Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation / Bundesamt für Strassen

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication / Office fédéral des routes

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni / Ufficio federale delle strade

Erfassung massgebender Einflussfaktoren bei Brückenabdichtungssystemen mit Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (PBD)

Recensement des facteurs d'influence sur les étanchéites des ponts avec les bitume-polymères (LBP)

EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
Abteilung Strassenbau/Abdichtungen

M. Stimolo-Küng, dipl. Bauing. ETH/SIA
M. N. Partl, Dr. sc. tech., dipl. Bauing. ETH

Forschungsauftrag 85/98 auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung

Dezember 2000

553

BUNDESAMT FÜR STRASSEN

Forschungsauftrag 85 / 98 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung

Erfassung massgebender Einflussfaktoren bei Brückenabdichtungssystemen mit Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (PBD)

Recensement des facteurs d´influence sur les étanchéités des ponts avec lés bitume-polymères (LBP)

EMPA Abteilung 113, Strassenbau/Abdichtungen

Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
Tel. +41-1-823 55 11
Fax. +41-1-821 62 44

M. Stimolo-Küng, dipl. Bauing. ETH/SIA
M. N. Partl, Dr.sc.tech., dipl. Bauing. ETH

Dezember 2000

EMPA Nr.:201'164

ZUSAMMENFASSUNG

In letzter Zeit sind in der Schweiz teure Schäden auf Brücken aufgetreten, die teilweise auf Problemen mit Abdichtungssystemen, insbesondere bei der Applikation, beruhen. Dieses Projekt war Teil eines Gesamtkonzeptes. Es wurde im Auftrag des ASTRA durchgeführt und es hatte folgende Ziele:

- Stand der Technik: Sachstandbericht über angewendete Techniken zum Aufbau von Abdichtungssystemen mit Polymerbitumen Dichtungsbahnen (PBD), bestehende Anforderungswerte, Erfahrungen, Prüfvorschriften, Normen und Richtlinien in der Schweiz und in den benachbarten Ländern.
- Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung: Identifikation der massgebenden Einflussfaktoren aufgrund bereits vorhandener Arbeiten auf diesem Gebiet und Ermittlung der erforderlichen Prüfungen für die Beurteilung des Einbaus von Brückenabdichtungssystemen an neuen Brücken und bei Instandsetzungen sowie des Zustands nach dem Einbau.
- Erarbeiten und Vorschlag eines Konzeptes zur in situ Erfassung der massgebenden Einflussfaktoren auf der Basis bestehender Konzepte und als Basis für weitere Schritte.

Stand der Technik
Das Vorgehen zur Ermittlung des aktuellen Standes der Technik wurde so angelegt, dass massgebliche Informationen vorwiegend mittels Umfragen ergänzt durch Literatur-Recherchen ermittelt wurden. Um den Vergleich der Daten zu ermöglichen, wurde eine Systematik des Abdichtungsaufbaus aufgrund der Funktion der einzelnen Schichten festgelegt.

Die im Inland erhobenen Daten wurden nach häufig verwendetem Haftvermittler (HV), PBD-Typ und Schutzschicht unterteilt. Daraus wurde ersichtlich, dass sich in der Schweiz parallel zwei HV Systeme eingebürgert haben: einerseits werden aufgrund von ökologischen Überlegungen Bitumenemulsionen verwendet, andererseits führten technische Probleme zur vermehrten Anwendung von Epoxid-Haftvermittlern. Bezüglich PBD-Typen stellte sich heraus, dass Dichtungsbahnen mit ataktischem Polypropylen (APP) alleine in keinem Kanton gebraucht werden, und dass die meisten Kantone eine Kombination von Styrol-Butadien-Styrol Block-Copolymer (SBS) und APP einsetzen. Bezüglich der Schutzschicht zeigte sich, dass am häufigsten Gussasphalt verwendet wird.

In den benachbarten Ländern kommen als Dichtungsschicht ein- oder zweilagige PBD vor. In Deutschland wird die Oberfläche der Betonbrücken immer mit Epoxid-Harz behandelt. Die Schutzschicht besteht bei der einschichtigen Bauweise aus Gussasphalt und bei der zweischichtigen aus Asphaltbeton . In Frankreich gibt es für Systeme mit PBD-Dichtungsschichten 3 Ausführungsweisen: einschichtige PBD, zweischichtige PBD oder die erste Schicht aus PBD und die zweite Schicht aus Gussasphalt. Alle Verfahren sind patentiert oder unterliegen einer speziellen Prüfung. In Italien werden viele Brücken mit vorgefertigten Balken gebaut, die durch Epoxid-Zementmörtel verklebt sind. Für die Abdichtung werden ein Bitumenvoranstrich und eine Schicht APP Bahnen eingesetzt. In Österreich hat sich die deutsche Bauweise eingebürgert. Hier wird aber für die Ausführung der Schutzschicht zwischen bituminöser Bauweise und Beton Bauweise unterschieden.

Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung
Zur Identifikation der massgebenden Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung wurde einerseits von den anzutreffenden Schäden und anderseits von den schon bekannten Einflussfaktoren ausgegangen. Die Daten wurden mittels Umfragen und Literatur-Recherchen erhoben.

Die auftretenden Schäden wurden tabellarisch zusammengefasst. Bei Bitumenhaftvermittler sind Verbundstörungen zwischen Abdichtung und Untergrund sowie die Blasenbildung die vorherrschende kritische Punkte. Bei Epoxid-Haftvermittler sind die Poren in der Epoxidschicht und die damit verbundene Blasenkeimbildung am heikelsten. Die Einflussfaktoren, wurden nach klimatische Einbaubedingungen, Haftvermittler, Dichtungsschicht und Schutzschicht geordnet.

Bei der Definition der massgebenden Einflussfaktoren, beschränkte sich diese Arbeit auf jene, die während der Ausführung der Abdichtung auf der Baustelle (in situ) vorhanden sind. Basierend auf Angaben in verschiedenen Normen wurden die Prüfverfahren und Anforderungen zur Beurteilung der massgebenden Einflussfaktoren festgelegt .

Nächste Schritte
Für das weitere Vorgehen wurden die massgebendsten Einflussfaktoren herausgegriffen und ein entsprechend aktualisiertes Programm im Sinne des Gesamtkonzeptes vorgeschlagen.

RÉSUMÉ

Ces derniers temps en Suisse, des dommages coûteux se sont produits sur des ponts, dommages en partie dus à des problèmes dans la couche d'étanchéité, et plus particulièrement en relation avec la mise en place de cette dernière. Ce travail qui fait partie d'un projet plus ample, réalisé sur mandat de l'OFROU, avait les buts suivants:

- Techniques actuelles : Techniques utilisées dans la construction d'étanchéité à base de bitume-polymère en Suisse et dans les pays voisins.
- Facteurs influençant l'apparition des dommages: Identification les facteurs d'influence décisifs sur la base des travaux existant dans ce domaine et évaluation des essais nécessaires pour l'appréciation de la qualité d'exécution des systèmes d'étanchéité des ponts lors de leur mise en place et après la mise en service sur les ouvrages neufs et lors de la réfection de systèmes existants
- Élaboration et proposition d'un concept pour la détermination in-situ des facteurs d'influence décisifs sur la base des concepts déjà existant.

Techniques actuelles
Pour identifier les techniques actuellement utilisées dans la construction des étanchéités en lés de bitume polymère (LBP), les informations nécessaires ont été recueillies soit à l'aide d'enquêtes, soit par recherche dans la littérature. Afin de permettre une comparaison des données, on a établi une classification systématique des structures des systèmes d'étanchéité sur la base de la fonction des différentes couches.

Les données recueillies en Suisse ont été subdivisées en fonction des enduits d'apprêt les plus fréquemment utilisés, du type de LBP et de la couche de protection. On a relevé que deux types de couches d'accrochage différentes se sont établies parallèlement en Suisse: Il s'agit là d'une part de l'émulsion bitumineuse, cela du fait de considérations écologiques, et d'autre part de la résine époxy dont l'emploi s'est développé suite aux problèmes techniques rencontrés avec les autres couches d'accrochage. Concernant les types de LBP, on a aussi constaté que dans aucun canton on n'utilise l'APP seul, mais que dans la plupart d'entre eux on a recours à une combinaison d'APP et de SBS. La couche de protection se compose dans la majorité des cas d'asphalte coulé.

Dans les pays voisins, on rencontre des systèmes d'étanchéité à une ou à deux couches de LBP. En Allemagne, la surface du béton est toujours traitée avec de la résine époxy, la couche de protection se compose d'asphalte coulé sur les systèmes à une couche de LBP et de béton bitumineux sur les systèmes à deux couches de LBP. En France, les systèmes utilisant les LBP sont de trois types: LBP monocouche, LBP bicouche ou encore une couche de LBP et une couche d'asphalte coulé. Tous ces systèmes sont brevetés ou sont soumis à une procédure d'agrément spéciale. En Italie, où de nombreux ponts sont construits avec des poutres préfabriquées reliées entre elles par du mortier époxy-ciment, les matériaux les plus fréquemment utilisés pour la couche d'étanchéité sont un enduit d'apprêt bitumineux et une couche de LBP à base d'APP. La méthode allemande s'est aussi établie en Autriche où, pour la couche de protection, on distingue une variante bitumineuse et une variante en béton.

Facteurs d'influence de l'apparition des dommages
Pour l'identification des facteurs importants dans l'apparition des dommages on est parti d'une part des dommages rencontrés et d'autre part des facteurs d'influence déjà connus. Les informations ont été recueillies soit par des enquêtes, soit par recherche dans la littérature.

Tous les types de désordres sont résumés dans des tableaux. Pour les enduits d'apprêt bitumineux, les points critiques prédominants sont la liaison entre le support en béton et la couche d'étanchéité ainsi que la formation de cloques. Sur les couches d'apprêt à base de résine époxy, l'apparition de pores dans la couche de résine qui constituent des amorces de cloques est le point le plus sensible. Tous ces facteurs d'influence ont été classés en fonction des subdivisions facteurs climatiques durant la mise en place, couche d'étanchéité et couche de protection.

Dans ce travail, on s'est limité à définir les facteurs d'influence apparaissant sur le chantier durant la réalisation de la couche d'étanchéité. A partir des différentes normes existantes, on a déterminé les essais et les performances ortance des différents facteurs d'influence déterminants.

Prochaine étape
Dans la suite de ce travail, on a sélectionné les facteurs d'influence les plus importants et on a établi un programme d'essai actualisé.

RIASSUNTO

Negli ultimi tempi in Svizzera si sono riscontrati nei ponti danni ingenti dovuti in gran parte a problemi nel sistema d'impermeabilizzazione ed in particolare durante la messa in opera. Il progetto esposto, é parte integrante di un concetto principale commissionato da ASTRA, avente i seguenti scopi:

- stato della tecnica: rapporto sull'applicazione di tecniche per sistemi d'impermeabilizzazione in uso in Svizzera e nei paesi limitrofi.
- fattori principali nell'insorgenza dei danni: identificazione dei fattori d'influsso principali decisivi sulla base di lavori già esistenti e definizione delle prove necessarie per la valutazione dell' impermeabilizzazione durante la messa in opera e dopo la messa in servizio del ponte, sia per costruzioni nuove, sia per quelle ripristinate.
- sviluppo e proposta di un concetto per il rilevamento in situ dei fattori d' influsso rilevanti sulla base di concetti esistenti e come punto di partenza per gli ulteriori modi di procedere.

Stato della tecnica
La procedura per la determinazione delle tecniche attualmente adottate ha fatto ricorso ad interviste completate da una ricerca bibliografica. Al fine di facilitare un paragone tra i dati, si è definito una sistematica della struttura d'impermeabilizzazione secondo la funzione del singolo strato.

Per i dati raccolti in Svizzera si è proceduto a una suddivisione basandosi sul tipo di materiale maggiormente impiegato nella realizzazione del legante (strato aderante), tipo di membrane bitume-polimero prefabbricate (MBPP) e strato di protezione. Dallo studio è emerso che in Svizzera si impiegano due differenti tipi di leganti: da una parte abbiamo l'emulsione bituminosa, sviluppatasi a seguito di considerazioni ecologiche, d'altra, la resina epossidica, sviluppatasi per sopperire a problemi tecnici. Per quanto concerne il tipo di MBPP, si è potuto accertare che nessun cantone impiega soltanto APP, ma la maggior parte di essi utilizza una combinazione tra APP e SBS. Lo strato di protezione è risultato composto nella maggior parte dei casi da asfalto fuso.

Nei paesi limitrofi si trovano strati impermeabili ad uno e/o a due strati di MBPP. In Germania, il supporto in calcestruzzo viene sempre trattato con resina epossidica; lo strato protettivo è composto di asfalto fuso nella costruzione ad uno strato e di asfalto cemento nella costruzione a due strati. Per quanto riguarda i sistemi a strati impermeabili con MBPP, in Francia vi sono tre modi di realizzazione: monostrato di MBPP, bistrato di MBPP oppure il bistrato il cui primo strato è di MBPP e il secondo di asfalto fuso. Tutti i procedimenti di costruzione sono oggetto di un'omologazione o sono sottoposti ad un esame speciale. In Italia parecchi ponti sono costruiti con travi prefabbricate raccordate con malta epossidica. I materiali più diffusi nella costruzione dello strato impermeabilizzante sono il primer bituminoso e uno strato di membrana tipo APP. In Austria si è diffusa la tecnica esecutiva tedesca; con la peculiarità nell' esecuzione dello strato protettivo dove si distinguono la costruzione bituminosa e cementizia.

Fattori d'influsso nell'insorgenza dei danni
Per l'identificazione dei fattori d'influsso nell'insorgenza dei danni, si è partiti, da una parte, dai danni riscontrati, dall'altra, dai fattori d'influsso già conosciuti. I dati sono stati ottenuti mediante interviste e ricerche bibliografiche.

Tutti i danni prodottisi sono stati ricapitolati in tabelle. Per quanto riguarda i leganti bituminosi, i punti critici più frequenti sono i seguenti: disturbi nell'ancoraggio tra l' impermeabilizzazione e il supporto cementizio e la formazione di bolle. Nel caso del legante epossidico, i punti delicati sono la presenza di pori nella resina epossidica e la relativa formazione di micro-bolle. Tutti i fattori d'influsso menzionati sono stati suddivisi nelle seguenti classi: fattori climatici durante la costruzione, legante, MBPP e strato di protezione.

Al fine di definire i fattori d'influsso rilevanti, ci si è limitati nell'ambito di questo progetto ai parametri presenti (rilevabili) sui cantieri (in situ) durante la realizzazione dell' impermeabilizzazione. Basandosi sulle indicazioni di differenti norme sono state definite le prove e le esigenze necessarie per valutare l'importanza dei fattori d'influsso rilevanti.

Ulteriore modo di procedere
Per quanto riguarda l'ulteriore modo di procedere, sono stati determinati i fattori d'influsso rilevanti più importanti ed é stato proposto un programma adeguatamente attualizzato.

SUMMARY

Lately expensive damages on bridges have been observed in Switzerland, partly due to problems with the waterproofing systems and, in particular, often related to their application. This work is part of a larger concept. It was conducted for ASTRA and had the following goals:

- Current techniques: assessment of the techniques utilized in the construction of waterproofing systems with polymer-bitumen waterproofing membranes (PBM) in Switzerland and in the surrounding countries.
- Relevant factors affecting damage appearance: identification of the relevant factors based on previous work done in this field and evaluation of the necessary tests in order to assess the waterproofing system during and after construction. This shall be done for both new constructions as well as rehabilitation.
- Development and proposal of a concept for the in situ evaluation of the important relevant influencing factors. This will be based on existing concepts and will serve as starting point for the next steps.

Current techniques
Both interviews and literature research were utilized to assess the current state of the art. In order to allow a comparison of the collected data, a common system of the construction of waterproofing systems based on the functions of the various layers was established.

The data collected in Switzerland were classified according to the most frequently used bonding agent and type of polymer bitumen waterproofing membranes (PBM). It could be concluded that two types of bonding agent are currently used in Switzerland: on one hand bitumen emulsions, for ecological reasons, and, on the other hand, epoxy resin, where the increased utilization is driven by technical dissatisfaction with other bonding agents. Furthermore, it was shown that atactic polypropylene (APP) alone is not used in any canton and that most cantons apply both styrene-butadiene-styrene co-polymer (SBS) and APP waterproofing membranes. Gussasphalt is the material mostly utilized to construct the protective layer.

In the neighboring countries the waterproofing layer is built with one or two layers of PBM. In Germany, the concrete surface is always treated with epoxy resin. The protective layer consists of Gussasphalt or asphalt concrete depending on the presence of one or two PBM layers. In France, three methods to build waterproof systems with PBM are common: one or two PBM layers, or the first layer of PBM and the second of Gussasphalt; all methods are patented or have to undergo a special test. In Italy, many bridges are constructed using pre-fabricated girders, which are bound together by epoxy cement mortar. Bitumen primer and one-layer APP are used for the waterproofing system. In Austria, the construction method is very similar to the German one. However in the construction of the protective layer there is a distinction between bituminous and concrete construction.

Relevant factors affecting damage appearance
To identify the important factors affecting the generation of damages two different ways were chosen: the first way had the damages as the starting point, the second way started from all influencing factors. The data were collected through interviews as well as literature research.

All damage types were summarized in tables. For bituminous bonding agents, connection problems between the sealing and the bridge-deck as well as the development of blisters are most critical. For epoxy-bonding agents the main issues are the presence of pores in the epoxy-layer and the resulting blister buds. The identified influencing factors were classified with respect to climatic parameters during construction, bonding agent, waterproofing layer and protective layer.

For the definition of the relevant influencing factors it was decided to focus on those, which are present during the actual construction (in situ). Based on information from various guidelines, testing methods of relevant influencing factors were chosen.

Next Steps
The most important influencing factors were chosen and an updated program presented.

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG 10

1.1 Grundlagen 10
1.2 Zielsetzung 11
1.3 Umsetzung in die Praxis 12

2 VORGEHEN 13

2.1 Umfragen 13
2.2 Normen-, Literaturrecherchen 13
2.3 Systematik des Abdichtungsaufbaus 13

3 STAND DER TECHNIK 17

3.1 Inland 17
3.1.1 Haftvermittler (HV) 17
3.1.2 Polymerbitumen-Dichtungsbahnen-Typ (PBD-Typ) 18
3.1.3 Schutzschicht 19
3.2 Ausland 20
3.2.1 Deutschland 21
3.2.2 Frankreich 21
3.2.3 Italien 22
3.2.4 Österreich 23

4 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE SCHADENSENTWICKLUNG 24

4.1 Vorgehen 24
4.2 Schäden und Mängel 24
4.3 Bekannte Einflussfaktoren 28
4.4 Liste der möglicher Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung 29
4.5 Massgebende Einflussfaktoren 30
4.6 Prüfungen 32
4.6.1 Systematik 32
4.6.2 Klimatische Einbaubedigungen 34
4.6.3 Betonuntergrund 35
4.6.4 E-HV: 37
4.6.5 Kratzspachtelung: 39
4.6.6 B-HV: 39
4.6.7 PBD: 40
4.7 Überarbeitetes Gesamtkonzept (Nächste Schritte) 43
4.7.1 Hauptelemente 43
4.7.2 Konzeptvorschlag zur Untersuchung der massgebenden Einflussfaktoren 43
4.7.3 Methodische Ansätze zur Untersuchung der ausgewählten Einflussfaktoren 46

5 SCHLUSSMERKUNGEN 47

6 DANK 49

7 VERZEICHNISSE 50

7.1 Normen, Richtlinien und Empfehlungen 50
7.2 Literatur 52
7.3 Internet Adressen 52

8 ANHÄNGE 53

8.1 Anhang 1: Einflussfaktoren 54
8.2 Anhang 2: Schadenfälle / Erfahrungen 71
8.3 Anhang 3: Schäden durch äussere bzw. innere Einflüsse 73

TABELLEN UND ABBILDUNGEN

Tabelle 1.1: Faktoren für Schäden bei Brücken 11
Tabelle 2.1: Unterschiedliche Bezeichnung für PBD 13
Tabelle 2.2: Abdichtungsaufbau, Teilsysteme 15
Tabelle 2.3: Klassierung SIA D 0147 (kürzere Benennung) 16
Tabelle 3.1: Unterteilung nach häufig verwendeten HV-Typen im Inland 17
Tabelle 3.2: Unterteilung nach PBD-Typ 18
Tabelle 3.3: Unterteilung nach Haftvermittler-Typ und PBD-Typ. 19
Tabelle 3.4: Dichtungsschichtaufbau-Systematik, angepasst für Ausland 21
Tabelle 4.1: Definitionen der Schaden- und Mängelarten 24
Tabelle 4.2: Schadensart: Verbundmängel. Unterteilung nach Schicht (vgl. Abbildung 2.2) und Angaben bzgl Ursachen und Einflüsse. 25
Tabelle 4.3: Schadensart: Blasenkeime. 26
Tabelle 4.4: Schadensart: Blasen. Unterteilung nach Schicht (vgl. Abbildung 2.2) und Angaben bzgl. Ursachen und Einflüsse. 26
Tabelle 4.5: Schäden bei Epoxidharzarbeiten 27
Tabelle 4.6: Schadenentstehung nach häufig verwendetem HV- und PBD-Typ, aus Umfrage 27
Tabelle 4.7: Tabellarische Auflistung der Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung 29
Tabelle 4.8: Massgebende Einflussfaktoren 31
Tabelle 4.9: Klimatischer Einflussfaktoren 34
Tabelle 4.10: Prüfung von Einflussfaktoren im Beton 35
Tabelle 4.11: Prüfung von Einflussfaktoren im HV 37
Tabelle 4.12: Prüfung von Einflussfaktoren in der Kratzspachtelung 39
Tabelle 4.13: Prüfung von Einflussfaktoren im B-HV 39
Tabelle 4.14 : Prüfung von Einflussfaktoren in den PBD 40

Abbildung 2.1: Prinzipskizze der Brückenbelag nach [N5a] nach [D1] 14
Abbildung 2.2: Veranschaulichung der 4-Schichten-Systematik 15
Abbildung 3.1: Schematische Darstellung der Haftvermittler-Typen. 17
Abbildung 3.2: Prinzipskizze der sogenannten „einschichtigen" bzw. „zweischichtigen" Bauweise. 20
Abbildung 3.3: Abdichtungssystem in vorfabrizierter Bauweise 23
*Abbildung 4.1:*Schematische Darstellung von Prüfungen nach [D1]. 33

ABKÜRZUNGEN

AB	**A**sphalt**b**eton
APP	**A**taktisches **P**oly**p**ropylen
BE	**B**itumen-**E**mulsion
B-HV	**B**itumen-**H**aft**v**ermittler
BTD	**B**ituminöse **T**rag-**D**eckschichten (Österreich)
BV	**B**itumen-**V**oranstrich
E-HV	**E**poxid-**H**aft**v**ermittler
EP	**Ep**oxidharz
EW	**E**inzel**w**ert
FLK	**Fl**üssig**k**unststoff
GA	**G**uss**a**sphalt
GEV	**G**iess- und **E**inwalzen**v**erfahren
HRA	**H**ot-**R**olled-**A**sphalt
HTM	**H**eiss**m**isch**t**ragschicht
HV	**H**aft**v**ermittler
MW	**M**ittel**w**ert
PBD	**P**olymer**b**itumen-**D**ichtungsbahn
PU	**P**oly**u**rethan
RL	**R**icht**l**inien
SBS	**S**tyrol-**B**utadien-**S**tyrol Block-Copolymer
SMA	**S**plitt**m**astix**a**sphalt

1 EINLEITUNG

1.1 Grundlagen

In letzter Zeit sind in der Schweiz gravierende Schäden auf Brücken aufgetreten, die teilweise auf Problemen mit Abdichtungssystemen, insbesondere deren Applikation, beruhen [L12]. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass Abdichtungssysteme oft unter extremen Bedingungen (Klima und Zustand des Betons) eingebaut werden müssen, wobei sich die Empfindlichkeit der verwendeten Materialien und Systeme gegenüber solchen Praxisbedingungen ungünstig auswirken kann.

Der Einfluss der verschiedenen Faktoren auf die Schadensentwicklung ist relativ komplex und trotz intensiver Anstrengungen im In- und Ausland, nicht zuletzt auch wegen der laufend angebotenen Neuentwicklungen, nicht hinreichend bekannt. Es ist daher notwendig, sich der Problematik systematisch anzunehmen und nach einer aktualisierten Sichtung des Standes der Technik, Grundlagen zur Erfassung massgebender Einflussfaktoren bei Brückenabdichtungssystemen mit Polymerbitumen-Dichtungsbahnen zu erarbeiten. Diese Grundlagen sollen als Basis für eine praxisnahe Bewertung neuer bzw. bestehender Systeme dienen und gleichzeitig dem unerwarteten Auftreten, folgenschwerer Schäden entgegenwirken. Dabei darf sich ein zweckmässiges Vorgehen nicht nur auf Laboruntersuchungen beschränken, sondern muss sich vor allem auch auf die Zustandserfassung und Beobachtungen am Objekt stützen.

Die Abteilung Strassenbau/Abdichtungen der EMPA verfügt auf dem Gebiet von Abdichtungssystemen mit Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (PBD) über langjährige Erfahrung. Diese wurde in zahlreichen Forschungsaufträgen, privaten Aufträgen sowie Schadensuntersuchungen, aufgebaut [L1-L9] und ist durch intensive Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien belegt.

Gegenwärtig wird die Schweizer Norm SN 640 490 b *Brückenbeläge und -abdichtungen, Konzeption, Anforderungen, Ausführung* überarbeitet [N5]. Gleichzeitig befindet sich infolge Europäischer Normierung auch die Norm SIA 281 *Bitumen- und Polymerbitumen-Dichtungsbahnen, Anforderungswerte und Materialprüfung* [N1] in Revision. Die in diesem Zusammenhang stattfindenden Diskussionen sowie das an der SIA Tagung von April 1998 in Olten [N4] gezeigte Interesse an diesem Problemkreis bestätigen, dass die Thematik äusserst aktuell ist und noch viele dringliche Fragen zur Abdichtungsproblematik auf Brücken offen sind.

Entsprechend haben sowohl Kantone als auch PBD-Fabrikanten der EMPA signalisiert, dass hinsichtlich der Behandlung von Brückenabdichtungssystemen ein dringender Forschungsbedarf besteht. Zwar wurden und werden von der EMPA punktuell mit eigenen Mitteln verschiedene für die Öffentlichkeit allgemein zugängliche praxisbezogene Forschungsarbeiten durchgeführt, die dazu dienen, gewisse Grundlagen zur Optimierung von Applikationsverfahren bei PBD-Abdichtungssystemen zu erarbeiten [L10, L11], doch konnte bis anhin auf diesem Gebiet keine Forschungs- und Entwicklungstätigkeit nach einem übergeordneten Gesamtkonzept durchgeführt werden.

Dieses Projekt stellt nun den vorbereitenden *Schritt 1* im Rahmen eines solchen übergeordneten Gesamtkonzeptes dar, welches der praxisnahen Erfassung massgebender Einflussfaktoren bei Brückenabdichtungssystemen mit PBD dienen soll (ohne Details und Randanschlüsse). Das Gesamtkonzept, ist in Kap. 4.7 aufgeführt, nachdem es aufgrund der Ergebnisse des vorliegenden Bericht überarbeitet und angepasst wurde.

Bei der Beurteilung von Schäden sind bei Brücken grundsätzlich folgende Faktoren in Betracht zu ziehen (*Tabelle 1.1*):

• Feuchtigkeit	o Luftfeuchte o Taupunktabstand o Betonfeuchtigkeit
• Temperatur	o Lufttemperatur o Bauwerktemperatur o Temperaturen verschiedener Materialkomponenten des Abdichtungssystems o Belagstemperatur während des Einbaus
• Bauwerk, Untergrund	o Rauhigkeit der Oberfläche o Unebenheit des Undergrunds o Qualität (z.B. Beton, Korngrösse, Porosität, usw.) o Zustand (Alter, usw.)
• Oberflächenbehandlung	o Voranstrich o Versiegelung o Schleuderstrahlung o Reprofilierung
• Abdichtung	o Systemtyp (PBD / Kunststoffe) o Qualität der PBD (Aufbau, APP / SBS, usw.) o Übergänge, Randbereiche
• Belag	o Belagstyp (GA, Mastix, SMA)
• Menschliche Fehler	o Planung o Ausführung o Kontrolle

Tabelle 1.1: Faktoren für Schäden bei Brücken

Beispielsweise spielt die Porosität des Betons eine erhebliche Rolle für den Haftverbund bzw. die Wirkung des Voranstriches. Der Voranstrich muss nicht nur mit dem Beton, sondern auch chemisch und physikalisch mit der PBD verträglich sein [L13]. Die thermische Beständigkeit der PBD beim Gussasphalteinbau hängt von der Temperatur des GA ab [N2].

1.2 Zielsetzung

Das Projekt umfasst die Durchführung von *Schritt 1 (Stand der Technik)* des übergeordneten Gesamtkonzepts. Es handelt sich um eine praxisnahe Abklärung der massgebenden Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung in Brückenabdichtungssystemen mit PBD. Das Projekt ist ausdrücklich begrenzt auf Systeme mit PBD und behandelt keine Anschlüsse und Detailkonstruktionen. Für die weiteren Schritte wird die Anzahl der Einflussfaktoren aufgrund der Resultate des ersten Schrittes auf wesentliche Einflussfaktoren begrenzt.

Schritt 1 des Gesamtkonzeptes enthält im Detail folgende Zielsetzung:

- Sachstandbericht über bestehende Anforderungswerte, Erfahrungen, Prüfvorschriften, Normen und Richtlinien im In- und Ausland (Behörden, Verbände, Institute, Firmen und Systemanbieter)
- Identifikation der massgebenden Einflussfaktoren aufgrund bereits vorhandener Arbeiten auf diesem Gebiet
- Ermittlung der erforderlichen bzw. zu evaluierenden Prüfungen einschliesslich Vorschlag eines detaillierten Versuchsprogramms für die Beurteilung des Einbaus von Brückenabdichtungssystemen an neuen Brücken und bei Instandsetzungen sowie des Zustands nach dem Einbau
- Erarbeiten und Vorschlag eines Konzeptes zur in situ Erfassung der massgebenden Einflussfaktoren auf Basis bestehender Konzepte und als Basis für die weiteren Schritte.

- Zeitpunkt und Umfang des Auftrages zum weiteren Vorgehen *gemäss Schritt 2, 3, 4 und 5* (vgl. Kap.4.7) des übergeordneten Gesamtkonzeptes werden nach Rücksprache mit dem Begleitgremium des ASTRA festgesetzt. Dies gilt auch bezüglich des Problemkreises "Anschlüsse und Details".

1.3 Umsetzung in die Praxis

Die Umsetzung des Projektes bringt für die Praxis folgenden Nutzen:

- Grundlagen zur Vermeidung von Schäden
- Verbesserte Beurteilung von Schäden
- Definition und Erfassung von Einbaukriterien für Brückenabdichtungen
- Vereinheitlichung der Informationen zu Einbau und Instandsetzungsprojekten
- Basis zum Festlegen von Kriterien und Anforderungen bzgl. Systemqualität
- Reduktion der technischen Vielfalt
- Verbesserter Informations- und Erfahrungsaustausch mit ausländischen Behörden, Prüfinstituten, Universitäten und Normierungsgremien.

2 VORGEHEN

2.1 Umfragen

Die Informationen zum aktuellen Standes der Technik wurden vorwiegend mittels Umfragen ergänzt durch Literaturrecherchen gewonnen. Für die Umfragen wurde zunächst eine Liste von Fragen vorbereitet und an die Befragten übermittelt. Danach wurden persönliche Besprechungen durchgeführt. Diese Vorgehensweise drängte sich auf, um die Beiträge der einzelnen Befragten möglichst effizient ins Projekt zu integrieren. Die Daten wurden sowohl in der Schweiz als auch den Nachbarländern Deutschland, Österreich, Frankreich, und Italien erhoben.

In der Schweiz war die Mehrheit der kantonalen Tiefbauämter (20 von 26 Kantonen) in die Umfrage involviert.

Im Ausland befragt wurde die BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin) in Deutschland vertreten durch Herrn Dr. Vater, die Technische Universität Graz in Österreich, vertreten durch Herrn Prof. Dr. Eustacchio und die SETRA (Service d' Études Techniques des Routes et Autoroutes, Paris) in Frankreich, vertreten durch Herrn M. Fragnet. In Italien wurden Herr Ing. Aganetti der Index S.p.A. und Mitglied des Gremiums CEN/TC254/SC1/WG5 sowie Herr Ing. Rotolo der Imper S.p.A. einbezogen.

2.2 Normen-, Literaturrecherchen

Neben den Umfragen wurden die in Kap. 6.1 und 6.2 zitierten Normen sowie Publikationen betreffend Abdichtungssysteme mit PBD berücksichtigt.
Die massgebenden Einflussfaktoren wurden dann aufgrund der Umfragen, sowie der Normen- und Literaturrecherche ermittelt und bewertet.

2.3 Systematik des Abdichtungsaufbaus

Bei der Umfrage, Norm- und Literaturrecherche wurde festgestellt, dass regional Unterschiede im Aufbau, in der Bauweise und in den Bezeichnungen existieren. In der Schweiz besteht, dank der vorhandenen Normen, trotz der 4 verschiedenen Sprachen und Kulturen zwar eine gewisse Homogenität. Betrachtet man aber den deutsprachigen Raum allein, stellt man fest, dass es für den gleichen funktionellen Begriff in Österreich, Deutschland und in den deutschsprachigen Schweizer Kantonen unterschiedliche Fachausdrücke gibt, wie *Tabelle 2.1* verdeutlicht. Um eine gemeinsame Verständigungsbasis zu schaffen und die Daten untereinander vergleichen zu können, wurde mit Blick auf die laufenden Normierungsarbeiten in der Schweiz der Versuch unternommen, Vorschläge für eine einheitliche Verständigung über den Aufbau von Brückenabdichtungssystemen mit PBD auszuarbeiten.

CH (D)	Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (PBD)
D	Bitumen-Schweissbahnen
A	Polymerbitumenbeschichtete Bahnen
CH (F)	Lés d' étanchéité à base de bitume polymère (LBP)
F	Lés d' étanchéité par feuilles préfabriquées
I	Membrane bitume-polimero prefabbricate

Tabelle 2.1: Unterschiedliche Bezeichnung für PBD

Erstes Ziel der Analyse der Umfrageergebnisse war also die Entwicklung einheitlicher Bezeichnungen und einer einheitlichen funktionellen Systematik zum Aufbau von Brückenabdichtungssystemen. Die hier vorgeschlagene Systematik ist als Vereinfachung der Wirklichkeit zu verstehen, um eventuelle Unterschiede (in Aufbau und Bauweise) einfach vergleichen zu können. Die Systematik des Abdichtungsaufbaus muss die Struktur und die

Funktion des wirklichen Systems wiedergeben und demzufolge eine funktionelle Klassierung erlauben.

Die Systematik basiert auf der Prinzipskizze in [D1] und [N5a].

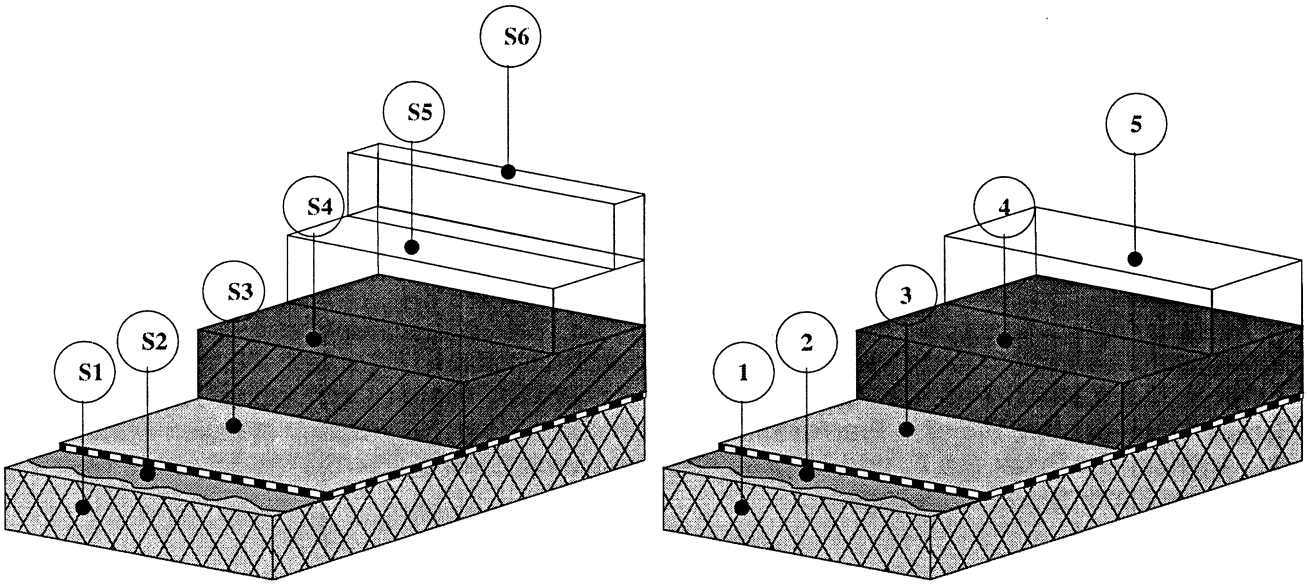

Abbildung 2.1: Prinzipskizze der Brückenbeläge nach [N5a] (links) und nach [D1] (rechts)

S1: Untergrund	1: Untergrund
S2: Haftvermittler	2: Haftvermittler
S3: Dichtungsschicht	3: Dichtungsschicht
S4: Schutzschicht	4: Schutzschicht
S5: Ausgleichsschicht	5: Deckschicht
S6: Deckschicht	

Der Begriff „Brückenbelag" ist im Entwurf der Schweizer Norm [N5a] und in den deutschen Richtlinien [D1] unterschiedlich definiert. Nach [N5a] besteht der Brückenbelag aus einer Deckschicht (S6, vgl. *Abbildung 2.1*) und gegebenenfalls einer Ausgleichsschicht (S5, vgl. *Abbildung 2.1*) in Asphaltbauweise oder aus einem Betonbelag. Nach [D1] besteht der Brückenbelag im Fahrbahnbereich aus der Abdichtung (2, 3, 4, vgl. *Abbildung 2.1*; die Abdichtung setz sich zusammen aus der Behandlung der Betonoberfläche, der Dichtungs- und der Schutzschicht. Die Behandlung der Betonoberfläche ist das Auftragen einer Grundierung, ggf. einer Versiegelung oder einer Kratzspachtelung auf die vorbereitete Betonoberfläche.) und der Deckschicht (5, vgl. *Abbildung 2.1*).

Hier wird der Brückenbelag primär in Abdichtung und Deckschicht unterteilt. Die Deckschicht (5) nach [D1] oder Ausgleichsschicht (S5) und Deckschicht (S6) nach [N5a] werden im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt. Das Abdichtungssystem selbst besteht aus Dichtungsschicht (3) und Schutzschicht (4). Darunter liegen Haftvermittler (2) und Untergrund (1).
Die Systematik des Abdichtungsaufbaus besteht aus 4 Teilsystemen, wobei jedes Teilsystem eine Schicht darstellt. Dabei besteht im Sinne von [N5a] eine Schicht aus einer oder mehreren Lagen aus gleichen Baustoffen mit gleicher Funktion. Diese Teilsysteme könnten auch als funktionale Einheiten angesehen werden (*Abbildung 2.2, Tabelle 2.2*)

Teilsystem-nummer	name	Beispiele
4	Schutzschicht	GA, HTM, AB, SMA
3	Dichtungsschicht	APP, SBS
2	Haftvermittler	Bitumenemulsionen, Voranstrich, Versiegelung
1	Untergrund	Beton, Stahl, Holz

Tabelle 2.2: Abdichtungsaufbau, Teilsysteme

Die Schutzschicht (Teilsystemnummer 4, vgl. *Abbildung 2.2*) schützt die Dichtungsschicht gegen alle mögliche Arten von Schäden (z.B. Sonnenstrahlung, Verletzungen der PBD, mechanische Beschädigungen durch direktes Befahren, usw.). Sie kann aus einer oder mehreren Schichten desselben Materials bestehen (z.B. 2 oder 3 GA Schichten).

Die Dichtungsschicht (Teilsystemnummer 3, vgl. *Abbildung 2.2*) besteht aus der PBD.

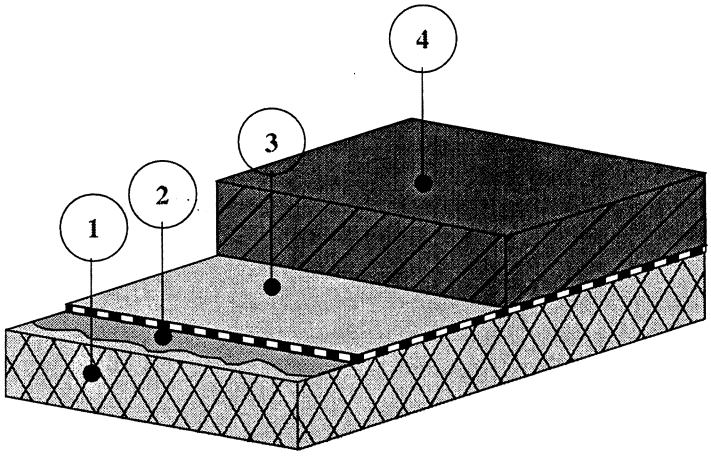

Abbildung 2.2: Veranschaulichung der 4-Schichten-Systematik
Teilsystem 1: Untergrund
Teilsystem 2: Haftvermittler
Teilsystem 3: Dichtungsschicht
Teilsystem 4: Schutzschicht

Der Haftvermittler (Teilsystemnummer 2, vgl. *Abbildung 2.2*) ist jene Zwischenschicht, die erforderlich ist, um den Verbund zwischen Dichtungsbahn und Unterlage oder zwischen bituminösen Schichten zu gewährleisten, allenfalls dem Dampfdruck aus dem Betonuntergrund entgegenzuwirken und kleine lokale Unebenheiten auszugleichen [N4].

Nach [D1] und [L20] sind folgende Definitionen zweckmässig: Die Grundierung besteht aus Reaktionsharz (lösemittelfreies Epoxidharz) und dient der weitgehenden Verfüllung der Poren in der Betonoberfläche (Oberfläche des Betonuntergrundes). Sie dient mit eingestreutem Quarzsand zur Herstellung eines dauerhaften Verbundes mit der nachfolgenden Schicht.
Die Kratzspachtelung besteht aus Reaktionsharzmörtel (lösungsmittelfreies Epoxidharz mit Sandfüllung). Sie dient dem Ausgleich zu grosser Rauhtiefen. Sie kann auf frisch aufgetragenes Reaktionsharz oder auf eine erhärtete Grundierung aufgebracht werden.
Die Versiegelung ist zweischichtig und besteht aus einer Grundierung und einer Versiegelungsschicht auf Epoxidbasis. Die Versiegelung ergibt einen porenverschliessenden und zusammenhängenden Film und dient als Haftvermittler für PBD. [N10].

Nachstehend wird die gleiche Klassierung wie in [N4] verwendet; aus praktischen Gründen wird aber eine kürzere Benennung eingeführt (*Tabelle 2.3*).

SIA D 0147	➔	kürzere Benennung
bituminöse, lösungsmittelhaltige Haftvermittler (Lackbitumen, Primer)	➔	Voranstrich (Bitumenvoranstrich)
Bitumenemulsionen	➔	Bitumenemulsionen
Epoxidversiegelungen ("Bundessiegel", "Hessensiegel")	➔	Versiegelung

Tabelle 2.3: Klassierung SIA D 0147 (kürzere Benennung)

Im Rahmen dieser Arbeit, wurde die Definition der Versiegelung nach [N4] noch erweitert, indem alle Systemelemente, die Stoffe auf der Basis von Epoxidharz umfassen, ebenfalls darunter eingegliedert wurden. Es folgt daraus eine weitere Annahme: zum Epoxid-Haftvermittler (E-HV) gehören auch Grundierung und Kratzspachtelung.

Der Untergrund (Teilsystemnummer 1, vgl. *Abbildung 2.2*) entspricht dem Beton der Fahrbahnplatte, welcher ein tragendes Element mit einer bestimmten Festigkeit und Steifigkeit ist, auf den das Abdichtungssystem aufgebaut wird.

Der Untergrund kann grundsätzlich auch aus Stahl oder Holz bestehen. Im Rahmen dieses Projektes wurden aber ausschliesslich Betonbrücken berücksichtigt. Es gilt also folgende Annahme: der Untergrund besteht nur aus Beton (einschliesslich Reprofilierung und Ausgleich). Obwohl Reprofilierung und Ausgleich nicht aus rein zementösen Stoffen bestehen, erfüllen sie dieselbe Aufgabe, indem beide zur Bauteiloberfläche gehören, auf welche das Abdichtungssystem aufgebaut wird.

3 STAND DER TECHNIK

3.1 Inland

Die Umfrageergebnisse wurden nach der 4-Schichten-Systematik (*Abbildung 2.2*) analysiert.

3.1.1 Haftvermittler (HV) (Schicht **2**, vgl. *Abbildung 2.2*)

Zweck der Unterteilung nach Haftvermittler (HV) war es, ein sinnvolles Kriterium zu finden, um die gebrauchten Systeme nach dem angewendetem HV und PBD-Typ einzuteilen. Daraus ergibt sich, dass grundsätzlich 3 Typen von Haftvermittlern angewendet werden:

- Bitumenemulsionen (BE)
- Bitumenvoranstrich (BV)
- Epoxid-Haftvermittler (E-HV)

Prinzipiell werden die Haftvermittler in zwei Gruppen unterteilt: die Bitumenhaftvermittler (B-HV) und die Epoxidhaftvermittler (E-HV).

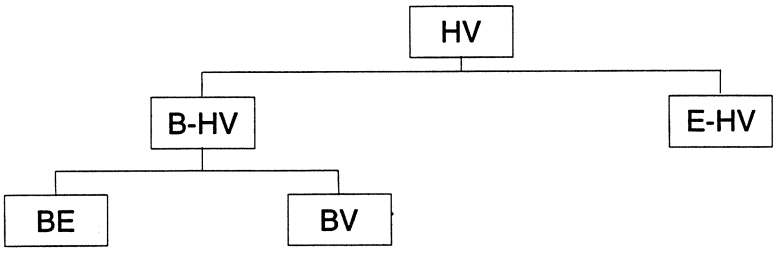

Abbildung 3.1: Schematische Darstellung der Haftvermittler-Typen basierend auf [N4].

Es gibt auch Kantone, die 2 Haftvermittlertypen in gleichem Ausmasse verwenden. Zusätzlich sind also auch Kombinationen von Haftvermittlertypen miteinzubeziehen, d.h.

- E-HV und Bitumenvoranstrich (E-HV u. BV)
- Bitumenvoranstrich und Bitumenemulsionen (BV u. BE)

Die Daten der Umfragen führten zu einer Klassenunterteilung (*Tabelle 3.1*). Dabei wurden die Klassengrenzen nach dem im jeweiligen Kanton am meisten verwendeten Haftvermittlertyp festgelegt (weniger häufig gebrauchte Haftvermittlertypen wurden also nicht berücksichtigt). Nur wenn mehrere Haftvermittlertypen in ungefähr gleichem Ausmasse eingesetzt wurden, wurden die entsprechenden Kantone den kombinierten Klassen (BE u. BV oder E-HV u. BV) zugeordnet.

Haftvermittlertyp		Kantone	
		Anzahl	[%]
Bitumenvoranstrich	(BV)	6	30%
Bitumenemulsionen	(BE)	5	25%
Bitumenemulsionen u. Bitumenvoranstrich	(BE u. BV)	3	15%
Epoxid-Haftvermittler	(E-HV)	3	15%
Epoxid-Haftvermittler u. Bitumenvoranstrich	(E-HV u. BV)	2	10%
Kein HV	-	1	5%
Σ		20	100%

Tabelle 3.1: Unterteilung nach häufig verwendeten HV-Typen im Inland

Aus *Tabelle 3.1* geht hervor, dass eine gleichmässige Aufteilung unter den verschiedenen Systeme auf die Kantone besteht; Bitumenvoranstrich (BV) wird in den meisten Kantonen eingesetzt.

In den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts begann in der Schweiz aufgrund des Umweltschutzes die Diskussion um lösungsmittelfreie Bitumenhaftvermittler (Emulsionen), da allein bei Brückenabdichtungen durch die Voranstriche auf Lackbitumenbasis jährlich doch etwa 20 Tonnen Lösungsmittel in die Umwelt eingebracht wurden. Die Entwicklung von anwendungstauglichen Bitumenemulsionen (BE) brauchte aber ihre Zeit, Emulsionen werden erst in letzter Zeit in grösserem Stil angewendet.

Ebenfalls in den 80er Jahren wurde im deutschen Bundesland Hessen nach unbefriedigenden Erfahrungen mit Bitumenvoranstrich (BV) das System mit Haftvermittler aus Epoxidharz (E-HV) entwickelt. In der Schweiz wird dieses System erst seit wenigen Jahren in nennenswertem Umfang eingebaut [N4].

Das gewählte Vorgehen, die eingesetzten Systeme nach Haftvermittler (HV) zu unterteilen, hat zu Umfrageresultaten geführt, die eine klare Schlussfolgerung zulassen. Als Folge ökologischer Optimierung entwickelten sich einerseits die Bitumenemulsionen (BE) anderseits wurden nach unbefriedigenden Erfahrungen mit dem Voranstrichsystem (BV) die Epoxid-Haftvermittler (E-HV) entwickelt. Entsprechend stecken einige Kantone in einer Umstellungsphase, so dass für verschiedene Bauwerke je nach Betrachtungswinkel (ökologische oder technische Optimierung) unterschiedliche HV eingesetzt werden. So lässt sich beobachten, dass für Bauwerke, die für den Verkehr wichtig und wertvoll sind, eine Tendenz zur Umstellung auf E-HV besteht. Eine geringere Beeinträchtigung des Verkehrs und des Bauablaufs ist ein weiterer Grund, weshalb E-HV in gewissen Situationen bevorzugt wird.

3.1.2 Polymerbitumen-Dichtungsbahnen-Typ (PBD-Typ) (Schicht 3, vgl. *Abbildung 2.2*)

Die am meisten verwendeten Polymere bei PBD sind APP (ataktisches Polypropylen) und SBS (Styrol-Butadien-Styrol Block-Copolymer). Aufgrund ihrer Verschiedenheit ist es zweckmässig neben dem Haftvermittler auch nach dem PBD-Typ zu unterscheiden. Zunächst werden gemäss *Tabelle 3.2* die Daten nach dem meist gebrauchten PBD-Typ unterteilt (SBS, APP). Werden zwei PBD-Typen im gleichen Ausmasse gebraucht, so werden sie in *Tabelle 3.2* als Kombination definiert und wie folgt bezeichnet: SBS u. APP. Die in Abschnitt 3.1.1. formulierten Erläuterungen zur Klassenunterteilung und Einteilung der Kantone gelten auch hier. „Ohne Verbund" bezieht sich auf ein sogenanntes „schwimmendes System".

PBD-Typ	Kantone	
	Anzahl	[%]
SBS u. APP	13	65%
SBS (Styrol Butadien Styrol)	4	20%
APP (ataktisches Polypropylen)	0	0%
ohne Verbund	1	5%
keine Angabe	2	10%
Σ	20	100%

Tabelle 3.2: Unterteilung nach PBD-Typ

Aus *Tabelle 3.2* geht hervor, dass APP alleine in keinem Kanton gebraucht wird und dass die meisten Kantone eine Kombination von SBS und APP verwenden.

In *Tabelle 3.3* wurde eine Kombination der vorgestellten Klassierung nach Haftvermittler-Typ und PBD-Typ vorgenommen. Auch hier gelten die vorher erwähnten Kriterien der Klassenabgrenzung. Entsprechend resultieren daraus folgende neun Kombinationen von Systemen.

Haftvermittlertyp		PBD-Typ	Kantone Anzahl	[%]
Bitumen	Voranstrich (BV)	APP u. SBS	5	25%
	Voranstrich (BV)	SBS	1	5%
	Bit'emulsionen (BE)	APP u. SBS	5	25%
	Bit'emulsionen u. Voranstrich (BE u. BV)	APP u. SBS	1	5%
	Bit'emulsionen u. Voranstrich (BE u. BV)	SBS	1	5%
	Versiegelung u. Voranstrich (E-HV u. BV)	SBS	1	5%
Epoxid	Versiegelung (E-HV)	APP u. SBS	2	10%
	Versiegelung (E-HV)	SBS	1	5%
ohne Verbund			1	5%
keine Angabe			2	10%
Σ			20	100%

Tabelle 3.3: Unterteilung nach Haftvermittler-Typ und PBD-Typ.

Offenbar verwenden mehr als die Hälfte der befragten Kantone folgende Systemkombinationen:

- Bitumenemulsionen (BE) mit APP und SBS
- Voranstrich (BV) mit APP und SBS.

Aus der Befragung der Kantone geht hervor, dass ein wichtiges Kriterium zur Wahl eines Brückenabdichtungssystems, die unmittelbare Nähe der Lieferanten oder der Produzenten eines bestimmten Produkts oder Systems ist. Eine solche Nähe reduziert nicht nur die Transportkosten, sondern ermöglicht ebenfalls einen einfachen Kontakt zwischen Lieferant und Kunden.

3.1.3 **Schutzschicht** (Schicht **4** , vgl. *Abbildung 2.2*)

Gussasphalt (GA) hat sich sowohl als Abdichtung als auch als Belag in allen Systemen als gut geeignet erwiesen. Insbesondere haben sich GA- und Hot-Rolled-Asphalt -Beläge auch auf den geklebten PBD und Kunststoff-Vollverbund-Abdichtungen bestens bewährt. Allerdings ist Hot-Rolled-Asphalt (HRA) nicht bedenkenlos als Abdichtung anzuwenden [L12].

Auch aus der Umfrage der Kantone geht hervor, dass Gussasphalt (GA) das am häufigsten angewendete Material ist.

3.2 Ausland

Im Ausland kommen in der Bauweise der Dichtungsschicht (Schicht 3) ein- oder zweilagige Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (PBD) vor; diese zwei Bauweisen werden „einschichtig" bzw. „zweischichtig" genannt (*Abbildung 3.2*).

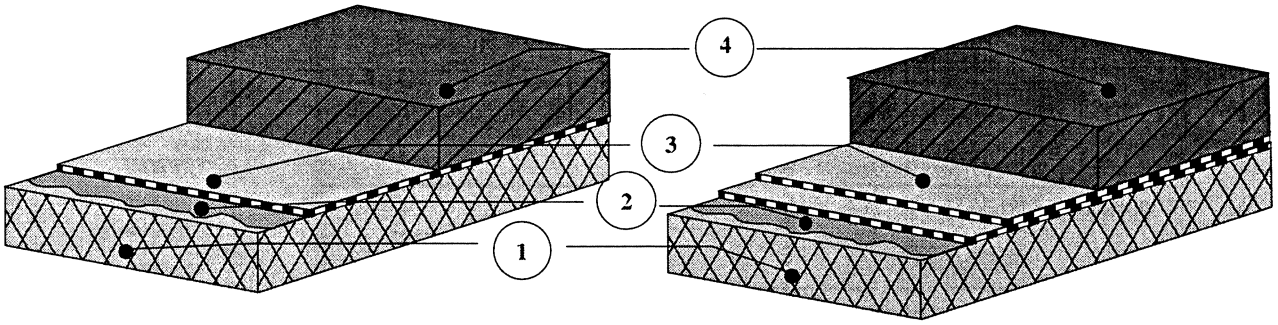

Abbildung 3.2: Prinzipskizze der sogenannten „einschichtigen" bzw. „zweischichtigen" Bauweise
Teilsystem 1 : Untergrund
Teilsystem 2 : Haftvermittler
Teilsystem 3 : Dichtungsschicht: einschichtig : 1 Lage PBD
zweischitig : 2 Lagen PBD
Teilsystem 4 : Deckschicht

Aufgrund der im Ausland üblichen Bauweisen wird die unter Punkt 2.3 (*Abbildung 2.2*) vorgestellte Systematik entsprechend erweitert und angepasst. Der Unterschied in der Bauweise ist in der Dichtungsschicht (3) zu finden, die aus ein- bzw. zweischichtigen Bahnen besteht. Die zweischichtige Bauweise kann nach [D2] weiter unterteilt werden, je nach Aufbau der ersten PBD Lage, die im Giess- und Einwalzverfahren (GEV) oder als Schweissbahn (Flammverfahren) auf die behandelte Betonoberfläche aufgebracht wird.

Die nachstehende *Tabelle 3.4* vermittelt einen Überblick über die möglichen Bauweisen in den Nachbarländern und erlaubt einen Vergleich der verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten. In der Tabelle ist das Nachbarland in Spalte 1 aufgeführt und in Spalten 2 und 3 sind unterschiedliche einschichtige Bauweisen wiedergegeben; in den Spalten 4 bis 6 findet man die zweischichtige Bauweise mit der oben erwähnten Unterteilung. In der Zeile für Frankreich, sind jene Bauweisen, die „im Trend" liegen ausserhalb den Klammern angegeben, während die anderen weniger häufigen Bauweisen in Klammern stehen.

		Einschichtig		Zweischichtig		
				1.Lage im Giessverfahren	1.Lage im Einwalzverfahren	1.Lage im Flammverfahren
Deutschland	1	Untergrund	Untergrund	Untergrund	Untergrund	Untergrund
	2	EP	EP	EP u. BV	EP u. BV	EP
	3	APP / SBS	FLK	APP / SBS	APP / SBS	APP / SBS
	4	GA	GA	AB	AB	AB
Frankreich	1	Untergrund	Untergrund	Untergrund	-	Untergrund
	2	BV (od. PU)	BV (od. PU)	BV (od. PU)	-	BV (od. PU)
	3	SBS (APP)	FLK in EP (FMAS)	SBS (APP) od. GA (für 2. Lage)	- -	SBS (APP) od. GA (für 2. Lage)
	4	AB 0/10 od. AB 0/14	AB 0/10 od. AB 0/14	AB 0/10 od. AB 0/14	-	AB 0/10 od. AB 0/14
Italien	1	Untergrund	-	-	-	-
	2	BV	-	-	-	-
	3	APP	-	-	-	-
	4	AB	-	-	-	-
Österreich	1	Untergrund	Untergrund	Untegrund	Untegrund	Untegrund
	2	EP	Oberflächen-vorbehandlung	BV und Klebemasse	EP	BV od. EP
	3	APP / SBS	FLK	APP / SBS	APP / SBS	APP / SBS
	4	AB / BTD16	AB / BTD16	AB / BTD16	AB / BTD16	AB / BTD16

AB	Asphalt-Beton	EP	Epoxidharz
BTD	Bituminöse Trag-Deckschichten	PU	Polyurethan
BV	Bitumenvoranstrich		

Tabelle 3.4: Vergleich des Aufbaus der Dichtungsschicht in den Nachbarländern

3.2.1 Deutschland

In Deutschland wird die Betonoberfläche immer mit Epoxidharz behandelt (unabhängig ob eine ein- oder zweischichtige Bauweise vorliegt). Der Grund liegt in der Verbesserung der Verbundwirkung. Im Giess- und Einwalzenverfahren (GEV) bei zweischichtiger PBD kommt noch ein Bitumenvoranstrich (BV) hinzu. Bei der einschichtigen Bauweise besteht die Schutzschicht aus Gussasphalt (GA), bei der zweischichtigen Bauweise besteht sie aus Asphaltbeton (AB).

3.2.2 Frankreich

In Frankreich sind grundsätzlich 3 Arten von Brückenabdichtungssystemen üblich:

- Gussasphalt (GA)
- Dünnschicht mit Kunstharz (zur Zeit werden nur 2 Typen angewendet: Epoxidharz und Polyurethan) (Étanchéité par Film Mince Adhérent au Support (F.M.A.S))
- PBD (feuilles préfabriquées).

Für Brückenabdichtungssysteme, wo die Dichtungsschicht aus PBD besteht, gibt es 3 Ausführungsweisen (vgl. *Tabelle 3.4*):

- Einschichtige PBD (Étanchéité par Feuille Préfabriquée Monocouche (F.P.M.))
- Zweischichtige PBD (Étanchéité par Feuille Préfabriquée Bicouche (F.P.B.))
- Erste Schicht aus PBD, zweite Schicht aus Gussasphalt (GA) (Étanchéité par Feuille Préfabriquée + Asphalte (F.P.A.)).

Zusätzlich gibt es das sogenannte MHC Vorgehen (étanchéité comportant des couches mises en oeuvre par des Moyens méchaniques à Haute Cadence); die Abdichtung wird maschinell verlegt.

Es wurde allerdings beobachtet, dass diese MHC Ausführungsweise keine konstanten Produkte liefert und damit eine geringe Wiederholbarkeit vorliegt. Dies führt dazu, dass in manchen Fällen ein hervorragendes Abdichtungssystem entsteht, in anderen Fällen ein unbrauchbares.

Alle Verfahrensweisen sind patentiert. Neue Systeme müssen geprüft und speziell beobachtet werden. Ihre Anwendung im Strassenbau muss einer ausserordentlichen Prüfung (examen particulier) unterzogen werden. Dem Bauherrn wird empfohlen die SETRA zu konsultieren.

In Frankreich gibt es hinsichtlich Brückenabdichtungssystemen folgende Verteilung:

30% mit GA
25% einschichtige PDB
20% erste Schicht aus PDB zweite aus GA
15% Vorgehen MHC
5% FLK (PU oder ähnliche)

Französische PBD Hersteller bieten mehrheitlich SBS an. In Frankreich werden aber auch APP Bahnen angewendet, die u.a. aus Belgien und Italien importiert werden. Wichtig ist, dass die Abdichtungssysteme den Anforderungen in den Richtlinien und Normenvorschriften genügen.

Die französische Erfahrung im Bereich der E-HV (F.M.A.S.) zeigt, dass in manchen Fällen wegen exzessiver kommerzieller Konkurrenz diese Arbeiten an ungenügend spezialisierte Verleger vergeben wurden oder qualitativ schlechte Materialien Verwendung fanden. Auch wurde die Dosierung bei anspruchvollen und teuren Materialien nicht eingehalten und wichtige Aspekte bei der Applikation vernachlässigt.

Die Technik der vorfabrizierten Balkenbrücken wird in Frankreich verbreitet angewendet. Auf diese Bauweise wird im Abschnitt 3.2.3 eingegangen, da sie in Italien häufiger zur Anwendung kommt.

3.2.3 Italien

In Italien werden viele Brücken als Balkenbrücken aus vorfabrizierten Elementen gebaut (*Abbildung 3.3*). Die vorfabrizierten Tragelemente werden in der Längsrichtung durch Epoxid-Zementmörtel miteinander verbunden. Darüber werden sogenannten "Pontage" Streifen mit einer Breite von 33 bis 50 cm angebracht. Pontage Streifen sind Streifen aus demselben Material wie die Dichtungsbahnen. Sie werden auf dem Verklebungsbereich gelegt (vgl. *Abbildung 3.3*, 0). Es werden weder Bitumenemulsionen (BE) noch Epoxid-Haftvermittler (E-HV) angewendet. Hingegen wird ein Bitumenvoranstrich (primer bituminoso) eingesetzt. Die Dichtungsschicht besteht aus einschichtigen Bahnen, die im Flämmenverfahren verlegt werden. Für die Dichtungsschicht werden ausschliesslich APP-Bahnen eingesetzt.

Diese Brückenbauweise führt zu eine besonderen Ausführungsart des Abdichtungssystems, wobei der Verklebungsbereich eine Besonderheit darstellt. Die Verklebungsbereiche sind empfindliche Stellen, die besonders geschützt werden müssen, diese Schutzaufgabe wird von den „pontages“ erfüllt. Es kann beschlossen werden, dass in diesem Fall die Wahl der Brückenbauweise die Bauweise des Abdichtungssystems bedingt beeinflusst. Es besteht eine Abhängigkeit indem die empflindlichen Stellen in den Tragelementen der Brücke eine besondere Berücksichtigung verlangen. Einen zusätzlichen Schutz der empflindlichen Stellen durch ein besonders gebautes Abdichtungssystem ist die Folge.

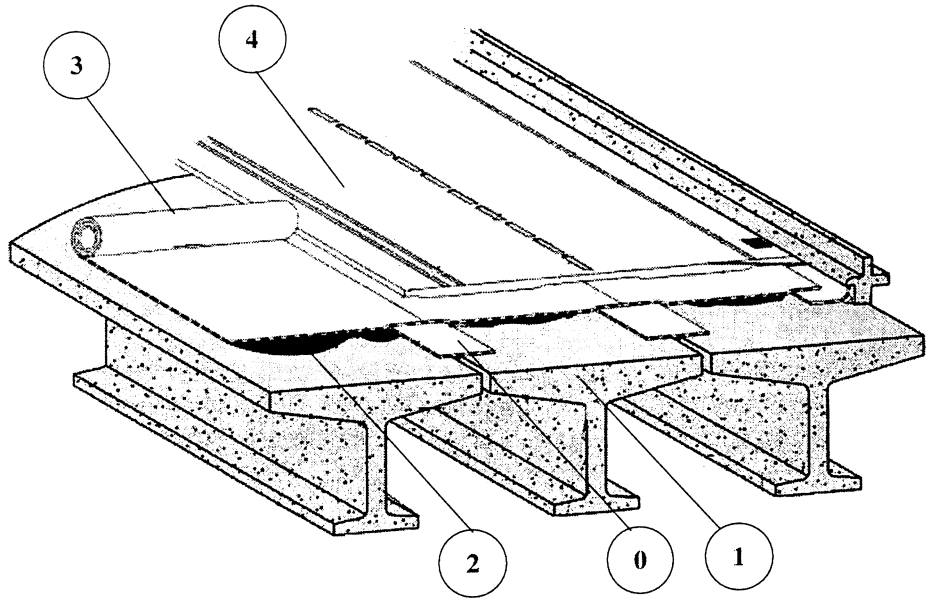

Abbildung 3.3: Abdichtungssystem in vorfabrizierter Bauweise. [W1]
0: "Pontage"; 1: Untergrund; 2: HV; 3: Dichtungsschicht; 4: Belag

3.2.4 Österreich

Die Betonoberfläche wird mit einem Voranstrich versehen, der die Aufgabe eines Haftvermittlers (HV) hat [L17]. Das Verlegen der Abdichtung erfolgt bei Verwendung von Bahnen mit Bitumen oder Polymerbitumen im allgemeinen derart, dass die 1. Lage entweder im Giess- oder Einwalzverfahren (GEV) oder im Flämmverfahren aufgetragen wird. Für die 2. Lage wird in der Regel das Flämmverfahren angewandt. Da aber nicht ausreichendes verdünstetes Lösungsmittel im Voranstrich und die Restfeuchtigkeit im Beton als Keimzellen zu Blasenbildung wirken, hat sich auch in Österreich die Deutsche Bauweise eingebürgert, die das einem Aufbringen von Kunstharz als Grundierung oder Versiegelung vorsieht.

Abdichtungen mit nur einer Lage kommen nur selten zum Einsatz. Werden einlagige Abdichtungen verlegt, müssen die Bahnen entsprechend dicker sein und einen erhöhten Widerstand gegen das Aufbringen der Schutzschicht aufweisen, die hier meist aus Gussasphalt besteht.

Es besteht eine Differenzierung zwischen Regelbauweisen und anderen möglichen Ausführungen (diese kommen nur in besonderen Fällen zum Einsatz). Bei den Regelbauweisen wird zwischen Neubau und Instandsetzung unterschieden.

Für die Anordnung und Ausführungsmöglichkeit der Schutzschicht, wird zwischen bituminöser Bauweise und Betonbauweise des Belags unterschieden. Bei der bituminösen Bauweise variieren je nach Lastklasse der Korndurchmesser und die Dicke des Asphaltbetons (AB) (für Lastklasse S und I gemäss [A4] ist keine Schutzschicht vorgesehen). Bei der Betonbauweise besteht unabhängig von der Lastklasse eine Dicke von 4cm, und es wird Bituminöse Trag-Deckschicht (BTD 16) eingesetzt (siehe *Tabelle 3.4*).

4 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE SCHADENSENTWICKLUNG

4.1 Vorgehen

Zur Identifikation der massgebenden Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung wurden zwei Vorgehensweisen gewählt.

Einerseits wurde von vorhandenen Schäden und Mängeln (Kap. 4.2) ausgegangen. Anderseits wurden bekannte Einflussfaktoren (Kap. 4.3) berücksichtigt. Die betreffenden Daten wurden mittels Umfrage gewonnen und mit Angaben aus der Literatur ergänzt.

Um die Daten zu ordnen, wurde eine Datenstruktur, gemäss der 4-Schichten-Systematik *Abbildung 2.2* gewählt. Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass in der Folge nur die einschichtige Bauweise (4-Schichten Systematik) berücksichtigt wird, da in der Schweiz ausschliesslich dieser Typ vorkommt.

4.2 Schäden und Mängel

Schäden können während der gesamten Lebensdauer eines Bauwerks entstehen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur jene Schäden betrachtet, die schon während der Einbauphase des Abdichtungssystems erkennbar sind sowie solche, die auf Ausführungsmängeln beruhen. Der Einfluss der verschiedenen Faktoren auf die Schadensentwicklung ist komplex. Nach [L21] können Schäden durch äussere Einflüssen entstehen oder von einer der beteiligten Materialien ausgehen. Im Anhang 7.3 findet sich eine schematische Zusammenfassung dieser Angaben.

Die Schäden sind in [N4] ausführlich beschrieben und erläutert: Bei Bitumen-Haftvermittler (B-HV) bilden die Verbundstörungen zwischen Abdichtung und Untergrund während der Ausführung und der Nutzung sowie die Blasenbildung die vorherrschenden kritischen Punkte. Beim Epoxid-Haftvermittler (E-HV) sind vor allem die Poren in der Epoxidschicht und die damit verbundene Blasenkeimbildung in der PBD kritisch.

Die ausführlichen Angaben in [N4, S.73] wurden in den *Tabellen 4.1* bis *4.4* schematisch zusammengefasst.

Schaden- und Mängelarten	Definition
Verbundmängel	adhäsive Schwachstellen zwischen zwei Schichten im Aufbau, eventuell auch kohäsive Schwachstelle innerhalb einer Schicht.
Blasenkeime	kleine Hohlräume, die bei der Applikation von Mastix oder Dichtungsbahnen entstehen.
Blasen	Erhebungen, Aufwölbungen
Adhäsion	Festigkeit zwischen 2 Schichten
Kohäsion	Festigkeit innerhalb einer Schicht

Tabelle 4.1: Definitionen der Schaden- und Mängelarten

In den folgenden Tabellen werden die verschiedenen Schadensarten detailliert aufgelistet. In der Spalte „Ort" wird angegeben wo (in welcher Schicht oder zwischen welchen Schichten) sich der Schaden entwickelt.

Verbundmängel	
ORT	URSACHEN, EINFLÜSSE
Reprofilierung / Untergrund (adhäsiver Verbundmangel)	- Ausführungsmangel - Thermische Beanspruchung beim Aufflämmen der PBD - Verschmutzungen auf dem Betonuntergrund - Mangelhafte Oberflächenfestigkeit des Betons - Ungenügende Vorbenetzung des Betons - Haftbrücke nicht oder nur ungenügend ausgebildet
Epoxidversiegelung / Untergrund (adhäsiver Verbundmangel)	- Ausführungsmangel - Thermische Beanspruchung beim Aufflämmen der PBD
in Untergrundoberfläche (kohäsiver Verbundmangel)	- Art der Untergrundvorbereitung - Fehlende Untergrundvorbereitung
Beton / B-HV bzw. im B-HV (ungenügende Verankerung)	- Betonfeuchtigkeit, die das Eindringen des B-HV behindert - Geschlossene, "glasige" Untergrundoberfläche, die das Eindringen des B-HV behindert. - Geringes Eindringvermögen infolge zu hoher Viskosität des B-HV. Hohe Viskosität infolge hohem Bitumengehalt, hohe Lösungsmittelviskosität od. wegen zu kalter Material- u. Untergrundtemperatur bei Applikation. - Applizierung von zu viel B-HV auf Beton hat geringe kohäsive Festigkeit zu Folge, zusätzlich kommt es zur Verhinderung des Verdunstens von Lösungsmitteln, was durch Aufflämmen zu Blasenkeimen führen kann, in die B-HV zurückwandern und ihn schwächen. - In den Vertiefungen bei unebenem Beton: Gefahr von Lachenbildung, die das Austrocknen verunmöglichen. - Ungenügende Betonoberflächenzugfestigkeit.
B-HV u. PBD	- Bitumenverträglichkeit (Bitumen, deren Bitumenöle sich gegenseitig abstossen). Zwischen HV u. PBD entsteht eine ölige Schmierschicht.
PBD / Untergrund	- Ungenügendes Erwärmen des Untergrundes - Ungenügendes Erwärmen der Dichtungsbahn - Ungenügendes Schmelzen u. Vermischen der Flammfolie bzw. schlecht schmelzbare Flammfolie - Ungenügendes Anpressen der Dichtungsbahn

Tabelle 4.2: Schadensart: Verbundmängel. Unterteilung nach Schicht (vgl. *Abbildung 2.2*) und Angaben bzgl. Ursachen und Einflüsse.

Blasenkeime	
ORT	URSACHEN, EINFLÜSSE
Untergrund / PBD	- Nicht ausgeglichen Betonrauhigkeit. - Eingeschlossene Verbrennungsgase und Partikel. - Bei Aufflämmen durch Poren im Beton od. durch Poren in der E-HV sich ausdehnendes Medium aus dem Untergrund.

Tabelle 4.3: Schadenart: Blasenkeime.

Blasen	
ORT	URSACHEN, EINFLÜSSE
bei applizierter PBD im Mastix-Unebenheitsausgleich	- Voranstrichlachen in Vertiefungen verhindern Abdunsten des Lösungsmittels.
unterhalb Reprofilierung od. unterhalb E-HV	- Bereits bestehender Verbundmangel in dieser Ebene und andererseits ein drückendes Medium aus dem Untergrund.
unterhalb PBD, in der Fläche der Dichtungsbahn	- Hohe Porosität im Betonuntergrund. - Grosse Poren in Ausgleichsschichten => lokale HV Ansammlungen; unvollständige Austrocknung. - Poren in Epoxidschicht (wegen Ausführungsmangel) - Nicht ausgeglichene Betonrauhigkeit. - Bildung von Verbrennungsgasen beim Aufflämmen.
unterhalb PBD bei Überlappungen	- Mangelhaftes Anpressen der oberen Bahn in die Vertiefung neben der unteren Bahn. - Bei Unebenheiten u. Überlappungen haben Dichtungsbahnen mit Trägereinlagen aus Polyestervlies die Tendenz sich beim Abkühlen zusammenziehen => Verformungen. - Bei der Erstellung von Längsüberlappungen wird stark erhitzt; so ensteht die Gefahr des Schmelzens od. Verbrennens von Trägereinlagen; die entstandene Verbrennungsgase bilden Hohlräume entlang der unteren Bahn.
innerhalb PBD (= zw. Trägereinlage und obere Dichtungsmasse)	- Blasenkeim in unterer Dichtungsmasse und guter Verbund zw. Dichtungsbahn u. Untergrund.
beim Belagseinbau	- Wärmeeinfluss bei Belageinbau.

Tabelle 4.4: Schadensart: Blasen. Unterteilung nach Schicht (vgl. *Abbildung 2.2*) und Angaben bzgl. Ursachen und Einflüsse.

Ausserdem werden in [N4] einige Mängelerscheinungen bei Epoxidharzarbeiten beschrieben, die in *Tabelle 4.5* wiedergegeben sind. Epoxidharz (EP) ist ein komplexes chemisches Produkt, das sehr sensibel auf falsche Dosierungen oder Anwendungen reagiert.

Epoxidharzarbeiten	
ORT	URSACHEN, EINFLÜSSE
E-HV	- Weissfärbung der Oberfläche (Feuchte) - Klebrige, schmierige Oberfläche (Mischfehler) - Sprödigkeit, Haftverlust (Verarbeitungstemp. < 8°C) - Schlechte Penetration, Poren- und Blasenbildung (Topfzeitüberschreitung)

Tabelle 4.5: Schäden bei Epoxidharzarbeiten

Mittels Umfrage wurden Hinweise auf Schadenfälle und Erfahrungen gesammelt. Die gesammelten Daten wurden nach der in *Tabelle 3.3* vorgestellten Systematik gegliedert und tabellarisch dargestellt. Die entstandene Tabelle ist im *Anhang 8.2* zu finden. Die untenstehende *Tabelle 4.6* enthält eine Zusammenfassung der Daten.

Haftvermittler		PBD-Typ	Anzahl Kt.	Ursache
Bitumen	Voranstrich (BV)	APP u. SBS	5	Geringe Belagsdicke. Voranstrichsqualität od. Betonfeuchtigkeit. PBD nicht thermisch stabil. Klimatische Einbaubedigung. Flecken von PBD.
	Voranstrich (BV)	SBS	1	Porösen u. feuchtem Beton. Brückensteigung.
	Bit'emulsionen (BE)	APP u. SBS	5	Weichem GA und Verkehr. Feuchtigkeit. Qualität des PBD-Materials. Glasige Betonoberfläche => Verbundprobleme.
	Bit'emulsionen u. Voranstrich (BE u. BV)	APP u. SBS	1	Ausführungsfehler beim Einbau. Voranstrichs- und PBDsqualität.
	Bit'emulsionen u. Voranstrich (BE u. BV)	SBS	1	
	Versiegelung u. Voranstrich (E-HV u. BV)	SBS	1	Verbund zw. Beton u. PBD.
Epoxid	Versiegelung (E-HV)	APP u. SBS	2	Klimatische Einbaubedigung (steigende Temp., Luftfeuchtigkeit, Untergrund- und PBD-Temp.)
	Versiegelung (E-HV)	SBS	1	Systemverträglichkeit zwischen Beton und EP. Schlechter Einbau von EP.
Andere			1	

Tabelle 4.6: Schadensentstehung nach häufig verwendetem HV- und PBD-Typ, aus Umfrage

4.3 Bekannte Einflussfaktoren

Aus der Umfrage bei den Kantonen wurde eine Anzahl möglicher bekannter Faktoren erfasst, die erfahrungsgemäss bei der Schadensentstehung eine Rolle spielen. Um die Daten zu ordnen, wurde eine Datenstruktur gemäss der 4-Schichten-Systematik (*Abbildung 2.2*) gewählt.

Die Datenstruktur besteht aus 5 Gruppen; vier davon stellen die vorher erwähnten vier Schichten (vgl. *Abbildung 2.2*) dar. Die fünfte Gruppe schliesst die klimatischen Einbaubedingungen ein. Sie stellt die Abgrenzung des Bauwerks gegenüber seiner Umwelt dar. Die Daten werden also diesen 5 Gruppen zugeordnet:

1. klimatische Einbaubedingungen (gültig für alle Schichten)
2. Untergrund / Bauwerk
3. Haftvermittler
4. Dichtungsschicht
5. Schutzschicht

Für den Datenvergleich wurde eine zweidimensionale tabellarische Darstellung erarbeitet, welche alle Rohdaten aus der Umfrage an die Kantone sowie die Daten aus der Literatur enthält.

Diese tabellarische Darstellung ist zeilenweise strukturiert (*Anhang 8.1*). Am Anfang jeder Zeile findet man die Quelle der Daten (Umfrage, Normen, Vorschriften usw.). In den grau markierten Zeilen sind die Einflussfaktoren, unterteilt nach den 5 Gruppen, aufgelistet. Diese 5 Gruppen enthalten die einzelnen Einflussfaktoren. In vereinzelten Fällen war es zweckmässig, einen Einflussfaktor noch in weitere Sub-Einflussfaktoren zu unterteilen. Jede Gruppe enthält weitere Unterteilungen. So findet man bei Untergrund den Einflussfaktor "Anforderung an Betonoberfläche", der wiederum in Betonqualität, Gefälle, Ebenheit usw. unterteilt ist. Die Zeile "Anforderung an Betonoberfläche" enthält das generelle Vorgehen oder Anforderungswerte während spezifischere Kommentare/Werte in die Zeilen der Sub-Unterteilung eingetragen sind.

Diese Darstellung erlaubt zwei Vergleichsmodi: einerseits wird veranschaulicht, welche Einflussfaktoren in welcher Quelle (Umfrage, Normen, Vorschriften usw.) aufgelistet und welche Sollwerte angegeben sind; anderseits erlaubt jede Kolonne eine schematische Darstellung der in den einzelnen Quellen erwähnten Einflussfaktoren.

Insgesamt vereinfacht diese Darstellung den Vergleich zwischen den verschiedenen Vorschriften und Normen.

Die Tabellen, im *Anhang 8.1*, liefern einen Überblick über alle Einflussfaktoren und sind Hilfsmittel, um die massgebenden Faktoren zu identifizieren, die später in situ erfasst werden sollen. Durch die bis anhin unternommenen Schritte entstand eine klare Datenstruktur, die es erlaubte, die Tabellen fast vollständig auszufüllen.

4.4 Liste der möglicher Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung

Das oben beschriebene Vorgehen ermöglichte die Identifizierung der Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung. Diese wurden in *Tabelle 4.7* zusammengefasst.

Klimatische Einbaubedingungen (gültig für alle Schichten)

- Allgemeine Witterungsbedingung (Nebel...)
- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Taupunktabstand

Untergrund

Beton	Reprofilierung, Ausgleichschicht
- Untergrundvorbereitung (Sauberkeit..)	Wärmebeständigkeit
- Betonoberflächenrauhigkeit	Bewitterung
- Betonfeuchtigkeit	Systemeverträglichkeit, Eignung
- Untergrundtemperatur	Haftbrücke
- Abreissfestigkeit, Oberflächenfestigkeit	Untergrundzustand
- Betonqualität (Porosität, Lunker, Kiesnester, Sackporen)	Vorbenetzung des Betons
- Dichtigkeit	
- Ebenheit	
- Gefälle	
- Funktionssfähigkeiten der Entwässerungseinrichtungen	
- Abnahme der Oberfläche.	

Haftvermittler

B-HV	E-HV
- Systemverträglichkeit, Eignung	- Systemeverträglichkeit, Eignung
- Untergrundzustand	- Untergrundzustand
- Untergrundtemp. (Steigende Temp.)	- Hitzbeständigkeit
- Materialtemp. (B-HV) bei der Applikation	- Viskosität
- Materialqualität	- Topfzeit
- Witterung	- Aushärtezeit
- Eindringvermögen (Viskosität :BV soll dünnflüssig sein)	- Lufttemp. beim Einbau (8°C $\leq$ T $\leq$ 45°C)
- Auftragen, B-HVansammlungen (homogene Schicht, ohne Lachenbildung)	- Witterung (Niederschlag, Tau, Nebelnässe)
- Herstellervorschriften einhalten	- Objekttemp.
- Auftragsmenge	- Keine Porenbildung, Risse, Ablösungen
- Bitumenverträglichkeit zw. HV u. PBD	- Auftragsmenge
	- Herstellervorschriften einhalten
	- stoffliche Zusammensetzung (EP-Basis, lösungsmittelfrei)
	- Einrichtung (langsam laufendes Rührwerk, Homogenisierung, bei Mischung keine Zugabe von Lösungsmittel)
	- Mischverhältnisse
	- Haftzugfestigkeit
	- Materialanforderung
	- Einbauvorgehen (in 2 Schichten aufbringen, Schicht schrittförmig auszuführen, Überlappung mind. 10 cm)

Tabelle 4.7: Tabellarische Auflistung der Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung

Dichtungsschicht
- Systemverträglichkeit, Eignung
- Lagerung
- Materialqualität (Aussehen u. Beschaffenheit)
- Witterung
- Einbautemp.
- Austrocknungszeit d. Unterlage
- Schichtdicke
- Thermische Stabilität
- Oberflächensauberkeit d. Unterlage
- Verlege- u. Ausrollvorgang
- Ausführung der Applikation d. Abdichtungsbahn
- Aufschweissrichtung
- Ausführung des Flammenschweissens (Winkel, Temp., Wind u. gleichmässige Wärmequelle)
- Überlappungsbreite
- Anpressen d. Dichtungsbahn
- Schlecht schmelzbare Flammfolie
- Erwärmung des Untergrunds u. d. Dichtungsbahn
- Bildung von Verbrennungsgasen
- Massnahmen gegen mechanische Verletzungen
- Möglichst kurze Zeit ohne Schutzschicht exponieren
- Abreissfestigkeit
- Schälzugfestigkeit
- allfällige Beschädigungen sofort reparieren
- Entwässerung d. Abdichtungsebene, Wasserunterläufigkeit
- Abnahme d. Oberfläche

Schutzschicht
- Untergrund nicht übermässig erwärmen
- Schutzschicht kurzfristig einbauen
- Dicke d. Schutzschicht
- verlegte PBD Bahnen nicht mit Lackbitumen /Teermittel anstreichen
- trockene Unterlage
- Vermeidung von Wärmestau (Wärmeeinfluss auf PBD)
- Mischgutrezept
- nur Pneurädermaschinen zugelassen
- Abnahme d. Oberfläche

Tabelle 4.7: Tabellarische Auflistung der Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung (Fortsetzung)

Aufgrund von *Tabelle 4.7* kann nun eine Selektion zu Auswahl der *massgebenden Einflussfaktoren* vorgenommen werden.

4.5 Massgebende Einflussfaktoren

Die PBD dienen grundsätzlich der Ableitung und Fernhaltung der Tausalzlösung. Die Abdichtung gegen Wasser hat einen sehr entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer einer Brücke (vgl. auch [L22]). Ein sorgfältiges Ausführen der Brückenabdichtungen und -beläge ist daher von grosser Bedeutung. Die besten Materialien können bei mangelhaftem Verarbeiten und Einbau zu drastisch verkürzten Gebrauchsdauern von Brückenabdichtungen und -belägen führen. Um ein effizientes Abdichtungssystem herzustellen, muss also eine einwandfreie Qualität der Materialien vorliegen und ein von qualifizierten Arbeitskräften unter guten klimatischen Bedingungen optimaler

Einbau durchgeführten werden. Menschliche Fehler müssen durch optimale Planung, Durchführung und Qualitätsmanagement in Grenzen gehalten werden.

Als massgebende Einflussfaktoren sind jene zu verstehen, die hinsichtlich der Funktionssicherheit einer Abdichtung besonders wichtig sind. Im Rahmen dieser Arbeit, liegt das Schwergewicht entsprechend der allgemeiner Zielsetzung des Gesamtprojekts auf jenen Faktoren, welche die Ausführung der Abdichtung auf der Baustelle (in situ) betreffen. Es wurde also von einer korrekten Planung ausgegangen, einschliesslich einer geeigneten Wahl der Bauart und der Materialien (z.B.: chemische und physikalische Verträglichkeit zwischen den Komponenten des Abdichtungssystems, Wärmebeständigkeit, Mischverhältnis, usw.). Ausserdem wurde eine Lieferung der Materialien in einwandfreiem Zustand vorausgesetzt und angenommen, dass das involvierte Personal, vom Projektleiter bis zur Verlegerequipe, über ausreichende Erfahrung und Ausbildung verfügt. Ebenfalls, wurden Faktoren, die erst bei der Nutzung des Bauwerks zum Tragen kommen (wie Verkehrsbelastungen) hier nicht berücksichtigt.

Die somit erhaltenen massgebenden Einflussfaktoren sind in *Tabelle 4.8* wiedergegeben.

Klimatische Einbaubedingungen (gültig für alle Schichten)
- Allgemeine Witterungsbedingung (Nebel...)
- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Taupunktabstand

Untergrund

Beton
- Untergrundvorbereitung (Sauberkeit..)
- Betonoberflächenrauhigkeit
- Betonfeuchtigkeit
- Untergrundtemperatur
- Abreissfestigkeit, Oberflächenfestigkeit
- Betonqualität (Porosität, Lunker, Kiesnester, Sackporen)
- Dichtigkeit
- Ebenheit

- Abnahme der Oberfläche.

Reprofilierung, Ausgleichschicht
- Bewitterung
- Haftbrücke
- Untergrundzustand
- Vornetzung des Betons

Haftvermittler

B-HV
- Untergrundzustand
- Untergrundtemp. (Steigende Temp.)
- Materialtemp. (B-HV) bei der Applikation
- Witterung
- Eindringvermögen (Viskosität :BV soll dünnflüssig sein)
- Auftragen, B-HV Ansammlungen (homogene Schicht, ohne Lachenbildung)
- Auftragsmenge
- Bitumenverträglichkeit zw. HV u. PBD

E-HV
- Untergrundzustand
- Viskosität
- Lufttemp. beim Einbau (8°C < T < 45°C)
- Witterung (Niederschlag, Tau, Nebelnässe)
- Objekttemp.
- Keine Porenbildung, Risse, Ablösungen
- Auftragsmenge

Tabelle 4.8: Massgebende Einflussfaktoren

Dichtungsschicht
- Lagerung
- Materialqualität (Aussehen u. Beschaffenheit)
- Witterung
- Einbautemp.
- Austrocknungszeit d. Unterlage
- Schichtdicke
- Oberflächensauberkeit d. Unterlage
- Verlege- u. Ausrollvorgang
- Aufrührung der Applikation d. Abdichtungsbahn
- Aufschweissrichtung
- Ausführung des Flammenschweissens (Winkel, Temp., Wind u. gleichmässige Wärmequelle)
- Überlappungsbreite
- Anpressen d. Dichtungsbahn
- Schlecht schmelzbare Flammfolie
- Erwärmung des Untergrunds u. d. Dichtungsbahn
- Bildung von Verbrennungsgasen
- Massnahmen gegen mechanische Verletzungen
- möglichst kurze Zeit ohne Schutzschicht
- Abreissfestigkeit
- Schälzugfestigkeit
- allfällige Beschädigungen sofort reparieren
- Entwässerung d. Abdichtungsebene, Wasserunterläufigkeit
- Abnahme d. Oberfläche

Schutzschicht
- Untergrund nicht übermässig erwärmen
- Schutzschicht kurzfristig einbauen
- Dicke d. Schutzschicht
- verlegte PBD Bahnen nicht mit Lackbitumen /Teermittel anstreichen
- trockene Unterlage
- Vermeidung von Wärmestau (Wärmeeinfluss auf PBD)
- Mischgutrezept
- nur Pneurädermaschinen zugelassen
- Abnahme d. Oberfläche

Tabelle 4.8: Massgebende Einflussfaktoren (Fortsetzung)

4.6 Prüfungen

4.6.1 Systematik

Das Literaturstudium sowie die Durchsicht der Normen zeigen, dass für die Festlegung der erforderlichen Prüfverfahren und Anforderungen teilweise neue Verfahren entwickelt und die Bedürfnisse der Praxis in die Anforderungen eingebracht werden müssten. Gemäss ausführlichen Angaben in [D1] ist zwischen folgenden Prüfungen zu unterscheiden (*Abbildung 4.1*):

Erstmalige Prüfungen (EP) sind Prüfungen zum Nachweis der grundsätzlichen Eignung der Baustoffe, Baustoffgemische und der Bauart für den vorgesehenen Verwendungszweck.

Eignungsprüfungen (EsP) sind Prüfungen zum Nachweis der Eignung der Baustoffe und Baustoffgemische für den vorgesehenen Verwendungszweck entsprechend den Anforderungen des Bauvertrages.

Eigenüberwachungsprüfung (EÜP) sind Prüfungen des Auftragnehmers oder dessen Beauftragten während der Bauausführung zur Feststellung, ob die Güteeigenschaften der Baustoffe, der Baustoffgemische sowie der fertigen Leistung den vertraglichen Anforderungen entsprechen. Diese Prüfung wird unterteilt in:

- Prüfungen an den Baustoffen und
- Prüfungen bei der Ausführung.

Qualitätsprüfungen (QP) sind Prüfungen des Auftraggebers zur Feststellung, ob die Güteeigenschaften der Baustoffe, der Baustoffgemische und der fertigen Leistung den vertraglichen Anforderungen entsprechen.

Zusätzliche Kontrollprüfungen werden dann durchgeführt, wenn anzunehmen ist, dass das Ergebnis einer Kontrollprüfung nicht kennzeichnend für die ganze zugeordnete Fläche ist.

Schiedsuntersuchungen sind die Wiederholung von Kontrollprüfungen durch anerkannten Prüfstellen, an deren sachgerechter Durchführung begründete Zweifel des Auftraggebers oder des Auftragnehmers bestehen.

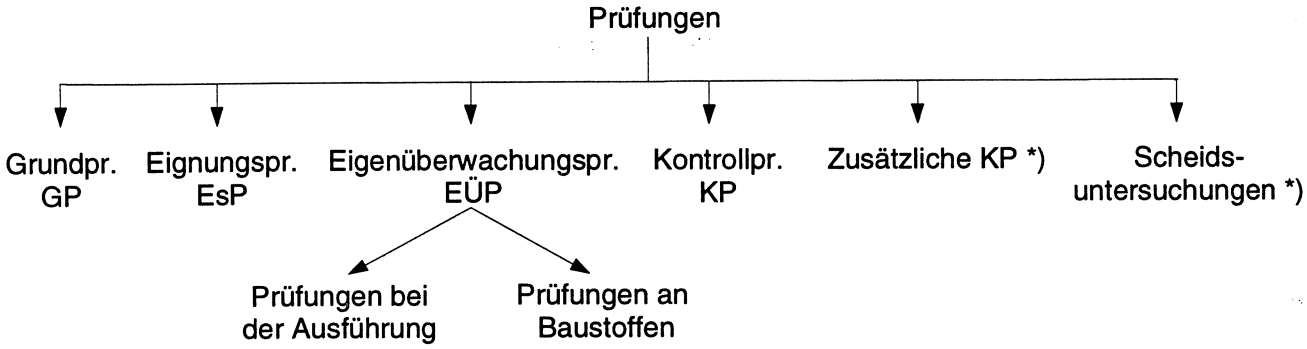

Abbildung 4.1: Schematische Darstellung von Prüfungen nach [D1].
*):in speziellen Fällen

Als Folge der in Kapitel 4.5 gemachten Annahme (Beschränkung auf Faktoren, die während der Ausführung der Abdichtung auf der Baustelle anzutreffen sind), werden nur Prüfungen der Art EÜP und KP berücksichtigt.

Die Wahl geeigneter Prüfungen ist keine einfache Aufgabe. Beispielsweise ist zu berücksichtigen, dass durch die rein visuelle Prüfung jene Schäden, welche keine sichtbaren Symptome zeigen, nicht erfassbar sind. Die Kriterien zur Auswahl geeigneter Prüfungen sind:

- Rasche und leichte Durchführbarkeit
- Reproduzierbarkeit
- Zestörungsfreie Prüfungen (solche Prüfungen werden von Fachleute besser akzeptiert).

Die quantitative Daten, die aus den Prüfungen resultieren, sollen effizient gesammelt werden, z.B. in einer elektronischen Datenbank. Die Prüfungen haben eine Erfassung des Zustand des Abdichtungssystems zum Ziel.

In den nachstehenden *Tabellen 4.9* bis *4.14* werden nicht nur Listen von Prüfungen vorgestellt, sondern es werden ebenfalls Empfehlungen für Einbau und Ausführung von PBD gegeben. Für die folgenden Kategorien:

- Klimatische Bedingungen,
- Untergrund / Bauwerk,
- Haftvermittler
- Dichtungsschicht (PBD),

sind die Prüfungen samt Ziele, Sollwert/Anforderungen und Referenz/Quelle zur betreffenden Methode angegeben. Die Prüfungen von Einflussfaktoren im Teilsystem Haftvermittler wurden entsprechend der Unterteilung in *Abbildung 3.1* zusammengestellt.

4.6.2 Klimatische Einbaubedigungen (gültig für alle Schichten):

Die Feststellung der klimatischen Bedingungen während der Arbeitsausführung des Abdichtungssystems ist wichtig, weil alle Schichten oder Lagen gegen schädigende Einflüsse gegebenenfalls geschützt werden müssen. Ein besonders wichtiger Faktor ist z.B. die Feuchtigkeit, da bei hoher Feuchtigkeit Haftungsprobleme zwischen Abdichtung und Untergrund auftreten können.

Klimatische Einfluss-faktoren	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz / Quelle
Lufttemp.	Bearbeitbarkeit von Materialien. T_P bestimmen.	$T_L \geq 5°C$	ZTV-BEL-B Teil1, Anhang 2
Luftfeuchtigkeit	Kondensfeuchtigkeit vermeiden. T_P bestimmen.	$RL \leq 75\%$	ZTV-BEL-B Teil1, Anhang 2
Untergrund-temp.	Verbund. Kondensfeuchtigkeit u. Spannungen vermeiden. Abbinden ermöglichen.	$T_U \geq 5°C$ T_U höher als angegeben Materialminimaltemp.. Unterlage darf nicht gefroren sein.	
Taupunkt-abstand	Verbund. Kondensfeuchtigkeit u. Spannungen vermeiden. Abbinden ermöglichen.	$T_P = +3°C$	ZTV-BEL-B Teil1, Anhang 2
Witterung	Versiegelungs-wirkung	Witterungsbed. gemäss Herstellerangabe (Niederschlag, Tau...). Zelt als Schutzmassnahme.	

Tabelle 4.9: Klimatische Einflussfaktoren.
(T_L : Lufttemperatur, T_P : Taupunktabstand, T_U : Untergrungtemperatur, RL : Luftfeuchtigkeit)

4.6.3 Betonuntergrund

Ein nennenswerter Einflussfaktor ist z.B. die Betonfeuchtigkeit, die ≤ 4 Gew-% (3.5 Gew-%) für einen Mindestzeitraum von 24 Stunden betragen muss. Treten höhere Werte auf, so kann es zu Verbundsstörungen kommen. Auch die Temperatur spielt eine grosse Rolle, da diese die Viskosität beeinflusst und eine niedrige Viskosität zu schlechter Vermischung und Verarbeitung, z. B. der Ausgleichs- und Reprofilierungsmaterialien, führt. Eine mögliche Lösung dafür ist das Vorwärmen nach den Vorschriften des Herstellers.

Prüfung	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz / Quelle
Haftzug-festigkeit	Bestimmung der Betonabreissfestigkeit Verbund	MW ≥ 1.5 N/mm^2 EW > 1.0 N/mm^2	ZTV-SIB 90, Anhang 2
Ebenheit	Untergrund-vorbereitung	Unter der 2m Latte: ≤ 10mm	SIA D0147
Beton-feuchtigkeit [Gew-%]	Feuchtigkeitsgehalts-bestimmung	≤ 4% (3.5%)	ZTV-SIB 90, Anhang 3 (CM); SIA D0147
Beton-feuchtigkeit	Verbund u. Blasen-bildung vermeiden.	3..4 [Wo] (Betonalter)	Die Trockenheit der Betonoberfläche durch lokale Erwärmung mit Heissluftgebläse od. Fön. Feuchte Betone werden dabei deutlich heller (ZTV-BEL-B Teil 1). Feuchtigkeits-bestimmung: angedrücktes Zeitungspapier oder mit aufgelegter Plastikfolie => kein Kondenswasser-niederschlag.

Tabelle 4.10: Prüfung von Einflussfaktoren im Beton
(MW : Mittelwert, EW : Einzelwert)

Prüfung	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz / Quelle
Oberflächen-rauhigkeit, Rauhtiefe	Bestimmung der Rauhtiefe mit Sandflächenverfahren	≤ 1mm	ZTV-SIB 90, Anhang 4; SIA D0147
Wasser-aufnahme-koeffizient (W)	Nachweis der Dichtigkeit von Festbeton	$W \leq 0.5\ kg/m^2 \cdot h^{0,5}$ (bei Reprofilierung: $W \leq 0.1\ kg/m^2 \cdot h^{0,5}$)	ZTV-SIB 90; SIA D0147
Porosität	Untergrund-vorbereitung	Porendurchmesser(p_L) ≤ 1mm u. in den obersten 20(30) mm p_L< 5 Vol-% p_L: Luftporengehalt	SIA D0147 keine Poren > 1mm (keine sichtbare Poren)
Sackporen u. Lunker	Erhöhung der Rauhigkeit	Betonoberfläche von Zementschlämme befreien u. schadhafte Bestandteile abtragen.	SIA D0147; SIA 162/5; Hochdruck-wasserstrahlen, Flammstrahlen, Fräsen
Untergrund-zustand	Untergrund-vorbereitung. Beurteilung der Betonoberfläche auf sichtbare und erkennbare Mängel.	Sauberkeit, Hohlstellen frei, Entfernung von Überzähnen, keine Risse, keine Anzeichen von Korrosion, keine freiliegende Armierung.	SIA D0147; SIA 162/5; Visuell Kontrolle

Tabelle 4.10: Prüfung von Einflussfaktoren im Beton (Fortsetzung)

4.6.4 E-HV:

Einflussfaktoren wie stoffliche Zusammensetzung oder Topfzeit, die einen Einfluss auf die Verarbeitbarkeit haben, wurden aufgrund der am Anfang dieses Kapitels gemachten Annahme hier nicht einbezogen.
Die Viskosität ist ein wichtiger Faktor, da sie das Eindringvermögen in die Betonoberfläche bestimmt. Die Viskosität muss nicht unbedingt nur nach der Methode in [D3] bestimmt werden, sondern kann auch empirisch qualitativ abgeschätzt werden, z.B. mittels Eintauchen einer Eisenstange in E-HV und Beurteilung des Abtropfverhaltens. Weiter soll aufgrund der hohen Umsetzungsgeschwindigkeit (Reaktionsgeschwindigkeit) das Vermischen der einzelnen Komponenten maschinell und Vorort mittels 2-Komponentenanlagen erfolgen.

Prüfung	**Ziele**	**Sollwert / Anforderung**	**Referenz / Quelle**
Elektrischer Durchgang-widerstand	Versiegelungs-wirkung. Beurteilung der Fehlstellenfreiheit.	> 500 MΩ	TP-BEL-EP 3.3.2
Aussehen Nach Einbau	Carbamatbildung	Keine Carbamatbildung Keine Porenbildung, Risse, Ablösungen.	Carbamatbildung : Beschichtung zeigt Weissverfärbung (weiche weisse Flecken und Poren).
Haftzugfestigkeit	Haftung	MW $\geq$ 1.5 N/mm^2 EW > 1.0 N/mm^2	
Viskosität	Materialqualität. Eindringvermögen.	< 4000 mPa • s	TP-BEL-EP 3.1.1 TP-BEL-EP 3.2.1
Lufttemp. bei Einbau		8°C $\leq T_L \leq$ 45°C Keine schnell steigende Untergrundtemp., also Applikation bei abnehmender Luft- und Objekttemperatur.	ZTV-BEL-B Teil 1 Auftragen Nachmittag statt Vormittag (während Sommer).
Auftragsmenge		<u>Grundierung</u> Reaktionsharz 300-500 g/m^2 Quarzsand (Lieferkörnung 0.2 / 0.7) 500-800 g/m^2 <u>Versiegelung</u> *1. Arbeitsgang* Reaktionsharz mind. 400 g/m^2 Quarzsand (Lieferkörnung 0.7 / 1.2) im Überschuss abstreuen. *2. Arbeitsgang* Reaktionsharz mind. 600 g/m^2	ZTV-BEL-B Teil 1

Tabelle 4.11: Prüfung von Einflussfaktoren im HV

Prüfung	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz / Quelle
Auftragsmenge		Kratzspachtelung Quarzsand (Lieferkörnung 0.2 / 0.7) Quarzsand *) (Lieferkörnung 0.7 / 1.2) *Letzter Arbeitsgang* Reaktionsharz mind. 600 g/m^2. *):Kratzenspachtelung und Versiegelung kombiniert od. Kratzenspachtelung auf gesamter Fläche.	
Mindestalter des Betons		≥ 21 d für Grundierung ≥ 14 d für Versiegelung ≥ 7 d für Versiegelung wenn Anforderungen TL-BEL-EP Tab. 3, Zeile 19 erfüllt sind	ZTV-BEL-B, Teil 1, 5.1
Untergrund-zustand	Trocken, sauber u. frei von Lösungsmitteln. Betonporosität erleichtert die Bildung von Poren u. Kanülen in E-HV.	mind. 24 h Betonporosität, keine klare Aussage.	
Unterlagetemp.		$T_U \leq 35°C$	SIA D0147
Wasser-aufnahme-koeffizient	Nachweis der Dichtigkeit	$W \leq 0.1$ kg/m$^2 \cdot h^{0,5}$	
Lagerung	Materialqualität	$T_L > 10°C$	SIA D0147
Thermische Belastung durch Aufschweissen	Temperatur-beständigkeit	Keine Abplatzungen grösser als 1 mm^2. Keine Blasen. Keine Risse mit Risslängen grösser als 1 mm od. sonstige Zerstörungen. Abreissfestigkeit muss mind. 1.5 N/mm^2 betragen Bruch überwiegend im Beton.	TP-BEL-EP 3.3.3.2

Tabelle 4.11: Prüfung von Einflussfaktoren im HV (Fortsetzung)

4.6.5 Kratzspachtelung:

Prüfung	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz/Quelle
Konsistenz	Materialqualität	Fliessfähige Konsistenz. Verlaufmasse ≥ 30 cm. Keine Lufteinschlüsse > 2mm. Keine ausgeprägte. Absonderung des Bindemittels am Ausbreitrand der erhärteten Verlaufmasse.	TP-BEL-EP 3.2.9

Tabelle 4.12: Prüfung von Einflussfaktoren in der Kratzspachtelung

4.6.6 B-HV:

Prüfungen wie z.B. Dichte, Elektrophorese, Sedimentation oder nichtflüchtiger Anteil wurden aufgrund der am Anfang des Kapitels erwähnten Annahme nicht berücksichtigt.

Prüfung	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz / Quelle
Untergrund- temperatur		Keine steigende Untergrundtemperatur.	
Materialtemp.		Bei Applikation T ≥ 15°C	
Untergrund- zustand		In "saugendem" Zustand	
Untergrund- feuchtigkeit		≤ 4 Masse-%	SIA D0147
Viskosität	Eindringvermögen	Dünnflüssig	DIN ISO 2431
Auftragsmenge		100-150 g/m^2	SIA D0147
Auftragens- weise		Homogene Schicht, ohne Lachenbildung.	
BE			
Brechen	Brechverhalten (Materialqualität)	BE dürfen vor Anwendung nicht brechen.	SN 671310c
Aussehen und Beschaffenheit.	Materialqualität		SN 671310c
BV			
Aussehen und Beschaffenheit.	Materialqualität		SN 671907

Tabelle 4.13: Prüfung von Einflussfaktoren im B-HV

4.6.7 PBD:

Prüfungen, die zur Bewertung der Qualität des Materials dienen, wie Augenschein/Aussehen der Dichtungsbahn (Beurteilung ob Oberfläche frei von Rissen, kein Ölaustritt, Verbund zwischen den Einzelschichten usw.) wurden hier nicht berücksichtigt.

Überlegenswert ist aber eine stichprobenartige Durchführung dieser Prüfungen, die neben einer Wägung durchgeführt werden soll. Für die Wägung soll eine Probe PBD mit möglichst regulärer Geometrie entnommen werden, um das Gewicht pro Fläche zu bestimmen. Dieses Vorgehen erlaubt eine Kontrolle der Homogenität des gelieferten Materials.

Prüfung	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz/Quelle
Bahnenverbund	Luft zwischen PBD u. Unterlage beseitigen		Rollwalze
Haftzug-festigkeit	Bestimmung der PBD-Abreissfestigkeit auf Beton.	$\geq$ 0.4 N/mm^2 (+23°C) $\geq$ 0.7 N/mm^2 (+ 8°C)	ZTV-SIB 90, Anhang 2
Schälzug-festigkeit	Bestimmung der PBD-Schälzugfestigkeit auf Beton.	$\geq$ 2.0 N/mm^2 (+23°C) $\geq$ 6.0 N/mm^2 (+ 8° C)	SIA 281/2
Blasenbildung	Suchen der Hohlräume unter PBD, Falten, mech. Beschädigung. Vollverklebung kontrollieren.		SIA D0147 visuell u. Laubrechen oder mit IR-Thermografie.
Schubfestigkeit der Abdichtung im Verbund.	Untersuchung des Zusammenwirkens der Abdichtungswerkstoffe miteinander sowie mit der Betonoberfläche.	MW $\geq$ 0.35 N/mm^2; EW >0.18 N/mm^2	RVS 15.361 Blatt3; RVS 15.362 (1999-05-31); RVS 15.365 (1999-04-14)
Lagerung	Materialqualität, Verhinderung von plastischen Verformungen der PBD.	Vertikal auf einem glatten und ebenen Träger. Bei +5°C < T_L < +30°C gelagert. Vor Sonne und Regen geschützt.	
Transporte	Materialqualität, Verhinderung von plastischen Verformungen der PBD.	Immer stehend transportieren und nur nötige Rollenmenge für den tägl. Verbrauch auf die Baustelle transportieren.	

Tabelle 4.14 : Prüfung von Einflussfaktoren in den PBD

Prüfung	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz / Quelle
Einbautemp.	Luft- u. PBD-temp. messen und protokollieren.	T_L, $T_{PBD} \geq 5°C$	ZTV-BEL-B Teil1, Anhang 2
	Unterlagetemperatur messen und protokollieren.	$T_U \geq 0°C$	ZTV-BEL-B Teil1, Anhang 2
	Taupunktbestimmung und -protokollierung.	T_P =+ 3°C	ZTV-BEL-B Teil1, Anhang 2
Lufttemp.	Bearbeitbarkeit Verlege- und Ausrollvorgang.	$T_L < 5°C$: Anstelle von APP, SBS verwenden. APP: bei tieferen Temp. Stossen und schnelles Ausrollen von Bahnen vermeiden.	
Austrocknungs-zeit (t_A) der Unterlage	HV soll voll austrocknen und auslüften.	12 h < t_A < 1 Wo	
Verlegeplan	Besonderheiten bzgl. Abdichtung auf dem Plan vermerken.	Improvisation auf der Baustelle vermeiden. Optimale Massgenauigkeit.	STER 81/E Kap. IV
	Verlegerichtung der Bahnen.	Ausrollen immer in Verkehrsrichtung.	STER 81/E Kap. IV; ZTV-BEL-B Teil 1; ASTRA RL
	Neigung.	Ausrollen dachziegelartig mit dem Gefälle in Richtung Quer- u. Längsneigung. Start des Ausrollens am tiefsten Punkt.	
	Querbombierte Brücke.	Ausrollen tangential zur Bombierungskrümmung.	STER 81/E Kap. IV
	Überlappungen	So überlappen, dass keine Rückstauwasserbildung stattfindet.	
		Querstösse (Nähte) ≥ 50 cm versetzt anordnen. An keiner Stelle eine Überlappung mit mehr als 3 Bahnen ausführen. Breite der Längsüberlappung ≥ 10cm. Breite der Querüberlappung ≥ 10 cm.	STER 81/E Kap. IV ZTV-BEL-B Teil 1; ASTRA RL

Tabelle 4.14: Prüfung von Einflussfaktoren in den PBD (Fortsetzung)

Prüfung	Ziele	Sollwert / Anforderung	Referenz/Quelle
Unterlage-zustand	Fehlerfreie Ausführung.	Trocken, sauber und frei von Lösungsmittel.	
Ausführung der Applikation der Dichtungsbahn.		Pro Arbeitsequipe müssen dazu mind. 2 Mann eingesetzt werden. Einer zum Aufschmelzen und Führen der PBD-Rolle, der zweite zum Bedienen der schweren Anpressrolle.	
Aufschweissen-richtung	Vollflächiges Verkleben der Bahnen.	In Fahrtrichtung	
Flammwinkel (α_F)	Vollflächiges und hohlstellenfreies Verkleben der Bahnen mit gleichmässig wirkender Wärmequelle über die ganze Bahnbreite.	α_F = 20° ... 30°.	Flamme so richten, dass sowohl die Unterlagen erwärmt, als auch genügend Klebemasse von der Bahnunterseite abgeschmolzen wird.
Flammabstand	"	ca. 25 bis 30 cm	SIA D0147
Flammtemp.(T_F)	"	T_F = ca. 800°C	Farbe rot/gelb
Wind	"	Keine gleichmässig wirkende Wärmequelle	
Seitlicher Bitumenaustritt	"	$\leq$ 30 mm	Flächen mit übermässigen Bitumenaustritten entfernen und absanden. Flüssig Bitumen nicht entzünden.
Flüssige Wulsthöhe (t_{WH}) vor der Rolle beim Abrollen der Bahn.	"	$t_{WH} \geq$ 5mm	Flüssiges Bitumen nicht entzünden. Die verflüssigte Dichtungsmasse darf bei Entfernung des Brenners nur kurz weiterbrennen (2 bis 3 Sek.).

Tabelle 4.14: Prüfung von Einflussfaktoren in den PBD (Fortsetzung)

4.7 Überarbeitetes Gesamtkonzept (Nächste Schritte)

4.7.1 Hauptelemente

Zur Erarbeitung eines Konzeptes für die in situ Erfassung der Einflussfaktoren auf die Schadensentwicklung wurden in *Schritt 1* Informationen von Kantonen im Inland und von den zuständigen Behörden im Ausland berücksichtigt. Nach der Identifikation und Beurteilung der Einflussfaktoren wurden für das weitere Vorgehen die massgebendsten wichtigsten Einflussfaktoren herausgegriffen und für die nächsten Schritte ein entsprechend aktualisiertes Programm vorgeschlagen.

Das Gesamtkonzept enthält folgende weitere Hauptelemente:

Schritt 2 (In situ Zustanderfassung)
- Untersuchung der in *Schritt 1* ermittelten zu wenig erforschten massgebenden Einflussfaktoren (vgl . Abschnitt 4.7.2).
- Erarbeiten von Beurteilungskriterien und Anforderungen aufgrund geeigneter Laboruntersuchungen.
- Evaluation von Prüfverfahren für die In situ Zustanderfassung und als Basis zum Festsetzen von Anforderungen.

Schritt 3 (Validierung)
- Fachdiskussion und Implementierung der Checkliste.
- Auswertung praktischer Erfahrungen, gegebenenfalls Vorschlag von Anpassungen.
- Auswertung der unter *Schritt 2* begonnenen Zustanderfassung im Sinne der Langzeitvalidierung mittels in situ Objektbeurteilung.

Schritt 4 (Schlussbericht des Gesamtprojektes)
Erstellung des Schlussberichtes des Gesamtprojektes

4.7.2 Konzeptvorschlag zur Untersuchung der massgebenden Einflussfaktoren

In *Tabelle 4.8* sind die massgebenden Einflussfaktoren wiedergegeben, welche nach einer eingehenden Literaturrecherche ermittelt wurden.

Bei der Zusammenstellung der Prüfungen wurde offensichtlich, dass bestimmte kritische und noch zu wenig erforschte Faktoren einer gründlichen Untersuchung unterzogen werden sollten. Jene nach *Schritt 1* am wichtigsten erscheinenden ausgesuchten massgebenden Einflussfaktoren lauten:

1. Untergrundvorbereitung
2. Betonporosität
3. Haftvermittler-Typ
4. PBD-Typ
5. Anpressung der PBD

Die Faktoren 2, 3, 4 und 5 werden miteinander variiert.

Als Grundlage für die Weiterführung des Projektes wird nachstehend jeder Einflussfaktor detailliert beschrieben und das zugehörige Untersuchungskonzept skizziert. Dabei wird eine Einführung zur Problematik gegeben und die Versuchbedingung, der zu untersuchende Hauptparameter und eine zugehörige Begründung und die Beziehungen zwischen den Parameter beschreiben.

Untergrundvorbereitung:

Zwei Parameter werden untersucht: die Oberflächenfestigkeit und die Rauhigkeit.

➢Problemstellung: Die Vorbereitung dient der Schaffung einer geeigneten Unterlage für die nachfolgende Schicht [D1]. Das Schleuderstrahlverfahren dient der Untergrundvorbereitung.

Es werden folgende Schleuderstrahlenverfahren berücksichtigt:
-Sandstrahlen (trocken oder feucht)
-Kugelstrahlen
-Höchstdruckwasserstrahlen

➢Versuchsbedingung: Im Rahmen dieser Arbeit wird die Abtragtiefe nicht variiert. Die Bewehrung wird nicht freigelegt.

➢Hauptparameter:

Oberflächenfestigkeit:
- Oberflächenfestigkeit (Tragfähigkeit der Betonoberfläche bezüglich Verbund)
- Schädigungstiefe

Rauhigkeit:
- Rauhigkeit (Rauhtiefe: R_t)

➢Begründung:

Oberflächenfestigkeit:
Die Schleuderstrahlverfahren könnten oberflächlich das Gefüge des Betonuntergrunds leicht beschädigen. Es könnten lose Teile entstehen, die jedoch noch auf dem Untergrund haften. Dadurch könnte an der Oberfläche des Untergrunds eine Schicht mit beschädigtem Gefüge entstehen, indem sich in der Grenzzone zwischen gestörtem und ungestörtem Gefüge (Schädigungstiefe t_E) oberflächenparallele Risse bilden. Solche Risse können zu Abplatzungen und Feuchteinlagerungen (Funktionsverlust) führen. Sie stellen die empfindlichsten Stellen für die Prüfung der Betonabreissfestigkeit (Haftzugfestigkeit) oder der Schälzugfestigkeit der PBD dar, da die Trennung gerade entlang oberflächenparalleler Risse erfolgt.

Rauhigkeit:
Durch die Schleuderstrahlverfahren wird zwecks Verzahnung die Untergrundoberfläche aufgeraut und die sogenannte Zementhaut entfernt.

Die Betonoberfläche soll saugfähig, fest, frei von Staub und losen bzw. "mürben" Teilen sein (Sauberkeitskonzept).

➢Messgrössen und Resultate:

Oberflächenfestigkeit:
- Schädigungstiefe (t_E) nach Anprallenergie (W_A) in Funktion des Schleuderstrahlentyps.
- Ermittlung einer eventuellen Korrelation zwischen Anprallenergie und Abnahme der Haftzugfestigkeits- und Schalzugfestigkeitswerten.

Rauhigkeit:

- Beziehung zwischen R_t und z.B. Schleuderdruck (Anprallenergie) Kugeldurchmesser beim Kugelstrahlen oder Korndurchmesser beim Sandstrahl usw..

Betonporosität:

➢Problemstellung: Die wichtigsten Funktionen des Betons sind die strukturelle Tragfähigkeit des Bauteils und seine Funktion als Dichtungselement gegenüber Flüssigkeiten. Beton alleine ist aber nicht ausreichend. Da jedoch ein Abdichtungssystem per Definition dicht sein muss, ist die Forderung einer dichten Betonoberfläche nicht zwingend.

Durch die Luftporen wird die Frost- und die Frost-Tausalzbeständigkeit des Betons wesentlich erhöht. Der Luftporengehalt kann durch Luftporenbildner (Tenside mit Einfluss auf die Oberflächenspannung) gesteuert werden.

➢Versuchsbedingung: Luftporengehalt in altem Beton (>28 d) untersuchen.

➢Hauptparameter: Luftporengehalt (p_L) im obersten Bereich des Untergrunds.

➢Begründung: Luftporen stellen ein potentielles Risiko für ein funktionsfähiges Abdichtungssystem dar. Luftporen können bei Einbau, je nach angewendetem HV-Typ, zwei Schadensarten verursachen: bei B-HV können Blasenkeime unter der PBD entstehen, bei E-HV kann es zu Poren- und Fehlstellenbildung in der HV-Schicht kommen. Wie aus *Tabelle 4.11* ersichtlich, erleichtert die Betonporosität (Luftporen, Kapillarporen) die Bildung von Poren und Kanülen in E-HV.

➢Messgrössen und Resultate:

- Beziehung zwischen Porosität des Betons und Dichtigkeit zwischen Untergrund, HV und PBD.
- Ermittlung einer Sollwert-Spannweite der Betonporosität bei Anwendung von E-HV.

PBD-Typ:

➢ Problemstellung: Die meist gebrauchten PBD-Typen in der Schweiz sind APP und SBS.

➢Versuchsbedingung: Die Untergrundtemperatur ist 3°C über dem Taupunkt

➢Hauptparameter: PBD-Typ.

➢Begründung: Die Verarbeitbarkeit der APP ist temperaturabhängig. In Italien, wo APP grosse Verbreitung findet, wird bei Lufttemperaturen < 5°C empfohlen SBS statt APP zu verwenden (siehe Tabelle im Anhang 1 Kolonne „Italien"). In der Schweiz sind sowohl Bauwerke mit APP als auch solche mit SBS vorhanden. Es existiert aber, trotz der manchmal tiefen Lufttemperatur beim Einbau, keine Empfehlung zur Benützung eines PBD-Typs. APP ist bei thermischer Belastung (z. B. Sonneneinstrahlung) mechanisch höher belastbar.

➢Messgrössen und Resultate:
Visuelle Beurteilung von Schäden auf der Abdichtungsmasse (Harrisse, Risse, Sprödigkeit) in Funktion der Luft- und Objekttemperatur und des PBD-Typs.

Anpressung der PBD (d.h. ohne/mit Rollwalze):

➢ Problemstellung: Als Anforderung wird ein vollflächiges und hohlstellenfreies Verkleben der Bahn auf den Untergrund verlangt. Um dies zu realisieren soll die Luft zwischen PBD und Unterlage beseitigt werden.

➢Versuchsbedingung: -

➢Hauptparameter: Spannweite der Werte des Rollwalzengewichts

➢Begründung: Während der Applikation könnten Verbrennungsgase entstehen. Verbrennungsgase und/oder Luft dürfen nicht zwischen PBD und Untergrund eingeschlossen bleiben; sonst entsteht Blasenbildung.

➢Messgrössen und Resultate:
Beziehung zwischen Rollwalzengewicht und Haftzug- und Schälzugfestigkeit.

4.7.3 Methodische Ansätze zur Untersuchung der ausgewählten Einflussfaktoren

Durch experimentelle Untersuchung soll die Variationsbreite und Parametertoleranz festgelegt werden. Wenn möglich, soll der Versuchsplan so angelegt werden, dass ein Vergleich zwischen Messungen im Labor und im Feld möglich ist.

Je nachdem welcher der fünf oben erwähnten Faktoren untersucht wird, wird eine der folgenden Untersuchungsmethoden Anwendung finden:

- Augenschein
  Nicht alle Parameter und dessen Wirkungen können gemessen und numerisch dargestellt werden (z. B. Nutzungsgrad). In diesen Fällen wird ein Augenschein durchgeführt. Die Beobachtungen werden auf ein standardisiertes Protokollblatt (welches auch einen Skizzenplan enthalten kann) aufgenommen. Daneben sollten repräsentative Fotos gemacht werden.
- Messungen in situ
  Je nach Einflussfaktor ist möglichst zu versuchen, entsprechende Sensoren zu verwenden, um quantitative Untersuchungsdaten zu erhalten.
- Labor
  Im Labor werden Modellversuche durchgeführt, um den Einfluss der einzelnen Hauptparameter zu verfolgen und andere Faktoren ausgrenzen zu können. Ebenfalls, können gezielt zwei oder mehrere Parameter gleichzeitig untersucht werden.

5 SCHLUSSMERKUNGEN

In der Arbeit wurde der Stand der Technik bei der Erstellung von Brückenabdichtungssystemen mit Polymerbitumen-Dichtungsbahnen in der Schweiz und in den benachbarten Ländern dargestellt. Das Projekt wurde ausdrücklich auf Brücken mit Betonuntergrund und Abdichtungssysteme mit PBD begrenzt. Anschlüsse und Detailkonstruktionen werden nicht behandelt.
Es wurde festgestellt, dass in der Schweiz regional Unterschiede im Aufbau, in der Bauweise und in den Bezeichnungen existieren. Solche Unterschiede werden noch deutlich, wenn die benachbarten Ländern berücksichtigt werden.
Als Folge wurden einheitliche Bezeichnungen und eine einheitlichen Systematik zum Aufbau von Brückenabdichtungssystemen entwickelt. Die vorgeschlagene Systematik ist als Vereinfachung der Wirklichkeit zu verstehen und dient dazu, eventuelle Unterschiede (in Aufbau und Bauweise) einfacher vergleichen zu können. Die Systematik des Abdichtungsaufbaus muss die Struktur und die Funktion des wirklichen Systems wiedergeben und demzufolge eine funktionelle Klassierung erlauben (*Abbildung 2.2*).

In bezug auf den Einsatz von Haftvermittlern (HV) kann festgestellt werden, dass einerseits unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte vermehrt Bitumenemulsionen (BE) eingesetzt werden, andererseits aufgrund schlechter Erfahrungen mit Bitumenvoranstrichsystemen (BV) in letzter Zeit besonders für verkehrstechnisch relevante Bauwerke Epoxid-Haftvermittler (E-HV) verwendet werden. Die geringere Beeinträchtigung des Verkehrs und des Bauablaufs ist ein weiterer Grund, der für den Einsatz von E-HV spricht.
Betreffend PBD verwenden mehr als die Hälfte der befragten Kantone folgende Systemkombinationen:

- Bitumenemulsionen (BE) mit APP und SBS
- Voranstrich (BV) mit APP und SBS.

Ausserdem wurde festgestellt, dass in keinem Kanton ausschliesslich der PBD-Typ APP in dem Aufbau des Teilsystems Dichtungsschicht (*Abbildung 2.2*, Teilsystem **3**) Anwendung findet. Bezüglich der Schutzschicht zeigt sich, dass Gussasphalt (GA) das am häufigsten angewendete Material ist.

In den benachbarten Ländern kommen als Dichtungsschicht ein- oder zweilagige PBD in unterschiedlichen Ausführungsweisen vor. Die Brückenbauweise beeinflusst nur bedingt die Bauweise des Abdichtungssystems. So verlangen beispielweise die empfindlichen Stellen der Tragelemente einen besonderen Schutz in Form eines besonders gestalteten Abdichtungssystems (z. B. "pontages" in Italien).

Die Bauweise von Abdichtungssystemen in Deutschland und Österreich ist sehr ähnlich. Der Hauptunterschied besteht darin, dass in Deutschland vermehrt Epoxid-Haftvermittler (E-HV) eingesetzt werden. Hingegen weichen die Bauweisen in Italien und Frankreich sehr von denen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz ab. Die Ähnlichkeit der französischen und italienischen Bauweise kann auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass in beiden Ländern Produkte der selben Produzenten zum Einsatz kommen.

Aufgrund von aufgetretenen Schäden und Mängeln an Bauwerken und unter Berücksichtigung bereits bekannter Faktoren wurde eine Liste der Einflussfaktoren zusammengestellt. Die Einflussfaktoren können dabei in folgende Gruppen unterteilt werden:

- Klimatische Einbaubedingungen
- Betonuntergrund
- Haftvermittler
- Dichtungsschicht
- Schutzschicht.

Weiterhin wurden aufgrund vorliegender Normen und Publikationen die für die Beurteilung des Einbaus eines neuen bzw. der Instandsetzung eines bestehenden Brückensystems erforderlichen Prüfungen zusammengestellt. Die wichtigsten Erkenntnisse der Forschungsarbeit sind in den *Tabellen 4.8* bis *4.14* und den Tabellen im Anhang enthalten, die wiederum eine wichtige

Grundlage für die für die Revisionen der Norm 690 490 und der SIA 281 bilden. Ausserdem liefern sie Hinweise für den Planer, zumal viele praktische Angaben darin enthalten sind.
Die Umsetzung der Angaben dieses Projektes in der Praxis kann zur Vermeidung von Schäden beitragen, eine Grundlage zur verbesserten Beurteilung von Schäden schaffen und zu einem besseren Informations- und Erfahrungsaustausch mit ausländischen Behörden, Prüfinstituten, Universitäten und Normierungsgremien führen.

Die hier vorgestellte Sachlage für das Brückenabdichtungssystem (hauptsächlich die *Tabellen 4.9* bis *4.14*) stellt einen Diskussionsbeitrag dar, der in Zukunft noch ergänzt und verfeinert werden muss. Dies vor allem deshalb, weil zum Teil keine klare Sollwerte oder überhaupt keine Sollwerte vorhanden sind. Für die Fortsetzung der Arbeit wurden fünf massgebende Einflussfaktoren bestimmt:

1. Untergrundvorbereitung,
2. Betonporosität,
3. Haftvermittler-Typ,
4. PBD-Typ,
5. Anpressung der PBD,

welche noch wenig erforscht sind und die Basis für das in dieser Arbeit vorgestellte überarbeitete Gesamtkonzept sowie für weitere Forschungsanstrengungen bilden.

6 DANK

Allen Tiefbauämtern der 20 beteiligten Kantone sowie den Herren Dr. Vater der BAM, Prof. Eustacchio der TU Graz, Ing. Fragnet der SETRA, Ing. Aganetti der Index S.p.A und Ing. Rotolo der Imper S.p.A sei herzlich für ihre wertvollen Beiträgen gedankt. Dank gebührt auch den Mitarbeiten der Abteilung Strassenbau/Abdichtungen der EMPA, insbesondere den Herren S. Hean und K. Oba für ihre Unterstützung bei der Durchführung der Umfragen sowie ihre fachlichen Unterstützung. Ganz speziell möchten wir uns aber auch bei Herrn M. Donzel (ASTRA) sowie den weiteren Mitgliedern der zuständigen Begleitkommission unter der Leitung von Herrn H. Fleischer, für die wichtigen Anregungen und die sorgfältige Durchsicht des Berichts bedanken.

Dübendorf, im 20. Dezember 2000

EMPA Dübendorf
Abteilung für Strassenbau/Abdichtungen

Der Projektleiter :

M. Stimolo

Der Abteilungsleiter :

Dr. Manfred N. Partl

7 VERZEICHNISSE

7.1 Normen, Richtlinien und Empfehlungen

[N1] SIA 281: Bitumen- und Polymerbitumen-Dichtungsbahnen, Anforderungswerte und Materialprüfung, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein (SIA), 1992

[N2] SIA 281/1: Polymerbitumen-Dichtungsbahnen bei Gussasphalteinbau, Anforderungswerte und Materialprüfung, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein (SIA), 1996

[N3] SIA 281/2: Polymerbitumen-Dichtungsbahnen Schälzugprüfungen, Verständigung Schälzugprüfung mittels Schälzuggerät Schälzugprüfung von Hand, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein (SIA), 1998

[N4] SIA D 0147: Brückenabdichtungssysteme mit Polymerbitumen-Dichtungsbahnen, Untergrundvorbereitung, Haftvermittler, Dichtungsbahnen, Referate der Tagungen vom 29.April 1998 in Olten, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein (SIA), 1999

[N5] SN 640 490 b : Brückenbeläge und -abdichtungen, Konzeption, Anforderungen, Ausführung, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), 1988

[N5a] SN 640 490 c : Abdichtungen und Beläge auf Betonbrücken, Entwurf Nr 4 Ausführung, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS),

[N6] Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken, Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau, 1990

[N7] Kunstbauten: PBD Abdichtung: Variante mit bituminösem Voranstrich, Besondere Bedingungen, Aufgearbeitete Ausgabe, Baudirektion des Kantons Freiburg Autobahnbüro, September 1996

[N8] Vorschriften für die Ausführung von Abdichtungen mit vollflächig verklebten Kunststoff Dichtungsbahnen (Ergänzungen und Auszug aus den geltenden Normen und Richtlinien). Besondere Bestimmung, Teil 2, Tiefbauamt des Kantons Graubünden, Oktober 1996

[N9] Condition particulières, Canton de Vaud, Departement des Infrastructures, Service des Routes, Routes nationales, 30 Juin 2000

[N10] SIA 162/5: Erhaltung von Betontragwerken, Verständigung, Grundsätze, Zustanderfassung, Zustandsbeurteilung, Massnahmenempfehlung, Massnahmenplanung, Baustoffe und Systeme, Ausführung baulicher Erhaltungsmassnahmen, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein (SIA), 1997

[D1] ZTV-BEL-B Teil 1: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für das Herstellen von Brückenbelägen auf Beton, Teil 1: Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweissbahn, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., 1999

[D2] ZTV-BEL-B 2/87 : Vorläufige Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Herstellung von Brückenbelägen auf Beton, Teil 2 Dichtungsschicht aus zweilagig aufgebrachten Bitumendichtungsbahnen, der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau, 1987

[D3] TL-BEL-EP : Technische Lieferbedingungen für Reaktionsharze für Grundierungen, Versiegelungen und Kratzspachtelungen unter Asphaltbeläge auf Beton;
TP-BEL-EP : Technische Prüfvorschriften für Reaktionsharze für Grundierungen, Versiegelung und Kratzspachtelungen unter Asphaltbelägen auf Beton;
Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., 1999

[D4] TL-BEL-B Teil 1: Technische Lieferbedingungen für die Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweissbahn zur Herstellung von Brückenbelägen auf Beton nach den ZTV-BEL-B Teil1;
TP-BEL-B Teil 1 : Technische Prüfvorschriften für Brückenbelägen auf Beton mit Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweissbahn nach den ZTV-BEL-B Teil 1; Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., 1999

[F1] Guide SETRA STER 81, Surface Etanchéité et couches de Roulement des Tabliers d'ouvrages d'art, Ministère de l'équipement, du logement, des transports et du tourisme

[F2] Marchés publics de travaux, Cahier des clauses techniques générales, Fascicule N° 67 titre Ier, étanchéité des ponts routes support en béton de ciment, Décret N° 85-404 du 3 avril 1985

[A1] RVS 15.361 Bauausführung - Brückenabdichtung – Tragwerksvorbereitung auf Brücken, bearbeitet von der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Arbeitsgruppe " Brückenbau", Arbeitsausschuss "Brückenabdichtung", Ausgabe Juni 1978

[A2] RVS 15.362 Bauausführung - Brückenabdichtung – Abdichtungen mit polymerbitumenbeschichteten Bahnen, bearbeitet von der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Arbeitsgruppe " Brückenbau", Arbeitsausschuss "Brückenabdichtung", Lesung 1999-04-08, Ausgabe November 1987 und Entwurf 1999-05-31

[A3] RVS 15.364 Bauausführung - Brückenabdichtung – Oberfläche von Betontragwerken – Behandlung, Ausgleichs- und Instandsetzungsmörtel, bearbeitet von der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Arbeitsgruppe " Brückenbau", Arbeitsausschuss "Brückenabdichtung", Ausgabe Juni 1987

[A4] RVS 15.365 Bauausführung – Brückenabdichtung – Fahrbahnaufbau auf Brücken, , bearbeitet von der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Arbeitsgruppe " Brückenbau", Arbeitsausschuss "Brückenabdichtung", Lesung 1999-04-14, Entwurf 1999 und Entwurf

7.2 Literatur

[L1] Hean, S., ***Prüfmethode Beständigkeit von Polymerbitumen-Dichtungsbahnen beim Gussasphalt-Einbau***, EMPA FE Bericht Nr. 141'009, Dezember 1992

[L2] Hean, S. und Pflüger, H., ***Dichtigkeitsverhalten von Dichtungsbahnen bei hohem Wasserdruck***, EMPA FE Bericht Nr. 146'347, Dezember 1993

[L3] Hean, S. und Pflüger, H., ***Einsatz von Moiré-Techniken in der Abteilung 113***, EMPA FE Bericht Nr. 148'636, Mai 1994

[L4] EMPA Bericht Nr. 165'964 (Schadensabklärung nicht öffentlich), Oktober 1996

[L5] EMPA Bericht Nr. 146'573 (Schadensabklärung nicht öffentlich), März 1993

[L6] EMPA Bericht Nr. 149'641 (Schadensabklärung nicht öffentlich) November 1993

[L7] EMPA Bericht Nr. 129'425 (Schadensabklärung nicht öffentlich) Februar 1991

[L8] EMPA Bericht Nr. 108'376 (nicht öffentlich), ***Abdichtungen aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen: Haftverhalten verschiedener Verbundsysteme mit Brückenplatte, Betonbrüstung und Fahrbahnübergang (Stahlblech)***, Juni 1990

[L9] EMPA Bericht Nr. 54'750 (nicht öffentlich), ***Abdichtungen aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen: Verbund der Abdichtungen mit Brückenplatte***, August 1988

[L11] EMPA Bericht Nr. 167'899/1 (nicht öffentlich), ***Untersuchung der Schädigungsmechanismen beim Aufflämmen von PBD***, Juli 1997

[L12] Fritz, H. W. und Zollikofer, J. W., ***Brückenabdichtungen und Brückenbeläge, Untersuchungen verschiedener Systeme in der Schweiz***, Schlussbericht 371 samt Anhang, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), September 1996

[L13] Partl, M. N., Hean, S. und Oba, K., ***Polymerbitumen-Dichtungsbahnen,*** SI+A Nr. 38, September 1996, 799-804

[L14] Partl, M. N., ***Schäden an Asphaltbelägen***, Ausschuss für die Weiterbildung im Bauingenieurwesen AWB, EMPA FE Bericht Nr. 160'592, November 1995

[L15] Partl, M. N., Hean, S. und Oba, K., ***Prüfung und Beurteilung von Polymerbitumen-Dichtungsbahnen***, SSIZ Nr.8/97

[L17] E. Eustacchio, ***Brückenabdichtungen: Neuerung bezüglich RVS und EN***, BBI-Bäumler, 23.Mai 2000

[L18] Fritz, H. W. und Hean, S., ***Erfahrung mit Brückenabdichtungen und Brückenbelägen***, Sonderdruck aus Strasse und Verkehr, Nr. 3/1998

[L20] Haag, Alfred, ***Parkdeckabdichtungen mit Bitumenwerkstoffen, Grundlagen- Planung- Bemessung- augewählte Details***, 2. Auflage, Heft 55, ARBIT-Schriftenreihe, Arbeitsgemeinschaft der Bitumen-Industrie E.V., Hamburg

[L21] Kilcher, F, ***Brückenabdichtungen***, SIA, Sonderdruck aus Heft 33-34/1980

[L22] Menn C., ***Zustandermittlung und Instandsetzung von Betonbrücken***,SIA Heft 23 vom 9 Juni 2000, 525-529

7.3 Internet Adressen

[W1] http://www.brai.it/capit8.htm

8 ANHÄNGE

8.1 Anhang 1: Einflussfaktoren
8.2 Anhang 2: Schadenfälle / Erfahrungen
8.3 Anhang 3: Schäden durch äussere bzw. innere Einflüsse

8.1 Anhang 1: Einflussfaktoren

Klimatische Einbaubed. für alle Schichten	Allgemeine Witterungs-Bedingung	Lufttemperatur T_L	Luftfeuchtigkeit RL	Untergrundtemperatur T_U	Taupunktabstand T_P
Umfrage üblicher Wert		$T_L > 5°C$	$\leq 75\%$	$T_U \geq +5°C$	$T_P = +3°C$
Umfrage Besonderheiten		+5 °C < T_L < 30°C Innerhalb von Materialgrenzen	$\leq$ 75 % (bei 15°C); $\leq$ 85% (bei 23°C) Innerhalb von Materialgrenzen	+5 °C $\leq T_U \leq$ 30°C Höher als angegebene Materialminimaltemp.	
SN 640 490 b (alt)				Je nach Abd'syst. > 0°C. Brückenplatte darf nicht gefroren sein.	
SIA D0147					
ASTRA				$T_U > 5°C$	
Önormen	Einbau der Schichten nur bei günstigen Witterungsbed. Muss aus zwingenden Gründen bei ungünstigen Witterungsbed. eingebaut werden, so sind hierfür zusätzliche Schutzmassnahmen gegen Witterungseinflüsse vorzusehen.	$T_L \geq +5°C$ (Ausnahmeweise mit GA $T_L < +5°C$) optimal bei +20°C Trag- / Deckschichten aus GA bis zu -5°C		Bei Abdichtungs-herstellung muss die Betonoberflächentemp. bei +8°C bis +35°C liegen.	Für Tragwerk u. Material mind. +3°C
Italien	Einbau der Schichten bei günstigen Witterungsbed.	$T_L \geq +5°C$			
ZTV-BEL-B Teil 1	Beim Einbau der Baustoffe und Baustoffgemischen dürfen die zul. Grenzwerte für Temp., Luft- und Oberflächenfeuchte nicht unter- bzw. überschritten werden. Muss aus zwingenden Gründen die Behandlung der Betonoberfläche und die Dichtungsschicht bei ungünstigen Witterungsbed. ausgeführt werden, so sind hierfür zusätzliche Schutzmassnahmen gegen Witterungseinflüsse vorzusehen.				$T_P = +3°K$

Untergrund / Bauwerk	Oberflächen-vorbereitung (Schleuderstrahlen)	Anforderung an Betonoberfläche:			
			Betonqualität (Porosität, Lunker, Kiesnester)	Gefälle (Fallliniengefälle)	Ebenheit unter 2m Latte zul. Vertiefung
Umfrage üblicher Wert	x		x		< 5mm
Umfrage Besonderheiten			Luftporengehalt (p_L) in obersten 30mm Untergrund : p_L > 5 Vol-%.	Gefälle so, dass kein Rückstauwasser auf der Betonober-fläche entsteht.	< 10mm
SN 640 490 b (alt)	x			≥ 2.5%	max. 5mm
SIA D0147	x	Keine Aufwölbungen, Eindrücke und scharfe Kanten.			≤ 10mm
ASTRA	x			≥ 2.5%	< 5mm
Önormen		Auf dem Tragwerk vorhandenes bzw. zufliessendes Wasser ableiten.		min. Querneigung : 2.5 % od. Mind'schrägneigung: 1.5%.	
Italien		Kanten brechen mit min. Radius von 40mm.	x	mind. 1.5%	
ZTV-BEL-B Teil 1	x				

Untergrund / Bauwerk	Anforderung an Betonoberfläche:				
	Ebenheit unter 4m Latte: q ≤ 5% zul. Vertiefung	Ebenheit unter 4m Latte: q ≥ 5% zul. Vertiefung	Untergrundqualität (Sauberkeit, Hohlstellen, Entfernung von Überzähnen)	Betonfeuchtigkeit [Gew-%]	Betonfeuchtigkeit (Betonalter) [Wo]
Umfrage üblicher Wert	< 10mm	< 15mm	x	< 3.5%	3...4
Umfrage Besonderheiten				< 4.0% < 5%	
SN 640 490 b (alt)	max. 10mm	max. 15mm	x	Trocken; vorgängig mind. 48h wässern.	
SIA D0147			Trocken u. sauber.	< 4.0%	
ASTRA	< 10mm	< 15mm	x	An Oberfläche : < 3.5% (bei Kunststoffabd.: < 3.0%)	> 3
Önormen	< 10mm		x	Oberfläche muss dem Augenschein nach trocken sein.	3 (Mörtelschichtdichte <3.5 cm, 2Wo.)
Italien			x		
ZTV-BEL-B Teil 1			Trocken und sauber (frei von Graten, Stufen, Kiesnestern...).	Trockenheit durch lokale Erwärmung mit Heissluftgebläse od. Fön prüfen (helle Färbung).	3

Untergrund / Bauwerk	Anforderung an Betonoberfläche				Reprofilierung, Ausgleichschicht:
	Frostbeständiger Beton	Betonoberflächen-rauhigkeit, Rauhtiefe (Rt)	Haftzug-festigkeit [N / mm^2]	Wasser-aufnahmekoeff. W [$kg/m^2 * h^{0,5}$]	
Umfrage üblicher Wert	x	Rt< 1.0 mm 1< Rt < 5mm: Reprofilierung mit Epoxi- Zementmörtel. Rt > 5mm: Reprofilierung mit Zementmörtel.	MW > 1.5 EW > 1.0	W ≤ 0.5	bis 10mm mit Mastix ausgleichen.
Umfrage Besonderheiten		< 2mm < 5mm	> 2.0		Zementgebundene Mörtel mit ausreichender Wärmebeständigkeit. Reprofilierungsmaterial soll mit Abd'system verträglich sein. Keinen Luftporenbeton einsetzen. Untergrund je nach Materialtyp trocken od. feucht. Nur bei Vertiefungen > 2.0cm
SN 640 490 b (alt)		Zementbetonbelag möglichst rau.			
SIA D0147		< 1.5 mm EP: > 1.5mm : Kratzspachtelung od. Ausgleichsschicht einbauen. EP: Kratzspachtelung nur mit Versiegelung vorgesehen.	>1.5		Anforderung nach ZTV-SIB bzw. SIA162/5. Untergrund gut vornässen. Beim Einbau darf kein Wasserfilm und keine Verschmutzung auf dem Untergrund vorhanden sein. Auf eine gute Verdichtung des Mörtels und einen optimalen Verbund mit dem Untergrund achten. Bewitterungsschutz von zementös gebundenen Systemen.
ASTRA					Zementgebundener Reparaturmörtel mit ausreichender Wärmebeständigkeit. Zum Ausgleich von Unebenheiten u. Rauhigkeiten eignet sich Mastix. Dieses Material darf nie für Reprofilierungen eingesetzt werden.
Önormen		0.3...1.5mm (max. zul. 2.5mm)	> 1.5		
Italien					
ZTV-BEL-B Teil 1		< 1.5 mm: Grundierung / Versiegelung herstellen. > 1.5 mm: Kratzspachtelung ausführen.	mind. 1.5		

Untergrund / Bauwerk	Reprofilierung, Ausgleichschicht:						
	Eignungs-nachweis nach SIA 162	Mind'alter des Betons vor dem Aufbringen von EP.	Vertiefungen	örtlich	Technische Anforderung:	Druck-Festigkeit [N / mm^2]	Elastizitäts-Modul
Umfrage üblicher Wert	x			Bitum. Mastix auf den HV.		> 35	Emörtel < E Bet'untergrund
Umfrage Besonderheiten					Frosts-Beständigkeit chem. u. phys. Verträglichkeit.		Niedriger E'mod. (z.B. E < 25 kN/mm^2)
SN 640 490 b (alt)				Mit Mastix ausfüllen.			
SIA D0147	162/5						
ASTRA			Grosse Vertiefungen sind in einem Arbeitsgang zu reprofilieren.	Mastix / Polymerbitum. sind nur punktuell einzusetzen (bis Hand-tellergrösse).			
Önormen					Zugelieferte Materialien müssen mit Sortenbezeichn., Produktions-datum und nummer versehen sein.	mind. 23	
Italien							
ZTV-BEL-B Teil 1	x	≥ 21d für Grundierung. ≥ 14d für Versiegelung. ≥ 7d für Versiegelung wenn Anforderung TL-BEL-EP erfüllt sind.	Nach ZTV-SIB	Bis 5mm Tiefe u. bis ca. 500 cm^2 Grösse mit Kratz-spachtelung füllen.			

Untergrund / Bauwerk	Reprofilierung, Ausgleichschicht:				Entwässerungssystem	Abnahme der Oberfläche
	Technische Anforderung:		Ausgleichsschichten aus zem. Mörtel	Ausgleichsschichten aus Mastix (M) / Polymerbitumen (P)		
	Wasser-Aufnahme W [kg/m² * h^{0,5}]	Haftzug-Festigkeit [N / mm²]				
Umfrage üblicher Wert		MW > 1.5				x
Umfrage Besonderheiten	W ≤ 0.1				x Dichtigkeitsprüfung	
SN 640 490 b (alt)						x
SIA D0147	W ≤ 0.1	≥ 1.5	Ausgleichschichten dürfen am Rand nicht flach auslaufend verstrichen werden. Die Ränder sind vor dem Einbau entspr. anzuschneiden u. anzuschleifen. Gefräste Flächen müssen zusätzlich mit Sand od. Wasser gestrahlt werden. Min. notwendigen Schichtdicken gemäss Herstellerangaben. Ausgleichschichten aus Fliessmörtel bei sinkender od. konst. Temp. applizieren. Hersteller-vorschriften bzgl Witterungsbed. einhalten.	M: Harten bis sehr harten Mastix verwenden (Stempeleindringtiefe nach SN 640440a s < 1mm). P: Polymerart des P und der PBD müssen gleich sein. M / P: Einbau erfolgt nach dem Aufbringen des bitum. Voranstrichs. M / P: In den zu egalisierenden Vertiefung dürfen kein Voranstrich-ansammlungen vorhanden sein. M / P: Vor der Applikation ist der Untergrund vorzuwärmen. P: Polymerbitumen muss indirekt beheizt werden; unter dauerndem Rühren kochen u. aufschmelzen. P: Polymerbitumen nicht durch Überhitzung beschädigen.		x
ASTRA						
Önormen					Brückenentwässerung sicherstellen durch bauliche Massnahmen. An Tiefpunkt und beidseits der Brückenübergangs-Konstruktionen sind verstärkt Entwässerungs-massnahmen notwendig.	RVS 8S.06.32
Italien						
ZTV-BEL-B Teil 1		MW mind. 1.5 EW > 1.0			Unmittelbar vor dem Aufbringen einer Schicht ist zu prüfen, ob vorhandene Entwässerungseinrichtungen funktionsfähig sind. Jede Fläche kann jederzeit entwässert werden.	

Haftvermittler (HV)	Chem. u. phys. Verträglichkeit	Einbaubedingungen:			
			Untergrundzustand	**Auftragen / Applikation von homogener Schicht**	**Auf metallischer Oberfläche**
Umfrage üblicher Wert	x		Trocken und sauber	regelmässig auftragen ohne Lachenbildung.	
Umfrage Besonderheiten		Voranstrich nicht bei steigenden Untergrundtemp. applizieren. Voranstrich soll tief in Poren eindringen. Für EP : Eindringtiefe > 1mm	In saugendem Zustand. Trocken mind. 24 h vor dem Anstrich.		Vorbehandlung mit Sandstrahlen (SA 2.5) od. mit Schleifscheibe und Entfetten.
SN 640 490 b (alt)					
SIA D0147		Voranstrich nicht bei steigenden Untergrundtemperatur applizieren. Materialtemp. bei der Applikation $T \geq 15°C$ (gültig für B-HV). Herstellervorschriften einhalten. Witterungsschutzmassnahmen. Voranstrich muss Destillations- oder Polymerbitumen enthalten. B-HV soll dünnflüssig sein (Auslaufzeit DIN ISO 2431 3mm Düse : 20..60s). Voranstrichansammlungen in Vertiefungen vermeiden. Applizierte Voranstrichmenge: 100-150 g/m^2 (bei saugendem Untergrund mehr). Bit'emulsionen dürfen vor Anwendung nicht brechen.	Im saugende. EP: trocken, sauber u. frei von Lösungsmitteln od. anderen leichtflüchtigen Stoffen. EP: Porosität des Betons muss die Bildung von Poren u. Kanüle in EP vereinfachen.	Regelmässig auftragen ohne Lachenbildung.	
ASTRA	x				
Önormen	x				
Italien					
ZTV-BEL-B Teil 1	x				

Haftvermittler (HV)	Einbaubedingungen für EP:	Viskosität	Topfzeit	Aushärtezeit	Nicht flüchtige Anteile
Umfrage üblicher Wert					
Umfrage Besonderheiten	Aus lösungsmittelfreiem, niederviskosem EP.	DIN 53 214	TP-BEL-EP	DIN 53 153	DIN 53 216
SN 640 490 b (alt)					
SIA D0147	Materialanforderungen nach TP-BEL-EP. Quarzsand abstreuen und einmassieren (homogen verteilt und mit EP umhüllt). Quarzsandüberschuss vermeiden. applizierte EP Menge: etwa 300-500 g/m^2 pro Schicht. Epoxidharzversiegelung in zwei Schichten aufbringen.			Herstellervorschriften einhalten. Während der Aushärtezeit Luftemp. u. rel. Luftfeuchtigkeit registrieren.	
ASTRA					
Önormen					
Italien					
ZTV-BEL-B Teil 1	Bei Niederschlag, Tau, Nebelnässe dürfen Arbeiten nicht ausgeführt werden. Bei schnell steigenden Objekttemp. (z.B. direkte Sonneneinstrahlung) dürfen Arbeiten nicht ausgeführt werden. Die zu mischenden Komponenten der EP müssen mit langsam laufenden Rührwerk zunächst getrennt homogenisiert u. anschliessend sorgfältig vorgemischt werden. Das vorgemischte EP ist danach in einen anderen Behälter umzufüllen u. erneuert auf dieselbe Weise zu mischen, bis es homogen ist. Erst dann darf es verarbeitet werden. Zugabe von Lösungsmittel ist unzulässig. Alle Schichten od. Lagen aus EP abgestuft auszuführen u. mind. 10cm überlappen; Ränder geradlinig ausbilden.				

Haftvermittler (HV)	Einbaubedingungen für EP:				
	Keine Porenbildung, Risse oder Ablösungen	Hitze-Beständigkeit	Stoffliche Zusammensetzung	Einhaltung der Applikationsbedingungen	Schutz vor Bewitterung
Umfrage üblicher Wert	x	x			
Umfrage Besonderheiten			Epoxidbasis, lösungsmittelfrei.	Einbautemp.: 8°-25°C.	Keine Niederschläge.
SN 640 490 b (alt)					
SIA D0147			Bei Mischung keine Zugabe von Lösungsmitteln.	Herstellervorschriften (für Mischverhältnis der Komponenten, Mischzeit, usw.) einhalten.	x
ASTRA					
Önormen					
Italien					
ZTV-BEL-B Teil 1				x Keine Veränderung der Zusammensetzung u. des Mischungsverhältnisses.	Bis zum Erreichen ausreichender Härtung.

Haftvermittler (HV)	Anforderung EP:				
		Wasseraufnahme	Haftzugfestigkeit [N/mm^2]	Versiegelungswirkung	Carbamatbildung
Umfrage üblicher Wert			MW $\geq$ 1.5 EW $\geq$ 1.0		
Umfrage Besonderheiten	Objekt- u. Lufttemp.: 8°C < T < 40°C	$\leq$ 2.5 M-% (DIN 50014, 53495) $\leq$ 0.05 [$kg/m^2 * h^{0.5}$] $\leq$ 0.1 [$kg/m^2 * h^{0.5}$]	MW $\geq$ 2.0		x; Kontrolle
SN 640 490 b (alt)					
SIA D0147	Untergrundtemp. $\leq$ 35°C		$\geq$ 1.5 (auf Beton)	x (elektr. Durchgangswid.)	
ASTRA					
Önormen					
Italien					
ZTV-BEL-B Teil 1	8°C < T < 45°C				

Haftvermittler (HV)	Grundierung		Versiegelung	Kratzspachtelung
	Menge	Einbau	Einbau	Einbau
Umfrage üblicher Wert				
Umfrage Besonderheiten				
SN 640 490 b (alt)				
SIA D0147				
ASTRA				
Önormen	1.Schicht : 400 g/m^2 2.Schicht : 250 g/m^2	Aus niedrigviskosem, lösungsmittelfreiem EP; es hat die Betonoberfläche porenfrei abzuschliessen. Herstellung in zwei Arbeitsgängen. Die 2. Schicht kann auch nass in nass herstellt werden. Es ist mit feuergetrocknetem Quarzsand abzustreuen. Verarbeitbarkeit zw. +8°C u. +40°C Objekttemp.. Bei Niederschlag, Taubildung od. Nebelnässe darf kein Aufbringen erfolgen.		
Italien				
ZTV-BEL-B Teil 1	300-500 g/m^2	Angemischtes Material auf die vorbereitete Betonoberfläche giessen und mit einem weichem Gummischieber gleichmässig verteilen. Mit Fellrollen nachrollen, um Stoffansammlungen in Vertiefungen zu vermeiden. Unverzüglich nach dem Rollen mit trockenem Quarzsand der Lieferkörnung 0.2 / 0.7 gleichmässig mit einer Menge von 500-800 g/m^2 abstreuen.	Versiegelung wird zweilagig hergestellt. 1.Arbeitsgang: Auftragung von Reaktionsharz in einer Menge von mind. 400 g/m^2. Unverzüglich nach dem Rollen mit trockenem Quarzsand der Lieferkörnung 0.7 / 1.2 im Überschuss abstreuen. Nicht festhaftendes Abstreumaterial entfernen nach Aushärtezeit. 2.Arbeitsgang: Gleichmässige Auftragung von Reaktionsharz in einer Menge von mind. 600 g/m^2. Stoffsammlungen vermeiden. Diese Oberfläche nicht abstreuen.	Mineralstoffgemisch für EP-Mörtel muss trocken sein. Kratzspachtelung frisch in frisch auf mit EP vorbehandelte Bet'oberfläche od. erhärtete Grundierung auftragen. Oberfläche der Kratzspachtelung mit Quarzsand (0.2/0.7) abstreuen. Oberflächenstruktur wie Grundierung. Nähte u. Ränder scharf abziehen. Nicht festhaftendes Abstreumaterial nach Aushärtzeit entfernen. Bei Kombination von Kratzspachtelung u. Versiegelung od. bei Kratzspachtelung über gesamte Fläche dann Oberfläche mit Quarzsand(0.7/1.2) im Überschuss abstreuen. Nicht festhaftendes Abstreumaterial nach Aushärtzeit entfernen. Dann EP mind. 600g/m^2 gleichmässig auftragen. Stoffansammlungen vermeiden u. Abstreuung; gleichmässig benetzen. Rt max. 1,0mm

Dichtungsschicht	Eignung nach SIA 281, Gruppe C	System-Verträglichk. (chem. / phys.) zw. oben und unten liegende Materialien	Lagerung von PBD-Rollen	Homogenität der PBD-Rollen	Materialqualität der PBD (Aussehen und Beschaffenheit)
Umfrage üblicher Wert	x	x			x
Umfrage Besonderheiten			Vertikal; bei +5°C < T_L < +30°C gelagert; vor Sonne und Regen geschützt.	Term. Stabilität	
SN 640 490 b (alt)	x	x			
SIA D0147	SIA 281	SIA 281			Vor Einbau visuelle Kontrolle des PBD Zustands.
ASTRA	SIA 281	SIA 281	Rollen sind immer stehend zu transportieren u. zu lagern. Vor Sonne u. Regen geschützten. Bei tiefen Temp. Bahnen in warmen Räumen zu lagern.		
Önormen	x	x			Gleichmässige Oberflächebeschaffenheit, frei von Rissen, gute Verbindung der Einzelschichten, kein Ölaustritt.
Italien			Vertikal auf einem glatten u. ebenen Träger; geschützt vor Sonnenstrahlungen; in trockenem Raum und T_L > 5°C. T_L < 5°C: anstelle von APP, SBS verwenden. Nur nötige Rollenmenge für den tägl. Verbrauch auf die Baustelle transportieren.		
ZTV-BEL-B Teil 1	x	x	Stehend gelagert.		

Dichtungsschicht	Einbaubedingungen:	HV voll austrocknen und auslüften	Schutz gegen ungünstige Witterungsbed.	Ausführung der Applikation der Abdichtungsbahn
Umfrage üblicher Wert		Wartezeit min. 24h	Sonneneinstrahlung (35-40°C)	PBD-Bahnen müssen angedrückt werden. Abrollen der Bahnen durch den Schweisser auszuführen. Manuelle od. maschinelle Applikation muss unterbruchlos erfolgen. Rolle auf der Verlegeseite gleichmässig abflammen, bis Bitumenschicht schmilzt u. fliesst. Zwischen Rolle u. Unterlage muss sich ein Streifen geschmolzenen Bitumens befinden. Bahn mit Walze (100 kg) andrücken. Pro Arbeitsequipe müssen dazu mind. 2 Mann eingesetzt werden. Eine Mann zum Aufschmelzen und führen der PBD-Rolle, und der zweite für die Bedienung der schweren Anpressrolle. Zwischen Bahn und Unterlage darf kein Hohlraum entstehen.
Umfrage Besonderheiten	Temp'bed. mind. 24 h gewährleistet.	12 h	Applikation bei Niederschlag, Tau, Nebelnässe nicht erlaubt.	
SN 640 490 b (alt)				
SIA D0147	Schützung gegen starke Sonnen-einstrahlung z. B. durch Thermomatten.	Austrocknungszeit (t) gemäss Herstellerangaben: t < 1 Woche	Herstellervorschriften bzgl. Witterungsbed. einhalten.	Geeignete Gliederwalze benutzen. Die am Bahnende herausgedrückte Dichtungsmasse soll den gleichen Anforderungen genügen wie die Schweissraupe entlang den Längs-überlappungen.
ASTRA	Untergrundtemp. so hoch, dass die Bahnen beim Aufziehen nicht abgeschreckt werden.			Bahnen mit Rollwalze (ca. 150 mm Durchmesser) anzudrücken.
Önormen	Verarbeitbarkeit zw. +8°C u. +40°C Objekttemp. Bei Niederschlag, Taubildung od. Nebelnässe darf keine Applikation erfolgen.			
Italien	APP: bei tieferen Temp. Stossen und schnelles Ausrollen von Bahnen vermeiden.			
ZTV-BEL-B Teil 1	Die PBD müssen beim Aufschweissen trocken sein. Lutf- u. PBDtemp. mind. 5°C. Temp.Unterlag. > 0°C.	Grundierung, Versiegelung bzw. Kratzspachtelung ausreichend erhärten lassen.		Unmittelbar nach Aufschweissen im noch flüssigen Zustand der Klebemasse ist die PBD maschinell od. mit einem geeigneten Werkzeug anzudrücken.

Dichtungsschicht	Einbaubedingungen: Seitliche Bitumenaustritts-breite	Ausführung des Flammen-schweissens	Aufflammverfahren (vollflächig und hohlstellenfreies Verkleben der Bahnen mit gleichmässig wirkender Wärmequelle über die ganze Bahnbreite).	Betonuntergrund nicht mit Flammstrahl austrocknen.	Betonuntergrund möglichst gering aufheizen.
Umfrage üblicher Wert	< 30mm	Flüssig gewordene Bitumen-Masse vor der Rolle höher als 5 mm. Flüssiges Bitumen nicht entzünden. Aufschweissen der Bahnen in Fahrtrichtung.	x	x	x
Umfrage Besonderheiten	2 ... 4 cm nicht überschreiten.		Flammtemp. ca. 800°C (rot/gelb). Erwärmung gleichmässig.		
SN 640 490 b (alt)		Therm. Schädigungen der PBD sind zu vermeiden.	x		
SIA D0147	Flächen mit übermässigen Bit'austritten entfernen u. absanden.	PBD vorsichtig aufflammen. Die verflüssigte Dichtungsmasse darf beim Entfernen des Brenners zu Kontrollzwecken nur kurz weiter brennen (2 bis 3 Sek.).	Position des Brenners so, dass der Untergrund genügend, aber nicht übermässig erwärmt wird.		
ASTRA	An Bahnenrändern (längs u. quer) darf 30 mm nicht überschreiten.	Beim Flämmen der Bahnen darf keine Schädigung des Polymerbitumens entstehen.	Aufflämmverfahren in bezug auf Schäden überwachen.		x
Önormen					
Italien	Spachteln und glätten mit Fugenkelle.	Flamme auf Untergrund u. nicht direkt auf PBD ausrichten.	x		
ZTV-BEL-B Teil 1		Flamme so richten, dass sowohl die Unterlage erwärmt, als auch soviel Klebemasse von der Bahnunterseite abgeschmolzen wird, dass beim Abrollen der Bahn vor der Rolle eine flüssige Wulst verläuft.	x		Betonoberfläche u. PBD nur so stark erhitzen, dass ordnungsgemässer Einbau möglich ist.

Dichtungsschicht	Verlegen Vorschriften :				
		Oberflächensauberkeit (vor dem Verlegen)	**Vermeidung von Wasserunterläufigkeit (fliessendes Wasser abzuleiten).**	**Start des Ausrollens beim tiefsten Punkt.**	**Ausrollen dach-ziegelartig mit dem Gefälle in Richtung Quer- und Längsneigung.**
Umfrage üblicher Wert		Trockene Reinigungstechniken, keine zusätzliche Feuchtigkeit einbringen. Nochmals reinigen, achten dass keine darauf Spitzen Körner vorstehen.	x	x	x
Umfrage Besonderheiten					
SN 640 490 b (alt)				x	
SIA D0147		Trocken, sauber u. frei von Lösungsmitteln od. anderen leichtflüchtigen Stoffen.		Bandrollen auf PBD-Rollen entfernen.	
ASTRA				x	
Önormen					
Italien	Kleinere Bahnen müssen kleinere Beanspruchungen aufnehmen.	Trocken, glatt u. eben			Dachziegelartig ausrollen. Überlappung so, dass keine Rückstau-wasserbildung.
ZTV-BEL-B Teil 1					Nach Dachziegelprinzip idR in Längsrichtung der Fahrbahn.

Dichtungsschicht	Verlegen Vorschriften : Überlappungsbreite	max. Anzahl von überlappenden Bahnen.	Vermeidung von Kreuzstössen	Jede Rolle hat normgerechte Etikettierung aufzuweisen (Identifizierung).
Umfrage üblicher Wert	mind. 10 cm	3	x	x
Umfrage Besonderheiten	10 cm (bei Etappierung mind. 15cm). Das geschmolzene PBD-Bindemittel muss auf der ganzen Länge der Überlappung austreten. 5 cm und therm. verschweissen.	3 (mind. 50cm) max.2 (> 50cm)		
SN 640 490 b (alt)	mind. 100mm.. Nähte sind versetzt anzuordnen.			
SIA D0147	Längsüberlappung : 5...30 mm (vereinzelt bis 50mm). Längskante der PBD muss von Schweissraupe umhüllt sein.			
ASTRA	min. 100mm Nähte versetzt anordnen, damit an keiner Stelle eine Überlappung mit mehr als 3 Bahnen vorhanden ist. Die erwärmte obere Bahn am Rande gegen die untere ausgleichen bzw. die Kante abzuflachen. Defekte od. qualitativ zweifelhafte Nähte dürfen nicht mit dem heissen Spachtel zugestrichen werden. Sie sind durch eine neue Lage zu ersetzen, wobei nie mehr als 3 Lagen übereinander liegen dürfen. Senkrechte Flächen sind aufwärts in Richtung der Bahnen zu verschweissen.	3		
Önormen				x
Italien			Versetzt Verlegen, Kreuzstösse vermeiden.	
ZTV-BEL-B Teil 1				

Dichtungsschicht	Schutz:	Gegen direktes Befahren	Allfällige Beschädigung sofort reparieren
Umfrage üblicher Wert		x	x
Umfrage Besonderheiten			
SN 640 490 b (alt)	Vor u. während Einbau Massnahmen gegen Verletzung der PBD		
SIA D0147	Dauer bis zum Belagseinbau soll t < 1 Wo. betragen.	Mechanische Beschädigungen vermeiden.	x Hohlstellen (Hs) in der Fläche der PBD: Schadhafte Stelle mit Kreuzschnitt aufschneiden u. auf Untergrund aufschweissen. Einen zusätzlichen, mind. 10cm grösseren u. gleichartigen PBD-Streifen aufschweissen Hs im Bereich der Überlappungsstösse: Schadhafte Stelle herausschneiden. Über diese Stelle einen Streifen gleichartiger PBD aufschweissen (Überlappung von mind. 10cm einhalten).
ASTRA			x Blasen ausschneiden und unter Berücksichtigung der min. Überlappungsbreiten mit einer neuen Bahn überschweissen.
Önormen	Die Abdichtung darf nicht länger als vermeidbar ohne Schutzschicht bleiben.	x	
Italien			
ZTV-BEL-B Teil 1	Die Abdichtung darf nicht länger als vermeidbar ohne Schutzschicht bleiben.	x	

Dichtungsschicht	Technische Anforderung (Verbund)			Entwässerung der Abdichtungsebene	Abnahme
	Haftzug	Schälzug	Durchführung		
Umfrage üblicher Wert	≥ 0.4 N/mm² (+23°C) ≥ 0.7 N/mm² (+8°C)	≥ 2.0 N/mm² (+23°C) ≥ 6.0 N/mm² (+8°C)			
Umfrage Besonderheiten					
SN 640 490 b (alt)					
SIA D0147	≥ 0.4 N/mm² (+23°C) (ZTV-SIB-90) ≥ 0.7 N/mm² (+8°C) (ZTV-SIB-90)	≥ 2.0 N/mm² (+23°C) (SIA 281 / 2) ≥ 6.0 N/mm² (+8°C) (SIA 281 / 2)	Prüfungen möglichst bei niedrigen Oberflächentemp. ausführen. z.B. am frühen Morgen. Nach Einbau von erster PBD Schälzugprüfung von Hand (281/2) durchführen.		
ASTRA					
Önormen	Für die untere Lage MW > 0.7 N/mm² EW > 0.6 N/mm²	Schubfestigkeit bei 50°C mind. 8 N/mm².		Abdichtung ist hohlraumfrei zu verkleben; das Wasser muss ungehindert in den Ablauf fliessen können. Verbesserung der Abdichtungsentwässerung durch Anordnung von Längsdrainagen od. durch eine Entwässerung in mehreren Ebenen. Einbindung von Tagwasserabläufen u. Abdichtungsentwässerung.	x Nach Abmessungen (d.h. Mischgut < 200 t u. Schicht < 1'000 m² keine Abnahmeprüfung).
Italien					
ZTV-BEL-B Teil 1					

Schutzschicht	Einbaubedingungen:				
		Dicke der Schutzschicht	**Gesamtdicke einschliesslich Profilausgleich**	**Verlegte PBD nicht mit Lackbitumen / Teermittel anstreichen**	**Untergrundsauberkeit**
Umfrage üblicher Wert				x	
Umfrage Besonderheiten					x
SN 640 490 b (alt)					
SIA D0147					
ASTRA					
Önormen	Für besonders beanspruchte Brücken gilt, dass die Schutzschicht nicht weicher als die Deckschicht eingestellt werden darf. Schutzschicht kurzfristig unter Beachtung der Wartenzeiten einbauen. Untergrund nicht übermässig erwärmen.	≥ 3 cm für Schutzschicht aus GA			
Italien					
ZTV-BEL-B Teil 1		≥ 2.5cm (ausser PBD-Überlappungen) < 5cm	≤ 6,5cm		

Schutzschicht	Einbaubedingungen:				Vermeidung von Wärmestau	Abnahme
	Trockene Unterlage	Nur Pneuräder-maschine zugelassen.	Abd'sverletzungen sofort reparieren	Mischgutrezept		
Umfrage üblicher Wert	x	x	x	x	x	
Umfrage Besonderheiten			Mit 2. Abdichtungslage (15 cm Überstand)			
SN 640 490 b (alt)						x
SIA D0147						
ASTRA						
Önormen	x					x Nach Abmessungen (d.h. Mischgut < 200 t u. Schicht < 1'000 m^2 keine Abnahmeprüfung).
Italien						
ZTV-BEL-B Teil 1						

8.2 Anhang 2: Schadenfälle / Erfahrungen

Anzahl Kt.	Haftvermittler	PBD-Typ	Schadenfälle / Erfahrungen
1	Versiegelung	SBS	Kompatibilität zwischen Beton und EP. Schlechter Einbau von EP, als Folge entsteht Schaden schnell oder nach 1J.
2	Versiegelung	APP u. SBS	Mit Hessensiegel. Einbau bei steigender Temperatur. Keine Schaden. Verbund zw. Bet. u. EP. Einbauperiode im November u. Temp. knapp am Grenzwert. Luftfeuchtigkeit, Untergrundtemp. und PBD-Temp. haben eine Rolle gespielt. Nach Oberflächenvorbereitung vor dem Einbau von PBD sind 1-2 Wo. abgelaufen. Während dieser Periode hat es geregnet, so wurde Kalzium aus der Betenoberfläche ausgeschwemmt.
5	Bit'emulsionen	APP u. SBS	Beton mit Mikrosilikat gibt eine glasige Oberfläche; demzufolge ist es unmöglich einen guten Verbund herzustellen. Die glasige Schicht ist unmöglich mit Sandstrahlen zu entfernen. Keine schlechte Erfahrung. Ein Schadenfall wegen weichem GA und Stop-and-go-Verkehr. Schadenfall auf den Gehweg infolge Feuchtigkeit. Schadenfall infolge schlechter Qualität des PBD-Materials. Keine Schaden od. grosse Probleme.
1	Voranstrich	SBS	Blasenentstehung durch sehr porösen u. feuchten Beton. Aufgrund einer Steigung von 14% und enger Kurve, rutschte der Belag um ca. 2cm. Mit GA als Schutzschicht kein Problem.
5	Voranstrich	APP u. SBS	Blasenbildung infolge dünnem Belag von 6cm (normalerweise ca. 9cm.) Nach Einbau schlechter Verbund zw. Voranstrich u. PBD. Ursache: schlechte Voranstrichqualität od. Betonfeuchtigkeit. Blasenentstehung zw. PBD u. Bet., zw. PBD u. GA sowie zw. GA (Schutzsch.) und GA (Decksch.). Mögliche Ursache: verwendete PBD thermisch nicht stabil. Blasenbildung unter PBD. Klimatische Einbaubed.: heisser Sommertag: Temperatur zu hoch od. Betonfeuchtigkeit hoch. Undichte Randfugenabdichtung; als Folge entsteht Korrosion der Armierung. Flecken von PBD. Blasenbildungsdauer ca. 2-3 J.nach Einbau.
1	Bit'emulsionen u. Voranstrich	APP u. SBS	Meist Schäden wegen mangelhafter Ausführung beim Einbau. Blasenbildung wegen Ausführungsfehler sowie schlechter Voranstrichqualität, mangelhafter Vorbehandlung und mangelhafter Qualität der PBD.
1	Versiegelung u. Voranstrich	SBS	Verbund zw. PBD u. Beton. Ursache: zu kurzes Aufflämmen und hohe Betonfeuchtigkeit.
1	Bit'emulsionen u. Voranstrich	SBS	
1	Ohne Verbund		

Land	Haftvermittler	PBD-Typ	Schadenfälle / Erfahrungen
Deutschland	EP	APP u. SBS (eine Lage)	Ablösen der Metallbandkaschierung von der Bahn infolge mangelnder Haftfestigkeit und zu grosser Eigenspannungen im Metallband.
Deutschland	EP	APP u. SBS (zwei Lage)	Spurrinnensbildung bei Verwendung von Splittmastixasphalt als Schutz- und Deckschicht.
Deutschland	EP	FLK	Ablösen der Flüssigkunstoff-Dichtungsschicht vom Beton infolge mangelnden Haftverbundes. Aufheben des Verbundes zwischen Dichtungsschicht und Schutzschicht aus GA und schollenartiges Ausbrechen der Schutz- und Deckschicht aus Asphalt.

8.3 Anhang 3: Schäden durch äussere bzw. innere Einflüsse

[L 21]
Schäden durch äussere Einflüsse

Verkehr

Durch Schwingungen entstehen Risse und Abplatzungen im Beton und Ermüdungserscheinungen in der Bewehrung.

Spurrinnen: Der Belag wird komprimiert oder schiebt sich zur Seite und kann dadurch die Abdichtung beschädigen.

Schäden durch auslaufenden Treibstoff, Öl oder Chemikalien.

In Gefällsstrecken und Steilkurven: Absacken, Wegkriechen des Fahrbahnbelages.
Mechanische Verletzungen infolge Verkehr u. Unterhaltsmaschinen (Schneepflug, Strassenwischmaschine...).

Temperatur

Temperaturschwankungen verursachen unterschiedliche Ausdehnungen der einzelnen Brückenmaterialien.
Temperatur beeinflusst gleichzeitig Härte, Elastizität oder Weichheit der Dichtungsprodukte und Brückenbeläge sehr stark, was zu Verschiebungen, Blasen und Rissen in der Abdichtung führen kann. Die Mehrzahl der Abdichtungsmaterialien sind Thermoplaste (Versprödung in der Kälte).

Eis, Wasser und Dampf

Regenwasser dringt in die Risse ein, löst den Kalk u. schwächt dadurch den Beton.

Regenwasser kann auch die bituminösen Bestandteile des Belages durchdringen und von innen her das Bitumen vom Splitt ablösen.

Wasser führt zu Korrosion, indem es als Elektrolyt den Ionenaustausch zw. Anode u. Kathode ermöglicht. Rost quillt (Volumenzunahme 2,5 fach) und sprengt Beton ab.

Das Quellen von Wasser infolge Gefrieren kann Frostschäden am Beton, an der Abdichtung oder an der Beschichtung verursachen.

Die Kombination Beton-Abdichtung-Belag enthält immer Wasser in irgendeinem Aggregatzustand. Bei Sonnenbestrahlung entsteht Dampf. Dampfdruck entsteht im Beton unter der Abdichtung oder auch zwischen Abdichtung und Belag (GA). Er kann so gross sein, dass entweder Blasen und Ablösungen der Abdichtung vom Beton oder auch des Fahrbelages von der Abdichtung verursacht werden.

Salz

Salzwasser kann durch die Betonfläche oder durch Risse in den Beton eindringen und die Bewehrung zum Rosten bringen. Rost quillt und sprengt Beton ab. Salzwasser kann auch einen Brückenbelag zersetzen (Walzasphalt).

Tausalzschock: Tausalz auf Eis gestreut bewirkt einen sehr starken Temperaturabfall, der in den obersten Millimetern der Unterlage bis zu 12°C Abkühlung innerhalb einer Minute betragen kann. Diese abrupte Abkühlung an der Oberfläche verursacht sehr grosse Oberflächenspannungen, wobei ein nicht frostbeständiger Beton Risse und Aufspaltungen erleiden kann. Sie führen zu Ablösungen an der Oberfläche.

Schäden aus dem Zusammenwirken der verschiedenen Materialien

Einflüsse des Betons auf die Abdichtung

Risse im Beton können die Abdichtung aufreissen.

Alkalische Bestandteile können eine Verseifung der Abdichtungsmaterialien verursachen, speziell bei PU- u. Dispersions-Beschichtungen.

Betonzusätze haben oft salzartigen Charakter und wirken hygroskopisch. Sie können durch osmotischen Druck Schäden am Beton oder an der Abdichtung verursachen.

Trocknungsverzögerer können - soweit sie nicht vorgängig entfernt werden - zu Haftungsproblemen führen.

Einflüsse der Abdichtung auf den Beton

Chemische Bestandteile der Abdichtung können den Beton angreifen.

Hitze während des Einbaus der Abdichtung kann den Beton schädigen.

Starke Temperaturausdehnungen der Abdichtung verursachen Risse oder Ablösungen im Beton oder in der Abdichtung selbst.

Einflüsse der Abdichtung auf den Deckbelag

Flüchtige Bestandteile wie Weichmacher, Alterungsschutzmittel u. Aromate können in den Belag eindringen und die bituminösen Bestandteile zersetzen.

Die Weichheit bei grosser Dicke der Abdichtung kann für den Fahrbelag eine ungenügend belastbare Unterlage sein. Sie kann, besonders im Winter, zur Zerbröckelung des Deckbelages führen.

Blasen zwischen Beton und Abdichtung können sich auf den Deckbelag übertragen und diesen aufreissen.

Überlappungen an der Abdichtung können beim Walzen unterschiedliche Verdichtung im Fahrbelag verursachen, aber auch die Abdichtung an diesen Stellen durch örtlich überhöhten Druck verletzen.

Einflüsse des Deckbelages auf die Abdichtung

Die Hitze beim Einbau des Deckbelages kann die Abdichtung verbrennen, anschmoren, anlösen oder aufweichen.

Chemische Bestandteile des Deckbelages können die Abdichtung angreifen (Erweichung oder Versprödung).

Bei mangelnder Haftung zwischen Abdichtung und Beton kann das Walzen des Deckbelages eine Aufstauchung der Abdichtung verursachen und diese knicken, falten, durchlöchern oder aufreissen.

Ablösungsschäden zwischen der Abdichtung oder einzelnen Schichten sind möglich.