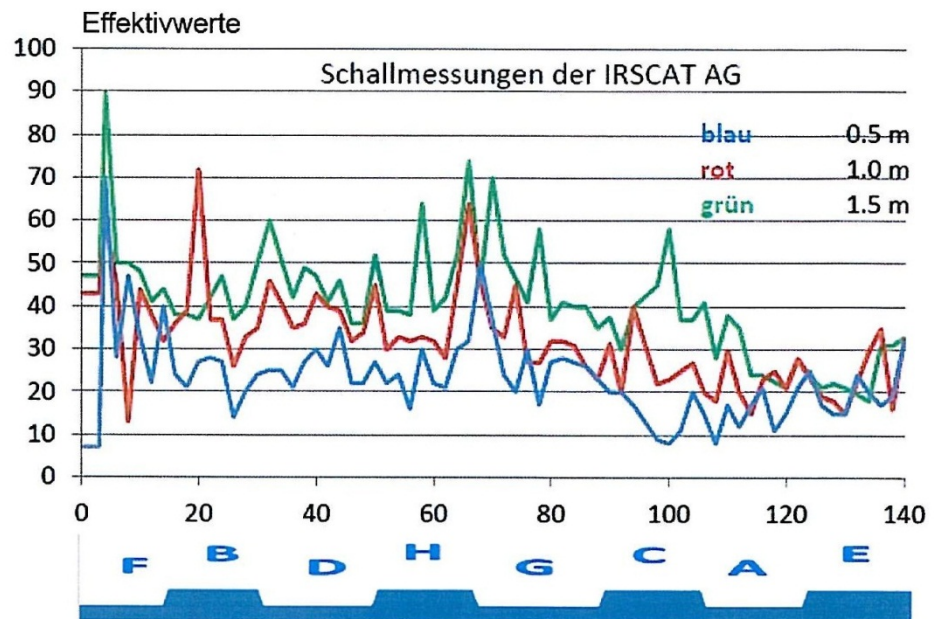
G:\irscat\4, irscat ag\2013\1322 Lopper_Zusatzprojekt
abgelegt.

Die Zusammenfassung ist Bestandteil dieses Berichtes.

Abb. I.35 Irscat Bericht, Seite 2.

Resultate

Keine gemessenen Resultate erlauben keine klare Situation in Bezug auf die Fragestellung. (Feststellen der Chlorid- Konzentration in den verschiedenen Abschnitten). Die festgestellten Laufzeitunterschiede sind in der folgenden Grafik dargestellt.



Die Schalllaufzeit variieren aufgrund der Messabstände (0,5 m, 1,0 m und 1,5 m). Auch durch Differenzbildung lassen sich aber keine Zusammenhänge feststellen, die mit den Resultaten der Technotest korrespondieren.

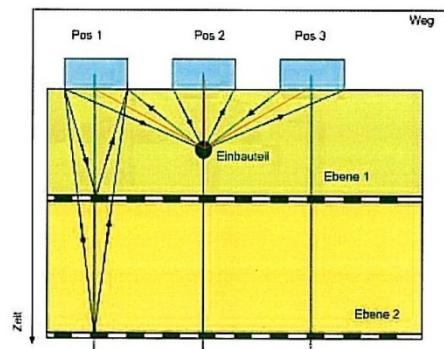
Die Auswertungen der gemessenen Signale mit den Verfahren Ultraschall – Magnetfeld und Radar haben keinen Zusammenhang mit den von Technotest ermittelten Chlorid Gehalten ergeben, was jedoch aus verschiedene Ursache zurückgeführt werden kann.

Es hat sich aber gezeigt, dass mit dem Radarverfahren ein Verfahren eingesetzt werden kann, das in kurzer Zeit völlig zerstörungsfrei über grössere Flächen Relativaussagen zu Unterschieden im Untergrund erlaubt.

Abb. I.36 Irschat Bericht, Seite 3.

Grundlagen

Ein Messprofil, gleich welcher Art, liefert eine charakteristische Information zum Messort (Untergrund, untersuchtes Medium), liefert aber keine detaillierte Informationen in Form von einem Schichtaufbau oder dergleichen. Die gemessenen Informationen sind durch unterschiedliche Effekte beeinträchtigt. Wir suchen Signale die zerstörungsfrei erfasst werden und die sich durch unterschiedliche Laufzeiten in Abhängigkeit des Chlorid- Gehalts zuordnen lassen.



Mit dem Radarverfahren (Siehe Prüfbericht Nr. 209038, EMPA) werden mit einem Scan Unterschiede der Dielektrizitätskonstanten im Baustoff festgestellt.

Bauteile bis 30 cm tief können zerstörungsfrei, schnell und zuverlässig vermessen werden.

In der oben stehenden Abbildung ist ein Objekt mit zwei mehr oder weniger homogene Schichten dargestellt. Befinden sich Störkörper in einer Schicht, kann die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Mess- Signals (Schall Laufzeit, Magnetfeldstärke, Radarwelle) bewertet werden.

Wird der Messkopf über den Messort bewegt, so ist der Weg der Signale bei Position 1 länger als bei Position 2 und „ähnlich wie bei Position 3.

Die verschiedenen Störkörper verursachen Reflexionen mit unterschiedlicher Laufzeit, was in der Folge aus Quotient ausgewertet werden kann.

20.5.2013 Christian Florin

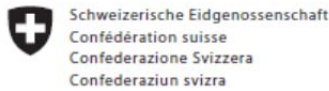
Verständigung

Begriff	Bedeutung
AC	Asphaltbeton
ASB	Bundesamt für Strassenbau (frühere Bezeichnung für ASTRA)
ASTRA	Bundesamt für Strassen
EN	Europäische Norm
EP	Einzelprojekt
FLA	Flachstäbe in Stahl
FLK	Flüssigkunststoff
GA	Gussasphalt (früher verwendete Abkürzung für Gussasphalt)
GFK	Glasfaser-Kunststoff
LNP	Gleichschenklige Winkel in Stahl
MA	Gussasphalt
MR	Asphaltbeton Sorte MR
NPK	Normpositionen-Katalog
PBD	Polymerbitumen-Dichtungsbahn
PmB	Polymerbitumen
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SN	Schweizer Norm
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

Literaturverzeichnis

-
- [1] Bundesamt für Strassenbau ASB; Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken
Kapitel 5 Abdichtungen und Beläge, 1990
-
- [2] Bundesamt für Strassen ASTRA; Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken
Kapitel 5 Abdichtungen und Beläge, 2005
-
- [3] CRB Normpositionen-Katalog der Schweizer Bauwirtschaft
NPK 172 Abdichtungen von Bauten unter Terrain und für Brücken (D/08)
-
- [4] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS
SN 640 450a Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken, 2009
-
- [5] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS
SN 640 462 Betondecken, Fugeneinlagen und Fugenmassen, 2006
-
- [6] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA
Norm SIA 269/2 Erhaltung von Tragwerken - Betonbau, 2011
-
- [7] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA
Norm SIA 262.496 (SN EN 14629: 2007); Produkte und Systeme für den Schutz und die
Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Bestimmung des Chloridgehaltes
von Festbeton, 2008
-
- [8] Arbeitsgruppe Kantonsingenieurbüro Nidwalden
Anschlüsse von Brückenabdichtungen aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen PBD
Untersuchungsbericht März 1993
-
- [9] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA
Merkblatt 2006; Planung, Durchführung und Interpretation der Potenzialmessung an Stahlbe-
tonbauten, 2013
-
- [10] Bundesamt für Strasse ASTRA
Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), Version vom 01.05.2013
-
- [11] Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS
SN 670 064a Fugeneinlagen und Fugenmassen für Verkehrsflächen, 2010
-

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: 07.08.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2006/516
Projekttitel: Anschlüsse von Brückenabdichtungen
Enddatum:

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Anschlüsse der Brückenabdichtungen sind für die Funktionstüchtigkeit der Abdichtung von unbestritten grosser Bedeutung, weil das Tragwerk dadurch wirksam gegen physikalische (Feuchtigkeit) und chemische (Salze) Einwirkungen geschützt werden kann. Es existiert eine Vielzahl von verschiedenen Anschlussdetails, von denen man aber meistens nicht nachweisbar weiss, ob sie längerfristig dicht sind und somit gebrauchstauglich. Das Ziel dieser Arbeit ist, an Hand von Materialprüfungen an verschiedenen bestehenden Brückenobjekten abzuklären, wie sich die unterschiedlichen Anschlussdetails während der langjährigen Nutzungsdauer bewährt haben.

Die Auswertung der Chloridversalzung in den Fahrbahnplatten von 18 verschiedenen Anschlussdetails mit einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von über 26 Jahren zeigt eine überaus erfreuliche Erkenntnis: Bei den insgesamt 73 Bohrkernen war nur eine einzige Probe, welche in der Fahrbahnplatte einen Chloridgehalt von über 0.050 Masse-% Beton aufweist (kaum Korrosionsrisiko vorhanden). Der entsprechende Maximalwert von 0.055 Masse-% Beton lag im Tiefenprofil 0 bis 10 mm. In der Tiefe 10 bis 20 mm betrug der Maximalwert nur noch 0.025 Masse-% Beton.

Dies bedeutet, dass alle untersuchten Randanschlüsse als dicht beurteilt werden können und die Hinterläufigkeit des Randanschlusses der Abdichtung mit chloridbelastetem Oberflächenwasser kein so grosses Risiko darstellt wie bisher mangels vertiefter Abklärungen angenommen worden ist.

Auf Grund dieser Erkenntnis rückt (neben den Kosten) hauptsächlich die Baustellentauglichkeit der Randanschlüsse von Brückenabdichtungen in den Vordergrund. Das Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K) des Bundesamts für Strassen ASTRA sieht für Brücken des ASTRA nur noch Brückenabdichtungen aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen PBD vor. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingung und auf Grund der Erkenntnisse des vorliegenden Berichts ist es fachgerecht, den Abdichtungsanschluss mit der vorgeschriebenen, einfachen und daher baustellentauglichen Randfuge aus Polymerbitumen (heiss verarbeitbare Fugenmasse) auszuführen.

Aus den Erkenntnissen des Forschungsberichts kann weiter gefolgert werden, dass Randanschlüsse von Flüssigkunststoff-Abdichtungen FLK sowie von schwimmenden Gussasphalt-Abdichtungen MA vergleichbare Gebrauchstauglichkeit und Nutzungsdauer aufweisen wie das oben beschriebene Anschlussdetail gemäss Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K) des Bundesamts für Strassen ASTRA.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die an das Forschungsprojekt gestellten Ziele wurden erreicht. Das Wissen über die Funktionstüchtigkeit der Anschlussdetails von Brückenabdichtungen ist erarbeitet. Vorschläge für die Erarbeitung von Normen sind postuliert.

Folgerungen und Empfehlungen:

Auf der Grundlage des vorliegenden Forschungsberichts wird die Empfehlung abgegeben, „Anschlüsse von Brückenabdichtungen“ in einem Kapitel der SN 640 450 "Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken" zu behandeln und auf die Erarbeitung einer eigenen Norm „Anschlüsse von Brückenabdichtungen“ zu verzichten.

Publikationen:

-

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Lehmann

Vorname: Pierre

Amt, Firma, Institut: CES Bauingenieur AG, Sarnen

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die durchgeführten Arbeiten weichen nur geringfügig von den ursprünglich beabsichtigten ab. Das ergab sich aus den zur Verfügung stehenden Praxisobjekten. Insgesamt entspricht die Arbeit in Umfang und Qualität den gestellten Forderungen.

Vor allem wegen der aufwändigen Suche nach Praxisobjekten und weil das Projekt auch auf Antrag der Begleitkommission erweitert wurde, verzögerte sich der Ablauf dieses Einzelprojektes.

Die Auswertung der Chloridversalzung in den Fahrbahnplatten von 18 verschiedenen Anschlussdetails mit einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von über 26 Jahren zeigt eine überaus erfreuliche Erkenntnis:

Bei den insgesamt 73 Bohrkernen war nur eine einzige Probe, welche in der Fahrbahnplatte einen Chloridgehalt von über 0.050 Masse-% Beton (Grenzwert für mögliche Bewehrungs-Korrosion) aufweist, wobei zu dieser einzigen Grenzwertüberschreitung folgendes anzumerken ist: Der Abdichtungsanschluss bestand lediglich aus einer "Kittfuge", die Messung erfolgte nach einer Nutzungsdauer von 43 Jahren. Die Überschreitung wurde nur in der Tiefe 00 bis 10 mm gemessen und war zudem gering (0.055 Masse-% Beton).

Diese Resultate erlauben die Folgerung, dass die Abdichtungsanschlüsse nicht unnötig schwierig zu erstellen sind, dafür aber die Baustellentauglichkeit in den Vordergrund rückt.

Umsetzung:

Die vorliegende Forschung liefert wichtige Beiträge für die aktuell stattfindende Überarbeitung der Norm SN 640 450 „Abdichtungssystem und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken“. Sie informiert die Fachwelt, die Planer und die Ingenieurbüros umfassend über die Systeme der Randanschlüsse.

weitergehender Forschungsbedarf:

Keiner.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Norm SN 640 450 „Abdichtungssystem und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken“ wird aufgrund der Ergebnisse um die entsprechenden Ziffern und Angaben zu Anschlüssen der Abdichtungssysteme erweitert. Die Veröffentlichung der revidierten Norm ist auf 2015 geplant.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Hürzeler

Vorname: Hans

Amt, Firma, Institut: Kanton Aargau, Leiter Kunstbauten der Abteilung Tiefbau

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeurückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initial-	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		projekt	
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemiteleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeurückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauphosphat in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009