



Multifunktionaler Hochleistungs- Oberflächenschutz für Kunstbauten

**Multifunctional high-performance surface protection
systems for civil engineering structures**

**Systèmes de protection de surface multi-fonctions pour
ouvrages d'art**

**dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee
Prof. Dr. Walter Kaufmann (ab 01.05.2014 ETH Zürich)
Fabian Schmid**

**TFB AG, Wildegg
Björn Mühlán
Dr. Fritz Hunkeler**

**Forschungsprojekt AGB 2009/004_OBF auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)**

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

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

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

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

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

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

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

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



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Multifunktionaler Hochleistungs- Oberflächenschutz für Kunstbauten

**Multifunctional high-performance surface protection
systems for civil engineering structures**

**Systèmes de protection de surface multi-fonctions pour
ouvrages d'art**

dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee
Prof. Dr. Walter Kaufmann (ab 01.05.2014 ETH Zürich)
Fabian Schmid

TFB AG, Wildegg
Björn Mühlan
Dr. Fritz Hunkeler

**Forschungsprojekt AGB 2009/004_OBF auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Prof. Dr. W. Kaufmann

Mitglieder

B. Mühlán

Dr. F. Hunkeler

F. Schmid

Begleitkommission

Präsident

Dr. M. Käser

Mitglieder

Prof. Dr. A. Kenel

Dr. Ph. Stoffel

S. Cuennet

D. Lüthy (Gast)

Antragsteller

Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Projekthintergrund	13
1.1 Ausgangslage.....	13
1.2 Merkblatt 14141 OS MF des Fachhandbuchs Kunstbauten	13
1.3 Problemstellung	13
1.4 Projektziele	14
1.5 Heutiger Stand	14
2 Eigenschaften von OS-Systemen und OS-MF	15
2.1 Eigenschaften nach SN EN 1504-2	15
2.1.1 Grundlegende Regelungen	15
2.1.2 Nationale Ergänzungen in der Schweiz	16
2.1.3 Wichtige Leistungsanforderungen	16
2.2 Eigenschaften nach Merkblatt OS-MF	17
3 Prüfungen von OS-Systemen	19
3.1 Kapillare Wasseraufnahme	19
3.1.1 Anforderungen.....	19
3.1.2 Durchführung der Prüfung.....	19
3.2 CO ₂ -Durchlässigkeit	20
3.2.1 Anforderungen.....	20
3.2.2 Durchführung der Prüfung.....	21
3.3 Alterung der Prüfkörper.....	22
3.3.1 Durchführung der Prüfung.....	22
3.3.2 Prüfdauer.....	22
3.3.3 Folgeprüfungen	22
3.3.4 Konditionierung	22
3.3.5 Übertragbarkeit.....	23
4 Geprüfte OS-MF-Produkte	25
4.1 Produktevaluation	25
4.2 Produkt A.....	26
4.2.1 Produkteigenschaften, Anwendungsgebiete, Zertifikate	26
4.2.2 Systemaufbau und Erscheinungsbild.....	26
4.2.3 Berührungspunkte zur Nanotechnologie.....	26
4.3 Produkt B.....	27
4.3.1 Produkteigenschaften, Anwendungsgebiete, Zertifikate	27
4.3.2 Systemaufbau und Erscheinungsbild.....	27
4.3.3 Berührungspunkte zur Nanotechnologie.....	27
4.4 Produkt C	28
4.4.1 Produkteigenschaften, Anwendungsgebiete, Zertifikate	28
4.4.2 Systemaufbau und Erscheinungsbild.....	29
4.4.3 Berührungspunkte zur Nanotechnologie.....	29
4.5 Produkt D	29
4.5.1 Produkteigenschaften, Anwendungsgebiete, Zertifikate	29
4.5.2 Systemaufbau und Erscheinungsbild.....	29
4.5.3 Berührungspunkte zur Nanotechnologie.....	30
4.6 Zusammenfassung.....	30

5	Prüfungen an OS-MF-Produkten	31
5.1	Applikation und Grundkörper	31
5.1.1	Grundkörper	31
5.1.2	Applikation	32
5.2	Prüfkonzept	32
5.3	Prüfungen vor der künstlichen Bewitterung	33
5.4	Prüfungen nach der künstlichen Bewitterung	34
5.5	Resultate an Bauwerken	36
5.5.1	Tunnel	36
5.5.2	Brücken 1	36
5.5.3	Brücken 2	37
5.5.4	Brücken 3	38
5.6	Zusammenfassung	39
6	Risiken nanotechnischer Produkte.....	41
6.1	Einleitung	41
6.2	Wissensstand bei Oberflächenschutzsystemen	45
7	Fazit und Ausblick	49
7.1	Mögliche Ursachen	49
7.2	Weiterer Forschungsbedarf	50
	Anhänge.....	51
	Glossar.....	55
	Literaturverzeichnis.....	57
	Projektabschluss	59
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	63

Zusammenfassung

In den letzten Jahren kamen neuartige Oberflächenschutzsysteme auf den Markt, die in anderen Anwendungsgebieten wie z.B. auf Metall- oder Kunststoffoberflächen eine äusserst gute Schutzwirkung zeigten. Dies eröffnete die Perspektive, dass solche Produkte auch bei Betonbauten einen optimalen Schutz des Bauwerks gegen verschiedene Einwirkungen bieten und zugleich eine lange Lebensdauer des Oberflächenschutzsystems selbst gewährleisten könnten. Zudem sind einige dieser Produkte praktisch unsichtbar, so dass das Erscheinungsbild der Bauwerke – anders als beispielsweise bei konventionellen Beschichtungen – nicht beeinträchtigt wird.

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt sollten die Unsicherheiten hinsichtlich der erreichbaren Eigenschaften von solchen multifunktionalen Hochleistungs-Oberflächenschutzsystemen (nachfolgend als OS-MF-Produkte bezeichnet) beseitigt werden, so dass ihre Anwendung in der Praxis, im Besonderen bei Kunstbauten des ASTRA, möglich würde und diese gezielt und mit Erfolg ausgeschrieben werden könnten.

An ein OS-MF-Produkt werden gemäss dem sistierten Merkblatt 22 001-14141 OS-MF des ASTRA (Merkblatt zum multifunktionalen Oberflächenschutz) sehr viele Anforderungen gestellt, die das Produkt gleichzeitig erfüllen muss. Von der Forschungsstelle wurden zwei der Anforderungen als besonders wichtig und repräsentativ für die Dauerhaftigkeit von Kunstbauten beurteilt: die Verringerung der kapillaren Wasseraufnahme und der CO₂-Durchlässigkeit. An diesen beiden Anforderungen wurden die verschiedenen Produkte gemessen. Zur Beurteilung wurden sowohl die Vorgaben nach Merkblatt OS-MF des ASTRA, wie auch Vorgaben von aktuell in der Schweiz gültigen Regelwerken [7, 18, 19] herangezogen. Zusätzlich sind noch zwei weitere Forderungen für OS-MF-Produkte besonders wichtig. Sie sollen möglichst unsichtbar und sehr lange wirksam sein, damit das Erscheinungsbild der Kunstbauten nicht beeinträchtigt wird und sich der deutlich höhere Preis gegenüber herkömmlichen Produkten rechtfertigt. Daher kamen für diese Untersuchung nur Produkte infrage, die möglichst nicht filmbildend oder wenn doch, dann wenigstens transparent sind.

An vier verschiedenen OS-MF-Produkten wurden in einer ersten Phase die kapillare Wasseraufnahme sowie die CO₂-Durchlässigkeit geprüft. Nur zwei der vier Produkte sowie eine handelsübliche Hydrophobierung erfüllten die Anforderungen der aktuell gültigen Regelwerke. Die anderen beiden Produkte erfüllten nicht einmal die Regelanforderungen und fielen daher aus dem weiteren Prüfprogramm. Nur eines der zwei geprüften Produkte erfüllte die Anforderungen gemäss Merkblatt OS-MF.

Die beiden verbliebenen Produkte sowie die Hydrophobierung wurden anschliessend künstlich bewittert. Die Auslagerung sollte gegenüber der Normanforderung gesteigert werden, um die vom Merkblatt OS-MF geforderte hohe Lebensdauer der Produkte zu simulieren. Ursprünglich sollte die Auslagerungsdauer 4'000 Stunden (in 2 Zyklen à 2'000 Stunden) betragen. Dies wäre etwa viermal so viel wie in der eigentlichen Prüfnorm [13] und doppelt so viel wie in der SN EN 1504-2 [7] für herkömmliche Oberflächenschutzsysteme gefordert.

Die Anforderungen an die Wasseraufnahme (nach gültigen Regelwerken) wurden auch nach der künstlichen Bewitterung noch von allen Produkten, einschliesslich der handelsüblichen Hydrophobierung, erfüllt; die Anforderungen gemäss Merkblatt OS-MF dagegen nicht. Die Anforderung an die CO₂-Durchlässigkeit (nach aktuellen Regelwerken) wurde nach der Bewitterung von keinem Produkt mehr erfüllt. Aus diesem Grund wurde auf die geplante zweite Auslagerungsphase (von 2'000 auf 4'000 Stunden) verzichtet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Anforderungen des Merkblatts OS-MF praktisch von keinem Produkt erfüllt worden sind. Die Anforderungen nach den aktuell üblichen Regelwerken können bzgl. Wasseraufnahme auch nach der starken künstlichen Bewitterung erfüllt werden. Dies gilt sowohl für nanotechnologische Produkte

wie auch für die geprüfte herkömmliche Hydrophobierung. Dies lässt die Vermutung aufkommen, dass die Witterungsbeständigkeit einer Hydrophobierung wesentlich besser sein könnte als gemeinhin angenommen wird. Aufgrund der fehlenden Korrelation zwischen künstlicher und echter Bewitterung handelt es sich dabei jedoch lediglich um eine Hypothese, welche durch gezielte Forschungsarbeiten untermauert werden müsste.

Résumé

Durant ces dernières années, des systèmes novateurs de protection de surface sont apparus sur le marché. Ces produits ont montré de bonnes capacités de protection sur des matériaux, comme par exemple les métaux ou les polymères. Cela a ouvert de nouvelles perspectives: ces produits pourraient également fournir une excellente protection de surfaces des ouvrages en béton tout en garantissant une bonne durabilité de la couche de protection elle-même. De plus, certains de ces produits sont pratiquement invisibles, ce qui ne modifie pas l'aspect visuel des ouvrages en béton, comparé aux produits conventionnels.

Le but de ce projet de recherche est d'écarter les doutes restants concernant les propriétés atteignables de ces systèmes de protection de surface multi-fonctions (dans la suite : produits OS-MF). Ceci doit permettre de les utiliser, plus particulièrement pour les ouvrages de l'OFROU, et de pouvoir les définir spécifiquement dans les appels d'offre.

Selon la fiche technique suspendue 22 001-14141 OS-MF de l'OFROU (fiche technique pour les systèmes de protection multi-fonctions), un produit OS-MF doit répondre simultanément à de nombreuses exigences. Deux exigences ont été jugées comme particulièrement importantes pour les ouvrages en béton par les chercheurs: la réduction de l'absorption d'eau par capillarité et de la perméabilité au CO₂. Les différents produits ont été mesurés sur la base de ces deux critères. L'évaluation est basée sur les exigences de la fiche technique OS-MF de l'OFROU, ainsi que sur plusieurs exigences en vigueur dans les règlements suisses [7, 18, 19]. De plus, deux autres exigences sont particulièrement importantes pour les produits OS-MF. Ils doivent être quasiment invisibles et très durables, afin que l'aspect visuel des ouvrages ne soit pas affecté, et que la différence par rapport aux produits conventionnels soit justifiée. De ce fait, seul les produits ne formant pas de film de surface, ou étant au moins transparents, ont été pris en considération dans cette étude.

Dans une première phase, l'absorption capillaire ainsi que la perméabilité au CO₂ de quatre OS-MF ont été testés. Seul deux des quatre produits, ainsi qu'un produit d'imprégnation hydrophobe disponible sur le commerce ont rempli les critères d'exigences des règlements actuellement en vigueur. Les deux autres produits n'ont même pas rempli les exigences des standards suisses et n'ont donc pas été retenus pour la suite du programme d'essais. Seul un des deux produits testés a rempli les exigences de la fiche technique OS-MF.

A la suite de cette procédure d'essai, les deux produits restants, ainsi que l'imprégnation hydrophobe ont été exposés à un environnement artificiel. L'environnement artificiel de l'essai a dû être intensifié par rapport aux exigences normatives, afin de simuler la durée de vie importante des produits de revêtement, selon les exigences de la fiche technique OS-MF. A l'origine, l'environnement artificiel devait durer 4000 heures (2 cycles de 2000 heures). Cela correspond à une durée d'environ 4 fois celle de l'essai standard [13], et de deux fois la durée de l'essai selon la norme SN EN 1504-2 [7] pour les systèmes de protection normaux.

Suite au vieillissement en conditions environnementales artificielles, tous les produits, y compris l'imprégnation hydrophobe du commerce, remplissent les exigences d'absorption d'eau (selon les normes en vigueur). Cependant, les exigences selon la fiche technique OS-MF ne sont pas remplies. Les exigences de pénétration de CO₂ (selon les standards en vigueur) n'ont plus été remplies par aucun produit. Le deuxième cycle de 2000 heures (de 2000 à 4000 heures) a donc été annulé.

En résumé, il s'avère qu'aucun des produits testés ne remplisse les exigences de la fiche technique OS-MF. Les exigences en vigueur concernant l'absorption d'eau sont remplies malgré l'environnement artificiel exigeant. Ceci est valable pour les produits nano technologiques ainsi que pour l'imprégnation hydrophobe classique du commerce. Ceci mène à l'hypothèse que la durabilité d'une imprégnation hydrophobe pourrait être

nettement supérieure à ce qui est généralement admis. Étant donné le manque de corrélation entre les conditions en environnement artificiel et les conditions environnementales réelles, ces hypothèses devraient être confirmées par un projet de recherche.

Summary

In recent years new surface protection systems came on the market, which exhibited excellent protective properties in other fields, like on metal or polymer surfaces. This opened up new perspectives: such products could also give an optimal protection against various environmental actions on concrete structures, and at the same time, could guarantee a long life-span of the surface protection system itself. Furthermore, some of these products are almost invisible, such that the appearance of the structures is not affected, which is usually the case for conventional coatings.

With the present research project, the uncertainties concerning the achievable properties of such multifunctional high performance surface protection systems (hereafter: SP-MF-products) should be resolved, such that they can be applied, particularly in civil engineering structures of the FEDRO (Federal Roads Office of Switzerland), and finally successfully put to tender.

Multiple, high demands are imposed on SP-MF-products in the suspended technical bulletin 22-001-14141-OS-MF (technical bulletin for multi-functional surface protection systems) of FEDRO, which have to be fulfilled simultaneously by the product. The researchers evaluated two of the requirements as particularly important and representative for the durability of civil engineering structures: the reduction of the capillary water absorption and the CO₂-permeability. The different products were measured upon these two requirements. The assessment was based on the requirements of FEDRO's technical report SP-MF, as well as on the requirements of several common valid Swiss standards [7, 18, 19]. In addition, two further requirements for SP-MF products are of particular importance. They should be nearly invisible and effective over a long life-span, such that the appearance of the protected structures is unaffected and that the distinctly higher price compared to conventional products is justified. Therefore, only products that were, if possible, not film-forming, or at least transparent, were considered within this study.

In a first round the capillary water absorption as well as the CO₂-permeability of four different SP-MF products were tested. Only two of the four products, as well as a commercially available hydrophobic impregnation fulfilled the requirements of the common valid standards. The two other products not even fulfilled the requirements of the common Swiss standards and were therefore rejected from the further test program. Only one of the two tested products fulfilled the requirements of the technical bulletin SP-MF.

After this testing procedure the two remaining products, as well as the hydrophobic impregnation were exposed to artificial weathering. The exposure to the artificial weather conditions had to be intensified compared to the requirements in the standard, in order to simulate the high life-span of the products as required in the technical bulletin SP-MF. Originally, the artificial weathering time should have been 4'000 hours (2 cycles of 2'000 hours). This would be about four times as long as in the original test standard [13] and twice as long as required in the SN EN 1504-2 [7] for normal surface protection systems.

After the artificial weathering all products still fulfilled the requirements of water absorption (as required by the valid standards), including the common hydrophobic impregnation. The requirements according to the technical bulletin SP-MF were however not achieved. The requirements of CO₂-penetration (as required by the valid standards) were not fulfilled by any product anymore. For this reason the second artificial weathering cycle (from 2'000 to 4'000 hours) was cancelled.

In summary it can be said, that none of the products fulfilled the requirements of the technical bulletin SP-MF. The requirements of the valid standards concerning the water absorption can be fulfilled even after intense artificial weathering. This applies not only to the nano technological products but also to the tested common hydrophobic

impregnation. This leads to the assumption, that the weathering persistence of a hydrophobic impregnation could be significantly better than generally assumed. Due to a missing correlation between artificial and real weathering conditions, this stands as a hypothesis, which has to be confirmed by a systematic research project.

1 Projekthintergrund

1.1 Ausgangslage

Mit dem Jahreswechsel 2007/08 gingen die Nationalstrassen, im Rahmen der Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen (NFA), offiziell von den Kantonen in die Verantwortung des Bundes über. In seiner Funktion als Eigentümer und Bauherr der Autobahnen war das ASTRA bestrebt, die Kosten für den Unterhalt und die Erneuerung zu optimieren.

Im betreffenden Zeitraum kamen neuartige Oberflächenschutzsysteme auf den Markt, welche in anderen Anwendungsgebieten wie z.B. auf Metall- oder Kunststoffoberflächen eine äusserst gute Schutzwirkung zeigten. Dies eröffnete die Perspektive, dass solche Produkte auch bei Betonbauten einen optimalen Schutz des Bauwerks gegen die vorhandenen Einwirkungen bieten und zugleich eine lange Lebensdauer des Oberflächenschutzsystems selbst gewährleisten könnten. Zudem sind einige dieser Produkte nach der Anwendung praktisch unsichtbar, so dass das Erscheinungsbild der Bauwerke – anders als beispielsweise bei Beschichtungen – nicht beeinträchtigt wird.

Die Aussicht, durch die Anwendung solcher Systeme die Unterhaltskosten stark reduzieren resp. die Instandsetzungsintervalle erhöhen zu können, veranlasste das ASTRA, solche Systeme bei Bauteilen, welche stark exponiert sind und/oder bei welchen eine Instandsetzung resp. die Erneuerung des Oberflächenschutzes einen grossen Aufwand verursacht, bereits anzuwenden, obschon sie für Betonoberflächen erst vor kurzem Marktreife erreicht hatten. Im entsprechenden Merkblatt „22 001-14141 OS MF“ (siehe Anhang I) des Fachhandbuchs Kunstbauten, Ausgabe 2007 [16] wurde daher für solche Bauteile verlangt, dass die Anwendung eines multifunktionalen Hochleistungs-Oberflächenschutzes zu prüfen sei.

1.2 Merkblatt 14141 OS MF des Fachhandbuchs Kunstbauten

Im Merkblatt des ASTRA-Fachhandbuchs Kunstbauten [17] wurden konkrete Anforderungen an multifunktionale Hochleistungs-Oberflächenschutzsysteme gestellt. Die Erwartung war dabei, wie bereits erwähnt, dass mit Produkten auf der Basis der Nanotechnologie deutlich bessere Eigenschaften erreicht werden könnten als mit konventionellen Oberflächenschutzsystemen, insbesondere Hydrophobierungen, ohne dabei das Erscheinungsbild von Bauwerken zu beeinträchtigen.

Da entsprechende Produkte erst vor kurzem Marktreife erreicht hatten und in der neuen Norm für Oberflächenschutzsysteme (SN EN 1504-2 [7]) nicht spezifisch behandelt wurden, bestanden Unsicherheiten sowohl bezüglich der mit solchen Systemen erreichbaren Schutzwirkung als auch bezüglich der im Rahmen einer Ausschreibung zu stellenden Anforderungen. Die Anforderungen im ASTRA-Fachhandbuch Kunstbauten [16] wurden daher anhand der Herstellerangaben und –prüfungen eines einzelnen Produktes auf Basis der Nanotechnologie definiert, für welches bereits Erfahrungen in der Anwendung auf Betonoberflächen bestanden. Dabei wurden deutlich strengere Grenzwerte vorgegeben als sie nach den aktuellen Normvorschriften für konventionelle Oberflächenschutzsysteme gefordert werden. Zudem wurden verschiedene zusätzliche Eigenschaften resp. Schutzwirkungen verlangt (siehe Merkblatt 22 001-14141 OS MF“, Anhang I).

1.3 Problemstellung

Die Definition der Anforderungen an einen multifunktionalen Hochleistungs-Oberflächenschutz anhand der Herstellerangaben und –prüfungen eines einzelnen

Produktes auf Basis der Nanotechnologie erwies sich in verschiedener Hinsicht als problematisch. Einerseits bestand die Gefahr, dass diese Anforderungen nur durch sehr wenige Produkte erfüllt werden können, wodurch die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt würde. Andererseits ist die Vergleichbarkeit verschiedener multifunktionaler Hochleistungs-Oberflächenschutzsysteme auf Basis der Herstellerangaben nur bedingt möglich und es lagen nur wenige Prüfungen von solchen Systemen vor. Diese waren zudem praktisch ausschliesslich im Auftrag der Hersteller durchgeführt worden, und zwar mehrheitlich an unter Laborbedingungen hergestellten resp. applizierten Prüfkörpern. Es bestand somit eine nicht unbeträchtliche Unsicherheit bezüglich der tatsächlich erreichbaren Schutzwirkung am Bauwerk. Dies war sowohl für das ASTRA als auch für die Hersteller der Oberflächenschutzsysteme unbefriedigend.

Zudem wurden von verschiedener Seite Zweifel vorgebracht, ob die sehr hohen, teilweise gegenläufigen Anforderungen des Merkblatts (beispielsweise der Gegensatz der sehr hohen CO₂-Sperrwirkung und hohem Widerstand gegen die kapillare Wasseraufnahme bei gleichzeitig annähernd visueller Unsichtbarkeit auf der Betonoberfläche) überhaupt erreichbar sind.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, wurde das vorliegende Forschungsprojekt lanciert.

1.4 Projektziele

Mit dem vorliegenden Projekt sollten die Unsicherheiten hinsichtlich der erreichbaren Eigenschaften von multifunktionalen Hochleistungs-Oberflächenschutzsystemen beseitigt werden, so dass ihre Anwendung in der Praxis, im Besonderen bei Kunstbauten des ASTRA, möglich würde.

Insbesondere sollte mit unabhängigen Prüfungen ein objektiver, direkter Vergleich der Schutzwirkung verschiedener Oberflächenschutzsysteme ermöglicht werden, und die Möglichkeit der Zuordnung dieser Systeme gemäss SN EN 1504-2 [7] überprüft werden.

Auf dieser Basis sollten die Vor- und Nachteile von multifunktionalen Hochleistungs-Oberflächenschutzsystemen gegenüber konventionellen Produkten identifiziert und die Anforderungen definiert werden, welche multifunktionale Hochleistungs-Oberflächenschutzsysteme erfüllen müssen, damit sie für Kunstbauten der Nationalstrassen angewendet werden dürfen.

1.5 Heutiger Stand

Die Umsetzung der Anforderungen des entsprechenden Merkblatts des ASTRA-Fachhandbuch Kunstbauten [17] an multifunktionale Hochleistungs-Oberflächenschutzsysteme erwies sich in der Praxis als schwierig, insbesondere, da grundsätzlich nur das Produkt des Anbieters, auf Basis dessen Herstellerangaben die Anforderungen definiert worden waren, die Vorgaben erfüllte. Dies führte einerseits zu verhältnismässig hohen Kosten des Oberflächenschutzes selber. Andererseits führte die Applikation des Produktes insbesondere bei Instandsetzungsprojekten mit engen Terminvorgaben zu Schwierigkeiten, da der Hersteller das Produkt nur als Systemlösung anbietet (Applikation durch Personal des Herstellers).

Aufgrund der beschriebenen Probleme wurde das entsprechende Merkblatt „22 001-14141 OS MF“ des ASTRA-Fachhandbuch Kunstbauten [17] per Mitte 2012 sistiert, mindestens bis zum Vorliegen der Ergebnisse des vorliegenden Projektes.

Auf der Basis der vorliegenden Resultate sollte in Erwägung gezogen werden, das Merkblatt definitiv zurückzuziehen.

2 Eigenschaften von OS-Systemen und OS-MF

Oberflächenschutzsysteme dienen allgemein dem Schutz von Beton- und Stahlbetonbauteilen. Dies kann sowohl im Rahmen von Instandsetzungen schadhafter Betonbauteile als auch als vorbeugende Schutzmassnahme vorgesehen werden. In der Regel kommen Sie zum Einsatz, wenn bestimmte Einwirkungen vom Eindringen in den Randbeton abgehalten werden sollen. Die wesentlichen Ziele, die mit einem Oberflächenschutzsystem erreicht werden sollen, sind:

- Schutz des Betons gegen eindringende Stoffe wie z.B. Wasser, Chloride, Kohlenstoffdioxid.
- Austrocknung des Betons, indem Wasserzutritt in den Beton verhindert wird.
- Erhöhung des Widerstands besondere Einwirkungen wie z.B. gegen Chemikalien oder mechanischen Angriff (Abrieb)

Neben den genannten Zielen kann auch eine Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit (z.B. Reinigungsfähigkeit, Farbgestaltung, etc.) angestrebt werden.

2.1 Eigenschaften nach SN EN 1504-2

2.1.1 Grundlegende Regelungen

In der Schweiz werden die Oberflächenschutzsysteme nach der Norm SN EN 1504-2 [7] geregelt. Die Regelungen in dieser Norm beschränken sich dabei auf:

- Hydrophobierende Imprägnierungen,
- Imprägnierungen und
- Beschichtungen.

Der Norm liegt grundsätzlich ein offenes anforderungsorientiertes Konzept zu Grunde. Das bedeutet, dass in der Norm bestimmte Leistungsmerkmale vorgegeben werden, die ein Produkt oder System erfüllen muss, wenn es ein bestimmtes Prinzip oder Verfahren für den Schutz oder die Instandsetzung von Betonbauteilen gemäss [8] ermöglichen soll. Dabei wird wiederum unterschieden, ob das jeweilige Leistungsmerkmal für das Prinzip bzw. Verfahren unbedingt erfüllt werden muss, nur bei bestimmten Verwendungszwecken erfüllt werden muss oder u.U. gar nicht erfüllt zu werden braucht. Ein Leistungsmerkmal, das ein Oberflächenschutzsystem erfüllen muss, nennt man Leistungsanforderung.

Verdeutlicht werden kann dies am Beispiel des Leistungsmerkmals „Schlagfestigkeit“. Bei dieser Anforderung wird überprüft, ob ein Oberflächenschutzsystem nach einer definierten Schlagbeanspruchung keine Schäden in Form von Rissen oder Abblättern aufweist. Eine Beschichtung, die z.B. den Widerstand der Betonoberfläche gegenüber starker mechanischer Beanspruchung erhöhen soll (z.B. in einer Fabrikationshalle mit Gabelstaplerverkehr), muss hier ein bestimmtes Leistungsmerkmal aufweisen. Demgegenüber wird an eine Beschichtung, die an einer Fassade aufgebracht wird, um das Eindringen von Wasser und CO₂ in die Bausubstanz zu verhindern, hier keine Anforderung gestellt. Bei einer Hydrophobierung kann diese Eigenschaft gar nicht gefordert werden, da sie nicht filmbildend ist und daher auch nicht abblättern könnte.

Der Planer muss die für ihn relevanten Leistungsmerkmale aufstellen, die sein Oberflächenschutzsystem dann im konkreten Fall erfüllen muss oder auch nicht, also für das jeweilige Projekt zu definieren sind. Aus diesem Konzept resultiert eine grosse Anzahl von möglichen Kombinationen der Anforderungen, die die praktische Anwendung deutlich übersteigt. U.a. ist auch ein grosses Fachwissen des Planers erforderlich. Mit dem Ziel, die Anwendungssicherheit zu verbessern, legt der nationale Anhang für die Schweiz zu verschiedenen Merkmalen ergänzende Anforderungen fest. Diese ergänzenden Anforderungen basieren auf langjährigen Erfahrungen, die im deutschsprachigen Raum mit Oberflächenschutzsystemen gesammelt wurden.

2.1.2 Nationale Ergänzungen in der Schweiz

In den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz wurden bereits in früheren Normen Oberflächenschutzsysteme erfolgreich eingesetzt, z.B. geregelt über [9]. In der Regel sind Oberflächenschutzsysteme Systemaufbauten, die aus verschiedenen Schichten bestehen, wie z.B. aus Grundierung, Ausgleichspachtel, ein oder mehreren Beschichtungen sowie der Deckbeschichtung. Diese Systembestandteile müssen auf einander abgestimmt sein. Je nach Anwendung wurden entsprechende Vorgaben gemacht und in Klassen, sog. Oberflächenschutzsystem-Nummern, eingeteilt. Gebräuchlich waren nach dieser Nomenklatur 12 bzw. 13 verschiedene OS-Systeme: OS 1 bis OS 13.

Für die häufigsten Anwendungsfälle wurden daher in der Schweiz acht verschiedene Anforderungskataloge zusammengestellt. Für jedes System werden die erforderlichen Leistungsanforderungen genannt, die bei einem bestimmten Verfahren oder Prinzip zu prüfen sind, und welcher Grenzwert erfüllt werden muss.

- Hydrophobierende Imprägnierung (OS 1, Hydrophobierung: für bedingten Feuchteschutz bei vertikalen und geneigten frei bewitterten Betonbauteilen).
- Imprägnierung (OS 2, Imprägnierung für bedingten Feuchteschutz bei vertikalen und geneigten frei bewitterten Betonbauteilen).
- Beschichtung mit erhöhter Dichtheit (OS 2 und OS 4, Beschichtung (ohne/mit Ausgleichspachtelung) mit erhöhter Dichtheit (mit Ausgleichspachtelung) für nicht begeh- und befahrbare Flächen. Für frei bewitterte Betonbauteile (guter Abfluss gewährleistet) auch im Sprühbereich von Tausalzen, wenn Untergrund rissfrei ist).
- Beschichtung mit geringer Rissüberbrückung (OS 5, Beschichtung mit geringer Rissüberbrückungsfähigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen. Für frei bewitterte Betonbauteile mit oberflächennahen Rissen auch im Sprühbereich von Tausalzen).
- Beschichtung mit erhöhter Rissüberbrückung (OS 9, Beschichtung mit erhöhter Rissüberbrückungsfähigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen. Für frei bewitterte Betonbauteile mit oberflächennahen Rissen und/oder Trennrissen auch im Sprüh- oder Spritzbereich von Tausalzen).
- Beschichtung mit mechanischer bzw. chemischer Widerstandsfähigkeit (OS 8, Chemisch widerstandsfähige Beschichtung für befahrbare, mechanisch stark belastete Flächen).
- Beschichtung mit erhöhter statischer Rissüberbrückung und mechanischer bzw. chemischer Widerstandsfähigkeit (OS 13, Beschichtung mit nicht dynamischer Rissüberbrückungsfähigkeit für begeh- und befahrbare, mechanisch belastete Flächen).
- Beschichtung mit erhöhter dynamischer Rissüberbrückung und mechanischer bzw. chemischer Widerstandsfähigkeit (OS 11, Beschichtung mit erhöhter dynamischer Rissüberbrückungsfähigkeit für begeh- und befahrbare, mechanisch belastete Flächen).

2.1.3 Wichtige Leistungsanforderungen

Insgesamt werden in [7] 25 Leistungsmerkmale festgelegt, die von einem Oberflächenschutzsystem gefordert werden könnten. Im Schweizerischen Nationalen Anhang werden für die OS-Klassen Kataloge mit einer jeweiligen Auswahl dieser Leistungsmerkmale zusammengefasst. Je nach OS-System ergeben sich 5 bis 12 Leistungsanforderungen.

So gut wie alle in (2.1.1) aufgezählten Oberflächenschutzsysteme haben gemeinsam, dass Vorgaben zu folgenden zwei Leistungsmerkmalen gemacht werden:

- kapillare Wasseraufnahme
- CO₂-Durchlässigkeit

Diese beiden Leistungsmerkmale werden für Oberflächenschutzsysteme als generell sehr wichtig in fast allen Anwendungsfällen angesehen. Ansonsten unterscheiden sich

die Anforderungen je nach Einsatzgebiet, z.B. werden an Hydrophobierungen keine Vorgaben an die Haftzugfestigkeit gestellt.

2.2 Eigenschaften nach Merkblatt OS-MF

Der Multifunktionale Oberflächenschutz muss gemäss [17] mindestens folgende gegenüber konventionellen Oberflächenschutzsystemen erhöhte Anforderungen erfüllen:

- *Erhöhte UV-Beständigkeit (Zielwert: 25 Jahre)*
- *Erhöhter Widerstand gegen Wasseraufnahme*
- *Erhöhte zweiwegige Wasserdampf-Diffusion*
- *Hohe Ölresistenz (oleophob, Verschmutzung durch Öl/Russ mit Wasser abwaschbar)*
- *Erhöhter Widerstand gegen Chloridaufnahme*
- *Keine Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes der Betonoberfläche (Verfärbung, Vergilbung, etc.)*
- *Erhöhter Widerstand gegen CO₂-Diffusion*
- *Möglichkeit der lichtstabilen Farbgestaltung*

Je nach Anwendungsbereich können folgende ergänzende Anforderungen an das OS MF-Produkt gestellt werden:

- *Hohe Temperaturbeständigkeit*
- *Erhöhte Alkali- und Säureresistenz ohne massgebende Verminderung der Zweiweg-Dampfdiffusion*

Im [17] wird festgestellt, dass eine Zuordnung von OS-MF gemäss [7] nicht ohne weiteres möglich ist, da sowohl Anforderungen an eine Hydrophobierung (entspricht OS 1) als auch solche an eine Beschichtung (entspricht OS 5 bis 13) zu erfüllen sind.

Folgende Anforderungen (entspricht Leistungsanforderungen) sind daher zu erfüllen:

- UV-Beständigkeit
- **Kapillare Wasseraufnahme**
- Wasserdampf-Diffusion
- Öl-Resistenz
- Chloridaufnahme
- Erscheinungsbild Betonoberfläche
- Veränderung der Dampfdiffusion
- **CO₂-Durchlässigkeit**
- Lichtstabile Farbgestaltung
- Frost-Tausalz-Widerstand

Diese Anforderungen wurden als grundlegend vorausgesetzt. Darüber hinaus wurden noch „zusätzliche Anforderungen bei Bedarf“ formuliert:

- Temperaturbeständigkeit
- Alkali-resistenz
- Säureresistenz

Die in [17] geordneten Grenzwerte an diese einzelnen Anforderungen wurden aufgrund von Eigenschaften marktgängiger Produkte festgelegt.

Im Prinzip stellt damit die „OS-Klasse MF“ eine weitere Zusammenfassung von Leistungsanforderungen dar. Die bestehenden Klassen OS 1 bis 13 sollten um eine

weitere Klasse erweitert werden. In diesem Zusammenhang muss allerdings auf folgende Besonderheiten hingewiesen werden:

- Die in [17] genannten Prüfungen und Grenzwerte einer Anforderung entsprechen i.d.R. nicht denen von [7], sondern sind schärfer formuliert, z.B. soll der CO₂-Diffusionswiderstand > 100 m anstatt > 50 m sein.
- Von den insgesamt zehn grundlegenden Eigenschaften zielen zwei eher auf das visuelle Erscheinungsbild ab, nämlich „Erscheinungsbild Betonoberfläche“ und „Lichtstabile Farbgestaltung“.
- Die in [7] für das jeweilige OS-System genannten Anforderungen basieren auf reichhaltigen Erfahrungen der praktischen Anwendung an Bauwerken. Ob die verschiedenen Anforderungen gemäss [17] überhaupt gleichzeitig umzusetzen sind, ist fraglich, wenn man beispielsweise an die sehr starke Reduktion der CO₂-Durchlässigkeit denkt, die nicht auf Kosten des Erscheinungsbildes der Betonoberfläche gehen soll. Bei den herkömmlichen OS-Systemen ist zum Vermindern der CO₂-Durchlässigkeit eine filmbildende Beschichtung erforderlich, die i.d.R. das Erscheinungsbild einer Betonoberfläche massgeblich beeinflusst.

3 Prüfungen von OS-Systemen

In diesem Abschnitt sollen die aus Sicht der Forschungsstelle wichtigsten Leistungsmerkmale (Eigenschaften und Prüfung) erläutert werden, die an Oberflächenschutzsystem bzw. OS-MF gestellt werden.

3.1 Kapillare Wasseraufnahme

3.1.1 Anforderungen

Im Merkblatt [17] wird die Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten w nach DIN 52617 mit einem Grenzwert von $\leq 0.03 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ als Leistungsanforderung festgelegt.

Gemäss [7] ist die kapillare Wasseraufnahme nach [11] zu prüfen. Als Grenzwert ist $w \leq 0.1 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ festgelegt. Dies entspricht nach [10] einer „niedrigen“ Wasseraufnahme. Eine niedrige kapillare Wasseraufnahme führt zu einem geringeren Chlorideintrag in den Beton.

Heute kann mit herkömmlichen Oberflächenschutzsystemen (Hydrophobierungen und Beschichtungen) eine deutlich geringere Wasseraufnahme erzielt werden. Aus diesem Grund wird in der Schweiz meistens ein tieferer Grenzwert gefordert, üblicherweise muss der Wasseraufnahmekoeffizient $w \leq 0.05 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ betragen [18,19].

Die Prüfdurchführung von DIN 52617 und [11] unterscheiden sich nur geringfügig. Die Resultate können als vergleichbar betrachtet werden. Aus diesem Grund wurden die Prüfungen im Rahmen des Forschungsprojektes nach [11] durchgeführt.

3.1.2 Durchführung der Prüfung

Die Prüfungen sind an mindestens drei Probenkörpern durchzuführen. Ein Probenkörper besteht aus einem stark porösen mineralischen Substrat (Kalksandstein, Ziegel oder Mörtel), das mit dem zu prüfenden Beschichtungssystem oder Beschichtungssystem zu beschichten ist.

Die Oberfläche der Substrate muss mindestens 200 cm^2 und ihre Dicke mindestens 2.5 cm betragen. Die zu prüfende Beschichtung bzw. das Beschichtungssystem ist gemäss Herstellerangaben auf das Substrat aufzutragen und wenn nicht anders vereinbart, unter freier Luftzirkulation bei $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ und $(50 \pm 5) \%$ relativer Luftfeuchte zu trocknen (siehe auch EN 23270). Vor dem Konditionieren sind die Rückseite und die Kanten der Probenkörper gegen Wasser zu versiegeln.

Die Probenkörper sind auf 0.1 g genau zu wiegen. Die Probenkörper werden in einen Wasserbehälter (Trinkwasser, Temperatur $23 \pm 2^\circ\text{C}$) mit der zu prüfenden beschichteten Seite nach unten so auf einem Kunststoff- oder Metallgestell gelagert, dass sich diese Seite 5 mm bis 10 mm unterhalb der Wasseroberfläche und mindestens 10 mm über dem Boden des Behälters befindet. Die vollständige Benetzung der Oberfläche ist sicherstellen. Nach der Lagerungszeit von 24 h werden die Probenkörper aus dem Wasser genommen, sorgfältig mit saugfähigem Papier abgetrocknet und auf 0.1 g gewogen.

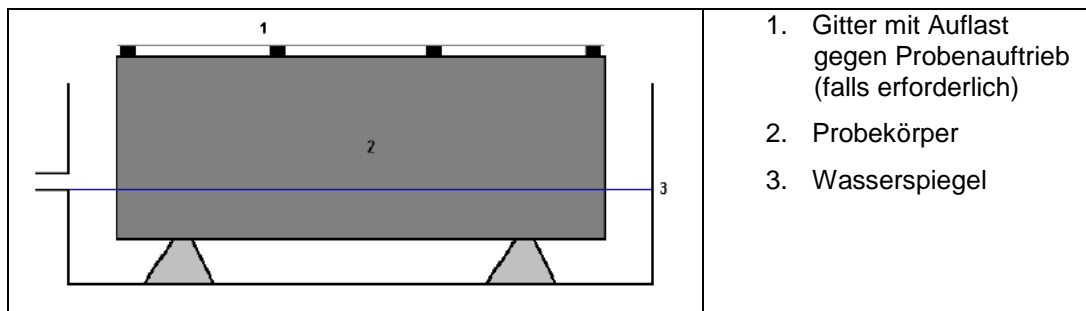


Abb. 1 Prüfordnung [3]

Die kapillare Wasseraufnahme w , in Kilogramm je Quadratmeter je Wurzel aus Stunde, wird aus der Massenzunahme, in Kilogramm, der Proben nach 24 h durch Division durch die Prüffläche (in Quadratmeter der Proben und durch die Wurzel der Zeit $[(24 \text{ h})^{0.5}]$ berechnet.

3.2 CO₂-Durchlässigkeit

Die CO₂-Durchlässigkeit wird über die sogenannte Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke bestimmt. Sie entspricht der Dicke der statischen Luftschicht [m], die unter den gleichen Bedingungen die gleiche Kohlenstoffdioxid-Durchlässigkeit wie die Beschichtung hat.

3.2.1 Anforderungen

Im Merkblatt [17] wird die Bestimmung des CO₂-Diffusionswiderstands nach SN EN 1504-2 [7] mit einem Grenzwert von $\geq 100 \text{ m}$ als Leistungsanforderung festgelegt.

Gemäss [7] ist der CO₂-Diffusionswiderstand nach [12] zu prüfen. Als Grenzwert ist eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von $S_D > 50 \text{ m}$ festgelegt.

Die nachfolgende Abb. 2 verdeutlicht, dass der Unterschied in der CO₂-Durchlässigkeit zwischen $S_D = 45 \text{ m}$ und einer völlig undurchlässigen Schicht (mit $S_D = \text{unendlich}$) marginal ist. Aus diesem Grund spricht man ab einer Größenordnung von $S_D = 50 \text{ m}$ von einer „Karbonatisierungsbremse“. Früher galt bereits ein S_D -Wert $> 30 \text{ m}$ als „Karbonatisierungsbremse“.

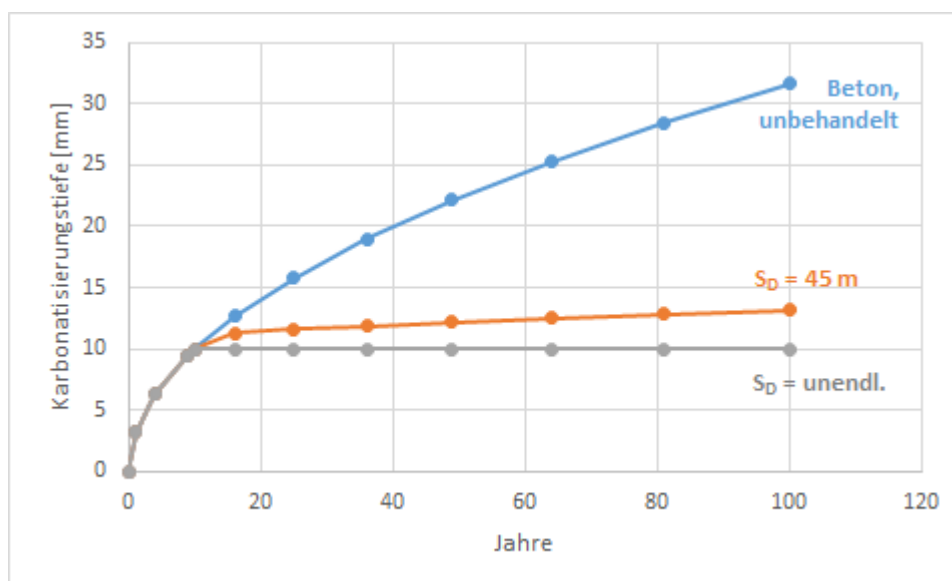


Abb. 2 Geschwindigkeitsverlauf der Karbonatisierung von Beton mit und ohne Karbonatisierungsbremse nach einer Instandsetzung nach 10 Jahren [1]

3.2.2 Durchführung der Prüfung

Der Versuch kann gemäss der Norm SN EN 1062-6 [12] mit zwei unterschiedlichen Verfahren A und B durchgeführt werden. Für beide Verfahren sind runde Proben mit einer Fläche von mindestens 60 cm^2 erforderlich. Die Beschichtungen können als freie Filme oder auf Glasfritten hergestellt werden. Nach einer 7-tägigen Aushärtung werden die Proben über drei Zyklen 24 Stunden im Wasser bei 23 °C und 24 Stunden im Ofen bei 50 °C gelagert. Im Anschluss an eine 24-stündige Konditionierung bei $23 \pm 2 \text{ °C}$ und $50 \pm 5 \text{ %}$ relativer Luftfeuchte erfolgt die Ermittlung der Trockenschichtdicke und der Probeneinbau.

Beim gravimetrischen Verfahren (Verfahren A) wird die beschichtete Seite eines Probenstücks dem Messgas ausgesetzt, und die Bestimmung des diffundierten Kohlenstoffdioxids erfolgt quantitativ. Das Probenstück verschliesst die Messzelle, die ein Absorptionsmittel für Kohlenstoffdioxid enthält, gasdicht. Die Messzelle befindet sich in einer trockenen Kohlenstoffdioxid/Luft-Atmosphäre bei $23 \pm 2 \text{ °C}$ und wird in regelmässigen Abständen gewogen. Die Kohlenstoffdioxid-Diffusionsstromdichte (Permeabilität) wird aus der Massezunahme berechnet. Der Versuch wird beendet, wenn ein Gleichgewichtszustand erreicht ist.

Beim Trägergasverfahren (Verfahren B) wird die Probe zwischen zwei Hälften einer Durchlässigkeitsmesszelle geklemmt und abgedichtet. Durch die eine Hälfte der Zelle strömt das Messgas, durch die andere ein Trägergasstrom. Dieser Trägergasstrom transportiert das diffundierte Kohlenstoffdioxid zu einem Detektorsystem, das auf infrarotspektrometrischer oder gaschromatographischer Grundlage arbeitet. Die Bestimmung wird bei $23 \pm 2 \text{ °C}$ durchgeführt. Dabei kann die Feuchte geregelt werden. Der Versuch ist beendet, wenn ein Gleichgewichtszustand erreicht ist.

Anschliessend werden die Kohlenstoffdioxid-Diffusionsstromdichte, diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke und des Diffusionswiderstands errechnet.

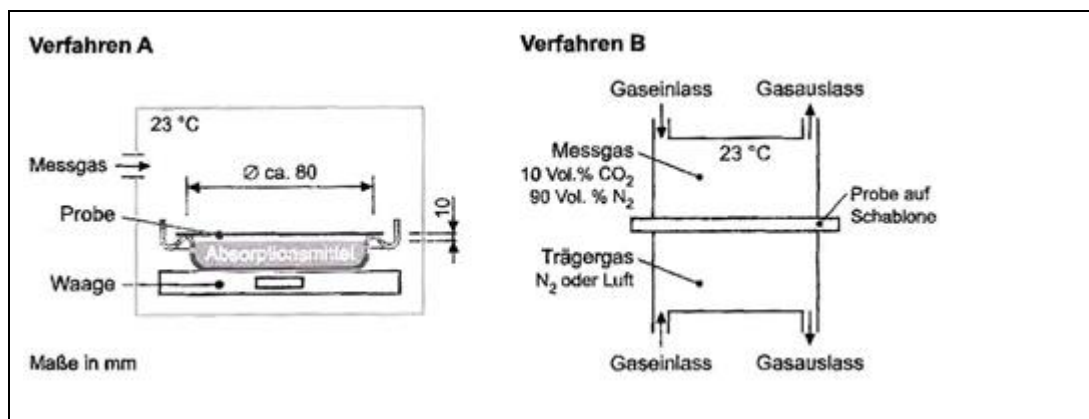


Abb. 3 Bestimmung der Kohlenstoffdioxid-Diffusionsstromdichte von Beschichtungen und Beschichtungssystemen (Prinzipskizze) [2].

Für die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde das Verfahren A als Grundlage gewählt. Die OS-MF-Beschichtungen wurden davon abweichend nicht auf Glasfritten sondern auf einen Beton(-Grundkörper) appliziert, um den realen Bedingungen möglichst nahe zu kommen. Der Diffusionswiderstand wurde dann mit dem unbehandelten Beton (Grundkörper) verglichen, um den Unterschied zu ermitteln, der auf die Sperrwirkung der Beschichtung zurückzuführen ist.

3.3 Alterung der Prüfkörper

Eine zentrale Anforderung an die OS-MF-Produkte ist gemäss [16], dass neben „einem optimalen Schutz gegen die vorhandenen Einwirkungen eine lange Lebensdauer gewährleistet wird“. Zur Verdeutlichung wird im [Merkblatt] ein Zielwert von 25 Jahren genannt. Zum Vergleich sei auf die übliche Lebensdauer von Beschichtungen mit ca. 10 bis 20 Jahren verweisen.

3.3.1 Durchführung der Prüfung

Die Künstliche Bewitterung erfolgte in einer Klimakammer gemäss [13], Verfahren 4.2: UV-Strahlung und Feuchte. Die Prüfkörper werden dabei in abwechselnden Zyklen jeweils 4 Stunden mit UV-Strahlung und anschliessend 4 Stunden mit Wasserdampf (ohne UV-Strahlung) beansprucht.

3.3.2 Prüfdauer

Die Prüfnorm [13] ist geeignet, um die Alterung von Oberflächenschutzsystemen zu simulieren. Anforderungen an Oberflächenschutzsysteme sind daher auch in der Norm [7] enthalten. In der eigentlichen Prüfnorm wird eine Belastungsdauer von 1'000 Stunden vorgegeben. In der Norm EN 1504-2 wird eine deutlich verlängerte Belastungsdauer von 2'000 Stunden gefordert. Der Verlauf der Belastungszyklen bleibt aber gleich. Die Anforderung an die Beanspruchung an das Oberflächenschutzsystem ist damit härter als in der eigentlichen Prüfnorm.

Die Forschungsgruppe hat sich daher entschieden, die oben genannten zentrale Anforderung an eine "lange Lebensdauer" gemäss dem [17] dadurch zu simulieren, dass die Belastungsdauer nochmals verlängert wird, nämlich auf 4'000 Stunden.

Um trotzdem eine Vergleichbarkeit mit der eigentlichen Normanforderung an Oberflächenschutzsysteme von 2'000 Stunden zu ermöglichen, sollte die Beanspruchung in 2 Phasen ablaufen. Die eine Hälfte der Prüfkörper 2'000 und die andere Hälfte 4'000 Stunden beansprucht werden. Da die Resultate nach 2'000 Stunden Beanspruchungsdauer bereits negativ ausfielen (vergleiche Kapitel 5.4), wurde die Beanspruchung für die ursprünglich 4'000 Stunden nach 2'000 abgebrochen.

3.3.3 Folgeprüfungen

Im eigentlichen Prüfverfahren gemäss [13] werden die Prüfkörper nach der vorgesehenen Beanspruchungsdauer mittels verschiedener visueller Prüfungen nach [14] bewertet. Dabei stehen Kriterien wie Blasen- oder Rissbildung, Abblättern und Kreiden im Vordergrund.

Die Forschungsstelle hat sich entschieden, von diesem rein visuellen Prüfkonzept Abstand zu nehmen und die vorgängig ausgewählten relevantesten technischen Eigenschaften "Kapillare Wasseraufnahme" und "CO₂-Durchlässigkeit" (vergleiche Kapitel 3.1 und 3.2) zu überprüfen.

3.3.4 Konditionierung

Die [13] ist einer von mehreren Teilen von der Normenreihe EN 1062, die Prüfverfahren für Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Untergründe und Beton im Aussenbereich behandelt. Er sollte im Zusammenhang mit EN 1062-1 [10] angewendet werden.

Je nach Einsatzort, Neigung und Richtung sind Baustoffe Änderungen von Temperatur und Feuchte sowie UV-Strahlung in wechselnder Folge, Dauer und Intensität ausgesetzt. Aufgrund der Veränderlichkeit dieser Einflüsse und ihrer Kombinationen ist es sinnvoll,

die Beständigkeit von Beschichtungen für mineralische Untergründe und Beton im Außenbereich gegen die Einwirkungen des Wetters zu prüfen, um zu bestätigen, dass sie bestimmten Anforderungen entsprechen. Die in dieser Europäischen Norm festgelegten Verfahren sind zum Konditionieren vor der weiteren Prüfung und Bewertung der Beständigkeit von Beschichtungen unter den Einwirkungen des Wetters geeignet.

Diese Europäische Norm legt vier Verfahren zum Konditionieren von Probenkörpern fest, um die Beständigkeit von Beschichtungsstoffen und Beschichtungssystemen für mineralische Untergründe und Beton im Außenbereich unter den Einwirkungen des Wetters zu beurteilen. Die festgelegten Konditionierungsverfahren berücksichtigen einen weiten Bereich von Wetterbedingungen.

Dieses Verfahren erlaubt Schlussfolgerungen hinsichtlich des Abbaus der Oberfläche von Beschichtungen durch Veränderungen von deren mechanischen Eigenschaften, die durch UV-Strahlung verursacht werden. Es ist besonders geeignet für Beschichtungen, die bei Einwirkung von UV-Strahlung reagieren.

Die Konditionierung erfolgte im Detail wie folgt:

- Die Probenkörper mit Lampentyp 2 (UV-A) entsprechend [15] mit einem Zyklus von 4 h UV-Strahlung und 4 h Befeuchten ohne UV-Strahlung belasten, wobei die Gesamt-Belastungsdauer 1 000 h beträgt, bevor weitere Prüfungen durchgeführt werden.
- Während der Bestrahlungsphase (Trockenphase) die Schwarzstandard-Temperatur, falls nicht anders vereinbart, über eine Zeitspanne von 4 h bei $(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$ halten.
- Während der Befeuchtungsphase die Schwarzstandard-Temperatur, falls nicht anders vereinbart, über eine Zeitspanne von 4 h bei $(50 \pm 3) ^\circ\text{C}$ halten.
- Danach die Probenkörper mindestens 24 h im Normalklima nach EN 23270 [$(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ und $(50 \pm 5) \%$ relative Luftfeuchte] konditionieren, bevor weitere Prüfungen durchgeführt werden.

3.3.5 Übertragbarkeit

Die Grenzen der Übertragbarkeit der UV-Beanspruchung werden in der [15] genannt.

Beschichtungen aus Lacken, Anstrichstoffen und ähnlichen Beschichtungsstoffen werden im Labor bewittert, um den Alterungsprozess während der Freibewitterung nachzustellen. Allgemeingültige Korrelationen zwischen künstlicher Bewitterung und Freibewitterung können nicht erwartet werden, da es eine große Anzahl von Einflussfaktoren gibt. Übereinstimmungen sind nur zu erwarten, wenn der Einfluss wichtiger Parameter (spektrale Strahlungsverteilung im photochemisch wirksamen Bereich, Probentemperatur, Art der Befeuchtung, Befeuchtungszyklus, relative Luftfeuchte) auf die Beschichtung bekannt ist. Dennoch wird die Prüfung im Labor durchgeführt, da, im Gegensatz zur Freibewitterung, nur eine geringere Anzahl von Variablen, die überwacht werden können, zu berücksichtigen ist und daher die Ergebnisse eher reproduzierbar sind.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die Parameter gemäss [15] angewendet. Es zeigte sich, dass bereits nach den 2'000 Stunden künstlicher Bewitterung aus der erweiterten Normanforderung, dass die zentrale Anforderungen der CO₂-Durchlässigkeit nicht mehr erfüllt werden. Demgegenüber wurde die Anforderung an die Reduktion der künstlichen Wasseraufnahme nach wie vor erfüllt.

Aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten bei der Übertragbarkeit der Resultate von Freibewitterung auf künstliche Bewitterung, kann nicht ausgesagt werden, nach welcher Lebensdauer in Jahren mit dem Versagen der geprüften Oberflächenschutzsysteme unter realer Bewitterung zu rechnen ist. Allerdings kann qualitativ folgendes ausgesagt werden:

Bezüglich der **CO₂-Durchlässigkeit** sind die geprüften Produkte nicht widerstandsfähiger gewesen als die handelsüblichen, sondern tendenziell sogar weniger beständig.

Bezüglich **Verminderung der kapillaren Wasseraufnahme** sind die geprüften Produkte mindestens gleichwertig, evtl. auch widerstandsfähiger als handelsübliche Produkte.

4 Geprüfte OS-MF-Produkte

4.1 Produktevaluation

Die Forschungsstelle hat für die Evaluation der zu untersuchenden Produkte auf die Erfahrungen des ASTRA zurückgegriffen. Bei einem ASTRA-Projekt aus dem Jahr 2009 wurden an Musterflächen in einem Autobahn-Tunnel sieben Beschichtungen untersucht. Die verwendeten Produkte auf Nanotechnologiebasis kamen z.T. für das OS-MF-Merkblatt vom ASTRA in Frage. Der damals zuständige Projektleiter des ASTRA war daher auch Gast der Begleitkommission für dieses Forschungsprojekt. Er konnte der Forschungsstelle Kenntnisse über die damals angewendeten Produkte und durchgeführten Prüfungen verschaffen. Der Schwerpunkt der damals durchgeführten Untersuchungen lag bei Farbänderungen (Helligkeit im Tunnel), dem Haftverbund und der Abwaschbarkeit von Verschmutzungen aus dem Tunnelbetrieb. Die Wasserdurchlässigkeit der Produkte (Sperrwirkung gegenüber kapillarer Wasseraufnahme) war damals auch Gegenstand der Untersuchungen, nicht jedoch eine allfällige Verringerung der CO₂-Durchlässigkeit oder eine sehr lange Lebensdauer der Beschichtungen. Die Beschichtungen waren ausserdem pigmentiert, um die Sichtverhältnisse im Tunnel zu verbessern. Pigmentierte Produkte stehen im Widerspruch zu den OS-MF-Vorgaben, wonach ein Produkt unauffällig sein soll, also nicht filmbildend oder zumindest transparent.

Die damals vom ASTRA untersuchten Produkte stammten von vier verschiedenen Herstellern. Die Forschungsstelle hat Kontakt mit genau diesen Produktherstellern aufgenommen und angefragt, ob diese ihre Produkte auch transparent formulieren können bzw. ob ihre (ggf. umformulierten) Produkte neben der Verringerung der Wasseraufnahme auch geeignet sind, zusätzlich die Anforderungen an die Verringerung der CO₂-Durchlässigkeit und eine hohe Lebensdauer zu erfüllen.

Drei der vier Produkthersteller haben zugesichert, dass Ihre Produkte diese OS-MF-Anforderungen erfüllen können. Die Pigmente seien vom ASTRA im Rahmen der Musterfläche im Tunnel gewünscht gewesen. Die entsprechenden Produkte seien aber auch transparent vorhanden bzw. könnten umformuliert werden. Die entsprechenden Produkte wurden im Rahmen des Forschungsprojektes als Produkte A, C und D untersucht.

Ein Hersteller hat abgelehnt. Seine Produkte basieren zwar auf Nanotechnologie, sind aber nur für die Reinigungsfähigkeit (Graffitienschutz) hin ausgelegt und würden wahrscheinlich nicht über die vom OS-MF-Merkblatt geforderten weiteren Schutzeigenschaften verfügen. Seine Produkte stammten ursprünglich aus der Anwendung auf Glas- und Metalluntergründen (z.B. Eisenbahnwaggons). Er gab zu bedenken, dass seine Produkte sehr dünn appliziert werden und auf einer gegenüber Glas bzw. Metall sehr rauen Oberfläche wie Beton u.U. keinen vollständig zusammenhängenden Schutzfilm bilden würden.

Auf dieser Grundlage wurde im Jahr 2010 eine Internetrecherche im deutschsprachigen Raum durchgeführt bzw. mit namenhaften Herstellern von Bautenschutz-Produkten Kontakt aufgenommen.

Die Recherchen sind in eine Zeit gefallen, in der die anfängliche Euphorie der Nanotechnologie einer gewissen Skepsis im Hinblick auf mögliche Gesundheitsrisiken gewichen ist. Als Reaktion darauf wurde von grossen, namhaften Herstellern darauf verwiesen, dass ihre Produkte entweder keine Nanopartikel benötigen oder diese so in das vorhandene Bindemittel-System integriert sind, dass man nicht mehr im eigentlichen Sinne von Nanotechnik sprechen könne. Der Stand der Kenntnisse zu gesundheitlichen Risiken von Nanoprodukten wird im **Kapitel 6** behandelt.

Hauptablehnungsgrund der angefragten Hersteller, Ihre Produkte im Rahmen des Forschungsprojektes überprüfen zu lassen, war aber die Tatsache, dass ein gleichzeitiges Erfüllen aller OS-MF-Anforderungen durch ein Produkt als sozusagen unmöglich angesehen wurde. In erster Linie wurde hier der Widerspruch zwischen der

Sperrwirkung gegenüber Gasen (CO₂-Durchlässigkeit) und der OS-MF-Forderung, gar keinen oder zumindest nur einen dünnen und/oder transparenten Film zu bilden, angegeben.

Im Zuge dieser Recherchen wurde daher lediglich ein Produkt gefunden, das über sämtliche Zertifikate nach den aktuellen Regelwerken für ein Oberflächenschutzsystem im herkömmlichen Sinne verfügt. Das Produkt beinhaltet gemäss Herstellerangaben auch Nanopartikel und wurde daher als Produkt B im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht. Der Nachteil gegenüber der grundsätzlichen OS-MF-Forderung der geringen Auffälligkeit bestand allerdings darin, dass es filmbildend ist. Zwar kann dieser Film auch transparent hergestellt werden, allerdings findet durch die Dicke von 100 bis 200 µm eine merkliche visuelle Veränderung der Oberfläche statt. Trotzdem wurde das Produkt in das Forschungsprojekt aufgenommen, da die Forschungsstelle in diesem Produkt aufgrund der vorliegenden Prüfsertifikate am meisten Potenzial sah, zumindest die übrigen (technischen) OS-MF-Anforderungen zu erfüllen.

4.2 Produkt A

4.2.1 Produkteigenschaften, Anwendungsgebiete, Zertifikate

Für das Produkt A sind keine Produktdatenblätter verfügbar. Das Produkt wird auch nicht im eigentlichen Sinne am Markt frei gehandelt. Es wird inklusive seiner Applikation ausschliesslich als Komplettdienstleistung (System) angeboten.

Auch zu erreichende Produkteigenschaften werden nicht genannt. Stattdessen wird auf das Merkblatt OS-MF verwiesen. Das Produkt soll angeblich alle im OS-MF-Merkblatt geforderte Eigenschaften bzw. Anforderungen erfüllen.

Der Forschungsstelle wurden nur auf Nachfrage Prüfergebnisse von einzelnen Komponenten des Produktes aus früheren Entwicklungsphasen vorgelegt. Die einzelnen OS-MF-Anforderungen wurden demnach alle erreicht. Die Dokumente waren aber in vielen Detailfragen unvollständig. Dies machte die Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit sehr schwierig.

4.2.2 Systemaufbau und Erscheinungsbild

Das eigentliche Produkt wird nach einer vorgängigen Grundierung appliziert. Beide Schichten sind nicht filmbildend. Das ausgehärtete Produkt ist daher auf der Betonoberfläche auch nicht sichtbar.

4.2.3 Berührungspunkte zur Nanotechnologie

Zu den verwendeten Stoffen bzw. verwendeten Produktionsverfahren liegen keine Angaben vor. Die Freisetzung von nanoskaligen Partikeln wurde ebenfalls nur an Einzelkomponenten geprüft. Die vorliegenden Messergebnisse eines Labors bescheinigen dem Hersteller demnach keine während oder nach der Applikation messbaren Emissionen.

Dies wurde darauf zurückgeführt, dass die Nanopartikel bei der Verarbeitung im Bindemittel gebunden sind. Eine Gefahr von freigesetzten Nanopartikeln bestehe nur bei unverarbeiteten Partikeln, bei denen Feinstäube freigesetzt werden können.

4.3 Produkt B

Das Produkt wird von seinem Hersteller damit beworben, dass es „in einem System dauerhafte Sicherung von Funktionalität und Ästhetik gewährleistet“. Der Hersteller wirbt damit, dass das Produkt aufgrund seines breiten technische Eigenschaftsprofils bedeutend mehr leistet als alle herkömmlichen Oberflächenschutzsysteme.

4.3.1 Produkteigenschaften, Anwendungsgebiete, Zertifikate

Im Produktdatenblatt werden folgende Eigenschaften aufgelistet:

- Wässriges 2-K Polyurethanacrylat, licht- UV- und wetterbeständig, nicht kreidend
- Bewahrt vor Verschmutzungen, da hydrophob und schmutzabweisend
- Schützt Bauteiloberflächen vor Frost- und Frosttausalzangriffen
- Karbonatisierungsbremsend, wasserdampfdiffusionsoffen
- Roll- und spritzverarbeitbar
- Geprüft und zugelassen gemäss dem Regelwerk der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.
- Zugelassen bei der Bundesanstalt für Strassenwesen
- Gemäss DIN 4201-1 Baustoffklasse B1
- Zertifiziert nach EN 1504 Teil 2

Daraus ergeben sich gemäss Produktdatenblatt folgende Anwendungsgebiete:

- Vorbeugender Beton- und Graffitienschutz im Aussenbereich
- Anwendbar auf Beton, Mauerwerk aus Kalksandsteinen, Putz (mineralisch oder kunststoffvergütet), lackierten Metallflächen und vielen Altanstrichen
- Oberflächenschutz für nicht begeh- und befahrbare Flächen
- Prinzip 1, 2, 5 und 8; Verfahren 1.2, 2.2, 5.1 und 8.1 (EN 1504-9) – das bedeutet: Schutz gegen das Eindringen von Stoffen, Regulierung des Wasserhaushaltes des Betons, Erhöhung des physikalischen Widerstandes und Erhöhung des elektrischen Widerstandes.

Da dieses Produkt über die notwendigen Zertifizierungen für die zurzeit gültigen Instandsetzungsnormen verfügt, wurde das Produkt bereits vielfach eingesetzt. Referenzobjekte für Hoch- und Tiefbau werden auf der Hersteller-Homepage genannt.

Der Forschungsstelle liegen die entsprechenden Prüfberichte für die Zertifizierung nach EN 1504-2 vor. Das Produkt erfüllt gemäss dieser Unterlagen diverse Eigenschaften, die auch im Merkblatt OS-MF gefordert werden. Daher wurde das Produkt für das Forschungsprojekt ausgewählt.

4.3.2 Systemaufbau und Erscheinungsbild

Das System wird auf einer (handelsüblichen) Hydrophobierung aufgetragen, die als Grundierung dient.

Das Produkt ist zwar transparent, auf einer Betonoberfläche aber bei üblichem Betrachtungsabstand erkennbar, da die Oberfläche leicht speckig erscheint.

4.3.3 Berührungspunkte zur Nanotechnologie

Neben den aufgeführten Kunststoffen enthält das Produkt Siliziumdioxid (SiO₂)-Nanopartikel. Diese Partikel werden mit organischen Bestandteilen zu einem dreidimensionalen Gerüst verbunden und fixiert. Die Nanopartikel liegen somit nicht mehr in einer freien Form vor.

4.4 Produkt C

Ursprünglich sollte eine Produkt-Kombination aus zwei Produkten zum Einsatz kommen. Der Systemaufbau hätte aus der hauptsächlich wirksamen Schicht (hwS) mit einer Dicke von ca. 150 µm bestanden, auf die dann eine zusätzliche sehr dünne, transparente Schicht (tS) von 10-15µm Dicke appliziert worden wäre.

Es stellte sich dann heraus, dass die hauptsächlich wirksame Schutzschicht (hwS) pigmentiert ist. Die zusätzliche, dünne Schicht (tS) hingegen ist transparent formulierbar.

Für das pigmentierte Produkt (hwS) liegen Prüfergebnisse vor, für das transparente (tS) nicht.

Der Produktlieferant hat angegeben, dass die dünne, transparente Beschichtung (tS) die gestellten Anforderungen an die Wasseraufnahme und CO₂-Durchlässigkeit auch erfüllen wird und daher auch alleine appliziert werden könnte.

Da ein wichtiger Aspekt für OS-MF-Produkte darin besteht, an der Betonoberfläche nicht aufzufallen (transparent oder nicht filmbildend), wurde entschieden, nur die dünne, transparente Beschichtung (tS) zu applizieren und zu prüfen.

In den folgenden Abschnitten wird daher nur noch auf die dünne Schicht (tS) eingegangen.

4.4.1 Produkteigenschaften, Anwendungsgebiete, Zertifikate

Das Produkt wird vom Hersteller als einschichtige, transparente, zweikomponentige Schutzbeschichtung für hoch beanspruchte Betonoberflächen beschrieben, die leicht zu reinigen sei und über eine hohe Widerstandsfähigkeit verfügt. Sie kann auf Beton, zementgebundenen Oberflächen und Altanstrichen eingesetzt werden.

Im Produktdatenblatt werden folgende Eigenschaften aufgezählt:

- Hervorragende Reinigungsfähigkeit mit Wasser, ohne Chemikalien und Reinigungsmittel
- Gute Glanzhaltung, UV- und Witterungsbeständig, Lichtstabile Farbgestaltung möglich
- Hohe Resistenz gegenüber Frost, Tausalzen und Chemikalien
- Hohe mechanische Beständigkeit
- Hoher Widerstand gegen Wasseraufnahme
- Sehr hohe Haftfestigkeit und sehr gute Haftung auch auf Altanstrichen (muss fallweise getestet werden)
- Gute Haftung auch auf mattfeuchten Untergründen
- In einem Arbeitsgang applizierbar (Schichtstärke 10-15µm) ohne Nachbehandlung
- Applikation auch unter schwierigen Bedingungen (Hohe Feuchtigkeit, Kälte)
- Einfache Verarbeitung mittels Rollen oder Luftspritzen
- Keine Grundierung und kein zusätzlicher Schutzanstrich notwendig
- 2 Komponenten-Beschichtung auf der Basis verschiedener Harze und Silan-Verbindungen

Daraus ergeben sich gemäss Produktdatenblatt folgende Anwendungsbereiche:

Gemäss Hersteller kann das Produkt aufgrund der UV-Beständigkeit auch im Aussenbereich, in exponierten Lagen und hochbeanspruchten Betonoberflächen zur Anwendung kommen.

- Strassentunnels
- Kunstbauten
- Eisenbahntunnels
- Unterführungen
- Tiefgaragen
- Militärische Bauten

- Betonmauern
- Exponierte Betonoberflächen Betonfassaden
- Betonfassaden
- Graffitienschutz von Betonoberflächen

Für die von der Forschungsstelle im Rahmen des Projektes untersuchte transparente Beschichtung (tS) liegen keine Zertifikate o.ä. vor. Vom Produkthersteller wurde aber angegeben, dass diese die gleichen Eigenschaften aufweisen würde wie das pigmentierte Produkt (hwS).

Für das pigmentierte Produkt (hwS) liegen folgende Angaben vor:

- Qualifiziert nach EN 1504-2: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken: Beschichtung (C) mit erhöhter Dichtheit
- Diverse Systemprüfungen wurden bei den folgenden Versuchsanstalten durchgeführt:
 - LPM, Beinwil am See
 - MPA (Materialprüfanstalt) Dresden GmbH
 - Bundesamt für Metrologie METAS
 - BBL Basler Baulabor AG in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strassen ASTRA

Der Forschungsstelle liegen die Prüfberichte vor. Das Produkt erfüllt damit diverse Eigenschaften, die auch gemäss dem Merkblatt OS-MF gefordert werden.

Da dieses Produkt über die notwendigen Zertifizierungen für die zurzeit gültigen Instandsetzungsnormen verfügt, wurde das Produkt bereits vielfach eingesetzt. Referenzobjekte werden auf der Hersteller-Homepage genannt.

4.4.2 Systemaufbau und Erscheinungsbild

Das Produkt wird einschichtig appliziert. Spachtelungen und Grundierungen sind im Normalfall nicht notwendig. Das Produkt (tS) ist transparent und sehr dünn-schichtig.

4.4.3 Berührungspunkte zur Nanotechnologie

Bindemittelbasis Polysiloxan-Epoxidharz, modifiziert mit Sol-Gel-Verfahren.

4.5 Produkt D

4.5.1 Produkteigenschaften, Anwendungsgebiete, Zertifikate

Bei dem Produkt handelt es sich um einen 2-komponentigen Klarlack, der für den Aussen- und Innenbereich eingesetzt werden kann. Der Lack ist gemäss Produktbeschreibung beständig gegen Lösemittel und Chemikalien. Ausserdem weist er Antigrffiti-Eigenschaften auf. Als Untergrund kommen Stahl, Aluminium, Buntmetalle, viele Kunststoffe und gestrichene Oberflächen infrage.

Der Forschungsstelle wurden keine Zertifikate vorgelegt und auf Nachfrage nur Nachweise für eine frühere Produktversion verfügbar gemacht. Auch für diese erstreckten sich die Nachweise nur auf die Sperrwirkung gegenüber Wasseraufnahme und die ausreichende Wasserdampfdurchlässigkeit.

4.5.2 Systemaufbau und Erscheinungsbild

Das Produkt wird einschichtig appliziert und ist farblos.

4.5.3 Berührungspunkte zur Nanotechnologie

Zwei-Komponenten-Nano-Klarlack auf Silikonepoxidharz-Basis mit Lösungsmittel und UV-Filter. Enthält gemäss Produktdatenblatt keine freien Nanopartikel.

4.6 Zusammenfassung

An ein OS-MF-Produkt werden gemäss ASTRA-Merkblatt sehr viele Anforderungen gestellt, die das Produkt gleichzeitig erfüllen muss. Von der Forschungsstelle wurden zwei der Anforderungen als besonders wichtig für Kunstbauten beurteilt: die Verringerung der Wasseraufnahme und der CO₂-Durchlässigkeit. An diesen beiden Anforderungen wurden die verschiedenen Produkte gemessen. Zur Beurteilung wurden sowohl die Vorgaben nach dem sistierten Merkblatt OS-MF des ASTRA, wie auch Vorgaben von aktuell in der Schweiz gültigen Regelwerken ([7] und [18]) herangezogen. Zusätzlich sind noch zwei weitere Forderungen für OS-MF-Produkte besonders wichtig. Sie sollen möglichst unsichtbar und sehr lange wirksam sein, damit das Erscheinungsbild der Kunstbauten nicht beeinträchtigt wird und sich der deutlich höhere Preis gegenüber herkömmlichen Produkten rechtfertigt. Daher kommen nur Produkte infrage, die möglichst nicht filmbildend oder wenn doch, dann wenigstens transparent sind.

Die Forschungsstelle hat die vier verschiedenen Produkte A bis D (auf Nanotechnologiebasis) evaluiert, die gemäss vorliegender Herstellerangaben, Ergebnissen von Musterflächen oder Prüfzertifikaten die OS-MF-Anforderungen an die Wasseraufnahme erfüllen konnten. Für die Anforderung an die CO₂-Durchlässigkeit gab es nur für drei der vier Produkte entsprechende Deklarationen oder Zertifikate. Zusätzlich zu den Produkten auf Nanobasis wurde eine handelsübliche Hydrophobierung ausgewählt, um eine Vergleichbarkeit gegenüber herkömmlichen Produkten (ohne Nanotechnologie) zu ermöglichen.

5 Prüfungen an OS-MF-Produkten

Im Herbst 2010 wurden die Prüfungen in der Forschungsstelle durchgeführt.

Alle Produkte wurden auf Platten aus Beton (Grundkörper) appliziert. Den Produktlieferanten wurde frei gestellt, ob sie die Platten in den Räumlichkeiten der Forschungsstelle selber beschichten oder dies der Forschungsstelle überlassen wollten. Schlussendlich wurden die Produkte A und B von den Produktlieferanten selber beschichtet (im Beisein der Forschungsstelle). Die Produkte C und D wurden von der Forschungsstelle appliziert.

Alle Applikationen wurden jeweils exakt nach den vorliegenden Anweisungen der Produktlieferanten innerhalb eines Zeitraums von insgesamt 18 Tagen durchgeführt.

5.1 Applikation und Grundkörper

Das Produkt A wurde aufgespritzt. Die übrigen Produkte B bis D wurden mittels Rolle appliziert. Alle Platten wurden während der Applikation horizontal gelagert, damit kein Mittel ablaufen konnte.



Abb. 4 Applikation der Produkte (links: Produkt wurde gespritzt, rechts: mit der Rolle)

5.1.1 Grundkörper

Alle Produkte wurden auf die gleichen Grundkörper aus Beton appliziert. Als Grundkörper wurden vorgefertigte Betonplatten von der Firma Creabeton verwendet. Die Platten waren 50 cm x 50 cm x 5 cm gross.

Die Platten wurden aus einem Beton mit einem w/z-Wert 0.48 und einem Zementgehalt von 160 kg/m³ (CEM I) mit einem 11 mm Grösstkorn liegend hergestellt. Die spätere Applikation der Produkte wurde auf der glatten, geschalteten (Unter-)Seite durchgeführt. Die Fläche wies daher nur sehr wenige sichtbare Poren auf. Vor der Applikation wurden sie trocken abgebürstet, um allfällige Rückstände von Trennmitteln zu entfernen.

Das genaue Alter jeder einzelnen Platte war nicht feststellbar. Die Platten sind gemäss Herstellerwerk ca. 40 Tage alt, wenn sie ausgeliefert werden. Nach Anlieferung in der Forschungsstelle wurden die Platten dort noch mindestens 2 Wochen gelagert. Bevor die Applikationen durchgeführt wurden waren die Platten damit insgesamt ca. 50 Tage alt.

Aus den beschichteten Probekörpern wurden später Bohrkern (Durchmesser 50 mm) herausgebohrt. Alle nachfolgenden Versuche und auch die künstliche Bewitterung wurden an diesen Bohrkernen durchgeführt. Die Bohrkern wurden seitlich mit Kunstharz abgedichtet, damit nur die obere Fläche des Bohrkerns, auf der die zu prüfenden Produkte appliziert wurden, bewittert wird.

Der Grund für die Verwendung von Bohrkernen war die deutlich bessere Handhabbarkeit der kleinen Bohrkern gegenüber den deutlich grösseren und schweren Platten, v.a. hinsichtlich der Platzverhältnisse in der Bewitterungskammer.

5.1.2 Applikation

Nur bei den Produkten A und B kam eine vorgängige Grundierung zum Einsatz. Beim Produkt A wurde die anschliessende Beschichtung auf die noch feuchte Grundierung appliziert (frisch in frisch). Bei Produkt B wurde 5 Tage gewartet, bevor das Schutzsystem auf die Grundierung aufgebracht wurde.

Bemerkungen zur Applikation des Produktes B: Produkt B war das einzige Produkt, das in 2 Arbeitsgängen aufgetragen wurde (24 Std. Zeitraum zum Abtrocknen). Im feuchten Film waren die überdeckten Poren des Betonuntergrunds zu erkennen. Nach dem Trocknen der Schicht waren diese Poren dann offen (siehe **Abb. 5**)



Abb. 5 Produkt B nach der Applikation (links: noch feucht und rechts: Poren offen)

An Anschliffen aus den ausgehärteten Probekörpern wurden folgende durchschnittliche Schichtdicken mit dem Mikroskop gemessen:

- Produkt A: keine Schicht messbar
- Produkt B: 0.13 mm (Min-Max/Standardabw.: 0.07-0.19 mm / ± 0.03 mm)
- Produkt C: 0.04 mm (Min-Max/Standardabw.: 0.02-0.07 mm / ± 0.01 mm)
- Produkt D: keine Schicht messbar

Die Trockenschichtdicke vom Produkt B liegt damit leicht unter dem für das Produkt angegebenen Wert von 0.2 mm, während die Schichtdicke von Produkt C grösser ist als die angegebene Dicke von ca. 0.02 mm.

5.2 Prüfkonzept

An ein Produkt, das die OS-MF-Anforderungen erfüllen soll, werden sehr viele Anforderungen gleichzeitig gestellt. Zusätzlich dazu soll als Hauptanforderung die langzeitige Wirksamkeit des Produktes im Vordergrund stehen. D.h. es müssen nicht nur sehr viele verschiedene Anforderungen erfüllt werden, sondern diese sollen auch nach einer langen Lebensdauer der Beschichtung noch erfüllt werden.

Das Prüfkonzept sah daher vor, die verschiedenen Eigenschaften vor- und nach einer definierten Auslagerungsdauer in einer Bewitterungskammer zu prüfen. Da bei den OS-MF-Produkten eine deutlich höhere Lebensdauer gefordert wird, wurde die Dauer der künstlichen Bewitterung mit ursprünglich 2 Phasen à 2'000 Stunden gegenüber der Normforderung von 1'000 [13] bzw. 2'000 Stunden [7] deutlich verlängert.

Alle gemäss dem Merkblatt OS-MF geforderten Eigenschaften bei allen 4 Produkten zu prüfen, hätte den zeitlichen und finanziellen Rahmen des Projekts jedoch gesprengt. Daher hat sich die Forschungsstelle für das nachfolgend beschriebene Vorgehen entschieden.

Von den diversen Eigenschaften, die ein OS-MF-Produkt erfüllen können muss, wurden zwei Anforderungen als besonders relevant angesehen: Die Verringerung der CO₂-Durchlässigkeit, um die Karbonatisierung des Betons zu minimieren, und die Verringerung der Wasserdurchlässigkeit (kapillare Wasseraufnahme), um Durchfeuchtung und Chloridinfiltration des Betons zu minimieren. Speziell im Bereich des Tiefbaus, sind dies die wichtigsten Anforderungen, die normalerweise an ein (übliches) Oberflächenschutzsystem gestellt werden. Andere OS-MF-Anforderungen (wie z.B. Öl-, Chemikalienresistenz oder Rissüberbrückungsfähigkeit) sollten erst in einem zweiten Schritt untersucht werden.

Da das Merkblatt OS-MF zurzeit sistiert ist, wurden die Resultate der Prüfungen sowohl mit den Anforderungen dieses Merkblatts, als auch mit den (niedrigeren) Anforderungen der aktuell in der Schweiz verwendeten Regelwerke verglichen.

Bereits während der Planung des Forschungsprojektes war klar, dass die künstliche Bewitterung aufgrund der relativ langen Auslagerungszeit und der damit verbundenen Kosten für einen massgeblichen Kostenanteil am Projekt sorgen würde. Aus diesem Grund wurden alle Produkte zuerst vor der künstlichen Bewitterung geprüft, damit keine Probekörper künstlich bewittert werden, die auch bereits ohne Bewitterung die Anforderungen nicht erfüllen würden. Nur die Produkte, für die eine ausreichende Wirksamkeit bzgl. Wasseraufnahme und CO₂-Durchlässigkeit bestätigt werden konnte, wurden dann in der Bewitterungskammer ausgelagert.

Die künstliche Bewitterung und die Prüfung der CO₂-Durchlässigkeit wurden durch die LPM AG durchgeführt.

5.3 Prüfungen vor der künstlichen Bewitterung

Alle vier untersuchten Produkte wurden in einem Vorversuch getestet. Zusätzlich wurde, wie bereits in Kapitel 4 näher erläutert, eine handelsübliche Hydrophobierung (ohne jegliche „nanomodifizierte Eigenschaften“) als Vergleich mit hinzugezogen.

Tab. 1 Resultate vor der künstlichen Bewitterung (Mittelwerte)

Produkt	Wasseraufnahme w [kg/m ² h ^{0.5}]				CO ₂ -Durchlässigkeit [m]		
	Anforderung OS-MF	Anforderung [18, 19]	Anforderung [7]	Resultat	Anforderung OS-MF	Anforderung [7, 18, 19]	Resultat
Produkt A	≤ 0.03	≤ 0.05	< 0.1	0.78	> 100	> 50	2
Produkt B	≤ 0.03	≤ 0.05	< 0.1	0.04	> 100	> 50	108
Produkt C	≤ 0.03	≤ 0.05	< 0.1	0.07	> 100	> 50	47
Produkt D	≤ 0.03	≤ 0.05	< 0.1	0.83	> 100	> 50	2
Hydrophobierung	≤ 0.03	≤ 0.05	< 0.1	0.04	.*	.*	.*

* Für eine Hydrophobierung wird eine CO₂-Durchlässigkeit nicht gefordert.

Vergleich mit den Anforderungen nach Merkblatt OS-MF:

- Kein Produkt konnte die Anforderung an die Begrenzung der Wasseraufnahme des Merkblatts OS-MF erfüllen.
- Nur ein Produkt konnte die Anforderung an die Reduktion der CO₂-Durchlässigkeit erfüllen.

- Bei zwei Produkten (A und D) wurden beide Zielwerte sehr deutlich verfehlt. Sie sind sogar so weit vom geforderten Grenzwert entfernt, dass ihnen praktisch gar keine Wirkung bescheinigt werden kann.

Vergleich mit den Anforderungen nach aktuellen Regelwerken:

- Die Produkte B und C haben die Anforderungen im Rahmen der Prüfgenaugigkeit erfüllt.
- Auch die zu Vergleichszwecken mit geprüfte Hydrophobierung hat die Anforderung an die Verringerung der kapillaren Wasseraufnahme erfüllt.

Die betroffenen Produktlieferanten (A und D) wurden um Stellungnahmen zu den schlechten Resultaten gebeten. Beide hatten keine eindeutige Erklärung. Der Lieferant von Produkt A führte ein allenfalls zu junges Betonalter an, was die volle Wirksamkeit des Produktes beeinträchtigt haben könnte. Lieferant D vermutete eine möglicherweise zu geringe Schichtstärke.

Das Betonalter der betroffenen Platten kann nicht exakt zurückverfolgt werden, ist aber gemäss Angaben des Betonlieferanten aller Wahrscheinlichkeit nach grösser als 6 Wochen, da sie zum Zeitpunkt der Applikation noch zwei Wochen bei der Forschungsstelle gelagert worden waren. Ein Mindestbetonalter war vom Produktlieferanten vorher nicht thematisiert worden. Ausserdem konnten bei den Produkten B, C und der handelsüblichen Hydrophobierung eine Wirkungsentfaltung festgestellt werden, obwohl für diese Prüfkörper Platten aus derselben Lieferung verwendet worden waren.

Der Einfluss einer möglicherweise zu geringen Schichtstärke auf die Wirksamkeit von Produkt D ist zu hinterfragen, da die Vorgaben an die Verbrauchsmenge strikt eingehalten wurden und kein Material abgelaufen ist. Bei grossen Rauigkeiten der zu beschichtenden Betonoberfläche könnten sich lokal Minderdicken ergeben, wenn der noch flüssige Beschichtungsstoff von den rauen (Gesteinskorn-), „Spitzen“ in die „Täler“ abfließt. Im vorliegenden Fall wurde aber mit Absicht auf die sehr glatte geschalte Oberfläche appliziert. Diese Oberfläche war daher so „ideal glatt“, wie sie in der Realität auch an mit Stahlschalungen kaum zu erreichen ist. Wenn die Schichtdicke beim verwendeten Prüfkörper nicht ausreichend ist, dann wäre sie dies an einer üblichen Betonoberfläche eines realen Gebäudes daher erst recht nicht.

5.4 Prüfungen nach der künstlichen Bewitterung

Die Produkte B und C sowie die Hydrophobierung, welche im unbewitterten Zustand zumindest die Anforderungen gemäss aktuellen Regelwerken erfüllten, wurden anschliessend in der Bewitterungskammer ausgelagert (siehe Kapitel 3). Anschliessend wurden dieselben Versuche an den bewitterten Bohrkernen durchgeführt.

Tab. 2 Resultate nach der künstlichen Bewitterung (Mittelwerte)

Produkt	Wasseraufnahme w [$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}^{0.5}$]				CO ₂ -Durchlässigkeit [m]		
	Anforderung OS-MF	Anforderung [18, 19]	Anforderung [7]	Resultat	Anforderung OS-MF	Anforderung [7, 18, 19]	Resultat
Produkt B	≤ 0.03	≤ 0.05	< 0.1	0.04	> 100	> 50	2
Produkt C	≤ 0.03	≤ 0.05	< 0.1	0.04	> 100	> 50	6
Hydrophobierung	≤ 0.03	≤ 0.05	< 0.1	0.04	-*	-*	-*

* Für eine Hydrophobierung wird eine CO₂-Durchlässigkeit nicht gefordert.

Die Ergebnisse hinsichtlich der Wasseraufnahme entsprechen der Prüfung vor der künstlichen Bewitterung, sind in einem Fall sogar etwas besser, was auf die Prüfstreuung zurückgeführt wird. Dies zeigt deutlich, dass die Wasseraufnahme nach wie vor verringert ist. Es werden allerdings nur die Anforderungen nach [18] eingehalten, die OS-MF-Anforderungen werden knapp verfehlt. Die Abweichung liegt allerdings im Rahmen der möglichen Prüfstreuung.

Dies gilt für alle untersuchten Produkte – also ausdrücklich auch für die (handelsübliche) Hydrophobierung.

Beide Produkte sind nach der Bewitterung hinsichtlich der CO₂-Sperrwirkung nicht mehr funktionstüchtig. Dies wurde aufgrund des visuellen Eindrucks der Probekörper, nachdem sie aus der Bewitterungskammer entnommen wurden, bereits vermutet (Risse und Blasenbildung in der Beschichtung). Mit dem blossen Auge war ersichtlich, dass sich die Oberflächen der Beschichtungen verändert hatten (siehe Abb. 6).



Abb. 6 nach der Auslagerung in der Bewitterungskammer (links: Produkt B, rechts: C)

Diese Veränderungen sind auch hinsichtlich der Anforderung, das Erscheinungsbild der Bauwerke nicht zu beeinträchtigen, als problematisch einzustufen.

5.5 Resultate an Bauwerken

Der Forschungsstelle liegen die Resultate von verschiedenen Prüfungen vor, die an drei Schweizer Objekten (3 Brücken und 1 Tunnel) durchgeführt wurden. An diesen Objekten wurden die Produkte A, C und D verwendet, die auch im Rahmen dieses Forschungsprojektes untersucht wurden. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Produkte daher gleich bezeichnet.

5.5.1 Tunnel

Von den geforderten OS-MF-Eigenschaften wurde nur die Verringerung der kapillaren Wasseraufnahme geprüft. Bei den Prüfflächen handelt es sich um Musterflächen, die im Alter von 125 Tagen nach der Applikation geprüft wurde.

Tab. 3 Resultate Tunnel (Wasseraufnahme)

Typ	Wasseraufnahme w [$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}^{0.5}$]
OS-MF-Anforderung	≤ 0.03
Anforderung [18, 19]	≤ 0.05
Beton, unbehandelt (Referenz)	0.45
Produkt A	0.08 bis 0.22
Produkt C	0.04 bis 0.05
Produkt D	0.05 bis 0.14

Die Resultate zeigen bei allen Produkten eine starke Reduktion der Wasseraufnahme gegenüber dem unbehandelten Referenzbeton. Die Streuung ist bei Produkt D und insbesondere bei Produkt A verhältnismässig gross.

Die OS-MF-Anforderungen werden von keinem Produkt erreicht. Die Wirksamkeit liegt dabei beim Produkt C in der Grössenordnung der Anforderung an eine übliche Hydrophobierung [18]. Bei den beiden übrigen Produkten werden z.T. deutlich höhere Werte gemessen, welche die Anforderungen nach [18] nicht mehr erfüllen.

5.5.2 Brücken 1

Bei diesen Objekten handelt es sich um drei Autobahnbrücken mit Baujahr 1971, welche in den Jahren 2009-2010 in zwei Etappen instandgesetzt wurden. Dabei wurde das Produkt A im August 2009 resp. 2010 durch den Hersteller auf die Konsolköpfe appliziert.

Von den geforderten OS-MF-Eigenschaften wurde nur die Verringerung der kapillaren Wasseraufnahme geprüft. Die Versuche wurden an Bohrkernen aus den nur lokal instandgesetzten, mit dem Produkt A behandelten Konsolköpfen (Betonalter bei Applikation ca. 40 Jahre) durchgeführt. Zuerst wurden im September 2010 vier Bohrkern aus der Etappe 2009 geprüft, an denen teilweise keine Schichtstärke resp. keine Wirkung des Produktes festgestellt werden konnte, weshalb eine Nachapplikation angeordnet wurde. Im Dezember 2010 wurden zwölf Bohrkern aus der Etappe 2012 und weitere zwei Bohrkern aus der Etappe 2009 geprüft.

Tab. 4 Resultate Brücke 1 (Wasseraufnahme)

Typ	Wasseraufnahme w [kg/m ² h ^{0.5}]
OS-MF-Anforderung	≤ 0.03
Anforderung [18, 19]	≤ 0.05
Beton, unbehandelt (Referenz), Sept. 2010	0.41 bis 0.50
Produkt A, Sept. 2010	0.03 bis 0.07
Beton, unbehandelt (Referenz), Jan. 2011	0.40 bis 0.52
Produkt A, Jan. 2011	0.02 bis 0.05

Die Resultate zeigen, dass bei beiden Prüfungen die Anforderungen nach [18] an die Verringerung der Wasseraufnahme erreicht wurden. Die höheren OS-MF-Anforderungen werden nur von einzelnen Bohrkernen erfüllt. Die MS-OF-Anforderungen müssen daher insgesamt als nicht erfüllt angesehen werden.

5.5.3 Brücken 2

Bei diesen Objekten handelt es sich um zwei Autobahnbrücken, welche in den Jahren 2009 resp. 2010 neu gebaut wurden, wobei das Produkt A durch den Hersteller auf die Konsolköpfe appliziert wurde. Die Konsolköpfe waren zum Zeitpunkt der Applikation unterschiedlich alt. Das Betonalter zum Zeitpunkt der Applikation betrug bei der einen Gruppe von Konsolköpfen ca. 5 bis 6 Monate, während bei der anderen Gruppe das Betonalter nur etwa 14 bis 21 Tage betrug.

Von den geforderten OS-MF-Eigenschaften wurden die Verringerung der kapillaren Wasseraufnahme und die Verringerung der CO₂-Durchlässigkeit geprüft. Die Prüfung erfolgte durch die Forschungsstelle, wobei sieben Bohrkern, welche aus dem Konsolkopf entnommen worden waren, untersucht wurden.

Tab. 5 Resultate Brücke 2 (Wasseraufnahme)

Typ	Wasseraufnahme w [kg/m ² h ^{0.5}]
OS-MF-Anforderung	≤ 0.03
Anforderung [18, 19]	≤ 0.05
Beton, unbehandelt (Referenz)	wurde nicht geprüft
Produkt A (Betonalter ca. 5-6 Monate)	0.05 bis 0.06

Tab. 6 Resultate Brücke 2 (CO₂-Durchlässigkeit)

Typ	CO ₂ -Durchlässigkeit [m]
OS-MF-Anforderung	> 100
Anforderung SN EN 1504-2	> 50
Beton, unbehandelt (Referenz)	1
Produkt A (Betonalter ca. 14-21 Tage)	5 bis 8

Die Resultate zeigen, dass die OS-MF-Anforderungen an die Verringerung der Wasseraufnahme nicht erreicht wurden. Die Anforderungen an eine übliche Hydrophobierung [18] wurden ganz knapp erreicht: zwei von drei geprüften Bohrkernen erfüllen die Anforderung von $0.05 \text{ [kg/m}^2\text{h}^{0.5}]$. Ein Wert liegt ganz leicht darüber, was aber im Rahmen der Prüfstreuung liegt.

Die Anforderungen an die Verringerung der CO_2 -Durchlässigkeit wurden deutlich verfehlt. Es ist nur ein leicht höherer Wert als beim unbehandelten Beton feststellbar.

5.5.4 Brücken 3

Bei diesen Objekten handelt es sich um zwei Autobahnbrücken mit Baujahr 1961 resp. 1970, welche in den Jahren 1990 resp. 1991 verbreitert und mit neuen Randleitmauern ausgerüstet wurden. Bei der Instandsetzung, welche in zwei Etappen in den Jahren 2011-2012 erfolgte, wurde das Produkt A durch den Hersteller auf die Leitmauern appliziert, welche auf der Aussenseite nur lokal instandgesetzt, auf der Innenseite dagegen vollflächig reprofiliert worden waren (Dicke des reprofilierten Mörtels ca. 60 bis 80 mm). Die Reprofilierung der Innenseiten erfolgte im Mai/Juni 2011 resp. April/Mai 2012, die Applikation des Produkts im August 2011 resp. Juli 2012, also rund 2 Monate später.

Von den geforderten OS-MF-Eigenschaften wurde nur die Verringerung der kapillaren Wasseraufnahme geprüft. Die Versuche wurden an insgesamt 8 Bohrkernen durchgeführt, wovon 4 aus der Aussenseite (Betonalter ca. 20 Jahre) und 4 aus der reprofilierten Innenseite (Betonalter bei Applikation des Produkts ca. 2 Monate).

Tab. 7 Resultate Brücke 3 (Wasseraufnahme)

Typ	Wasseraufnahme $w \text{ [kg/m}^2\text{h}^{0.5}]$
OS-MF-Anforderung	≤ 0.03
Anforderung [18, 19]	≤ 0.05
Produkt A (Untergrund: Beton von 1990/91), 2011	0.07
Produkt A (Untergrund: Beton von 1990/91), 2012	0.06 bis 0.08
Produkt A (Untergrund: Reprofilierungen von 2011), 2011	0.09 bis 0.11
Produkt A (Untergrund: Reprofilierungen von 2011), 2012	0.18 bis 0.24

Bei allen Proben werden sowohl die Anforderungen gemäss OS-MF-Merkblatt [17] wie auch nach [18] verfehlt.

Auf dem Betonuntergrund der Aussenseite lässt sich kein Unterschied erkennen, ob der Beton aus dem Jahr 1990 oder 1991 stammt.

Auf der reprofilierten Innenseite sind die Werte deutlich schlechter als beim Betonuntergrund (Aussenseite), wobei die jüngeren Untergründe von 2012 noch schlechter abschneiden als die aus dem Jahr 2011.

Leider liegen keine Referenzwerte des unbehandelten Betons bzw. Mörtels vor. Aufgrund der erreichten Werte ist die Wirkung des Produkts jedoch ungenügend. Zwar zeigen die Ergebnisse einen leichten Einfluss des Alters vom Untergrund, dieser ist jedoch nicht stark ausgeprägt und selbst die weniger strengen Anforderungen [18] werden in beiden Fällen verfehlt. Ob dies am Produkt, der Applikation oder anderen Umständen liegt, lässt sich nicht mit Sicherheit sagen.

5.6 Zusammenfassung

An vier verschiedenen OS-MF-Produkten wurden die Wasseraufnahme und CO₂-Durchlässigkeit geprüft. Nur zwei der vier Produkte sowie die handelsübliche Hydrophobierung erfüllten die Anforderungen der aktuell gültigen Regelwerke. Die anderen beiden Produkte erfüllten nicht einmal die Regelanforderungen und fielen daher aus dem weiteren Prüfprogramm. Nur eines der zwei geprüften Produkte erfüllte die Anforderungen gemäss Merkblatt OS-MF.

Die beiden verbliebenen Produkte sowie die Hydrophobierung wurden anschliessend künstlich bewittert. Die Auslagerung sollte gegenüber der Normanforderung gesteigert werden, um die vom Merkblatt OS-MF geforderte hohe Lebensdauer der Produkte zu simulieren. Ursprünglich sollte die Auslagerungsdauer 4'000 Stunden (in 2 Zyklen à 2'000 Stunden) betragen. Dies wäre etwa viermal so viel wie in der eigentlichen Prüfnorm [13] und doppelt so viel wie in der SN EN 1504-2 [7] für herkömmliche Oberflächenschutzsysteme gefordert.

Die Beschichtungen der Probekörper wiesen nach 2'000 Stunden der künstlichen Bewitterung bereits Risse und Blasen auf. Trotzdem wurde die bereits vor der Bewitterung geprüfte Wasseraufnahme und CO₂-Durchlässigkeit erneut geprüft. Dadurch sollte die Wirkung der Alterung auf die Produkteigenschaften simuliert werden.

Die Anforderungen an die Wasseraufnahme (nach gültigen Regelwerken) wurden auch nach der künstlichen Bewitterung noch von allen Produkten, einschliesslich der handelsüblichen Hydrophobierung, erfüllt; die Anforderungen gemäss Merkblatt OS-MF dagegen nicht. Die Anforderung an die CO₂-Durchlässigkeit (nach aktuellen Regelwerken) wurde nach der Bewitterung von keinem Produkt mehr erfüllt. Aus diesem Grund wurde auf die geplante zweite Auslagerungsphase (von 2'000 auf 4'000 Stunden) verzichtet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Anforderungen des Merkblatts OS-MF von keinem Produkt erfüllt worden sind. Die Anforderungen nach den aktuell üblichen Regelwerken können bzgl. Wasseraufnahme auch nach der starken künstlichen Bewitterung erfüllt werden. Dies gilt sowohl für nanotechnologischen Produkte wie auch für die geprüfte herkömmliche Hydrophobierung. Dies lässt die Vermutung aufkommen, dass die Witterungsbeständigkeit einer Hydrophobierung wesentlich besser sein könnte als gemeinhin angenommen wird. Aufgrund der fehlenden Korrelation zwischen künstlicher und echter Bewitterung handelt es sich dabei jedoch lediglich um eine Hypothese, welche durch gezielte Forschungsarbeiten untermauert werden müsste.

Die Anforderungen an die CO₂-Durchlässigkeit konnten dagegen nur vor der künstlichen Bewitterung von einzelnen Produkten erfüllt werden.

Aufgrund der in Abschnitt 3.3.5 genannten Schwierigkeiten bei der Übertragbarkeit der Resultate von Freibewitterung auf künstliche Bewitterung, ist es zur Zeit nicht möglich, die Dauer der künstlichen Bewitterung direkt in ein Bauwerkalter eines natürlich bewitterten Bauteils umzurechnen. Die Resultate zeigen jedoch, dass die nanotechnologischen Produkte keine überdurchschnittlich lange Lebensdauer garantieren. Damit entfällt eines der Hauptargumente, die das ASTRA zum Einsatz solcher Produkte bewegt hatte.

Die vorliegenden Resultate von realen Bauwerken scheinen die Resultate an den im Labor der Forschungsstelle hergestellten Prüfkörpern zu bestätigen. Allerdings liegen vielfach nicht genug Informationen zu den durchgeführten qualitätssichernden Prüfungen vor, um dies zweifelsfrei zu bestätigen. Insbesondere fehlen Daten zu den applizierten Mengen, Schichtdicken, den Witterungsbedingungen während der Applikation bzw. der Erhärtung, Erhärtungszeiten, allfälligen Nachbehandlungsmassnahmen, etc.

6 Risiken nanotechnischer Produkte

6.1 Einleitung

Im in der Zwischenzeit zurückgezogenen Technischen Merkblatt [17] war zu möglichen Risiken nanotechnischer Produkte Folgendes festgehalten:

Häufig werden gesundheitliche Bedenken im Zusammenhang mit Produkten auf Basis der Nanotechnologie geäußert. Eine Gefährdung kann nach heutigem Kenntnisstand nicht ausgeschlossen werden, sie betrifft jedoch insbesondere mineralische Stoffe (nanoskalige Partikel), welche lungengängig sind. Bei den für OS MF (Anmerkung der Autoren: multifunktionaler Oberflächenschutz) zur Anwendung kommenden Produkten handelt es sich dagegen um flüssige Stoffe, welche nach heutigem Wissensstand bei der Anwendung keine gesundheitsgefährdenden Stoffe (nanoskaligen Partikel und Aerosole) freisetzen. Die Verantwortung für die Einhaltung der entsprechenden gesetzlichen Vorschriften in Produktion und Anwendung liegt beim Systemlieferanten.

Die Abkürzung „Nano-“ steht bei Produkten heutzutage oft für moderne und innovative Lösungen. Ob das Produkt tatsächlich Nanopartikel ($1 \text{ nm} = 10^{-12} \text{ m}$) enthält und diese ggf. notwendig sind, lässt sich in der Regel nicht überprüfen. Unter dem Begriff Nanomaterialien werden Materialien zusammengefasst, die zumindest in einer Dimension sehr klein sind (Abb. 7).

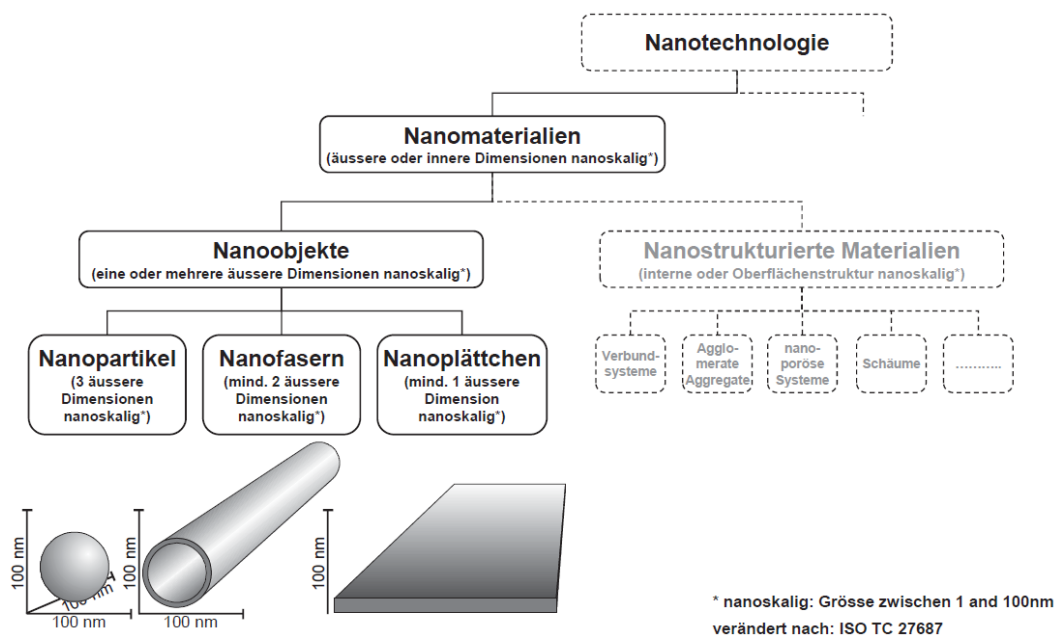


Abb. 7 Definition von Nanomaterialien [27]

Die anfängliche Euphorie gegenüber der Nanotechnologie ist in den letzten Jahren einer gewissen Skepsis wegen der möglichen Gesundheitsrisiken gewichen. Namhafte Hersteller weisen daher teilweise darauf hin, dass ihre Produkte entweder keine Nanopartikel benötigen oder diese so in das vorhandene Bindemittel-System integriert sind, dass man nicht mehr im eigentlichen Sinne von Nanotechnik sprechen könne. Sie grenzen sich auf diese Weise ab.

Die Verunsicherung beim Umgang mit nanopartikelhaltigen Produkten wird verstärkt durch Schlagzeilen in den Medien, wie z.B. die „Todesfälle durch Nanopartikel?“ [4]. Der Umgang mit den Risiken von Nanomaterialien muss, wie bei anderen Gefährdungen auch, strukturiert werden (Abb. 8).

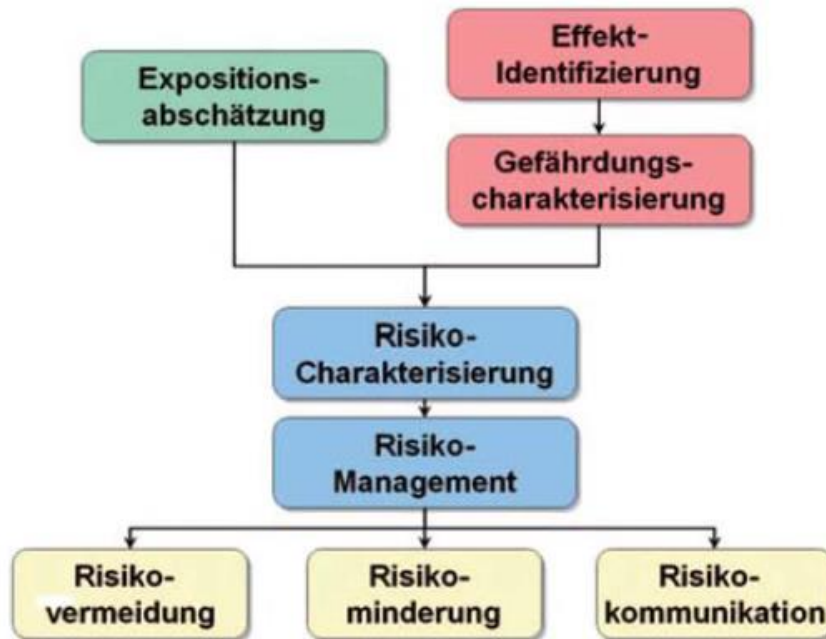


Abb. 8 Umgang mit den Risiken von Nanomaterialien [27]

Die Frage der gesundheitlichen Risiken bei der Verwendung von Systemen mit Nano-Partikeln für den Verarbeiter und Benutzer wurden bereits sehr früh behandelt [23, 31, 5].

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) stellte im Rahmen der Verbraucherstudie 2011 zum Wissen der Bevölkerung über die Nanotechnologie fest, dass die Kenntnisse z.B. über Oberflächenbeschichtungen und Baumaterialien abgenommen haben und „die Verbraucherkommunikation der Produkthersteller deutlich nachgelassen hat oder dass die Zielgruppe nicht mehr in gleichem Masse erreicht wird“ [21].

Der Bund führt mit **InfoNano** eine zentrale Informationsstelle zur Nanotechnologie. Daran beteiligt sind die Bundesämter für Gesundheit, für Umwelt und für Landwirtschaft, die Kommission für Technologie und Innovation, Swissmedic und die Staatssekretariate für Wirtschaft sowie für Bildung und Forschung. InfoNano informiert über Chancen und Risiken der Nanotechnologie und der synthetischen Nanomaterialien. Gemäss der Webseite des BAG wird der Begriff «Nano» heute nicht einheitlich verwendet:

- Als «Nano» bezeichnete Produkte können Nanomaterialien enthalten. Sie können selbst aber auch frei sein von Nanomaterialien, und erst bei ihrer Anwendung eine Beschichtung bilden, deren Dicke im Nanobereich liegt.
- Nanomaterialien können in Produkten in freier, in agglomerierter (d.h. locker zusammengeballter) oder in aggregierter (d.h. fester, miteinander verbundener) Form enthalten sein.
- Nanomaterialien können in einen stabilen Gegenstand (z.B. Kunststoff) eingebunden sein oder an dessen Oberfläche haften.
- Gegenstände können auch lediglich nanoskalige Oberflächenstrukturen besitzen.

Die Webseite des BAG enthält viele Hinweise für weiterführende Informationen, zur Meldepflicht und Kennzeichnung sowie zum Vorsorgeregister von Nanomaterialien.

Weiter werden dort die Ziele und die Arbeiten des „Aktionsplans Synthetische Nanomaterialien“ (2008-2015) für einen sicheren Umgang mit Nanomaterialien erläutert. Wichtige Umsetzungsprojekte sind der Vorsorgeregister für synthetische Nanomaterialien für die Industrie und das Gewerbe, der Leitfaden für Hersteller für das Erstellen des Sicherheitsdatenblattes für Nanomaterialien (Verbesserung des Informationsflusses entlang der Lieferkette) und für die Entsorgung von industriellen Nanoabfällen.

Mit dem Vorsorgeraster wird der ganze Lebenszyklus eines Produktes betrachtet (Abb. 9). Wenn der Vorsorgeraster einen Vorsorgebedarf aufzeigt, sind für weitergehende Abklärungen nötig (Abb. 10).

Was ist der Vorsorgeraster

- Ist ein **Instrument**, das im Rahmen der Selbstkontrolle eingesetzt werden kann.
- Zeigt auf wo weitergehende Abklärungen nötig sind.
- Ist kein Ersatz für eine Risikobeurteilung, es fehlt die Toxikologie
- Soll parallel zur herkömmlichen Risikobeurteilung für Chemikalien eingesetzt werden.

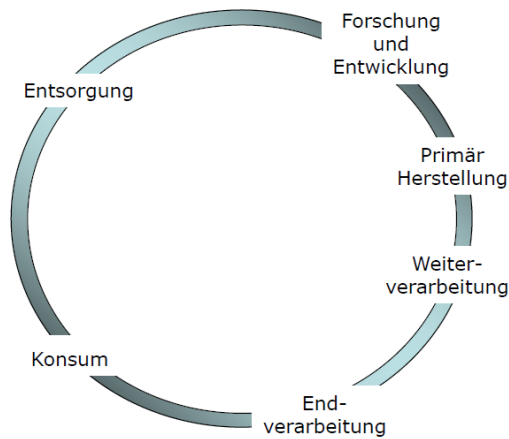


Abb. 9 Inhalt des Vorsorgerasters [32]

Reaktivität	Hoch	Falls Exposition über die Lunge wahrscheinlich: Informationen über akute Inhalationstoxizität beschaffen	Falls Exposition über die Lunge wahrscheinlich: Informationen über akute Inhalationstoxizität beschaffen Falls akkumulierbar: Daten zu Langzeiteffekten beschaffen	Falls Exposition über die Lunge wahrscheinlich: Informationen über akute Inhalationstoxizität beschaffen Falls akkumulierbar: Daten zu Langzeiteffekten beschaffen
	Mittel	Falls Exposition über die Lunge wahrscheinlich: Informationen über akute Inhalationstoxizität beschaffen	Falls Exposition über die Lunge wahrscheinlich: Informationen über akute Inhalationstoxizität beschaffen Falls akkumulierbar: Daten zu Langzeiteffekten beschaffen	Falls Exposition über die Lunge wahrscheinlich: Informationen über akute Inhalationstoxizität beschaffen Falls akkumulierbar: Daten zu Langzeiteffekten beschaffen
	Niedrig	Keine weitergehenden nanospezifischen Untersuchungen notwendig	Keine weitergehenden nanospezifischen Untersuchungen notwendig	Keine weitergehenden nanospezifischen Untersuchungen notwendig
		Niedrig	Mittel	Hoch
	Stabilität			

Abb. 10 Beispiel für weitergehende Abklärung [32]

Das nationale Forschungsprogramm "Chancen und Risiken von Nanomaterialien" [29] möchte die Lücken im gegenwärtigen Wissen über Nanomaterialien schliessen. Die mit der Herstellung, dem Einsatz und der Entsorgung von künstlichen Nanomaterialien verbundenen Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt sollen besser verstanden werden. Die Forschungsprojekte haben im Dezember 2010 begonnen. Im Modul 5 werden Baumaterialien behandelt. Zur Zielsetzung ist dazu Folgendes festgehalten:

Durch die Verwendung von Nanomaterialien könnten sich die Architektur, die Bauindustrie sowie der Unterhalt von Infrastrukturen und Haushaltsarbeiten radikal verändern. Beispielsweise könnte durch die Integration von Nanokomponenten in Baumaterialien deren Fluidität, Flexibilität, Stärke und Lebensdauer verbessert werden. Nanomaterialien könnten zudem verwendet werden, um die Korrosions-, Kratz- und Wasserfestigkeit von Beschichtungen sowie deren Schmutz-, Geruchs- und Fotorisistenz zu erhöhen und um ihre isolierenden und selbstreinigenden Eigenschaften

sowie ihre Filtereigenschaften zu verbessern. Wie in anderen Anwendungsbereichen sollte die Verwendung von Nanomaterialien auch zu einer besseren Nutzung natürlicher Ressourcen und zu Energieersparnissen führen, was letztlich die Lebensqualität auf der ganzen Welt positiv beeinflussen würde. Im Vorfeld einer breiten Nutzung von Nanomaterialien müssen allerdings deren potenzielle Risiken für die menschliche Gesundheit und für die Umwelt unter die Lupe genommen werden.

Aus dieser Beschreibung geht hervor, dass das Thema dieses Forschungsprojektes nicht behandelt wird.

Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung **TA-SWISS** befasst sich in der Studie „Nanomaterialien: Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit“ mit den möglichen Risiken von Nanomaterialien. Die 2013 publizierte Studie enthält neben einer umfassenden Marktübersicht zusammenfassende Darstellungen zum Stand der Forschung, Anwendung und Risikobewertung. Sie stellt auch fest, dass noch nicht alle Risiken klar sind:

- Die erstellten interdisziplinären Stoffprofile zeigen, dass vor allem bei den Umweltauswirkungen relevante Risiken bestehen. Kritisch zu bewerten sind z.B. Zinkoxid aufgrund toxischer Effekte in Ökosystemen sowie Nanosilber wegen der Gefahr möglicher Resistenzenbildung bei Bakterien.
- Dazu kommt, dass sich der Wissensstand zu den akuten Auswirkungen von Nanomaterialien auf Umwelt und Gesundheit in den letzten Jahren zwar insgesamt verbessert hat, jedoch weiterhin kritische Wissenslücken bezüglich der Wirkungen unter realen Umweltbedingungen sowie in Hinblick auf Langzeitwirkungen existieren (z.B. durch eine mögliche Anreicherung von Titandioxid-Nanopartikeln aus Sonnenschutzmitteln in der Nahrungskette). Zudem besteht bei einzelnen Einsatzbereichen (z.B. geplanter Einsatz von CNT in Autoreifen) das Risiko einer unkontrollierten Exposition breiter Bevölkerungsschichten durch Abriebmaterial.
- Es besteht deshalb durchaus Grund zur Besorgnis, dass die ökotoxikologischen Risiken auch Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit mit sich bringen (z.B. Resistenzenbildung bei Nanosilber, gentoxische Wirkung verschiedener Nanopartikel, Einatmung von CNT aus Autoreifenabrieb).

Die Studie macht zehn konkrete Empfehlungen für Entscheidungsträger/innen insbesondere in der Politik, aber auch in der Industrie und der Wissenschaft.

Wissenschaftliche Wissensgrundlagen konsolidieren

1. Interaktion der Nanomaterialien mit Mensch und Umwelt sowie Langzeitwirkungen erforschen.
2. Verhalten und Verbleib von Nanomaterialien in der Abfall- und Abwasserbehandlung untersuchen.
3. Standardisierte Testmethoden zur Identifizierung und Charakterisierung von Nanomaterialien entwickeln.

Ordnungsrecht zum Schutz der Arbeitnehmer/innen und der Bevölkerung anpassen

4. Vorsorgeprinzip konsequent berücksichtigen, Moratorium nicht angebracht.
5. Materiell-rechtliche Vorschriften der Chemikalienverordnung anpassen.
6. Nanoproduktregister einführen.
7. Deklarationspflicht bei konsumentennahen Anwendungsbereichen einführen.

Flankierende freiwillige Instrumente, Forschungsschwerpunkte und öffentliche Dialoge

8. Anwendung freiwilliger Instrumente zur Risikoabschätzung bei Unternehmen fördern und weiterentwickeln, Chancenaspekte berücksichtigen.
9. Forschungsschwerpunkt «Klimaschutz durch Nanotechnologie» einrichten.
10. Öffentliche Dialoge auf eine integrierte Chancen-Risiko-Betrachtung prioritärer Anwendungsfelder fokussieren, Entwicklungsrichtungen der Nanotechnologien thematisieren.

6.2 Wissensstand bei Oberflächenschutzsystemen

Bereits 2009 hat die Deutsche Bauchemie e.V. den Sachstandsbericht "Nanotechnologie in der Bauchemie" erarbeitet [22]. Unter den bauchemischen Produkten werden z.B. folgende Produktgruppen verstanden.

- Beton- und Mörtelzusatzmittel
- Hydrophobierungen (Silane, Siloxane)
- Modifizierte mineralische Mörtelsysteme
- Kunststoffmodifizierte Bitumenemulsionen und Bitumenlösungen zur Bauwerksabdichtung
- Reaktionsharzbeschichtungen (EP, PU, Acrylate u.a.)
- Reaktionsharzabdichtungen
- Holzschutz- und Brandschutzmittel.

Im Sachstandsbericht werden verschiedene Anwendungen angesprochen. Hinsichtlich der Risiken wird auf Unterlagen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin sowie des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) verwiesen. Zu erwähnen sind hier z.B. folgende Dokumente:

- Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz, 2012
- Ein mehrstufiger Ansatz zur Expositionsermittlung und -bewertung nanoskaliger Aerosole, die aus synthetischen¹ Nanomaterialien in die Luft am Arbeitsplatz freigesetzt werden, 2012
- Leitfaden zur sicheren Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten, 2012.

Sie sind verfügbar unter: <https://www.vci.de/Services/Leitfaeden/Seiten/Listenseite.aspx>.

In der Schweiz befasst sich seit einigen Jahren die EMPA mit dem Thema Nanomaterialien in Farben, Lacken und Fassadenbeschichtungen. Anlässlich der Tagung am 14.11.2013 „Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen“ wurden die Erkenntnisse aus dem EU-Projekt NanoHouse² dargelegt. In diesem Projekt wurde zusammen mit Industrie- und Forschungspartnern untersucht, unter welchen Bedingungen welche Mengen und Formen von Nanopartikeln aus Fassaden freigesetzt werden. Dabei wurde auch zum ersten Mal erforscht, wie sich künstlich gealterte und freigesetzte Nanopartikel auf Gesundheit und Umwelt auswirken können.

Im Rahmen des Projektes NanoHouse wurden folgende Ziele verfolgt [34]:

- Welche Chancen bieten Nanopartikel?
- Welches sind die Risiken von TiO₂, SiO₂, Ag- Nanopartikeln in Fassadenbeschichtungen?
 - Unter welchen Bedingungen können Nanopartikel in welchen Mengen und Formen unabsichtlich freigesetzt werden?
 - Wie verhalten sich die freigesetzten Nanopartikel in der Umwelt und welche Effekte könnten sie auf die Gesundheit haben?

Gemäss [28] können Nanopartikel folgende Eigenschaften von Beschichtungen verändern/verbessern:

- Wasserabweisend / Easy to clean (z.B. Nano-SiO₂, Nano-TiO₂)
- Selbstreinigend / Photokatalytisch (Nano-TiO₂ anatase)
- UV-Schutz (z.B. Nano-TiO₂, Nano-Fe₂O₃, Nano-ZnO, Nano-CeO₂)
- Fungizide/ Algizide Wirkung (z.B. Nano-Ag, Nano-TiO₂, Nano-ZnO,

- Nano-CuO, Nano-MgO)
- Verbesserung mechanisch physikalischer Eigenschaften
- (z.B. Nano-SiO₂, Nano-Al₂O₃, Nano-ZrO₂, Nano-ZnO, Nano-CeO₂)

Anmerkung: Organofunktionelle Silane und/oder Siloxane, wie sie für Hydrophobierungen eingesetzt werden, enthalten in der Regel keine Nanopartikel.

Nowack [30] konnte nachweisen, dass mit der Alterung von Beschichtungen Nanopartikel leichter freigesetzt werden und kam zu den folgenden Schlussfolgerungen:

- Sehr geringe Freisetzung aus den NanoHouse Farben während der Bewitterung.
- Mit künstlich gealterter Farbe ist ein „nano-Effekt“ sichtbar (mehr Freisetzung).
- UV-Licht, Art des Supportes und Alter der Farbe beeinflussen Freisetzung.
- Modifizierte Standardtests können zur Untersuchung der Freisetzung verwendet werden.
- TiO₂ und SiO₂ werden hauptsächlich in Bruchstücken der Farbmatrix freigesetzt.
- Das freigesetzte TiO₂ verhält sich anders als das ursprüngliche TiO₂.
- Tox-Studien und Risikoabschätzungen sollten mit gealterten und freigesetzten Materialien durchgeführt werden.
- Wichtig: Freisetzung ≠ Risiko!

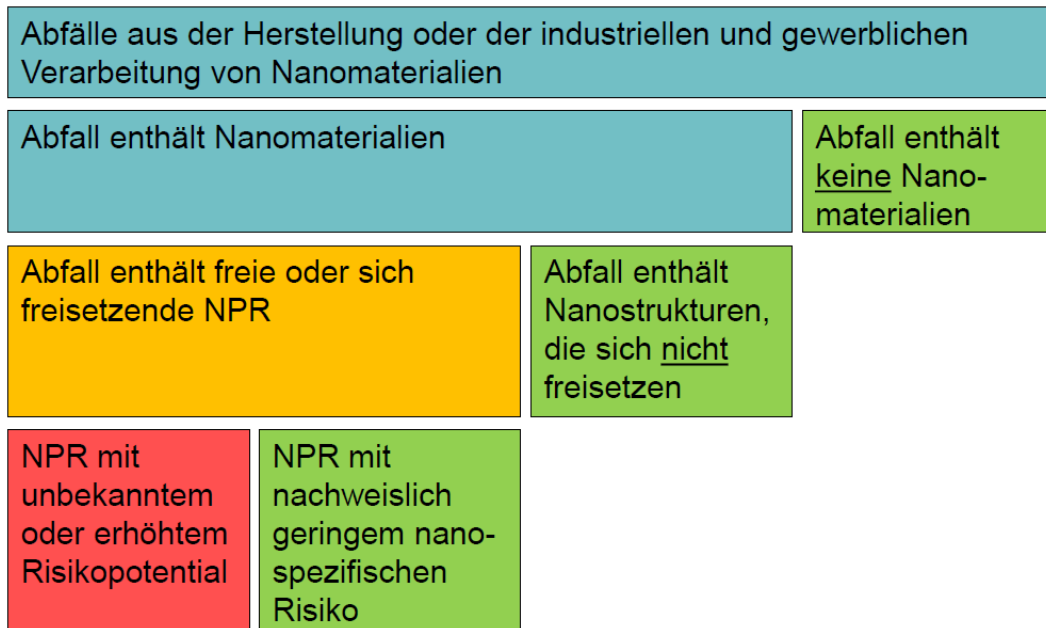
In seinem Referat zeigte Kaiser [26], dass beim Sandstrahlen das Beimengen von Nanopartikeln zu den Referenzfarben zu keinen nennenswerten Veränderungen der sandgestrahlten Partikel im Vergleich zu den Referenzprodukten ohne Nanopartikel führte. Er zieht aus seinen Untersuchungen folgende Folgerungen:

- Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass Farben mit Nanopartikeln dieselben Effekte auf das Zellverhalten von Magen-Darm-Trakt-Zellen und Zellen des Immunsystems verursachen wie die entsprechenden Farben ohne Nanopartikel.
- Diese Ergebnisse zeigen, dass die Farben mit Nanopartikeln kein neues akutes Gesundheitsrisiko darstellen sollten.
- Aber, wir haben auch gezeigt, dass Nanopartikel von den Zellen aufgenommen werden. Ob diese Akkumulation von Nanopartikeln in den Zellen zu Spätfolgen führen wird, kann zum heutigen Zeitpunkt nicht abschliessend beurteilt werden.
- Tiefe Expositionen und niedrige toxische Effekte ergeben ein geringes Risiko.

Bei der Entsorgung von Abfällen mit Nanomaterialien sind gemäss [25] folgende Fragen zu beantworten:

- Werden durch die Entsorgung gefährliche Nanopartikel freigesetzt?
- Werden dadurch Mensch und Umwelt gefährdet?
- Werden die Eigenschaften von Recycling-Produkten beeinträchtigt?
- Wie verhalten sich die synthetischen im Verhältnis zu unbeabsichtigt erzeugten Nanomaterialien (Ausmass und Eigenschaften)?

Gemäss [25] wird der Nanoabfall gemäss Abb. 11 klassiert. Zur Entsorgung von Nanoabfällen gibt es Konzeptpapier des BAFU [20].



Sonderabfall

Abb. 11 Klassierung von Nanoabfällen [25]

Im Positionspapier des Schweizerische Maler- und Gipserunternehmer-Verbandes [33] wird auf folgende Punkte hingewiesen:

Wo liegen die Risiken?

Gefahren von Nanomaterialien gehen in der Regel nur von den Nanopartikeln selbst aus, da sie möglicherweise eingeatmet oder über die Haut in den Körper aufgenommen werden können. In der Farben- und Lackbranche beschränkt sich dieses Risiko auf die Mischprozesse in der Produktion.

Das Malerhandwerk selbst verarbeitet keine Produkte mit freien Nanopartikeln. In den Beschichtungsstoffen selbst liegen Nanopartikel immer in gebundener Form vor. So können sie nicht mehr als isoliertes Partikel inhaliert werden oder durch die Haut eindringen. Eine Studie hat nachgewiesen, dass bei der mechanischen Bearbeitung lackierter Flächen, z.B. bei einem Schleifvorgang, keine isolierten Nanopartikel freigesetzt werden.

Schutzmassnahmen

Untersuchungen bei Arbeitnehmenden mit Exposition gegenüber Nanopartikeln, die spezifische Berufskrankheiten gezeigt hätten, sind bisher in westlichen Industrienationen nicht veröffentlicht worden. Es bestehen jedoch Hinweise, dass sich Erkrankungen durch NP zu einem späteren Zeitpunkt zeigen könnten, sofern nicht angemessene Schutzmassnahmen getroffen werden. Die branchenüblichen Arbeitsschutzbestimmungen im Malerhandwerk gelten selbstverständlich aber auch beim Umgang mit Nanomaterialien und sind nach heutigem Wissensstand ausreichend. Besondere oder zusätzliche Schutzmassnahmen sind nicht erforderlich.

Zusammenfassend ergeben sich gemäss [3] folgende Schlussfolgerungen aus dem EU-Forschungsprojekt „Nanohouse“:

- *Das Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen kann als Entwarnung gelten. Selbst bei unter UV-Licht gealterten Nanofarben gelangt nur 1 bis 2 Prozent der ursprünglich beigemischten Nanopartikel in die Umwelt. Und die Partikel sind nicht etwa frei unterwegs, sondern meist an grössere Farbpartikel gebunden, was ihre nanospezifische Wirkung deutlich mindert.*
- *Doch dürfe man die Ergebnisse auch nicht verallgemeinern. Sie gelten streng genommen gelten die Untersuchungen nur für die verwendeten Testfarben und Nanopartikel.*

Trotz dieser Entwarnung für die untersuchten Nanomaterialien (z.B. Nano-SiO₂, Nano-TiO₂) bleiben noch viele Fragen offen (siehe dazu z.B. [24]). Diese betreffen vorab andere, bisher weniger beachtete oder auch neue Produkte. Damit ergibt sich der Grundsatz, dass nur dort Nanoprodukte eingesetzt werden sollten, wo der Nutzen gross und nachgewiesen ist. Bei der Verarbeitung, Bearbeitung, Nutzung, Erneuerung, Instandsetzung, Ersatz und Entsorgung solcher Produkte sind besondere Sorgfalt und Schutzmassnahmen angezeigt.

7 Fazit und Ausblick

Die durchgeführten Prüfungen sowohl im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wie auch an realen Bauwerken zeigen, dass die Anforderungen des Merkblatts 22 001-14141 OS-MF des ASTRA [17] auch von nanotechnologischen Produkten nur teilweise erreicht wurden. Auch die vom Merkblatt OS-MF geforderte lange Lebensdauer kann nur für einzelne Eigenschaften erreicht werden. Mehrere Gründe können dafür infrage kommen.

7.1 Mögliche Ursachen

- **Produkte:** Bei den nanotechnologischen Produkten zeigte sich, dass es sich noch um junge Produkte handelt, deren Zusammensetzung offenbar von Zeit zu Zeit noch verändert wird. Dies hat möglicherweise auch einen Einfluss auf die Wirksamkeit, jedenfalls wurden die von den Produktherstellern zugesicherten Eigenschaften teilweise deutlich verfehlt. Es könnte auch sein, dass die Versprechungen der Produkthersteller zu optimistische Erwartungen geweckt haben. Die versprochenen Eigenschaften basieren unter Umständen auch auf Laborprüfungen bzw. geprüften Oberflächen, die für die typischen Betonoberflächen von Bauwerken nicht repräsentativ sind. Aus diesem Grund sollten grundsätzlich nur ausreichend und nachvollziehbar geprüfte bzw. zertifizierte Produkte verwendet werden.
- **Anforderungen:** Die Forderung des OS-MF-Merkblatts, dass ein Produkt diverse Anforderungen gleichzeitig erfüllen muss und dabei idealerweise unsichtbar und sehr dauerhaft ist, kann gegenwärtig von den Produkten (noch) nicht erfüllt werden. Dies gilt sowohl für die im Rahmen des Forschungsprojektes hergestellten Prüfkörper als auch für Bauwerke, von welchen der Forschungsstelle Prüfergebnisse vorliegen. Die Regelanforderungen sind hingegen zumindest teilweise erfüllbar. Die Anforderungen des OS-MF-Merkblatts – welche wesentlich strenger sind als die nach aktuellen Regelwerken (wie z.B. SN 1504-2) – scheinen in diesem Zusammenhang zumindest teilweise zu hoch gesteckt zu sein.
- **Betonalter:** Ein Einfluss des Betonalters kann nicht ausgeschlossen werden. Es wurde aber nicht gezielt untersucht, da es von den Produktherstellern vorher nicht als kritisch angesehen wurde. Die vorhandenen Resultate zeigen jedoch keinen eindeutigen Einfluss des Betonalters. Das Produkt, bei welchem ein zu junges Betonalter gemäss nachträglicher Herstellerangabe problematisch sein könnte, erreichte auch auf mehrere Jahrzehnte altem Beton die geforderten Eigenschaften bei weitem nicht.
- **Äussere Einflüsse:** Neben der Zusammensetzung können auch äussere Umstände für die unzureichende Wirksamkeit verantwortlich sein. Möglicherweise könnten die z.T. sehr dünnen Schichtstärken auf rauen Oberflächen zu gering sein, um die gewünschte hohe Sperrwirkung zu erreichen. Betonoberflächen sind, auch wenn sie visuell sehr glatt erscheinen, infolge Poren und mikroskopischen Rauigkeiten sehr uneben, so dass lokal Minderdicken entstehen können, sodass die Sperrwirkungen dann lokal nicht ausreichend wirksam oder dauerhaft sind.

Das genannte Merkblatt wurde bereits am 12.10.2012 zu Recht sistiert. Auf der Basis der vorliegenden Resultate sollte in Erwägung gezogen werden, das Merkblatt definitiv zurückzuziehen.

7.2 Weiterer Forschungsbedarf

Obwohl das Forschungsprojekt gezeigt hat, dass die gegenwärtig auf dem Markt verfügbaren Produkte die Vorgaben des OS-MF-Merkblatts offenbar nicht erfüllen können, konnten im Rahmen der durchgeführten Forschungsarbeiten interessante Erkenntnisse gewonnen werden.

Generell könnte das Prüfen von bestimmten Produkteigenschaften vor- und nach einer künstlichen Bewitterung zum Simulieren der Alterung eines Produktes verwendet werden. Mit Hilfe der künstlichen Bewitterung könnte man daher generell die Dauerhaftigkeit von Produkten sowohl für einzelne Anforderungen wie auch für das gleichzeitige Erfüllen mehrerer Anforderungen (z.B. bei Oberflächenschutzsystemen) beurteilen. Aufgrund der häufigen Anwendung von Oberflächenschutzsystemen bei der Betoninstandsetzung läge es im wirtschaftlichen Interesse hier weitere Forschungsarbeiten durchzuführen.

Trotz der im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten besonders langen künstlichen Bewitterung konnten die Produkte, insbesondere auch die handelsübliche Hydrophobierung, eine Verringerung der Wasseraufnahme nach wie vor gewährleisten, was grundsätzlich sehr positiv beurteilt werden darf. Die vorliegenden Resultate lassen die Vermutung aufkommen, dass die Witterungsbeständigkeit einer herkömmlichen Hydrophobierung wesentlich besser sein könnte als gemeinhin angenommen wird. Aufgrund der fehlenden Korrelation zwischen künstlicher und echter Bewitterung handelt es sich dabei jedoch lediglich um eine Hypothese, welche durch gezielte Forschungsarbeiten untermauert werden müsste. Es sollte erforscht werden, welche Bewitterungsdauer welcher „natürlichen Alterungsdauer“ gleichzusetzen ist.

Anhänge

I	Merkblatt Multifunktionaler Hochleistungs-Oberflächenschutz	53
---	--	-----------

I Merkblatt Multifunktionaler Hochleistungs-Oberflächenschutz

 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Technisches Merkblatt Bauteile	22 001-14141	
		Datum: 01.02.2009	
	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK Bundesamt für Strassen	Baustoffe Beton	Erstausgabe
	Abteilung Strasseninfrastruktur Fachhandbuch Kunstbauten	Multifunktionaler Hochleistungs-Oberflächenschutz	Seite 1 von 2

VORABZUG / ÜBERARBEITUNG 2009

Allgemein

Für Bauteile, welche stark beansprucht sind und/oder bei welchen eine Instandsetzung resp. die Erneuerung des Oberflächenschutzes einen grossen Aufwand verursacht, ist in Absprache mit dem Fachspezialisten Kunstbauten der Fachunterstützung ein leistungsfähiger, multifunktionaler Oberflächenschutz (OS MF) vorzusehen, welcher einen optimalen Schutz gegen die vorhandenen Einwirkungen bietet und eine lange Lebensdauer gewährleistet. Beispiele solcher Bauteile sind Elemente im Spritzwasserbereich (starke Beanspruchung) oder schwer zugängliche Bereiche (grosser Aufwand für Erneuerung des Oberflächenschutzes).

Die Anforderungen, welche an einen multifunktionalen Oberflächenschutz gestellt werden, sind hoch und haben entsprechende Mehrkosten zur Folge. Entsprechend dem Ziel einer langen Lebensdauer des Schutzsystems ist eine verlängerte Garantiefrist (Unternehmergarantie 10 Jahre) anzustreben.

Die Anforderungen an OS MF können nach dem aktuellen Stand der Technik nur durch ein Schutzsystem auf Basis der Nanotechnologie erreicht werden (Molekulargrösse 1-2 nm = $1\text{-}2 \cdot 10^{-9}$ m). Silikonchemie-Produkte, wie sie für Hydrophobierungen verwendet werden (OS 1), sind ungeeignet, da sie insbesondere eine ungenügende UV-Stabilität aufweisen und im Sanierungsfall nicht reversibel sind.

Häufig werden gesundheitliche Bedenken im Zusammenhang mit Produkten auf Basis der Nanotechnologie geäussert. Eine Gefährdung kann nach heutigem Kenntnisstand nicht ausgeschlossen werden, sie betrifft jedoch insbesondere mineralische Stoffe (nanoskalige Partikel), welche lungengängig sind. Bei den für OS MF zur Anwendung kommenden Produkten handelt es sich dagegen um flüssige Stoffe, welche nach heutigem Wissensstand bei der Anwendung keine gesundheitsgefährdenden Stoffe (nanoskaligen Partikel und Aerosole) freisetzen. Die Verantwortung für die Einhaltung der entsprechenden gesetzlichen Vorschriften in Produktion und Anwendung liegt beim Systemlieferanten.

Zu beachten ist, dass auf einer mit OS MF behandelten Oberfläche nach heutigem Stand der Technik keine Potentialfeldmessungen möglich sind. Sollen solche Messungen durchgeführt werden, muss das OS MF vorgängig entfernt werden.

Da bisher nur wenig Erfahrung mit OS-MF bestehen, ist die Anwendung durch den Fachspezialisten Kunstbauten der Fachunterstützung zu begleiten.

Anforderungen an OS-MF

Der multifunktionale Oberflächenschutz (OS MF) muss mindestens folgende, gegenüber konventionellen Oberflächenschutzsystemen erhöhten Anforderungen erfüllen:

- erhöhte UV-Beständigkeit (Zielwert: 25 Jahre)
- erhöhter Widerstand gegen Wasseraufnahme
- erhöhte zweiwegige Wasserdampf-Diffusion
- hohe Ölresistenz (ölophob, Verschmutzung durch Öl/Russ mit Wasser abwaschbar)
- erhöhter Widerstand gegen Chloridaufnahme
- keine Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes der Betonoberfläche (Verfärbungen, Vergilbungen etc.)
- erhöhter Widerstand gegen CO₂-Diffusion
- Möglichkeit der lichtstabilen Farbgestaltung

Je nach Anwendungsbereich können folgende ergänzenden Anforderungen an das OS MF gestellt werden:

- hohe Temperaturbeständigkeit
- erhöhte Alkali- und Säureresistenz ohne massgebende Verminderung der Zweiweg-Dampfdiffusion

 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Technisches Merkblatt Bauteile	22 001-14141	
		Datum: 01.02.2009	
	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK Bundesamt für Strassen	Baustoffe Beton	Erstausgabe
	Abteilung Strasseninfrastruktur Fachhandbuch Kunstbauten	Multifunktionaler Hochleistungs-Oberflächenschutz	Seite 2 von 2

Eigenschaften und Prüfungen

Die Zuordnung von OS-MF gemäss SN EN 1504-2 ist nicht ohne weiteres möglich, da sowohl Anforderungen an eine Hydrophobierung als auch solche an eine Beschichtung zu erfüllen sind.

Die Möglichkeit einer Zuordnung von OS-MF gemäss SN EN 1504-2 soll im Rahmen einer Vergleichsstudie (Forschungsprojekt) geprüft werden. Dabei sollen auch die Anforderungen, Prüfverfahren und Grenzwerte für OS-MF definiert werden, sofern eine Zuordnung nach SN EN 1504-2 nicht möglich ist.

Bis zum Vorliegen der entsprechenden Ergebnisse sind für OS-MF folgende Anforderungen zu erfüllen, welche aufgrund der Eigenschaften marktgängiger Produkte festgelegt wurden:

Prüfung	Anforderung
<i>Grundanforderungen an OS MF</i>	
UV-Beständigkeit	≥ 30 Zyklen im Xenon-Test nach DIN 68860
Wasseraufnahme	≤ 30 g/m ² nach DIN 52617
Wasserdampf-Diffusion ⁽¹⁾	≤ 1 m (Zweiwegmessung) nach DIN 52615
Ölresistenz	≤ 50 g Ölaufnahme nach Lagerung 24h
Chloridaufnahme ⁽²⁾	≤ 10 g Aufnahme der Salzsole (10% NaCl in H ₂ O)
Erscheinungsbild Betonoberfläche	visuell (Prüfung Musterfläche nach 30 Zyklen Xenon-Test)
Veränderung der Dampfdiffusion	≤ 5% nach Lagerung 24 h in 10% NaOH / 24 h in 10% HCl
CO ₂ -Diffusionswiderstand ⁽³⁾	≥ 100 m nach SN EN 1504-2
Lichtstabile Farbgestaltung	visuell (Vergleich Musterflächen mit/ohne 30 Zyklen Xenon-Test)
Frost-Tausalz-Widerstand	EN 13687-1

<i>Zusätzliche Anforderungen bei Bedarf</i>	
Temperaturbeständigkeit	≤ 75 g Wasseraufnahme bei 850°C / 30 min
Alkali-resistenz	≤ 100 g Massenverlust nach Lagerung 24 h in 10% NaOH
Säureresistenz	≤ 100 g Massenverlust nach Lagerung 24 h in 10% HCl

⁽¹⁾ zum Vergleich: Anforderung SIA 162/5 an OS 2, 4, 5: ≤ 4 m

⁽²⁾ zum Vergleich: Anforderung SIA 162/5 an OS 1: ≤ 50 g

⁽³⁾ zum Vergleich: Anforderung SIA 162/5 an OS 2, 4, 5: ≥ 50 m

Glossar

Begriff	Bedeutung
ASTRA	Bundesamt für Strassen (Schweiz)
BAG	Bundesamt für Gesundheit (Schweiz)
CEN	Europäisches Komitee für Normung (CEN)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm (EN)
FEDRO	Federal Roads Office of Switzerland
OFROU	Office fédéral des routes
OS	Oberflächenschutzsystem
OS-MF	Multifunktionaler Hochleistungs-Oberflächenschutz, systèmes de protection de surface multi-fonctions
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein
SN	Schweizer Norm (SN)
SP-MF	multifunctional high performance surface protection systems
TFB	Technik und Forschung im Betonbau
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
www	world wide web

Literaturverzeichnis

Fachliteratur

-
- [1] H. Schuhmann et. al., „**Handbuch Betonschutz durch Beschichtungen**“, expert Verlag 1992
-
- [2] M. Raupach, „**Erhaltung von Betontragwerken**“, Vieweg + Teubner Verlag 2008
-
- [3] R. Klose, „**Erste Entwarnung bei Nanofarben**“, *Applica*, 5/2014, S. 17-18
-
- [4] „**Todesfälle durch Nanopartikel?**“, *Mittellandzeitung*, 26.8.20109, S. 44.
-
- [5] „**Nanotechnologie - Kleine Teile – grosse Zukunft?**“, Swiss Re Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft, 2004
-
- [6] M. Möller u.a., „**Nanomaterialien: Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit**“, TA-SWISS, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1. Auflage 2013.
-

Normen

-
- [7] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2004), „**Produkte und Systeme für den Bautenschutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton**“, *Norm SN EN 1504-2*.
-
- [8] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2011), „**Erhaltung von Tragwerken - Betonbau**“, *Norm SIA 269/2*.
-
- [9] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (1997), „**Erhaltung von Betontragwerken**“, *Empfehlung SIA E 162/5*.
-
- [10] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2004), „**Lacke und Anstrichstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Untergründe und Beton im Aussenbereich – Teil 1: Einteilung**“, *Norm SN EN 1062-1*.
-
- [11] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2008), „**Lacke und Anstrichstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Untergründe und Beton im Aussenbereich – Teil 3: Bestimmung und Einteilung der Durchlässigkeitsrate für flüssiges Wasser (Permeabilität)**“, *Norm SN EN 1062-3*.
-
- [12] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2002), „**Lacke und Anstrichstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Untergründe und Beton im Aussenbereich – Teil 6: Bestimmung der Kohlenstoffdioxid-Diffusionsstromdichte (Permeabilität)**“, *Norm SN EN 1062-6*.
-
- [13] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2002), „**Lacke und Anstrichstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Untergründe und Beton im Aussenbereich – Teil 11: Verfahren für die Konditionierung vor der Prüfung**“, *Norm SN EN 1062-11*.
-
- [14] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2004), „**Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Bewertung der Menge und Grösse von Schäden und der Intensität von gleichmässigen Veränderungen im Aussehen – Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem**“, *Norm SN EN ISO 4628-1*.
-
- [15] Deutsches Institut für Normung e.V. DIN (2007), „**Beschichtungsstoffe – Beanspruchung von Beschichtungen durch künstliche Bewitterung – Beanspruchung durch fluoreszierende UV-Strahlung und Wasser**“, *Norm DIN EN ISO 11507*
-

Fachhandbuch des ASTRA

-
- [16] Bundesamt für Strassen ASTRA (2007), „**Kunstbauten (FHB K)**“, *Fachhandbuch ASTRA 22001*
-
- [17] Bundesamt für Strassen ASTRA (2009), „**Multifunktionaler (Hochleistungs-) Oberflächenschutz**“, *Technisches Merkblatt 22 001-14141*
-

Dokumentation

-
- [18] Concretum Construction Science AG (Juli 2005), „**Hydrophobieren von Betonoberflächen – Empfehlungen für Planung und Applikation**“, Bundesamt für Strassen ASTRA, Forschungsauftrag AGB 2002/029, *VSS Bericht 591*.
-
- [19] Tiefbauamt Graubünden, „**Qualitätsvorschriften für Hydrophobierungen**“, 01.12.2010
-
- [20] „**Umweltverträgliche und sichere Entsorgung von Abfällen aus Herstellung sowie industrieller und gewerblicher Verarbeitung von synthetischen Nanomaterialien**“, Konzeptpapier, Entwurf, Bundesamt für Umwelt/BAFU, September 2010.
-

-
- [21] Grobe, M. Rissanen, Ph. Funda, J. de Beer und U. Jonas, **„Nanotechnologien aus der Sicht von Konsumenten – Was Verbraucher wissen und was sie wissen wollen“**, Bundesamt für Gesundheit (BAG), März 2012, <http://www.bag.admin.ch/nanotechnologie/index.html?lang=de>. Aufgerufen am 21.11.2014.
-
- [22] **„Nanotechnologie in der Bauchemie“**, Deutsche Bauchemie e.V., 1. Ausgabe, November 2009.
-
- [23] **„Nanotechnologien nachhaltig gestalten – Konzepte und Praxis für eine verantwortliche Entwicklung und Anwendung“**, Tagung der Evangelischen Akademie Iserlohn im Institut für Kirche und Gesellschaft der EkvW in Kooperation mit dem Wissenschaftlichen Beirat des BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland 5.-7. Mai 2006, Herausgegeben von der Ev. Akademie Iserlohn im Institut für Kirche und Gesellschaft Institut für Kirche und Gesellschaft Iserlohn.
-
- [24] **„LICARA – Chancen und Risiken von Nanoprodukten – Auf dem Weg zu nachhaltiger Innovation“**, Tagung der EMPA Akademie, 16.9.2014.
-
- [25] A. Hauser, **„Entsorgung von Abfällen mit Nanomaterialien, Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Erkenntnisse aus dem Projekt NanoHouse“**, Tagung der EMPA Akademie, 14.11.2013.
-
- [26] J.-P. Kaiser, **„Effekte von freigesetzten Nanopartikeln auf die Gesundheit, Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Erkenntnisse aus dem Projekt NanoHouse“**, Tagung der EMPA Akademie, 14.11.2013.
-
- [27] H. Krug, **„Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen Erkenntnisse aus dem Projekt NanoHouse“**, Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Erkenntnisse aus dem Projekt NanoHouse, Tagung der EMPA Akademie, 14.11.2013.
-
- [28] T. Künniger, **„Nanopartikel in Fassadenbeschichtungen – Funktionen und Effekte, Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Erkenntnisse aus dem Projekt NanoHouse“**, Tagung der EMPA Akademie, 14.11.2013.
-
- [29] Nationales Forschungsprogramm **„Chancen und Risiken von Nanomaterialien“**, NFP 64) <http://www.nfp64.ch/D/projekte/baumaterialien/wirksamkeit-umweltrisiken-holzkonservierungsmittel-basis-kupfer-nanopartikel/Seiten/default.aspx>. Abgerufen am 21.11.2014.
-
- [30] B. Nowack, **„Werden Nanopartikel aus Fassaden freigesetzt?“**, Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Erkenntnisse aus dem Projekt NanoHouse, Tagung der EMPA Akademie, 14.11.2013.
-
- [31] **„Opportunities and risks of Nanotechnologies“**, Report in co-operation with the OECD International Futures Programme, OECD, Paris, und Allianz AG, München, 2005
-
- [32] K. Schmid, **„Sicherheitsdatenblätter und Neuerungen im Vorsorgeraster“**, Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Erkenntnisse aus dem Projekt Nano-House, Tagung der EMPA Akademie, 14.11.2013.
-
- [33] Schweizerische Maler- und Gipserunternehmer-Verbandes (SMGV), **„Positionspapier Nanotechnologie, Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Erkenntnisse aus dem Projekt NanoHouse“**, Tagung der EMPA Akademie, 14.11.2013.
-
- [34] C. Som, **„Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Stand der Forschung zu nachhaltigen Innovation – Ergebnisse aus dem Projekt NanoHouse“**, **„Nanomaterialien in Fassadenbeschichtungen – Erkenntnisse aus dem Projekt NanoHouse“**, Tagung der EMPA Akademie, 14.11.2013.
-

Projektabschluss

Formular 3 ARAMIS SBT als PDF (Das Formular einscannen, dann das PDF öffnen und dann mit dem Schnappschuss-Werkzeug (Fotoapparat) die Seiten markieren und dann hier einfügen).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 14.08.2015

Grunddaten

Projekt-Nr.: AGB 2009/004

Projekttitel: Multifunktionaler Hochleistungs-Oberflächenschutz für Kunstbauten

Enddatum:

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

In den letzten Jahren kamen neuartige Oberflächenschutzsysteme auf den Markt, welche in anderen Anwendungsgebieten wie z.B. auf Metall- oder Kunststoffoberflächen eine äusserst gute Schutzwirkung zeigten. Dies eröffnete die Perspektive, dass solche Produkte auch bei Betonbauten einen optimalen Schutz des Bauwerks gegen die vorhandenen Einwirkungen bieten und zugleich eine lange Lebensdauer des Oberflächenschutzsystems selbst gewährleisten könnten. Zudem sind einige dieser Produkte nach der Anwendung praktisch unsichtbar, so dass das Erscheinungsbild der Bauwerke – anders als beispielsweise bei Beschichtungen – nicht beeinträchtigt wird.

Mit dem vorliegenden Projekt sollten die Unsicherheiten hinsichtlich der erreichbaren Eigenschaften von solchen multifunktionalen Hochleistungs-Oberflächenschutzsystemen beseitigt werden, so dass ihre Anwendung in der Praxis, im Besonderen bei Kunstbauten des ASTRA, möglich würde.

An ein MF-OS-Produkt werden gemäss ASTRA-Merkblatt sehr viele, hohe Anforderungen gestellt, die das Produkt gleichzeitig erfüllen muss. Von der Forschungsstelle wurden zwei der Anforderungen als besonders wichtig und repräsentativ für die Dauerhaftigkeit von Kunstbauten beurteilt: die Verminderung der Wasser- und der CO₂-Durchlässigkeit. An diesen beiden Anforderungen wurden die verschiedenen Produkte gemessen. Zur Beurteilung wurden sowohl die Vorgaben nach dem sistierten Merkblatt MF-OS des ASTRA, wie auch Vorgaben von aktuell in der Schweiz gültigen Regelwerken (SN EN 1504-2 und VSS-Bericht 591) herangezogen. Zusätzlich sind noch zwei weitere Forderungen für MF-OS-Produkte besonders wichtig. Sie sollen möglichst unsichtbar und sehr lange wirksam sein, damit das Erscheinungsbild der Kunstbauten nicht beeinträchtigt wird und sich der deutlich höhere Preis gegenüber herkömmlichen Produkten rechtfertigt. Daher kamen nur Produkte infrage, die möglichst nicht filmbildend oder wenn doch, dann wenigstens transparent sind.

An vier verschiedenen MF-OS-Produkten sowie einer zum Vergleich mit einbezogenen, handelsüblichen Hydrophobierung wurden die Wasser- und CO₂-Durchlässigkeit geprüft. Nur zwei der vier Produkte sowie die Hydrophobierung erfüllten die Anforderungen der aktuell gültigen Regelwerke. Die anderen beiden Produkte erfüllten nicht einmal die Regelanforderungen und fielen daher aus dem weiteren Prüfprogramm. Nur eines der zwei geprüften Produkte erfüllte die Anforderungen gemäss Merkblatt MF-OS.

Die beiden verbliebenen Produkte sowie die Hydrophobierung wurden anschliessend künstlich bewittert. Die Auslagerung wurde gegenüber der Normanforderung von 1000 auf 2000 Stunden gesteigert, um die vom Merkblatt MF-OS geforderte hohe Lebensdauer der Produkte zu simulieren. Die Beschichtungen der Probekörper wiesen nach der Bewitterung Risse und Blasen auf. Trotzdem wurde die bereits vor der Bewitterung geprüfte Wasser- und CO₂-Durchlässigkeit erneut geprüft. Dadurch sollte die Wirkung der Alterung auf die Produkteigenschaften simuliert werden.

Die Anforderungen des Merkblatts MF-OS wurden nach der künstlichen Bewitterung praktisch von keinem Produkt erfüllt. Die Anforderungen nach den aktuell üblichen Regelwerken können bzgl. Wasserdurchlässigkeit auch nach der starken künstlichen Bewitterung erfüllt werden. Dies gilt sowohl für nanotechnologische Produkte wie auch für die geprüfte herkömmliche Hydrophobierung. Die Anforderungen an die CO₂-Durchlässigkeit konnten dagegen nur vor der künstlichen Bewitterung von einzelnen Produkten erfüllt werden.

Neben den Prüfungen an unter Laborbedingungen hergestellten Prüfkörpern wurden auch Resultate von aus realen Bauwerken entnommenen Bohrkernen ausgewertet. Diese bestätigen die vorliegenden Resultate an den im Labor der Forschungsstelle hergestellten Prüfkörpern weitgehend.

Die durchgeführten Prüfungen sowohl im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wie auch an realen Bauwerken zeigen, dass die Anforderungen des Merkblatts MF-OS auch von nanotechnologischen Produkten nur teilweise erreicht wurden. Auch die vom Merkblatt MF-OS geforderte lange Lebensdauer kann nur für einzelne Eigenschaften erreicht werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

An multifunktionalen Hochleistungs-Oberflächenschutzsysteme werden diverse Anforderungen gestellt (vgl. Merkblatt „22001-14141 OS MF“ des Fachhandbuchs Kunstbauten vom ASTRA).

Die Forschungsstelle hat sich auf zwei dieser Anforderungen konzentriert, die als besonders wichtig für die Schutzfunktion an Stahlbetonbauten angesehen werden: Kapillare Wasseraufnahme und CO₂-Durchlässigkeit. Die übrigen Anforderungen sollten erst in einer zweiten Phase untersucht werden. Die geprüften Produkte konnten die gestellten Anforderungen nur zum Teil erreichen. Diese Erkenntnisse wurden auch durch Resultate von Bauwerksprüfungen bestätigt. Aus diesem Grund wurden keine weiteren Untersuchungen mehr durchgeführt und das Projekt mit dem erreichten Stand abgeschlossen.

Mit dem Projekt sollten die Unsicherheiten hinsichtlich der erreichbaren Eigenschaften solcher Systeme beseitigt werden. Dieses Projektziel wurde grundsätzlich erreicht. Da die Resultate der durchgeführten Prüfungen die von den Herstellern propagierte, ausgeprägt hohe Schutzwirkung solcher Systeme nicht bestätigen konnten, wird jedoch – anstatt wie ursprünglich beabsichtigt neue Grenzwerte für das Merkblatt „22 001-14141 OS MF“ vorzuschlagen – empfohlen, dieses in der Zwischenzeit bereits sistierte Merkblatt definitiv zurückzuziehen.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die durchgeführten Prüfungen sowohl im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wie auch an realen Bauwerken zeigen, dass die Anforderungen des Merkblatts MF-OS auch von nanotechnologischen Produkten nur teilweise erreicht wurden. Auch die vom Merkblatt „22001-14141 OS MF“ geforderte lange Lebensdauer kann nur für einzelne Eigenschaften erreicht werden. Obwohl das Forschungsprojekt gezeigt hat, dass die gegenwärtig auf dem Markt verfügbaren Produkte die Vorgaben des Merkblatts offenbar nicht erfüllen können, konnten interessante Beobachtungen im Rahmen der durchgeführten Forschungsarbeiten gewonnen werden.

Generell könnte das Prüfen bestimmter Produkteigenschaften vor- und nach einer künstlichen Bewitterung zum Simulieren der Alterung eines Produktes verwendet werden. Damit könnte man generell die Dauerhaftigkeit von Produkten sowohl für einzelne Anforderungen wie auch für das gleichzeitige Erfüllen mehreren Anforderungen (z.B. bei Oberflächenschutzsystemen) beurteilen. Aufgrund der häufigen Anwendung von Oberflächenschutzsystemen bei der Betoninstandsetzung läge es im wirtschaftlichen Interesse, hier weiter zu forschen.

Trotz der im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten besonders langen künstlichen Bewitterung konnten die Produkte, insbesondere auch die handelsübliche Hydrophobierung, eine Verringerung der Wasserdurchlässigkeit nach wie vor gewährleisten. Es sollte erforscht werden, wie die künstliche Bewitterung mit einer „natürlichen Alterungsdauer“ korreliert.

Publikationen:

- Schlussbericht

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Kaufmann

Vorname: Walter

Amt, Firma, Institut: ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Das Forschungsprojekt hat sich gegenüber dem ursprünglichen Zeitrahmen verzögert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Resultate der geprüften Produkte bereits im unbewitterten Zustand nicht den Anforderungen des Merkblatts „22001-14141 OS MF“ und damit den Erwartungen der Forschungsnehmer entsprochen haben.

Dies machte Recherchen und Anpassungen im weiteren Projektverlauf notwendig und führte schliesslich dazu, dass das Projekt mit dem aktuellen Stand abgeschlossen wurde.

Die Beobachtungen und Ergebnisse wurden nachvollziehbar dargestellt und diskutiert.

Es konnte gezeigt werden, dass die geprüften Produkte weder an untersuchten Bauwerken noch unter Laborbedingungen die Anforderungen, die vom ASTRA an multifunktionale Hochleistungs-Oberflächenschutzsysteme gestellt werden erfüllen. Dadurch ist die Unsicherheit bezüglich der mit solchen Systemen erreichbaren Eigenschaften beseitigt - wenn auch nicht in der erhofften Art.

Umsetzung:

Die im Rahmen des Forschungsprojekts gewonnenen Erkenntnisse zu den erreichbaren Eigenschaften von multifunktionalen Hochleistungs-Oberflächenschutzsystemen werden dem ASTRA zugänglich gemacht. Es wird empfohlen, auf dieser Basis das Merkblatt „22001-14141 OS MF“ definitiv zurückzuziehen.

Eine breitere Veröffentlichung über Informationsveranstaltungen (z.B. Bau und Wissen, Betonkolloquien) ist nicht vorgesehen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Auch nach der im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten besonders langen künstlichen Bewitterung konnten einige Produkte, insbesondere auch die handelsübliche Hydrophobierung, eine starke Verringerung der Wasseraufnahme gewährleisten. Um diese Resultate in der Praxis umsetzen zu können, sollte erforscht werden, wie die künstliche Bewitterung mit einer „natürlichen Alterungsdauer“ korreliert.

Einfluss auf Normenwerk:

Ein direkter Einfluss auf das Schweizerische Normenwerk besteht nicht. Das dem Projekt zugrunde liegende Merkblatt „22001-14141 OS MF“ des Fachhandbuchs Kunstbauten ist vom ASTRA bereits sistiert. Es wird empfohlen, dieses auf Basis der vorliegenden Untersuchungen definitiv zurückzuziehen.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Käser

Vorname: Martin

Amt, Firma, Institut: Baudirektion des Kt. Zürich, Tiefbauamt

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 01.04.2015

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1507	FGU 2007/004	TBM Tunneling in Faulted and Folded Rocks	2015
1505	VSS 2006/509	Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken - Initialprojekt	2014
1503	VSS 2006/515_OBF	Research Package on Bridge Deck Waterproofing Systems: EP5-Mechanisms of Blister Formation	2014
1502	VSS 2010/502	Road – landside interaction : Applications	2014
1501	VSS 2011/705	Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen	2014
1500	ASTRA 2010/007	SURPRICE (Sustainable mobility through road user charging) - Swiss contribution: Equity effects of congestion charges and intra-individual variation in preferences	2015
1499	ASTRA 2011/010	Stauprognoseverfahren und -systeme	2014
1498	VSS 2011/914	Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways	2014
1497	VSS 2009/705	Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen	2014
1496	VSS 2010/601	Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Raumnutzungsverhalten von Reptilien	2014
1495	VSS 2009/703	Zusammenhang Textur und Griffigkeit von Fahrbahnen und Einflüsse auf die Lärmemission	2014
1494	VSS 2010/704	Erhaltungsmanagement der Strassen - Erarbeiten der Grundlagen und Schadenkataloge zur systematischen Zustandserhebung und -bewertung von zusätzlichen Objekten der Strassen	2014
1493	VSS 2006/001	Neue Methoden zur Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln	2014
1492	SVI 2004/029	Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell	2014
1491	VSS 2007/704	Gesamtbewertung von Kunstbauten	2014
1490	FGU 2004/002	Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)	2014
1489	VSS 2006/516_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen	2014
1488	SVI 2007/020	Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen	2014
1487	SVI 2008/001	Erfahrungsbericht Forschungsbündel	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1486	SVI 2004/005	Partizipation in Verkehrsprojekten	2014
1485	VSS 2007/401	Anforderungen an Anschlussfugensysteme in Asphaltdecken - Teil 1: Praxiserfahrung	2014
1484	FGU 2010/003	Misestimating time of collision in the tunnel entrance due to a disturbed adaptation	2014
1483	VSS 2005/452	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt	2014
1482	ASTRA 2010/018	SURPRICE: Sustainable mobility through road user charges Swiss contribution: Comprehensive road user charging (RUC)	2015
1481	VSS 2001/702	Application des méthodes de représentation aux données routières	2014
1480	ASTRA 2008/004	Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt Modell eines siedlungsübergreifenden Unterhalts	2014
1479	ASTRA 2005/004	Entscheidungsgrundlagen & Empfehlungen für ein nachhaltiges Baustoffmanagement	2014
1478	VSS 2005/455	Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes - EP4: Evaluation of Durability	2014
1477	VSS 2008/503	Feldversuch mit verschiedenen Pflästerungen und Plattendecken	2014
1476	VSS 2011/202	Projet initial pour la conception multi-usagers des carrefours	2014
1475	VSS 1999/125	Ringversuch "Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt"	2014
1474	VSS 2009/704	Wechselwirkung zwischen Aufgrabungen, Zustand und Alterungsverhalten im kommunalen Strassennetz-Entwicklung eines nachhaltigen Aufgrabungsmanagement	2014
1473	VSS 2011/401	Forschungspaket "POLIGRIP - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit von Deckschichten - Initialprojekt"	2014
1472	SVI 2010/003	Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten	2014
1471	ASTRA 2008/011	Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr Forschungspaket UVEK/ASTRA - Synthese	2014
1470	VSS 2011/907	Initialprojekt für ein Forschungspaket "Kooperative Systeme für Fahrzeug und Strasse"	2014
1469	VSS 2008/902	Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrstelematik-Anwendungen	2014
1468	VSS 2010/503	Utilisation des géostructures énergétiques pour la régulation thermique et l'optimisation énergétique des infrastructures routières et ouvrages d'art	2014
1467	ASTRA 2010/021	Sekundärer Feinstaub vom Verkehr	2014
1466	VSS 2010/701	Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustands	2014
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgeschoss für die Verdichtungskontrolle von Fundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbaupflaster mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbaupflaster in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeurückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkierungsanlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
665	AGB 2011/001	Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton	2014
664	AGB 2009/005	Charges de trafic actualisées pour les dalles de roulement en béton des ponts existants	2014
663	AGB 2003/014	Seismic Safety of Existing Bridges	2014
662	AGB 2008/001	Seismic Safety of Existing Bridges - Cyclic Inelastic Behaviour of Bridge Piers	2014
661	AGB 2010/002	Fatigue limit state of shear studs in steel-concrete composite road bridges	2014
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des pontsdalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlagschutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009

