

Projekt iBBT (ID 5273-172)

Innovative Beläge und Beleuchtung für Tunnel

LEITFADEN



WP6

Impressum

Die Inhalte des vorliegenden Leitfadens stammen von folgenden Autoren:

Universität Innsbruck

Institut für Infrastruktur - Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Markus Mailer

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Stephan Tischler

Univ. Ass. M.Sc. Ferdinand Pospischil

Università Politecnica delle Marche

Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura - Settore Strade, ferrovie e aeroporti

Prof. Ing. Maurizio Bocci

Amt der Tiroler Landesregierung

Ing. Martin Außerlechner

Ing. Werner Enk

Dipl.-Ing. Bernhard Hampel

Abteilung Straßendienst - Bereich Tunnel

Ing. Alessandro Lunelli

p.i. Helmut Verginer

Ing. Alberto Piserchio

Amt für Geologie und Baustoffprüfung

Dr. Volkmar Mair

Geom. Renza Espen

Dr. Gernot Stadler

Geom. Herbert Mahlkecht

Übersetzung:

Dr. Martina Stefani

Dr. Claudio Carraro

Dr. Ulrich Obojes

Layout:

Doris Hofer

Druck:

Landesdruckerei Autonome Provinz Bozen

Gesamtkoordination:

Dr. Volkmar Mair

Geom. Renza Espen

Dr. Gernot Stadler

Bozen, September 2014

Das dreijährige Projekt „**innovative Beläge und Beleuchtung für Tunnel**“ wird vom Interreg IV Programm Italien-Österreich teilfinanziert.

20-00 Leitfaden

Eine Kurzfassung der Ergebnisse aus dem Interreg IV - Projekt Innovative Beläge und Beleuchtung für Tunnel

20-01 Inhaltsverzeichnis

20-02 Allgemeines zum Projekt iBBT	2
22-01 Anforderungen, Stand der Technik und Empfehlungen.....	5
22-10 Beleuchtung.....	5
22-20 Beschichtung.....	9
22-30 Beläge	12
22-40 Einleitung zu den ausgewählten Beläge für den Einbau in Südtirol	17
23-11 Die Labortätigkeiten für die Ermittlung der Zuschlagstoffe	20
23-12 Ermittlung der Materialien und Untersuchungen des Mischgutes.....	23
24-10 Einbau der Straßenbeläge in Südtirol.....	35
24-21 Durchführung der Eingriffe im Seehoftunnel, B 181 Achenseestraße	39
24-31 Einbau Beschichtung Tunnel Rattenberg, B 171 Tiroler Straße.....	43
25-10 Kontrollprüfungen und Monitoring der hellen Straßenbeläge in Südtirol.....	45
25-20 Kontrollprüfungen und Monitoring Seehoftunnel, B 181 Achenseestraße	52
25-30 Kontrollprüfungen und Monitoring Tunnel Rattenberg, B 171 Tiroler Straße	56
26-10 Energiebetrachtung Tunnel Naraun 1 und 2	63
26-20 Energiebetrachtung Seehoftunnel	65
Bibliographie	66

20-02 Allgemeines zum Projekt iBBT

Dieser Leitfaden wurde im Zuge des Workpackage 6 (WP6) des Projektes Interreg IV Italien – Österreich: „**Innovative Beläge und Beleuchtung für Tunnel**“ (ID 5273-172) erarbeitet und dient zur Kurzübersicht der Ergebnisse und Projektaktivitäten. Die Hintergrundinformationen, Richtlinien und genauere Erklärungen sowie Verweise sind im Handbuch des Projekts zu finden.

20-03 Projektbeschreibung

Ständig wachsende Wirtschaftsleistungen, Komfort und Sicherheit verlangen immer höhere Anforderungen an das Straßenverkehrsnetz. Dabei bilden Tunnelanlagen in den Bergregionen einen wichtigen Bestandteil. Neben den großen Vorteilen von Tunnelanlagen (Linienführung, Lärm, Schadstoffe etc.) stellen sie auch eine große Herausforderung für die Benutzer und Betreiber dar.

Der Autofahrer sieht den Tunnel subjektiv als Gefahrenpotenzial. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich bei gleicher Verkehrsleistung im Tunnel ein Unfall ereignet, ist geringer als auf der freien Strecke. Kommt es dennoch zu einem Unfall, ist das Ausmaß der Folgen oftmals schwerwiegender.

Daher legen die Errichter und Betreiber von Tunnelanlagen verstärkte Aufmerksamkeit auf die Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen. Die bedeutendsten Strukturelemente für die Wahrnehmung der Fahrbahn sowie der Linienführung sind eine helle Fahrbahnoberfläche, der Tunnelanstrich und die Beleuchtungseinrichtung.

Ziel des Projektes war Vorschläge für die Verbesserung und Optimierung der Helligkeit in Tunnelanlagen zu finden. Dies wurde durch den Einbau von innovativen Straßenbelägen, Tunnelanstrichen und Beleuchtungsanlagen erreicht. Neben der Erhöhung der Sicherheit konnten auch die Energiekosten für die Tunnelbeleuchtung reduziert werden.

20-04 Projektorganisation

Leadpartner:

Autonome Provinz Bozen - Südtirol,
Abteilung 11 - Hochbau und Technischer
Dienst, Amt 11.6 Geologie und
Baustoffprüfung

Partner:

- Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Verkehr und Straße
- Autonome Provinz Bozen - Südtirol, Abteilung 12 – Straßendienst

Assoziierte Partner:

- Brennerautobahn AG
- Kollegium der Bauunternehmer der Provinz Bozen
- Gestrata, Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt
- Autonome Provinz Bozen - Südtirol, Abteilung 10 - Tiefbau

Wissenschaftliche Begleitung:

- Universität Innsbruck, Fakultät für Technische Wissenschaften, Institut für Infrastruktur – Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme
- Università Politecnica delle Marche (Ancona), Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura

20-05 Aufgabenstellung

Ziel des Projektes ist die Optimierung der drei wesentlichen Tunnelausrüstungskomponenten Tunnelbeleuchtung, Tunnelwandbeschichtung sowie des Tunnelbelages im Hinblick auf einen effizienten Mitteleinsatz. Dieses soll durch die Kombination vom aktuellen Stand der Technik sowie Forschungen im Bereich von innovativen Beleuchtungsanlagen, Lampentypen und Steuerungen, Straßenbelägen und Seitenwandauskleidung des Tunnels erreicht werden.

Insbesondere geht es darum, die verschiedenen Lampentypen zu vergleichen, und jene zu ermitteln, welche bei gleicher Effizienz (Helligkeit, Wartungsintensität und -aufwand, finanzieller Mitteleinsatz etc.) die höchste Energieeinsparung ermöglichen. Es werden auch verschiedene Arten von Beschichtungen (Farben und Additive) der Wände und verschiedene helle Straßenbeläge eingebaut sowie untersucht, die dazu beitragen sollen, die Helligkeit zu verbessern und damit den Energieverbrauch und die subjektive Gefahr zu verringern. Besonderer Wert wird auch auf die Dauerhaftigkeit und Umweltfreundlichkeit der Materialien gelegt.

20-06 Ziele

Während des Projektes wurden folgende Ziele erreicht und in diesem Leitfaden dokumentiert:

- (1) Erörterung der Anforderungen und der Problemstellung in den Bereichen der Straßenbeläge, Innenbeschichtungen und der Beleuchtungsanlagen von Tunnel.
- (2) Zusammenfassung und Übersicht der rechtlichen Rahmenbedingungen, wie Gesetze und Verordnungen, Richtlinien

und Leitfäden sowohl auf EU-Ebene als auch länderspezifisch für Österreich und Italien sowie z. T. auch einigen ihrer Nachbarstaaten.

- (3) Erprobte Technologien
- (4) Schlussfolgerungen, Entscheidungshilfen und Zukunftsausblicke

20-07 Gliederung

Der Leitfaden ist in die drei Themenbereiche des Projektes unterteilt, die sich wiederum auf die einzelnen Workpackages und deren Umsetzung in den einzelnen Ländern beziehen.

Inhaltsverzeichnis	20-00
Einleitung	20-01
Projektbeschreibung	20-02
WP2 Stand der Technik (Asphalt- und Beleuchtungstechnologien und deren Einsatz im Tunnelbau)	22-xx
WP3 Forschung und Labortätigkeit (Entwicklung der Straßenbeläge und Kombination mit Beleuchtung und Wandbelägen)	23-xx
WP4 Einbau (Einrichtung, technische Präparation und Messaufbau der verschiedenen Testgebiete)	24-xx
WP5 Monitoring (Erstellung des Kontrollprogramms und Durchführung der Kontrollen der Teststrecken)	25-xx
WP6 Energieeinsparung (Berechnung der möglichen Einsparungen durch die Verwendung von innovativen Materialien)	26-xx

20-08 Nummerierung der Kapitel

2 0 - x x



It. Inhaltsverzeichnis der
verschiedenen Themenbereiche

Nummer der Workpackages (2 = WP2,
3 = WP3, 4 = WP4, 5 = WP5, 6 = WP6)

Leitfaden Projekt iBBT (ID 5273-172)
Innovative Beläge und Beleuchtung für
Tunnel

20-09 Ergebnisse

WP6 Auswertung, Interpretation und Publikation

Das Ergebnis dieses Workpackages ist die Erstellung eines Leitfadens für Planer, Bauleiter und Bauherrn. Dieser Leitfaden soll die untersuchten Systeme beschreiben, die Ergebnisse der Analysen und Untersuchungen darstellen und Informationen zum Einbau und der Verarbeitung der Produkte geben. Der Leitfaden soll in den relevanten Publikationsmedien beworben werden und eine neue, innovative und grenzübergreifende Hilfestellung für zukünftige Bauausführungen im Bereich Tunnelbau darstellen.

22-01 Anforderungen, Stand der Technik und Empfehlungen

Die Kapitel des Handbuches wurden im Leitfaden neu geordnet und beinhalten jeweils die Anforderungen, den Stand der Technik und die Empfehlungen für Beleuchtungen, Beschichtungen und Beläge.

Übergreifend für alle Bereiche sind bei den Anforderungen an Beläge und Beleuchtung die Punkte der Wirtschaftlichkeit besonders zu beachten:

- **Planungskosten**
- **Herstellungskosten (Material)**
- **Aufwand für Einbau/Auftrag**
- **Lebensdauer**
- **Wartungskosten und -intensität**
- **Energieverbrauch**
- **Wiederverwendbarkeit nach Ausbau / Entsorgungskosten**

22-10 Beleuchtung

Neben den Anforderungen der Wirtschaftlichkeit können die Beleuchtungssysteme nach folgenden Kriterien bewertet werden:

- **Leistung [W]**
- **Lichtstrom [lm]**
- **Gleichmäßigkeit**
- **Systemlichtausbeute [lm/W]**
- **Farbton**
- **Leuchtdichte**
- **Einschaltzeit [min]**
- **Lichttemperatur**

- **Betriebswirkungsgrad**
- **Wartung**

Die Wartung von Beleuchtung und Beleuchtungssteuerung sollte nach Möglichkeit ohne große Beeinflussung des rollenden Verkehrs stattfinden können. Dies dient nicht nur der Aufrechterhaltung des Verkehrs, sondern erhöht auch die Sicherheit des Betriebs und des arbeitenden Personals.

Folgende Lampentypen wurden untersucht und sind im Kapitel 12-41 des Handbuches beschrieben:

- **Quecksilber-Hochdruckdampf lampen**
- **Natrium - Hochdruckdampf lampen**
- **Natrium - Niederdruckdampf lampen**
- **Leuchtstoffröhren**
- **Halogen - Metalldampf lampen (HIT)**
- **Leuchtdioden LED**

Im Verhältnis zu derzeit verbauten Natriumhoch/-niederdruck - Metallhalogen-Dampf lampen können die höheren Anschaffungskosten der LED durch die längere Lebensdauer, die geringeren Wartungskosten und den geringeren Energieverbrauch schnell kompensiert werden. Dennoch ist auf die Wirtschaftlichkeit zu achten. Als Bemerkung ist hier noch anzuführen, dass anders als beim herkömmlichen Beleuchtungssystem mittels Natriumdampf lampen, die Beleuchtungskörper zwar erst nach einer Nutzungsdauer von ca. 60.000 – 100.000 Betriebsstunden gewechselt werden müssen, dafür aber dann nicht nur das Leuchtmittel sondern nach je nach Ausführung die gesamte Beleuchtungseinheit gewechselt wird.

Der Energieverbrauch ist so gering wie möglich zu halten. Hierbei ist durch eine Reduzierung der künstlichen Beleuchtung mit von der Tageszeit abhängigen Beleuchtungsstärken im Einfahrtsbereich, Energieeinsparungspotential gegeben. Derzeit liegen die Stromkosten für die Beleuchtung der Tunnelstrecken der Tiroler Landesstraßen bei 650.000 € pro Jahr. Bei einer Gesamttunnellänge von ca. 23.000 m entspricht dies einem Kostenaufwand von weniger als 30 € pro laufenden Meter Tunnelbeleuchtung und Jahr (Abteilung Straßenbau, Nordtirol, 2012)

Die derzeit am meisten verbaute Beleuchtung in Tunneln ist die Natriumdampfhochdrucklampe, diese wird aber sehr wahrscheinlich durch Weiterentwicklung und sinkende Investitionskosten von der LED überholt werden. Derzeit ist der „**Break Even Point**“ bereits nach ca. 3 Jahren Betriebszeit bei Tunnelinnenstrecken erreicht.

Durch Einsatz der LED Technologie ist mit einer **Energieeinsparung** von bis zu 30% bzw. 50% zu rechnen, wobei dies mit den höheren Investitionskosten zu verrechnen ist. (verschiedene LED verarbeitende Gewerbe, 2012)

Im Tunnel Tellsplatte (234 m) konnte durch den Einbau der LED-Beleuchtung folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Vorteile der LED-Leuchten:

- Nur 23 [LED] statt 39 [HST] Leuchten nötig
- Bis 30 Prozent Energieeinsparung
- LED sind nach 20 Jahren amortisiert (andere Leuchten nach 30 Jahren) [hier wird nicht auf einen nötigen Tausch der Steuereinheiten oder Netzteile eingegangen].

- *Modularer Bau: Geringer Installationsaufwand, Recycling der Komponenten einfach*

Nachteile der LED-Leuchten:

- *Wärmemanagement der LED ist komplizierter*
- *Resultate im Langzeitbetrieb fehlen noch*

Im Durchschnitt kann mit LED-Leuchten also bis zu 30 Prozent Strom gegenüber herkömmlichen Leuchten eingespart werden. Gegenüber noch älteren Systemen kann die Einsparung sogar 50 Prozent erreichen. Allerdings ist es aus Kostengründen nicht sinnvoll, aufgrund dieser Erkenntnis nun alle Beleuchtungssysteme auszutauschen. (ASTRA, Strassen und Verkehr - Zahlen und Fakten, 2012)

Nach dem derzeitigen Stand der Technik sind die Natriumhochdruckdampf lampen die am meisten eingesetzte Beleuchtungstechnologie. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass diese hinsichtlich Leuchtkraft und Lebensdauer nicht die Werte von LED-Beleuchtungssystemen erreichen, aber dennoch die erforderlichen Leuchtwerte bei niedrigen Einbaukosten realisiert werden können

Die Technologie der LED's ist bisher nur in einigen Testtunneln eingebaut worden. Es ist jedoch anzumerken, dass der Technologiefortschritt der am Markt befindlichen LED-Leuchtsysteme äußerst dynamisch verläuft und der vorliegende Bericht daher nur den momentanen Entwicklungsstand wiedergeben kann.

Bei der Anordnung der Beleuchtung ist folgendes zu beachten:

- Eine seitliche Beleuchtungsanordnung erfordert eine doppelte Anzahl an

Leuchtmitteln und Verkabelungslängen (da sonst eine Verschattung durch Fahrende LKW vorhanden ist), birgt aber den Vorteil, dass die Beleuchtung unabhängig von möglicher Rauchbildung aufrecht erhalten bleibt. Auf die potentielle Blendung der höher sitzenden LKW- Fahrer ist bei Richtungsverkehrstunnels zu achten. Die Wartung und Reinigung ist bei dieser Anbringung einfacher und sicherer, allerdings muss auch die doppelte Anzahl an Leuchten gereinigt werden.

- Eine zentrale Leuchtenanordnung in der Firste mit leichter Ausmitte über der in den Tunnel einfahrenden Fahrspur ist die am häufigsten angewandte Lage und auch die zu empfehlende. Mithilfe der Ausmitte kann durch die Sperrung einer Fahrspur die Beleuchtung getauscht werden.
- Generell wird empfohlen die Einsichts- und Ausfahrtsstrecken eines Tunnels wenn möglich als Galerie zu gestalten, um natürliches Licht zur Beleuchtung hinzuzuziehen. Hierbei haben sich Galerien wesentlich besser bewährt als Oberlichter, da diese schnell verschmutzen und durch nötigen Winterdienst sehr unterhaltbedürftig sind (Abteilung Straßenbau, Nordtirol, 2012).

Onaygil et al. empfehlen die Tunnelan-näherungsstrecken möglichst dunkel zu gestalten, um die Beleuchtung des Einfahrtsbereichs möglichst gering halten zu können (Onaygil, Güler, & Erkin, 2002).

Ein Forschungsbericht des Schweizer Bundesamts für Straßen rät, möglichst wenige Veränderungen der Beleuchtungssituation zu installieren, da diese jeweils mit einer Verschiebung der Fahrspur einhergehen. Auch Unterbrechungen oder Inhomogenitäten verunsichern den Fahrer und es

kommt zu Bremsvorgängen. (Bundesamt für Strassen, ASTRA, 2012)

Beleuchtungssysteme in Richtungsverkehrstunneln werden derzeit meist im Gegenstrahlprinzip ausgeführt. Gelegentlich werden aber testweise, wie beispielsweise im Tunnel Amras auf der A12 Inntalautobahn im Mitstrahlprinzip. Hierbei ist zu bemerken, dass durch das Mitstrahlprinzip höhere Leuchtdichten notwendig werden und somit erhöhte Kosten entstehen.

In Gegenverkehrstunnels kommt für die Innenstreckenbeleuchtung das Prinzip der symmetrischen Beleuchtung zur Anwendung, da hier eine separate Mitstrahlbeleuchtung mittels Linsen zwar möglich wäre, aber verhältnismäßig teuer erscheint.

Als Einbauempfehlung kann folgendes gegeben werden:

Für helle (sonnige) Einfahrtsbereiche in einen Tunnel sind Natriumdampfhochdrucklampen sinnvoll, da diese einen sehr hohen Lichtstrom besitzen.

Für dunkle (verschattete) Einfahrtsbereiche ist die Verwendung der LED der Verwendung von HST gleichzusetzen.

Für Tunnelinnenstrecken ist die Verwendung von LED zu empfehlen. Hier ist die Rentabilitätsgrenze bereits nach 2 - 3 Jahren erreicht.

Kriterien	Quecksilber - Hochdruckdampflampen	Natrium - Hochdrucklampen (HST)	Natrium - Niederdrucklampen	Leuchtstoffröhren	Halogen - Metalldampflampen (HIT)	Leuchtdioden (LED)
Leistung [W]	50 - 1.000	50 - 1.000	18 - 180	80	75 - 250	
Lichtstrom [lm]	1.800 - 58.000	3.500 - 120.000	1.800 - 33.000	6150	5.500 - 20.000	
Gleichmäßigkeit						
Systemlichtausbeute [lm/W]	36-58	39 - 150	200	52-104	57-73	derzeit bis zu 250 pro LED
Farbton	warmweiß, neutralweiß, Farbton 40-69 (Index Ra)	Goldgelb, warmweiß, Farbton 20-90 (Index Ra)	Gelbgrün	warmweiß, neutralweiß, tageslichtweiß Farbton 80-90 (Index-Ra)	warmweiß Farbton <95 (Index Ra)	alle Farben möglich, Farbton >80 (Index Ra)
Einschaltzeit [min]	4 - 5	4 - 5	12	< 2 sec.	4 - 5	0
Lichttemperatur	3200-4200K					
	+	angenehm empfundenes Lichtspektrum, stark variierbar in der Leistung, hohe Lichtausbeute	kontrastrreiches Sehen, höchste Lichtausbeute, gute Durchdringung von Sprüh-Nebel	Montage als Lichtband - gleichmäßige Ausleuchtung, gute Farbwiedergabe	sehr gute Farbwiedergabe, gute Farbstabilität	niedriger Stromverbrauch, hohe Farbbrillanz, Vibrationsresistent, wenig Frühausfälle, kein UV- oder IR-Strahlung, kompakte Bauweise, stufenlos Dimmbar
	-	schlechte Farbwiedergabe, Wiederrzündung erst nach Abkühlung möglich, große Lichtpunktabstände beim Ausfall/Dimmung einzelner Lampen	schlechte Farbwiedergabe	Lichtstrom geringer als HST - höhere Leuchtenanzahl nötig	lange Wiedereinschaltzeit von 15-20 Min., ab 2017 strengere Effizienzvorgaben seitens der EU, Dimmer erfordert umfangreiche Technik	größere Leuchtenzahl vonnöten um die gleiche Ausleuchtung des Tunnelraumes zu erreichen (ca. +30 %)
Installationskosten		100%		ca. 120%		ca. 120% bei kleineren Tunneln
Lebensdauer des Leuchtmittels[h]	16.000	12.000 - 16.000	12.000	18.000	6.000 - 10.000	80.000 - 100.000
Wartung und -intensität		Überprüfung der Leuchten 1-2 mal jährlich				Tausch der Netzgeräte und Steuerung alle 5 Jahre
Kurzbeschreibung der Steuerung und Funktionsweise	benötigen Vorschaltgerät, Zündung über Elektroden	Licht wird im Brenngefäß durch Gasentladung zwischen den Dioden erzeugt, Vorschalt und Zündgeräte erforderlich	Quecksilberfreier Natriumdampf sendet nach Entzündung monochromatisches gelbes Licht aus, Vorschaltgerät nötig	Prinzip der Niederdruck-Gasentladung, Quecksilberdampf sendet UV-Strahlung aus - dieser bringt einen Leuchtstoff zum leuchten	Weiterentwicklung der Quecksilber-Hochdrucklampe, Vorschalt und Zündgeräte erforderlich	Halbleiterkristalle, die elektrisch zum leuchten angeregt werden, großes Entwicklungspotential, Entsorgung als Elektronikschrott

Gebrauchstauglichkeit / Gebrauchsfähigkeit

Tabelle 1 - Gegenüberstellung Beleuchtungstechnologien für Tunnelinnerräume

22-20 Beschichtung

Beschichtungen von Betonbauteilen werden im Tunnel eingesetzt um, neben weiteren Gründen, den Schutz der Betonbauteile vor Chlorid Eintrag zu gewährleisten sowie eine Oberfläche zu gestalten, welche den Anforderungen nach Reflexion, Farbe, Reinigungsfähigkeit und Kratzbeständigkeit genügt (Meier & Martinola, 2006).

Die Beschichtung der Tunnelwände erfolgt in Österreich nach RVS 09.01.23 bis in eine Höhe von mindestens 4 m. In Italien wird teilweise der gesamte Tunnelraum beschichtet. Hierdurch erkennt der Fahrer den Raum als Ganzes und wird nicht durch eine schwarze Decke im Unklaren über die Raumsituation gelassen. Prinzipiell können verschiedene Systeme angewandt werden, wie Beschichtung, die Verwendung von Paneelen, ein Anstrich oder der Einbau von hellem Spritzbeton.

Die **Gebrauchstauglichkeit und –fähigkeit** der Beschichtung kann in folgende Kriterien unterteilt werden:

- **Abreißfestigkeit / Haftung**
- **Wasserdampfdurchlässigkeit**
- **CO₂ Durchlässigkeit**
- **Salzbeständigkeit**
- **Verhalten bei Kollisionen**
- **Helligkeit/Verschmutzung/Reflexion**

Um eine Seitenwandbeschichtung im Straßenverkehrstunnel zu erneuern bzw. anzubringen muss der Untergrund einer sorgfältigen Vorbereitung unterzogen werden. *Der Untergrund muss sauber, frei von allen losen Teilen, Staub, Öl und sonstigen trennend wirkenden Stoffen sein. Die erforderlichen*

Oberflächenzugfestigkeiten des Untergrundes müssen den einschlägigen technischen Regelwerken entsprechen. (MC-Bauchemie; PCT swiss Protection & Cleaning Technologies, 2012)

Es müssen neben den oben beschriebenen Voraussetzungen, größere Schäden der Betonschale ausgebessert werden.

Hierbei können folgende Materialien nach (StoCretec, 2008) zum Einsatz kommen:

- **Beton**
- **Spritzbeton**
- **Kunststoffmodifizierter, zementgebundener Beton bzw. Mörtel (PCC – Polymer Cement Concrete)**
- **Kunststoffmodifizierter, zementgebundener Beton bzw. Mörtel , der im Spritzverfahren aufgebracht wird (SPCC – Sprayed Polymer Cement Concrete)**
- **Reaktionsharzgebundener Beton bzw. Mörtel (PC – Polymer Concrete)**

Zu beachten ist jeweils die richtige Einbautemperatur. Beschichtungssysteme können nach (Glantschnigg, 2005) nicht aufgebracht werden solange die Betontemperatur nicht mindestens 2°C höher liegt als die Taupunkttemperatur der Luft. Daraus resultiert eine Winterpause für mögliche Einbaumaßnahmen.

Es folgt nun eine kurze **Auflistung der möglichen Systeme** (die genauere Beschreibung befindet sich im iBBT - Handbuch)

- **Nanobeschichtungen**
- **Keramikbeschichtungen**
- **Beschichtungen auf Epoxidharzbasis**
- **Acryl Farbe**
- **Selbstverdichtender Beton**

Beschichtungen haben oftmals das Problem Blockfugen zu überdecken, haben zum Teil Haftprobleme am Untergrund und neigen teils zur Rissbildung.

Für den Neubau von Tunneln wird ein, falls die Tunnelbaumethode den Einsatz zulässt, selbstverdichtender Beton mit erhöhter Helligkeit und Brandbeständigkeit nach (Krispel & Peyerl, Selbstverdichtender Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit, 2011) empfohlen. Dieser reicht nach den bisherigen Erfahrungen nicht an die Helligkeitswerte der Epoxidharzbeschichtungen heran, es wird dieser Technologie jedoch großes Zukunftspotential zugeschrieben.

Falls eine Sanierung ansteht wird der Einsatz von Epoxidharzen mit einer Nano-end Beschichtung als gut empfunden. Hierbei werden bessere Reinigungsfähigkeiten erwartet. Wichtig beim Einbau der verschiedenen Systeme ist die gute Abstimmung auf die Untergrundverhältnisse sowie der verwendete Spachtel. Es können weilers Vliese in die Beschichtungen eingebaut werden um eine strapazierfähigere Beschichtung zu erhalten. Bisher wurde diese Methode nicht angewandt und kann daher nicht bewertet werden.

Um eine geeignete Variante des Einbaus festzustellen ist zu überlegen nach welchen Kriterien eine Auswahl getroffen werden soll. Für kurze Tunnellängen ist es nicht sinnvoll mehrere Systemwechsel vorzunehmen. Bei Tunneln größerer Länge sollte der Einfahrtsbereich jeweils mit einer höherwertigen Variante vollzogen werden. Als weitere Kriterien können neben der Länge des Tunnels auch die Höhenlage, die Nutzung (Gegenverkehr oder Einrichtungsbetrieb) oder der durchschnittliche tägliche Verkehr ausschlaggebend sein. Für kurze Tunnel kann bei geringer Verkehrsbelastung die vollflächige Spachtelung bis auf 2 m Höhe und davor ein Anstrich bis auf 4 m Höhe empfohlen werden. Bei erhöhtem Verkehrsaufkommen sollte in einem Bereich zwischen 2 m und 4 m Höhe eine Lunker Spachtelung weitergeführt werden. Für Innenstreckenbereiche ist ein solch aufwendiger Aufbau nicht von Nöten. Hier eine ist Lunker Spachtelung bis auf 2 m Höhe, bei hohem Verkehrsaufkommen bis auf 4 m, hinter einem Anstrich bis auf 4 m Höhe ausreichend. (Enk, 2014)

Kriterien	Helle Tunnelinnenschale ohne Beschichtung		photokatalytischen Beschichtung		Epoxydharzbeschichtung		Polymerkombinationsanstriche		Keramikbeschichtungen	
Abriebfestigkeit	+	hier existiert keine zusätzliche Schicht		+	bei korrektem Einbau > 2,0 N/mm ²		0			
Wasserdampfdurchlässigkeit		Einsatz von Polypropylenfasern verringert die Abplatzungen		+	Wasserdampfdurchlässig		+	Wasserdampfdurchlässig		
CO2 Durchlässigkeit				+	CO2 sperrende Wirkung		+	sehr hohe Kohlendioxiddichtigkeit		
Salzbeständigkeit			-	+	schlechte Beständigkeit der Beschichtung im Einfahrtsbereich				+	gute Beständigkeit
Helligkeit		je nach Zusatzmitteln							-	anfangs gut, nach mehrmaligem Waschen matt
Herstellungskosten [€/m ²]										
Aufwand für Einbau / Auftrag	+	geringer zusätzlicher Aufwand, da bereits im Zuge der Innenschalenherstellung der Einbau erfolgt		+	schneller Einbau möglich; Fehlertoleranz gegenüber Schichtdickenüberschreitungen; schnelle Durchhärtung			+	schneller einbau durch Rollen und Airless spritzen möglich	
Wartungsintensität	+	größere Wartungsintervalle		-	Spachtelung im Bereich der Blockfugen kann problematisch sein					alle 3 bis 6 Monate, können durch waschen ausgespült werden und an Leistungsfähigkeit verlieren
Kurzbeschreibung		SCC (Self Compacting Concrete) - Tunnelinnenschale, z.B. Beton mit der Bezeichnung C25/30/ISP/SCC/F66/GK16/Hell			Zweikomponentensystem, Harz und Härter; Aufbringen der Verschiedenen Schichten innerhalb weniger Stunden			Wässrige Zweikomponentenpolymerkombination		Können aufgerollt oder aufgesprüht werden; oder als Paneele eingebaut werden
Beschreibung / Zielsetzung		Beimischung verschiedener Gehalte des Weißpigmentes Titandioxid und Kalksteinmehl zu Betonrezeptur			keine Nachbehandlung nötig; gutes Standvermögen; gute Reinigungsfähigkeit; hohe Abriebfestigkeit; Schmutzabweisende Formulierungen					Mit einer Vlieslage in der ersten Schicht strapazierfähiger ausrüstbar
Hersteller (beispielhaft)		Betonwerke im Allg.	Sto, Inno-X GmbH	Mapei, Sto				MC Bauchemie		Ceramiccoat Limited

Tabelle 2 - Gegenüberstellung Beschichtungstechnologien für Tunnelwände mit Anstrich- und Spachtelungstechnologien

22-30 Beläge

Allgemein gelten für den Belag im Tunnel die gleichen Richtlinien wie für den Einbau des Belags auf freier Strecke, z.B. der Los Angeles-Wert, PSV, usw.

Die **Gebrauchstauglichkeit von Belägen** in Straßentunneln wird in folgende Kriterien unterteilt, wobei die auf offenen Straßen geltenden Anforderung weiter bestand haben:

- **Helligkeit**

Die Helligkeit des Straßenbelags soll auch nach dauerhaftem Einsatz nicht durch Verschmutzung sinken. Gerade in Tunneln ist durch die nur künstlich vorhandene Wasserzufuhr eine geringere Selbstreinigung durch Regen zu erwarten.

- **Reflexionseigenschaften**

Die derzeitigen Oberbaumaßnahmen in Tunneln, wie beispielsweise im Tunnel Amras der A12, haben gezeigt, dass die nach RVS geforderten Werte der Leuchtdichte und Reflexionseigenschaften (siehe Beschreibung Handbuch) von Asphaltdecken bei $q_0 = 0,07 \text{ cd/m}^2\text{lx}$ im Neuzustand nicht erreicht wurden. Hierbei ist die Anmerkung erlaubt, dass die Reflexionseigenschaften von Betonfahrbahnen mit der Gebrauchsdauer abnehmen, da hier die Verschmutzung und Verklebung der Poren mit Staub und Straßendreck einsetzt. Bei Asphaltfahrbahnen ist, im Gegensatz hierzu, direkt nach dem Einbau eine dünne Bitumenschicht der abmindernde Faktor da diese sich wie ein Film über die reflektierende Zuschlagstoffe legt. Diese Schicht wird erst nach ca. 1 bis 3 Jahren soweit abgefahren, dass die volle Wirksamkeit der Reflexionseigenschaften

der Zuschlagstoffe einsetzt (Bocci, 2012). Da aber auch zum Zeitpunkt der Abnahme (in Österreich) die geforderten Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche schon gegeben sein müssen, werden verschiedene Verfahren angewandt um diesen Bitumenfilm oberflächlich zu beseitigen und die hellen Eigenschaften der Zuschläge und des Gesteins hervortreten zu lassen. In der Einhausung Amras kam das Sand-Kugelstrahlen zum Einsatz. Dieses legt durch Abrieb die Gesteinsoberfläche frei. Es entspricht einem Abtrag durch den Verkehr von ein bis zwei Jahren (allerdings gleichmäßig über die gesamte Fläche), bei einem Kostenansatz von ca. $2 - 3 \text{ €/m}^2$ (Wierer, 2012). Es handelt sich jedoch nicht um eine vorweggenommene Alterung des Belags.

- **Griffigkeit**
- **Verformungsresistenz**
- **Abriebfestigkeit**
- **Brandsicherheit**
- **Lebensdauer**

Im Folgenden werden die verschiedenen **Produktsysteme** nach den zuvor angeführten Kriterien bewertet. Anzumerken ist jedoch, dass nicht für alle aufgeführten Systeme bereits Erfahrungen vorliegen bzw. Informationen erhoben werden konnten. Für alle Systeme gilt, die Einbaubedingungen sind in unseren Breiten meist im Zeitraum zwischen Mai und Oktober gegeben.

Generell werden Tunnelbeläge als Beton- oder Asphaltfahrbahnen ausgeführt. Nach dem großen Tunnelunfall im Tauerntunnel (1999) mit

12 Toten, wurde der Einbau von Asphaltbelägen in Tunnelstrecken der Gefahrenklassen III und IV über 1000 m durch die RVS untersagt, es wurden seitdem Betonfahrbahnen eingebaut. Mit der Version vom 14. Dezember 2010 der RVS 09.01.23 wurde diese Regelung allerdings aufgehoben, da eine maßgebliche zusätzliche Brandlast durch Asphalteinbau nicht nachgewiesen werden konnte. Dies schafft nun die Möglichkeit Asphalt oder Betonfahrbahnen einzubauen. Eine Gegenüberstellung dieser beiden Möglichkeiten ist unter 12-12 Richtlinien im Handbuch dargestellt.

Die Bemessung erfolgt nach den geltenden Richtlinien und Grenzwerten für den Einbau auf freier Strecke. Es können zusätzlich Aufheller einbaut werden, diese haben nach (Meseberg, 2009) einen deutlichen monetären Vorteil. Eine Gegenüberstellung der Bauweisen ist in Kapitel 12-33 des Handbuchs dargestellt.

Der Einsatz von künstlichen oder natürlichen Aufhellern amortisiert sich schnell. Wenn nach dem Einbau nicht die gewünschte Helligkeit vorhanden ist, z.B. aufgrund von einer dünnen, oberflächlichen Bitumenschicht, so sollte diese mithilfe des Kugelstrahlverfahrens abgetragen werden.

Vor dem Einbau einer neuen Deckschicht muss die vorhandene Deckschicht abgetragen werden und durch Fräsen und nachfolgendes Strahlen derart vorbereitet werden, sodass ein sicherer Verbund über längere Zeit hergestellt werden kann. Offenporige Asphaltbeläge können auf den Einbau von Kratzspachtelungen oder Ausgleichschichten verzichten, da sie durch ihr Korngerüst Unebenheiten und erhöhte Rautiefen des Betonuntergrunds ausgleichen können (Dudenhöfer & Schumann, 2003). Es ist dennoch

eine Profilierung oder eine Membrane nötig um den Wasserablauf sicherzustellen.

Als Zuschlagstoffe sollten helle Gesteine verwendet werden, welche gleichzeitig den geforderten Werten (LA-Wert, PSV-Wert) entsprechen und möglichst aus regionalen Steinbrüchen stammen. Eine Untersuchung der für Erhaltungsmaßnahmen brauchbaren regionalen Gesteine ist in Kapitel 13-11 des Handbuchs zu entnehmen.

Für alle Belagsarten gilt, dass der Untergrund sich nicht setzen sollte. Daher ist bei Sanierungsmaßnahmen zu überprüfen, ob sich Risse auch in der Tragschicht fortpflanzen. In diesem Fall muss nicht nur die Deckschicht sondern der komplette Oberbau ausgetauscht werden, da sonst die Risse in kurzer Zeit wieder auftreten werden. Falls der Fahrbahnuntergrund Bewegungen ausgesetzt ist, sind Asphaltbauweisen vorzuziehen und Betonbauweisen zu vermeiden. Gussasphalt ist als komplett starres System daher für den Einbau von großen Flächen im Tunnel nicht geeignet.

Neben den rein baulichen Aspekten ist die Verkehrsführung während der Sanierung von Tunneln eine wichtige Frage. Bei Zweirichtungsverkehrstunnel ist es oft nötig eine halbseitige Bauausführung durchzuführen. Diese ist bei Asphaltbelägen leichter durchführbar als bei Betonfahrbahnen. Für kurze Tunnel wird Beton händisch eingebaut, wodurch eine halbseitige Sperrung möglich, jedoch aufwändig erscheint.

Helle Fahrbahnbeläge können in folgenden Bauweisen ausgeführt werden:

- **Betondecken Beläge**

Es wird eine ca. 20 cm dicke Betonschicht aufgebracht, bestehend aus Normalbeton mit 100% gebrochenem Anteil. Beim Einbau ist darauf zu achten, dass dieser im vollen Verbund steht und nicht auf einer Schotterschicht aufliegt, da es sonst zu einem Aufwölben der Plattenränder kommen kann, insbesondere an den Querfugen hervorgerufen durch die Feuchtigkeitsunterschiede an Ober- und Unterseite des Betons (Werner, www.betonstrassen.bvbe.ch, 2003). Zwischenfugen sind wartungsintensiv und gebrochene Zuschlagsstoffe können Probleme beim Einbringen in die Bewehrung hervorrufen. Der Unterbeton sollte abgefräst und schadhafte Stellen beseitigt werden. Die Möglichkeit diesen mit Weißpigment einzufärben ist gegeben. Die Dicke der Betondecke sollte mindestens 6 cm betragen. Probleme bei der Abnahme treten meist bei Griffigkeitsmessungen auf.

Als Vorteil der Betonfahrbahn ist neben der langen zu erwartenden Lebensdauer von bis zu 50 Jahren (bei einer Fugensanierung alle 20 Jahre) die sehr gute Leuchtdichte und die einfache Wiederherstellung durch Kugelstrahlen oder Hochdruckreinigen. Der Preis für den Einbau ist sicherlich höher als für Asphaltbeläge, kann sich aber durch die längere Lebensdauer amortisieren (ca. 45 – 50 €/m²). Für den Einbau ist eine Totalsperre sinnvoll.

- **Halbstarre Beläge**

Halbstarre Beläge können mit hellen Zuschlagstoffen wie rhyodazitischem Ignimbrit eingebaut und mit weißem Zementmörtel verfüllt werden. Hierfür ist auf Nordtiroler Seite bisher keine rechtliche Grundlage geschaffen, da der CEM I die Bedingungen für den Einbau in Straßen nicht erfüllt. Diese Bauweise wurde bereits im zweiten Testtunnel Naraun im Rahmen dieses Projektes iBBT getestet. Weiters wird dieser Belag zumeist auf Flughäfen, Bushaltestellen und Kreisverkehren eingebaut. Beim Einbau ist zu beachten, dass die Aushärtezeit des Zements deutlich länger ist und eine Nachbearbeitung dringend sehr sorgsam stattfinden muss. Die ersten Leuchtdichtemessungen für den Tunnel Naraun ergaben 13 cd/m² (Ausgangsgesteinsmessung nicht fertiger Einbau im Tunnel). Im Überlandbereich wird eine Lebensdauer von 15 Jahren erwartet, im Tunnel kann diese durch die fehlende UV-Strahlung höher liegen. Der Preis ist mit ca. 20 - 25 €/m² moderat.

- **Asphaltdecken**

Asphaltdecken können in den verschiedensten Varianten ausgeführt werden und werden meist in Dicken von 3 - 5 cm gefertigt:

- Mit hellen Zuschlagstoffen (wie rhyodazitischer Ignimbrit, oder hellem Granit, Kalk, welcher oft nicht polierresistent und daher ungeeignet ist)
- Bitumen gemäß ÖNORM 36.10 und RVS 08.97.05, farblosem Bitumen

oder synthetischem eingefärbtem Binde-mittel.

Zu beachten ist hierbei, dass für spezielle Bitumen die Fertiger und Asphaltmischanlagen vor dem Nutzen komplett gereinigt werden müssen. Synthetische Bindemittel haben (nach Kapitel 14-10 im Handbuch) eine längere Abkühlzeit und der Abrieb erfolgt schneller sodass die Gesteinsfarbe schneller hervortritt. Falls kein spezielles Bitumen eingesetzt wird kann mit Kugelstrahlen das helle Gestein freigelegt werden. Beim Einsatz von sauren Gesteinen kann der Einsatz von Bitumenhaftmitteln nach RVS 08.97.05 erforderlich werden.

Ausgeführt wurden Asphaltbeläge in vielen Tunneln. Unter Verwendung von farblosem Bitumen u. a. im ersten Test-tunnel iBBT in Naraun (siehe Kapitel 14-11 im Handbuch).

Helle Splittmastixasphalte können mit polymermodifiziertem Bitumen in Zusammenspiel mit hellem Taunusquarzit oder Flint und Luxovite ausgeführt werden. Eingebaut wurde diese bereits in München, im Bareggtunnel und Kappelbergtunnel. Die Lebensdauer des SMA kann mit über 20 Jahren angegeben werden. Sie wird wie eine herkömmliche SMA eingebaut mit Schichtdicken über 3 cm. Die oberste Schicht wird in Deutschland mit entstaubtem, nicht bituminiertem Edelsplitt abgesplittet, in Österreich ist dies nach RVS 08.97.05 nicht der Fall.

Offenporiger Asphalt ist aufgrund der Brandgefahr bisher in Tunneln nicht

erlaubt (Brennbare Flüssigkeiten können in den Poren innerhalb des Fahrbahnbelages weitersickern und sind nicht löslich oder absaugbar / mit Sand erstickbar).

- **Dünnschichtbelag, heiß im Verbund**

Diese Belagstechnologie kann mit farblosem polymermodifiziertem Bitumen eingebaut werden. Es kam im Tunnel Gräfelfing bereits zur Anwendung, wie unter Kapitel 12-33 im Handbuch beschrieben wird. Dort werden auch nach 3 Jahren Betrieb weiterhin gute Helligkeitswerte erbracht. (Autobahndirektion Südbayern, 2012)

- **Dünnschichtbelag, kalt**

Die Technologie des Dünnschichtbelags kalt, wurde bisher zumeist im Freibereich eingesetzt. Für die Anwendung im Tunnel sollte heller Split verwendet werden und, wenn möglich, farbloses Bitumen. Unter Verwendung von Normalbitumen wurde DDK bereits im Tunnel zur Erhöhung der Griffigkeit eingebaut. Als Problem kann eine unzureichende Verdichtung und Verklebung genannt werden. Diese kommt zustande da zur Aushärtung des Belages höhere Temperaturen erforderlich sind diese aber in Tunneln nicht erreicht werden und der Belag somit nicht vollständig aushärten kann. Auch kann bei normal-Bitumen nach Abfahren des Grobkorns die Farbe der Mastix überwiegen und somit eine Verdunklung des Belags zur Folge haben.

- **Gussasphalt**

Gussasphalt wurde bisher in einigen wenigen Tunnel eingebaut. Er wird, wie

auch SMA, mit Edelsplitt abgesplittet. Es stellt sich aber heraus, dass sehr laute Fahrgeräusche vorhanden waren und die Reflexionswerte nicht erreicht wurden. Als weiteres Problem kann durch die sehr starre Ausführung dieses Belags entstehen indem bei den geringsten Bewegungen im Untergrund bereits Brüche in der Fahrbahn auftreten können. Auch muss der erhöhte Aufwand zur Einarbeitung von Kanaldeckeln und anderen Unterbrechungen der Fahrbahndecke beachtet werden.

- **White-Topping**

Die Technologie des White-topping wird in Tunneln bisher selten eingebaut, da durch diese Technologie die Fugenproblematik in den Vordergrund treten kann, und zum Einbau eine Totalsperre vorliegen muss. (Werner, Gespräche zu Betonbelägen in Tunnel, 2014)

22-40 Einleitung zu den ausgewählten Beläge für den Einbau in Südtirol

Im Rahmen dieses Projektes werden von Seiten der Autonomen Provinz Bozen u. a. die mechanischen und photometrischen Eigenschaften heller Verschleißschichten im Tunnelbau untersucht, um einerseits Energiekosten durch eine geeignete Beleuchtung einzusparen, andererseits die Sicherheitsbedingungen im Tunnelbereich zu verbessern.

Die untersuchten Projektlösungen führen zu zwei verschiedenen Arten von Verschleißschicht:

- 1) Realisierung einer hellen, geschlossenen Deckschicht, hergestellt mit hellen Zuschlagstoffen und **durchsichtigem Bitumen** (Abb. 1)
- 2) Einbau einer **halbstarren Deckschicht** welche mittels eines Drainasphaltes mit hoher Porosität ausgeführt wird, dessen Hohlräume mit einem weißen, hochfließfähigen Zementmörtel verfüllt werden (Abb. 2).



Abb. 1 - Verschleißschicht mit hellen Zuschlagstoffen und durchsichtigem Bitumen

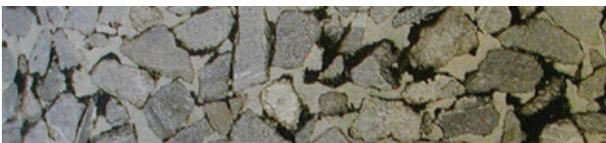


Abb. 2 - Halbstarre Deckschicht (Drainasphalt mit weißem Zementmörtel verfüllt)

Die zwei verschiedenen Straßenbeläge wurden in zwei nebeneinander liegenden Tunneln in der Ortschaft Naraun innerhalb der Gemeinde Tisens auf der S.S. 238 Gampenpass eingebaut.

Aus organisatorischen und arbeitstechnischen Gründen erfolgte der Einbau der Deckschicht mit durchsichtigem Bitumen im Juli 2012, während der Einbau des mit hellem Zementmörtel verfüllten Drainasphaltes im Juli 2013 ausgeführt wurde.

Die Charakterisierung der Zuschlagstoffe, das Projekt der Mischungen, die Kontrollen während der Ausführung der Arbeiten und das darauffolgende Monitoring wurden vom Asphaltlabor des Amtes für Geologie und Baustoffprüfung der Autonomen Provinz Bozen und dem Straßenbaulabor der Università Politecnica delle Marche (Ancona) durchgeführt.

22-41 Helle Beläge im Tunnelbau

In den letzten Jahren wurde das Interesse an hellen Asphaltdeckschichten immer größer, um Einsparungen von Beleuchtungsenergie und Erhöhung der Sicherheit im Tunnelbereich zu erreichen. Diese Vorteile liegen in den photometrischen Eigenschaften der hellen Deckschichten. Laut Angaben der European Asphalt Pavement Association (EAPA) haben helle Beläge gegenüber "schwarzen" bessere Eigenschaften bei der Leuchtdichte (Fähigkeit Lichtwellen zu reflektieren) und bieten außerdem einen höheren Kontrast zur horizontalen Straßenmarkierung (European Asphalt Pavement Association, 2008). Jüngste experimentelle Messungen sprechen von einer Einsparung der Beleuchtungsenergie von 30% bis zu 40% bei hellen Deckschichten (St-Jacques M., Brosseau Y, 2006).

Wie bekannt ist, erfährt die Straßenoberfläche durch die Wirkung der Autoreifen der Fahrzeuge einen Verschleiß. Schon wenige Monate nach dem Einbau ist der Bitumenfilm soweit

abgetragen, dass die Oberfläche der Gesteinskörnungen sichtbar ist. Das restliche Bindemittel findet sich in Form von Asphaltmörtel (Bindemittel, Füller, Feinanteile des Sandes) oder von Asphaltmastix (Bindemittel und Füller) in den Zwischenräumen der größeren Körner. Die Geschwindigkeit dieses Prozesses hängt von den Eigenschaften der Zuschlagstoffe und von der Qualität der eingesetzten Bindemittel ab. Daraus folgt, dass die mehr oder weniger helle Farbe des Belages, vorwiegend von der Farbe der Zuschlagstoffe und des Bindemittels abhängt.

Zur Herstellung heller Straßenbeläge müssen demnach helle Zuschlagstoffe und ein helles Bindemittel eingesetzt werden.

Was die Mineralstoffe betrifft, so hängt ihre Wahl von ihrer Auffindbarkeit in der Umgebung und von den Transportwegen ab, beim Bindemittel ist sie komplexer.

In den Ländern die traditionsgemäß mit Betonfahrbahnen arbeiten, wird das Bindemittel unter verschiedenen Zementtypen ausgesucht. Die Betonfahrbahn garantiert neben einer langen Lebensdauer auch eine ausgeprägte Feuerfestigkeit, die im Falle eines Brandes von Vorteil ist. Demgegenüber stehen der höhere Bauaufwand und die hohen Instandhaltungskosten für die Erhaltung der Oberflächenrauigkeit.

Im Bereich der flexiblen Fahrbeläge fällt die Bindemittelwahl entweder auf Bitumen mit geringem Aphaltenegehalt oder auf die künstlichen, bernsteinfarbene, helle Harze.

Die Einführung heller Bindemittel hat ihren Ursprung im Bedürfnis, die Straßenbeläge in die Umgebung, innerhalb der Städte aber auch auf dem Land, harmonisch einzugliedern, um somit die optischen Auswirkungen auf Umgebungen mit

großem Natur- oder geschichtlichem Denkmalwert zu minimieren, was bei den traditionellen dunklen Straßenbelägen nicht der Fall ist.

Die **photometrischen Eigenschaften** einer hellen, flexiblen Fahrbahn hängen von folgenden Faktoren ab:

- Art des Bindemittels - aufgrund der Chemie und der Herstellungstechnologie, können entasphaltensierte Bindemittel, verschiedene Klarheit, Leuchtkraft und Tonart haben.
- Vorhandensein von Pigmenten (Titandioxid) oder weißem Füller (hydrierter Kalk) die dem Mastix Bitumen-Füller eine sehr helle Farbe geben.
- Art der Zuschlagstoffe: Zuschlagstoffe unterschiedlicher mineralogischer Herkunft, mit unterschiedlichen Farben, die die Leuchtdichte der Fahrbahn in Abhängigkeit der Durchsichtigkeits-eigenschaften des Bindemittels, beeinflussen.
- Art der Mischung der Zuschlagstoffe: (herkömmliche, sandreiche Verschleißschichten) und Splittmastixasphaltschichten nehmen verschiedene Farbtonarten aufgrund der unterschiedlichen Körnungskurve (hauptsächlich im Feinbereich) und aufgrund des verschiedenen Gehaltes von Bindemittel an.

Halbstarre Deckschichten sind die Alternative zu den starren und zu den flexiblen Fahrbahnbelägen.

Es handelt sich dabei um ein bitumengebundenes Traggerüst mit einem sehr hohen Hohlraumgehalt (25 bis 30%), dessen

Hohlräume mit einem hochfließfähigen, faserverstärkten, hellen Mörtel ausgefüllt werden.

Dieses Verfahren hat folgende Vorteile:

- Die Einbauphasen der Deckschicht (Einbau des Drainasphaltes und dessen Verfüllung mit Zementmörtel) sind einfach und schnell ausgeführt;
- das Problem der Längsfugen wird ausgeschaltet. Durch die Verwendung eines bituminösen Traggerüstes wird die thermische Rissbildung verhindert;
- der Oberbau ist sehr leistungsfähig da das Material sowohl die Flexibilität und Duktilität des bituminösen Mischgutes als auch die Steifheit des Betons aufweist;
- die helle Farbe des Belages bleibt im Laufe der Zeit erhalten, da der Zementmörtel in den Zwischenräumen der groben Zuschlagstoffe verbleibt.

23-11 Die Labortätigkeiten für die Ermittlung der Zuschlagstoffe

Die zeitlichen Rahmenbedingungen zur Ermittlung der Zuschlagstoffe

Die Suche nach geeigneten hellen Gesteinen für die Verwendung als grobkörnige Zuschlagstoffe im Asphaltmischgut unterteilt sich in zwei Abschnitten, in denen die Prüfverfahren für die Bestimmung der mechanischen und physikalischen, thermischen und photometrischen Eigenschaften ermittelt wurden.

Um die vom Projekt vorgesehenen Zeiten einhalten zu können und um das Versuchsprogramm zu kalibrieren, wurden in einer ersten Vorauswahl vier Gesteinstypen bestimmt: der Graue Porphyry und der Diorit von Atzwang, teilweise schon in Verwendung; der Brixner Granit des Brenner Basistunnels und der umbrische Basalt als Referenzgestein.

Anschließend wurde die Suche bis auf 21 verschiedene Gesteinsarten ausgeweitet. Die einzelnen Bezeichnungen sind in der Übersicht der Ergebnisse angeführt (siehe Seite 22).

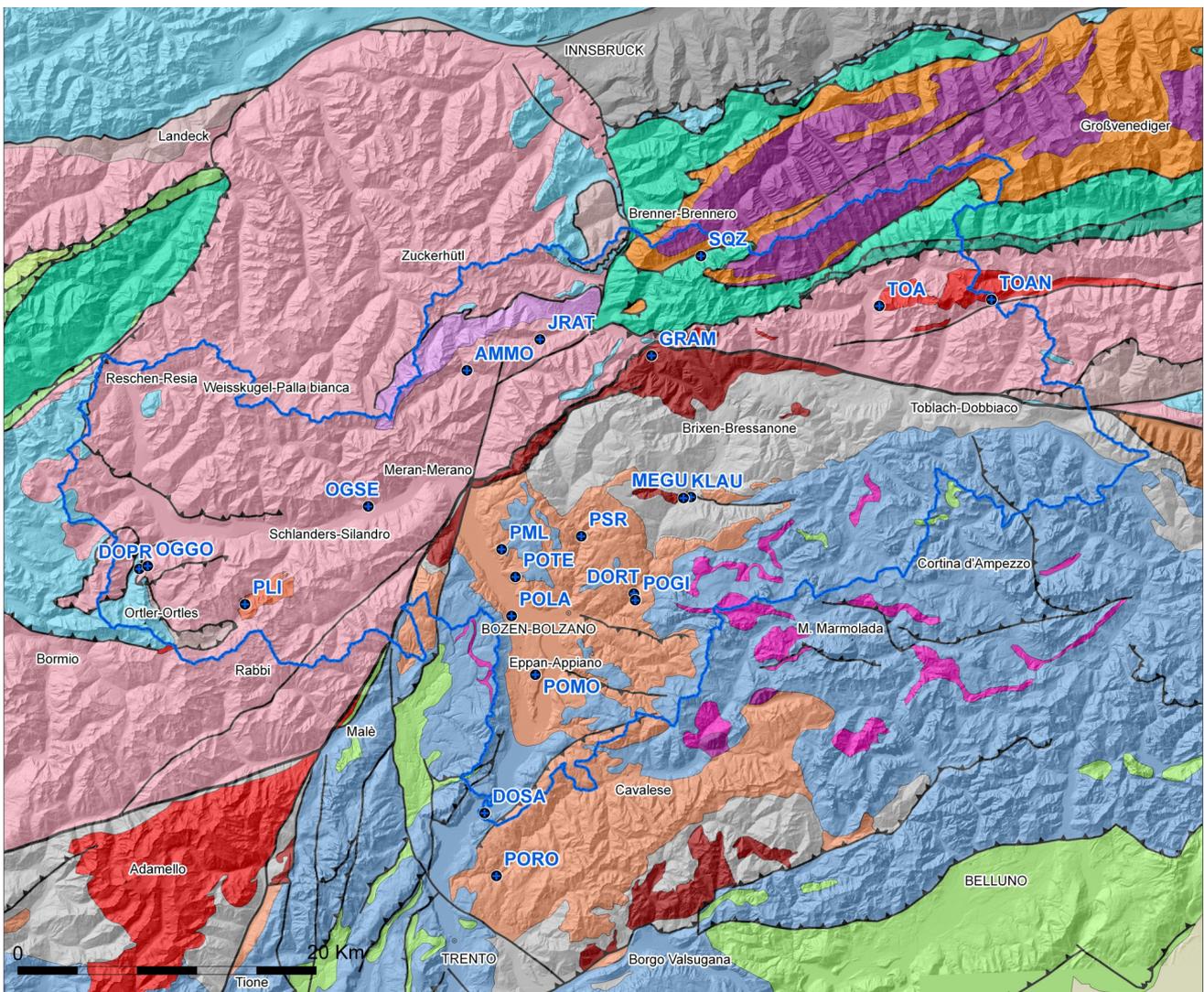


Abb. 3 - Geographische Übersicht der Gesteinsproben auf der geologischen Karte

Die Standorte für die Entnahme der Gesteinsproben

Die Standorte für die Entnahme der Gesteinsproben sind in Abbildung 3 dargestellt, diese befinden sich in Südtirol und im Trentino.

Beschreibung der durchgeführten Prüfverfahren

Die durchgeführten Prüfverfahren lassen sich wie folgend zusammenfassen und sind im Kapitel 13-11 des Handbuches beschrieben:

- Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen
 - Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung nach EN 1097-2 Los Angeles
 - Bestimmung des Polierwertes nach EN 1097-8 PSV, CLA
- Bestimmung der Affinität zwischen Bitumen und Zuschlagstoff (Haftprüfung nach CNR 138)
- Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen (Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel nach EN 1367-1)
- Bestimmung der photometrischen Eigenschaften von Gesteinskörnungen

Die Grenzwerte für die ideale Gesteinskörnung

Die Versuchsreihe der Prüfverfahren wurde in mehrere Arbeitsschritte unterteilt. Nach Erreichen eines vorher festgelegten Grenzwertes wurde das Material weiteren Untersuchungen unterzogen.

Als Parameter wurden folgende Grenzwerte ausgewählt:

- Widerstand gegen Zertrümmerung LA < 30%
- Polierwert PSV/CLA > 45 BPN
- Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel F < 1%
- Leuchtdichte L > 8 cd/m²

Interpretation der Prüfergebnisse

Aus den durchgeführten Prüfverfahren geht hervor, dass die mechanischen und thermischen Eigenschaften jedes untersuchten Gesteinstyps nicht nur von der Art der Gesteinsbildung, den Verwitterungsprozessen und den erlittenen tektonischen Deformationen, sondern auch vom Standort des geologischen Aufschlusses, der Entnahmemodalität und der Vorbereitung der Prüfkörper abhängen.

Die Ergebnisse der durchgeführten Prüfverfahren zur Ermittlung der idealen Gesteinskörnung als Zuschlagstoff in hellen Asphaltbelägen

N.	Denominazione / Bezeichnung	Sigla / Kürzel	LA (EN 1097-2) [%]	PSV (EN 1097-8) [BPN]	F gelività / Frost-Tau-Wechsel (EN 1367-1)	LA' gelività / F-T-W (EN 1097-2) [%]	Luminanza / Leuchtdichte [cd/m2]		Spogliamento a 40°C con e senza attivanti / Haftverlust bei 40°C mit und ohne Haftanreger (CNR138) [%]		Descrizione petrografica / Petrographische Bezeichnung	Provenienza / Herkunft	AQD (IBBT) aggregate quality designation = LA (-30%) + PSV (60%) + Ldry (10%)
							dry	wet	con / mit	senza / ohne			
1	Porfido Grigio Campodazzo / Grauer Porphyrt Atzwang	POGI	13	50	0,2	14	13,2	4,7	0	0	Ignimbrite riocattolica Rhyodazitische Ignimbrite	Campodazzo / Atzwang	27,4
2	Klausenite / Klausenit	KLAU	12	49	0,3	12	12,1	5,9	0	0	Dorite diorit	Chiusa / Klausen	27,0
3	Porfido Sarentino / Sarner Porphyrt	PSR	18	51	0,2	18	15	3,1	1	0	Ignimbrite riolitica Rhyolitische Ignimbrite	Val Sarentino / Sarntal	26,7
4	Lava andesitica Campodazzo / Andesitische Lava Atzwang	DORT	12	46	0,3	12	14,4	4,5	0	0	Lava andesitica Andesitische Lava	Campodazzo / Atzwang	25,4
5	Profido rosso Val di Cembra / Roter Porphyrt Cembratal	PORO	18	49	0,11	18	12,9	4,1	10	0	Ignimbrite riolitica Rhyolitische Ignimbrite	Val di Cembra / Cembratal	25,3
6	Granito Bressanone / Brixner Granit	GRAM GRAD GRAB	30	52	0,2	30	22,4	11,7	5	0	Granito Granit	Mules / Mauls	24,4
7	Metagabbro Gudon / Metagabbro Gufidaun	MEGU	30	52	0,4	31	8,0	2,6	0	0	Metagabbro Metagabbro	Gudon / Gufidaun	23,0
8	Tonalite Anterselva / Tonalit Antholzertal	TOAN	26	48	0,16	29	19,3	10	30	10 *	Tonalite Tonalit	Anterselva / Antholzertal	22,9
9	Ortogneiss Trus / Orthogneiss Trus	OGGO	25	46	0,1	28	14,5	5,8	0	0	Ortogneiss Orthogneiss	Stelvio / Stilfs	21,6
10	Granito Val Martello / Marteller Granit	PLI	34	49	0,2	36	23,1	12,4	0	0	Granito Granit	Val Martello / Martellital	21,5
11	Porfido Mellina / Möltner Porphyrt	PML	23	56	1,5	24	8,8	2,4	55	3	Ignimbrite riocattolica Rhyodazitische Ignimbrite	Mellina / Mölten	27,6
12	Ortogneiss Val Senales / Orthogneiss Schnalstal	OGSE	27	46	0,2	32	11,9	4,2	5	1	Ortogneiss Orthogneiss	Val Senales / Schnalstal	20,7
13	Dolomia Salorno / Dolomit Salurn	DOSA	19	39	-	-	20,7	15,2	-	-	Dolomia Dolomit	Salorno / Salurn	19,8
14	Dolomia Prato / Dolomit Prad	DOPR	21	36	0,08	21	9,1	3,1	0	0	Dolomia Dolomit	Prato a. Stelvio / Prad a. Stj.	16,2
15	Porfido Monticolo / Montiggler Porphyrt	POMO	25	38	0,37	25	8,5	3,5	80	0	Ignimbrite riocattolica Rhyodazitische Ignimbrite	Appiano / Eppan	16,2
16	Anfibolite Moso / Amphibolit Moos	AMMO	29	40	0,2	30	6,3	1,3	0	0	Anfibolite Amphibolit	Moso in Passiria / Moos in Passeier	15,9
17	Lava Adriano / Lava Andrian	POLA	32	37	1,34	32	12,6	5,7	-	-	Lava riolitica Rhyolitische Lava	Andriano / Andrian	13,9
18	Marmo Racines / Marmor Ratschings	JRAT	53	36	-	-	41,6	30,7	-	-	Marmo Marmor	Racines / Ratschings	9,9
19	Quarzite argentea Val di Vizze / Pflitscher Silberquarzit	SQZ	37	38	-	-	-	-	8	-	Quarzite Quarzit	Val di Vizze / Pflitscher Tal	-
20	Profido Terlano / Terlaner Porphyrt	POTE	35	-	-	-	-	-	-	-	Lava riolitica Rhyolitische Lava	Terlano / Terlan	-
21	Tonalite Val Aurina / Tonalit Ahrntal	TOA	37	-	-	-	-	-	-	-	Tonalite Tonalit	Val Aurina / Ahrntal	-

Valori limiti / Grenzwerte	I.cats23 II.cat. 23xsx25	I.cats42 II.cat. 40xsx42	≤1%				0	0
-----------------------------------	--------------------------	--------------------------	-----	--	--	--	---	---

Idoneità per l'impiego come aggregato per conglomerati bituminosi
Verwendbarkeit als Zuschlagstoff für Asphaltmischgut

# Utilizzabile / Verwendbar	# Valore determinante per la non idoneità / Ausschliessender Wert für die Verwendbarkeit	# * Possibilità di ripetizione prova con attivante di adesione differente / Möglichkeit Probe mit anderen Haftanreger zu wiederholen
# Utilizzabile dal 2014 / Seit 2014 verwendbar	# Valore determinato nel Laboratorio di Strade Università Ancona / Ermittelter Wert im Straßenbaulabor der Universität Ancona	- Prova non eseguita a causa della non idoneità dei risultati delle prove precedenti / Probe nicht durchgeführt aufgrund unzureichender Ergebnisse vorheriger Proben
# Non utilizzabile / Nicht verwendbar	# Valore determinato nel laboratorio Ufficio Geologia e Prove Materiali / Ermittelter Wert Labor Amt für Geologie und Baustoffprüfung	AQD Valore sommatorio sviluppato nell'ambito del progetto IBT per indicare la qualità delle rocce / Für das Projekt IBT entwickelter Sammelwert für die Gesteinsgüte



Progetto iBBT (ID 5273-172)
 Innovative Beläge und
 Beleuchtung für Tunnel



Progetto iBBT (ID 5273-172)
 Pavimentazione, rivestimenti e
 illuminazione innovativi per gallerie

23-11

Auswahl der Zuschlagstoffe

Seite 22 von 70

23-12 Ermittlung der Materialien und Untersuchungen des Mischgutes

Nachdem die zwei Arten der helle Straßenbeläge ausgewählt wurden, wird mithilfe eines vorbestimmten Versuchsprogramms die Charakterisierung der Materialien für das Projekt des Mischgutes, welches sowohl das Ziel der hellen Beläge verfolgt, als auch die üblichen Voraussetzungen der Dauerhaftigkeit (mechanische Resistenz) und Sicherheit (Gleichmäßigkeit und Griffigkeit) von Straßenbelägen erfüllt, durchgeführt.

Einige Untersuchungen, wie jene für die Ermittlung der in Südtirol anzutreffenden hellen Zuschlagstoffe, wurden für beide Belagsarten ausgeführt, andere wurden spezifisch auf die vorgeschlagenen Lösungen angepasst.

Zusammenfassung des Programms und die dazugehörigen Normen findet man im Kapitel 13-12 des Handbuchs.

Für die Ermittlung des Grobkorns (Siebrückstand 4mm) wurden die folgende Parameter berücksichtigt: Zertrümmerungswiderstand und Polierwert.

Als Feinkorn wurde immer derselbe helle Kalksand verwendet.

Für die Realisierung der Labormischungen (bituminöses Mischgut) wurde das Mischungsverhältnis der einzelnen Körnungen laut den Körnungsbegrenzungskurven der technischen Richtlinien für bituminöse Beläge der Autonomen Provinz Bozen verwendet. (Tabelle 3 und Abb. 4)

23-13 Forschungsprogramm

Die Aufgabe des Forschungsprogramms für die zwei zu realisierenden hellen Straßenbeläge war die Identifizierung der optimalen Lösungen für die Verwendung der verschiedenen Gesteinstypen als Zuschlagsstoff, dem Bindemittel, der Mischgutart, des Füllers und dem Anteil an Titandioxid (TiO₂) als Farbpigment, bezogen auf das Mischgut. Die

Art der Verschleiß-Schicht	Art des Grob-Korns	Korngrößen									
		Porphyry 8/12	Porphyry 4/8	Basalt 8/12	Basalt 4/8	Diorit 8/12	Diorit 4/8	Granit 8/12	Granit 4/8	Kalksand	Füller
Geschlossene Verschleißschicht	Porphyry	35 %	17 %	-	-	-	-	-	-	43 %	5 %
	Basalt	-	-	2 %	48 %	-	-	-	-	45 %	5 %
	Diorit	-	-	-	-	30 %	22 %	-	-	43 %	5 %
	Granit	-	-	-	-	-	-	35 %	17 %	43 %	5 %
Drainasphalt	Porphyry	78 %	5 %	-	-	-	-	-	-	15 %	2 %
	Basalt	-	-	39 %	45 %	-	-	-	-	14 %	2 %
	Diorit	-	-	-	-	68 %	17 %	-	-	13 %	2 %
	Granit	-	-	-	-	-	-	65 %	20 %	13 %	2 %

Tabelle 3 - Proportionierung der einzelnen Korngrößen

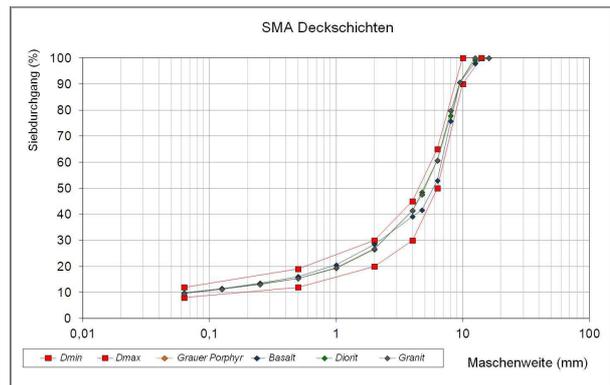
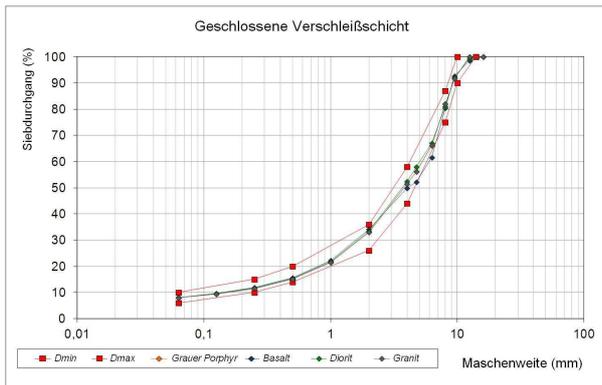


Abb. 4 - Körnungskurven für helle geschlossene Verschleißschichten und Drainasphalt

In der folgenden Tabelle 4 sind die wichtigsten Eigenschaften der untersuchten Materialien angeführt: Abplattungsindex, Formindex, Raumdichte, Wasseradsorption, Widerstand gegen Zertrümmerung (Los Angeles) und Polierwert (PSV, CLA).

können. Die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen sind in der Tabelle 5 angeführt.

Auf denselben Zuschlagstoffen wurden im Labor Leuchtdichtemessungen vom trockenen und vom nassen Material durchgeführt, um den Einfluss auf die Helligkeit der Verschleißschicht bestimmen zu

Kennwerte	Prüfmethode	Einheit	Grauer Porphyr	Basalt	Diorit	Granit	Kalksand
Raumdichte	EN 1097-6	[g / cm ³]	2,67	2,76	2,71	2,68	2,73
Wasseradsorption	EN 1097-6	%	1,42	1,54	1,61	0,78	1,71
Widerstand gegen Zertrümmerung (Los Angeles)	EN 1097-2	%	17	13	14	34	/
Polierwert (PSV, CLA)	EN 1097-8	BPN	50	51	46	52	/

Tabelle 4 - Mechanische Eigenschaften der Zuschlagstoffe

Kennwerte	Einheit	Grauer Porphyr	Basalt	Diorit	Granit
Leuchtdichte – trockenes Material	cd/m ²	69,3	55,7	54,9	125,1
Leuchtdichte – nasses Material	cd/m ²	21,8	11	20,4	75,1

Tabelle 5 - Leuchtdichteigenschaften der Zuschlagstoffe

23-14 Beschreibung der Bindemittel

Zwei Bindemittel der Firma Total wurden analysiert: Kromatis und Biokromatis.

Kromatis ist ein Bitumen, dem die Asphaltene entzogen wurden und dem elastomerische Polymere hinzugegeben wurden. Biokromatis wird



Abb. 5 - Kromatis



Abb. 6 - Biokromatis

mit demselben Verfahren des Kromatis hergestellt, die aromatischen Bestandteile werden dabei allerdings durch pflanzliche Öle ersetzt. Dies ermöglicht, ein helleres und durchsichtigeres Bindemittel zu gewinnen (Abb. 5 und Abb. 6).

Die Ergebnisse der ausgeführten Proben für die durchsichtigen Bitumentypen finden sich im Kapitel 13-12 des Handbuchs.

23-15 Photometrische Eigenschaften

Um die Reflexionsfähigkeiten der hellen Beläge quantitativ erfassen zu können, wurden verschiedene photometrische Größen verwendet: Leuchtdichte (L), Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion (R_L), Leuchtdichtekoeffizient (Kontrastgütekoeffizient) bei diffuser Beleuchtung (Q_d) und Leuchtdichtefaktor β .



Abb. 7 - Roller Compactor

Um die Wirkung der Abtragung des oberflächlichen Bitumenfilms unter Verkehrseinwirkung erfassen zu können, wurden die Leuchtdichtemessungen sowohl auf dem gerade verdichteten Probekörper als auch auf Probekörpern durchgeführt, die einer mechanischen Aufrauung (Sandstrahlen) unterzogen wurden.



Abb. 8 - Verdichtete Platte

In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Untersuchungen der Asphaltplatten (300 mm x 300 mm) angeführt, die im Labor hergestellt wurden.

Es ist zu beachten, dass sich die Ergebnisse auf frisch hergestelltes Mischgut beziehen und die Zuschlagstoffe noch mit Bitumen bedeckt sind. Dies senkt die Werte des mit herkömmlichem

Mischung	Bindemittel	Füller	Zuschlag	L [cd·m ⁻²]	R _L [mcd·m ⁻² ·lux ⁻¹]	Q _d [mcd·m ⁻² ·lux ⁻¹]	β [-]
Verschleiß. geschlossen	Kromatis	Omya + 0,5% TiO ₂	Grauer Porphy	20,36	15,6	79,8	25,0
Drainasph ausgefüllt.	Bitumen traditionell	Werk.	Grauer Porphy	40,95	47,1	174,5	54,6

Tabelle 6 - Ergebnisse der Leuchtdichtemessungen im Labor

Die nachfolgenden Graphiken vergleichen die Leuchtdichten der verschiedenen Mischungen. Aus der Abb. 9 ist Folgendes ersichtlich:

- Bei hellem Asphalt ist die Leuchtdichte drei Mal so hoch als die Leuchtdichte eines traditionellen Asphaltes;
- Von den vier verschiedenen Zuschlagstoffen besitzt der Granit eine etwas höhere Leuchtdichte, im Vergleich zu den anderen geprüften Mineralstoffen;
- Helle, geschlossene Verschleißschichten haben bessere Leuchtdichtewerte im Vergleich zum Splittmastixasphalt aufgrund des höheren, hellen Sandanteils (Kalksand);
- Die Anwendung von Kalkfüller (Calfill) anstelle des Restfüllers hat auf die Leuchtdichte der Mischung keinen Einfluss;
- Halbstarre Verschleißschichten haben einen bedeutend höheren Leuchtdichtewert im Vergleich zu den hellen Asphaltbelägen, da nach Ausfüllung der Hohlräume der sehr helle, weiße Mörtelfilm die Steine überdeckt. Dieser wird aber ziemlich rasch durch den Verkehr wieder abgetragen.

schwarzen Bitumen hergestellten Asphalt und favorisiert die halbstarre Deckschicht, bei der der zum Verfüllen verwendete Zementmörtel fast die gesamte Oberfläche der Zuschlagstoffe bedeckt.

In den Abbildungen 10 und 11 sieht man jeweils den Einfluss des Bindemittels Biokromatis im Vergleich zum Kromatis und der Zugabe des Füllers Omya (alternativ zu Calfill) und des Titandioxids (1,5 Gew.% TiO₂ auf Bindemittelgehalt).

Aus der Abbildung 10 ist ersichtlich, dass das Bindemittel Biokromatis im Vergleich zum Bindemittel Kromatis, unabhängig vom Füllertyp (Restfüller oder Calfill) und von der Art der Schicht (geschlossene Verschleißschicht oder Splittmastix), bessere Leuchtdichtewerte aufweist. Aus Abb. 11 geht hervor, dass der Füller Omya, bessere Leuchtdichtewerte als der Füller Calfill aufweist.

Diese Werte lassen sich durch die Zugabe von kleinen Mengen an Titandioxid (1,5% auf Bindemittelgehalt) verbessern.

Abb. 12 zeigt den Verlauf der Leuchtdichte bei unterschiedlichen Gehalten an Titandioxid. Bei steigendem Titandioxidgehalt nimmt die Leuchtdichte einen asymptotischen

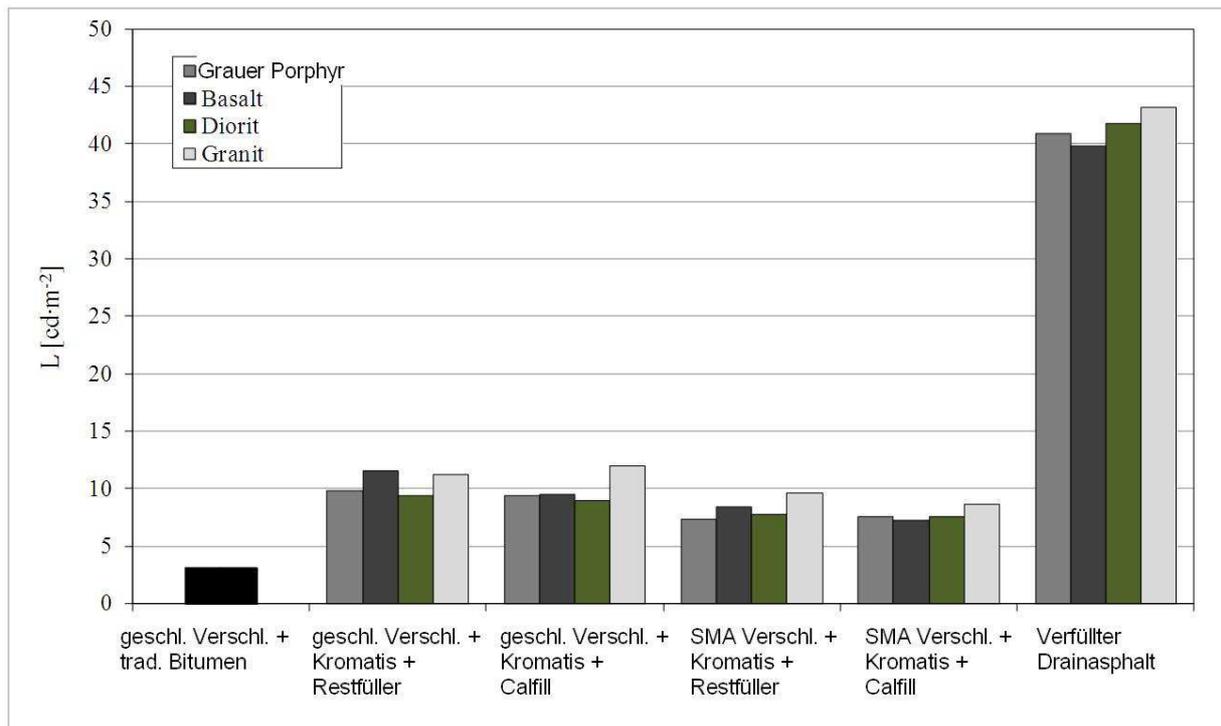


Abb. 9 - Ergebnisse der Leuchtdichtemessungen

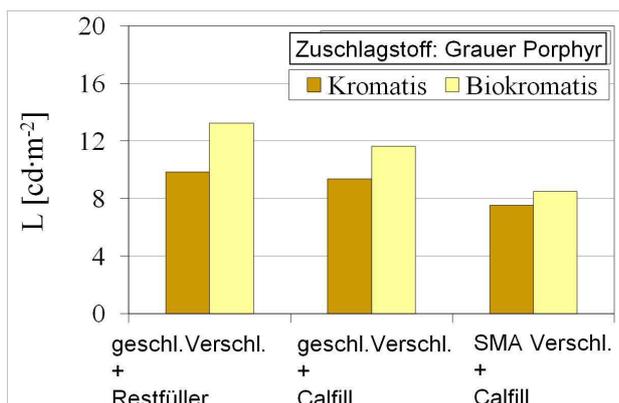


Abb. 10 - Einfluss des Bindemittels Biokromatis

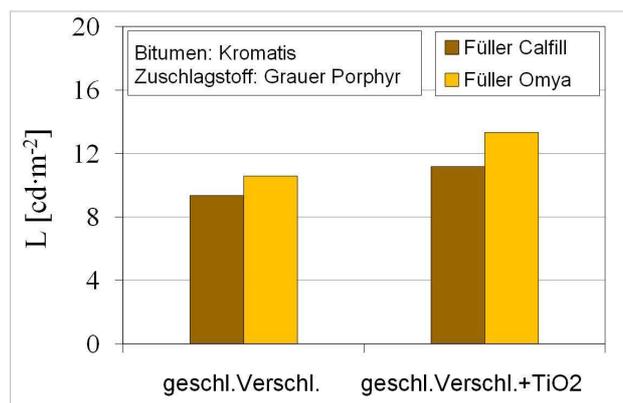


Abb. 11 - Einfluss des Füllers Omya und von TiO2

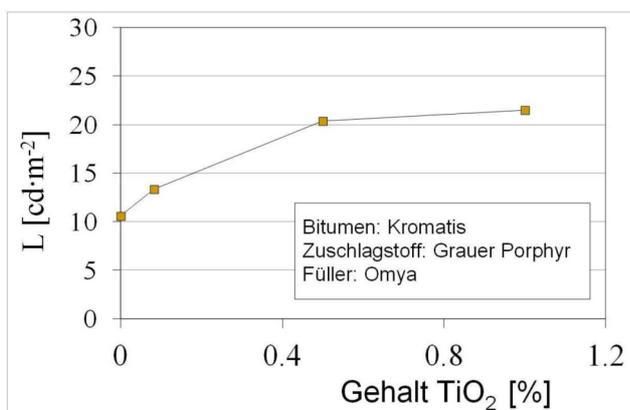


Abb. 12 - Leuchtdichte bei verschiedenem Gehalt an TiO₂

ein Gehalt an Titandioxid von 0,5 Gew.% auf den Zuschlagstoffen ausreichend ist, um optimale Leuchtdichtewerte zu erzielen.

23-16 SHRP Projekt der Mischung

Nach Auswertung der Ergebnisse der Prüfungen der Zuschlagstoffe und Bindemittel, der Lichtdichtemessungen der unterschiedlichen Mischungen und unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Materialien sowie anderer Aspekte technischer und wirtschaftlicher Natur, wurde für den Einbau der hellen Asphaltsschicht im Tunnel eine **geschlossene Verschleißschicht** mit Zuschlagstoffen aus **Grauem Porphy** und **Kalksand** und einem Bindemittel des Typs **Kromatis** gewählt.

Der Bindemittelgehalt wurde mittels volumetrischer Eignungsprüfung nach SHRP Methode (*Strategic Highway Research Program*) bestimmt. Diese Eignungsprüfung wurde mit den beiden Füllern Typ Calfill und Typ Omya durchgeführt.

Als Erstes wurde die Projektkurve korrigiert, indem man den Fülleranteil erhöht hat. Man wollte damit eine höhere Steifheit und Stabilität des bituminösen Mischgutes erzielen, da Mischungen mit durchsichtigem Bitumen bei mittleren Betriebstemperaturen für Füller/Bitumenverhältnisse unter 1,5 stark verformbar sind.

In der Tabelle 7 und in der Abb. 13 ist die im Projekt verwendete Körnungskurve angeführt.

Die SHRP-Eignungsprüfung (*Strategic Highway Research Program*) wird in 5 Phasen unterteilt:

- Definition der Anfangsumdrehungen N_{init} , der Projektumdrehungen N_{des} und der Endumdrehungen N_{max} der Gyratorpresse für die Verdichtung der Probekörper;

d [mm]	Siebe	Korngrößen der einzelnen Bestandteile				Mischungs-kurve
		Porphy 6/12 G _c 90/20	Porphy 4/8 G _c 85/35	Kalksand 0/4 G _f 85	Füller	
16	Sieb	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
12,5	Sieb	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
9,5	Sieb	76,4	99,6	100,0	100,0	92,8
8	Sieb	50,2	96,8	100,0	100,0	84,6
6,3	Sieb	15,3	74,8	100,0	100,0	70,6
4,75	Sieb	3,5	40,9	100,0	100,0	61,6
4	Sieb	1,0	21,8	98,6	100,0	57,2
2	Sieb	0,1	1,1	64,6	100,0	39,3
1	Sieb	0,1	0,3	38,1	100,0	28,0
0,5	Sieb	0,1	0,3	23,3	100,0	21,9
0,25	Sieb	0,1	0,3	15,2	98,6	18,3
0,125	Sieb	0,1	0,3	11,2	90,2	15,6
0,063	Sieb	0,1	0,2	9,3	77,6	13,3
Gew. %		30%	16%	42%	12%	

Tabelle 7 - Projekt der Mischung der Zuschlagstoffe für das SHRP mix design

- Bestimmung des Bitumengehaltes des ersten Versuches $P_{b(i)}$;
- Verdichtung eines Probekörpers mit einem Bitumengehalt von $P_{b(i)}$ mittels Gyratorpresse und Bestimmung des Hohlraumgehaltes der Mischung für $N = N_{des}$; und anschließender Korrektur des Prozentsatzes an Bitumen in P_b ;
- Verdichtung von vier Probekörpergruppen mit jeweiligen Bitumengehalten von $P_{b-0,5\%}$, P_b , $P_{b+0,5\%}$ und $P_{b+1,0\%}$ und Bestimmung der Hohlraumgehalte V_a , Hohlraumgehalt der Zuschlagstoffe VMA und Bestimmung der mit Bitumen gefüllten Hohlräume VFA;
- Bestimmung des Prozentanteils von Bitumen, das für $N = N_{des}$ einen Hohlraumgehalt V_a von 4%, einen Hohlraumgehalt der Zuschlagstoffe VMA > 13% und einen Hohlraumgehalt mit Bitumen VFB gefüllt zwischen 60% und 80% ergibt.

Für beide Eignungsprüfungen (Callfill und Omya) wurden das $N_{init} = 10$, das $N_{des} = 100$ und das $N_{max} = 180$ angenommen.

Für die Eignungsprüfung der Mischung mit dem Füller Calfill wurde $P_{b(i)} = \text{Gew. } 6\%$ auf Mischung angenommen. Dieser Anteil an Bindemittel des ersten Versuches wurde nicht mittels der empirischen SHRP Formeln bestimmt, da sich diese auf die herkömmlichen „schwarzen“ Asphaltmischungen beziehen und sich schwer an die hellen Bindemittel anpassen.

Der Probekörper mit Bindemittelgehalt $P_{b(i)}$ ergab einen Hohlraumgehalt N_{des} von 4,76%, was zu einem $P_b = 6,31\%$ der gesamten Mischung geführt hat. Für die volumetrische Studie mit Füller Calfill sind die vier in Tabelle 8 definierten Prozentanteile an Bindemittel definiert worden.

Für die Mischung mit Füller Omya wurde der gesamte Vorgang nicht wiederholt, sondern es wurden die vier Prozentanteile an Bindemittel direkt angenommen und zwar auch aufgrund der Ergebnisse der Studien mit dem Füller Calfill (siehe Tabelle 8).

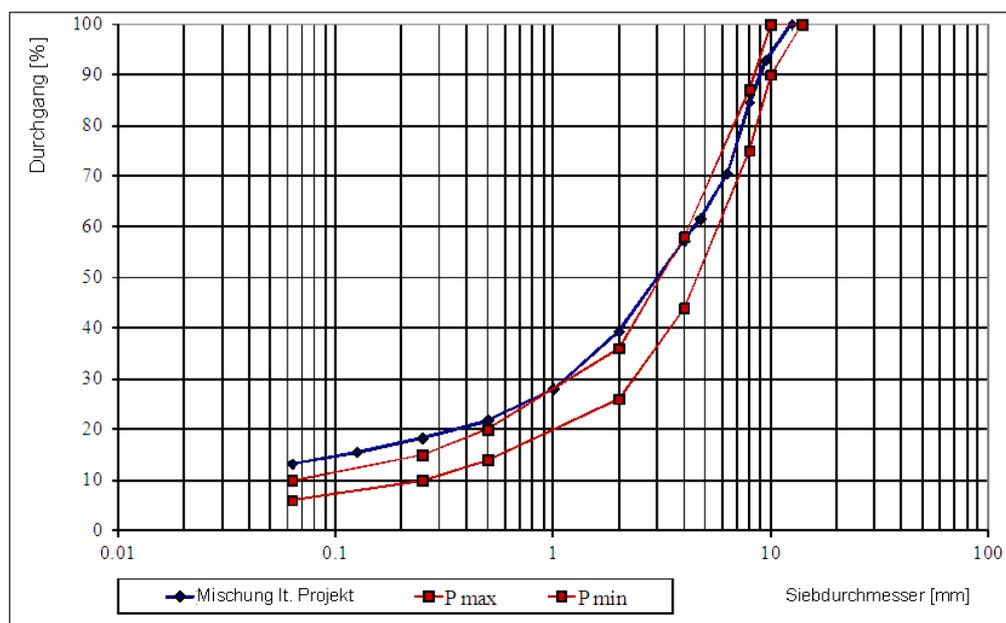


Abb. 13 - Körnungskurve für die SHRP-Eignungsprüfung

Mischung mit Füller Calfill	Mischung mit Füller Omya
$P_{b(A)} = 5,81\%$ Gew% auf Mischung	$P_{b(A)} = 5,00\%$ Gew% auf Mischung
$P_{b(B)} = 6,31\%$ Gew% auf Mischung	$P_{b(B)} = 5,50\%$ Gew% auf Mischung
$P_{b(C)} = 6,81\%$ Gew% auf Mischung	$P_{b(C)} = 6,00\%$ Gew% auf Mischung
$P_{b(D)} = 7,31\%$ Gew% auf Mischung	$P_{b(D)} = 6,50\%$ Gew% auf Mischung

Tabelle 8 - Prozentanteile an Bindemittel für die volumetrische Studie

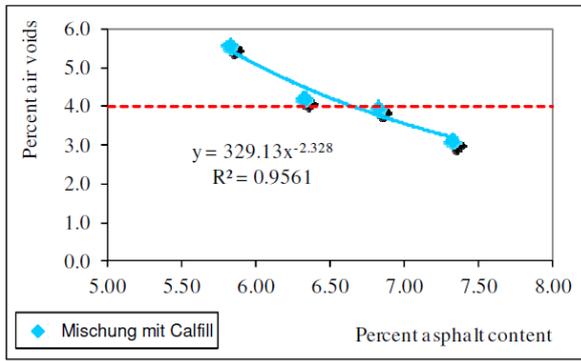
Die Ergebnisse der Eignungsprüfungen der Mischungen mit Füller Calfill und mit Füller Omya sind jeweils in der Tabelle 9, Abb. 14 a), b) und c) und in Tabelle 10, Abb. 14 d) e) und f) angeführt.

Parameter	$P_{b(A)} = 5,81\%$	$P_{b(B)} = 6,31\%$	$P_{b(C)} = 6,81\%$	$P_{b(D)} = 7,31\%$
V_a	5,6	4,3	4,0	3,2
VMA	16,7	16,6	17,4	17,8
VFA	66,5	74,4	77,1	82,2
% Bitumen	5,81	6,31	6,81	7,31
G_{mm}	2,47	2,45	2,43	2,41
$G_{mb} (des)$	2,33	2,34	2,33	2,34
C_{in}	84,20	85,92	86,25	88,89
C_{des}	94,40	95,75	96,01	96,84
C_{max}	96,34	97,21	97,42	97,49

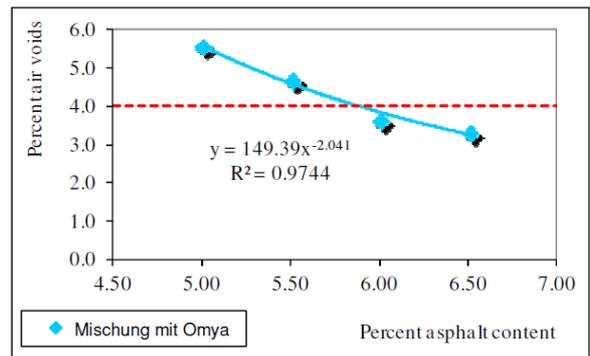
Tabelle 9 - Ergebnisse der SHRP-Eignungsprüfung der Mischung mit Calfill

Parameter	$P_{b(A)} = 5,00\%$	$P_{b(B)} = 5,50\%$	$P_{b(C)} = 6,00\%$	$P_{b(D)} = 6,50\%$
V_a	5,6	4,7	3,7	3,4
VMA	14,9	15,3	15,4	16,2
VFA	62,6	69,1	76,3	79,3
% Bitumen	5,00	5,50	6,00	6,50
G_{mm}	2,50	2,48	2,46	2,44
$G_{mb} (des)$	2,36	2,36	2,37	2,36
C_{in}	84,44	85,17	86,09	86,37
C_{des}	94,40	95,28	96,34	96,63
C_{max}	95,80	96,70	97,78	98,07

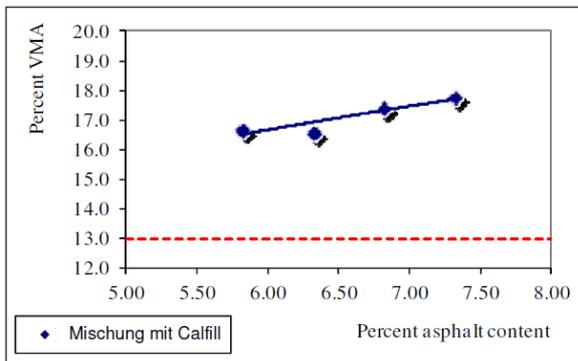
Tabelle 10 - Ergebnisse der SHRP-Eignungsprüfung der Mischung mit Omya



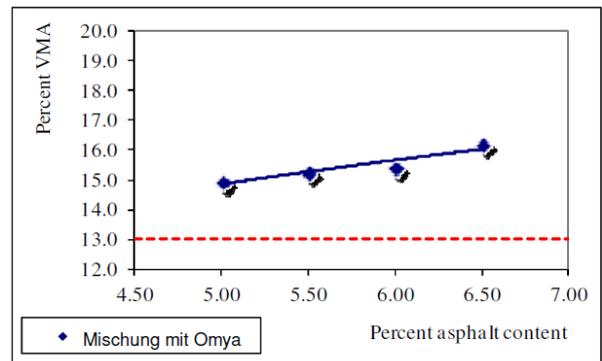
a) Hohraumgehalt des bituminösen Mischgutes in Funktion des Bindemittelgehaltes (Mischung mit Füller Calfill)



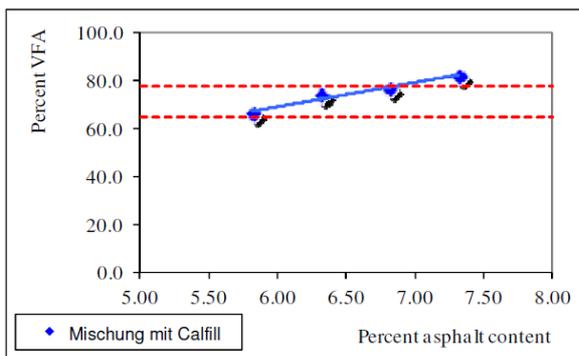
d) Hohraumgehalt des bituminösen Mischgutes in Funktion des Bindemittelgehaltes (Mischung mit Füller Omya)



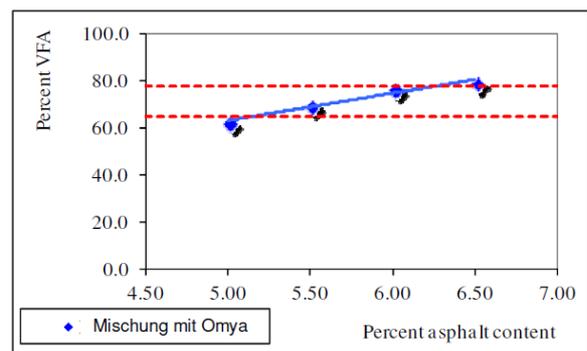
b) Hohraumgehalt des Mineralstoffgemisches in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes für die Mischung mit Calfill



e) Hohraumgehalt des Mineralstoffgemisches in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes für die Mischung mit Omya



c) Anteil der mit Bitumen gefüllten Hohlräume in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes für die Mischung mit Calfill



f) Anteil der mit Bitumen gefüllten Hohlräume in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes für die Mischung mit Omya

Abb. 14 - Die Diagramme der Ergebnisse der SHRP - Eignungsprüfung für die zwei Füllerarten

Aus den Ergebnissen kann man erkennen, dass die Mischung Calfill ungefähr einen Anteil von 6,65% des Gewichts der Bindemittel beansprucht, um einen Hohlraumgehalt von 4% des N_{des} (100 Umdrehungen in Gyratorpresse) (Abb. 14 a) zu erreichen, die Mischung mit Omya hingegen benötigt einen Gewichtsanteil von 5,80% für denselben Verdichtungsgrad (Abb. 14 d).

Dadurch ist feststellbar, dass man durch die Anwendung des Füllers Omya einen geringeren Anteil an Bindemitteln benötigt, um eine Mischung mit einem Hohlraumgehalt von 4% des N_{des} herzustellen.

Aufgrund der im Labor durchgeführten Tests schlägt man eine Mischung bestehend aus grobkörnigen Zuschlagstoffen aus **Grauem Porphy**, **Kalksand** und dem **Omya Füller** vor. Die

Zusammensetzung der Mischung mit durchsichtigem Bindemittel (Typ **Kromatis**) wird mit **6,00 Gew.%** an Zuschlagstoffen (5,66 Gew.% Mischung) angenommen. Dieser Anteil an Bindemittel liegt etwas unter jenem mit einem Hohlraumgehalt von 4% des N_{des} , wird aber als angebracht angesehen, da die Mischung die mechanischen Voraussetzungen bezüglich Steifigkeitsmodul und Festigkeit unter indirekter Zugkraft ausreichend erfüllt. Die Dosierung des weißen Farbpigments (**TiO₂**) wird mit **0,5 Gew.%** der Zuschlagstoffe angenommen.

In der folgenden Tabelle 11 sind die Dosierungen aller Bestandteile der vorgeschlagenen Mischung zusammengefasst.

d [mm]	Maschenweite	Korngrößen der einzelnen Bestandteile				Mischungskurve
		Porphy 6/12 G _c 90/20	Porphy 4/8 G _c 85/35	Kalksand.* 0/4 G _f 85	Füller Omya	
16	Sieb	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
12,5	Sieb	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
9,5	Sieb	76,4	99,6	100,0	100,0	92,8
8	Sieb	50,2	96,8	100,0	100,0	84,6
6,3	Sieb	15,3	74,8	100,0	100,0	70,6
4,75	Sieb	3,5	40,9	100,0	100,0	61,6
4	Sieb	1,0	21,8	98,6	100,0	57,2
2	Sieb	0,1	1,1	64,6	100,0	39,0
1	Sieb	0,1	0,3	38,1	100,0	27,4
0,5	Sieb	0,1	0,3	23,3	100,0	21,1
0,25	Sieb	0,1	0,3	15,2	98,6	17,5
0,125	Sieb	0,1	0,3	11,2	90,2	14,8
0,063	Sieb	0,1	0,2	9,3	77,6	12,7
Gew.%		30%	16%	43%	10,5% + 0,5% TiO₂	
% der Bindemittel		6 Gew.% der Zuschlagstoffe				

Tabelle 11 - Zusammenfassung der Bestandteile der Projektmischung

23-17 Mix design des offenporigen Asphaltbelages

Die Ermittlung der Mischung der Zuschlagstoffe erfolgt über eine Körnungskurve für Drainasphaltdeckschichten als Vergleichskurve. Durch die anschließende Verfüllung mit Zementmörtel entfällt das Problem der Garantie der mechanischen Eigenschaften auch bei einem hohen Hohlraumgehalt. Im Gegenteil, es wurden die Anteile von Sand und Füller zugunsten eines höheren Hohlraumgehalt verringert.

Verwendung des selben Zuschlagstoffes ermöglicht den Vergleich (in kurzen und langen Zeitabschnitten) der lichttechnischen Eigenschaften der beiden hellen Belagstypen, welche sehr verschiedenen Konzepten angehören, einer mit durchsichtigem Bitumen und einer mit Zementmörtel.

Als bituminöses Bindemittel wird modifiziertes Bitumen des Typs "hard" verwendet.

Die Zusammensetzung der Mischung der Zuschlagstoffe und die Dosierung des

MISCHGUT OFFENPORIGE DECKSCHICHT							
MASCHENWEITE		Bitum 6/16 G _c 90/10	Bitum 6/12 G _c 90/10	Bitum 4/8 G _c 85/35	Kalksand. 0/4 G _f 85	Füller	Grauer Porphy
d [mm]	Siebe						
20	Sieb	99,5	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8
16	Sieb	98,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,1
14	Sieb	87,4	100,0	100,0	100,0	100,0	94,3
12,5	Sieb	69,9	100,0	100,0	100,0	100,0	86,5
9,5	Sieb	51,3	76,4	99,6	100,0	100,0	67,4
8	Sieb	32,7	50,2	96,8	100,0	100,0	47,3
6,3	Sieb	0,3	15,3	74,8	100,0	100,0	17,0
4,75	Sieb	0,3	3,5	40,9	100,0	100,0	11,7
4	Sieb	0,1	1,0	21,8	98,6	100,0	10,4
2	Sieb	0,0	0,1	1,1	64,6	100,0	7,6
1	Sieb	0,0	0,1	0,3	38,1	100,0	5,7
0,5	Sieb	0,0	0,1	0,3	23,3	100,0	4,7
0,25	Sieb	0,0	0,1	0,3	15,2	98,6	4,1
0,125	Sieb	0,0	0,1	0,3	11,2	90,2	3,5
0,075	Sieb	0,0	0,1	0,2	9,3	77,6	3,0
fondo (<0,063)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gew. %		45	45	0	7	3	-
Gew.% Bitumen auf Zuschlagstoffe		4,5 %					

Tabelle 12 - Mischgut Drainasphalt

Als Zuschlagstoff wurde der Graue Porphy ausgewählt, da er die helle Farbe mit den optimalen mechanischen Eigenschaften verbindet (Los Angeles, PSV) und zudem schon für die Beläge mit durchsichtigen Bitumen verwendet wurde. Die

Bindemittels sind in der folgenden Tabelle 12 zusammengefasst. Die Körnungskurve mit der Vergleichsmischung (offenporige Verschleißschicht) ist in der Abbildung 15 dargestellt.

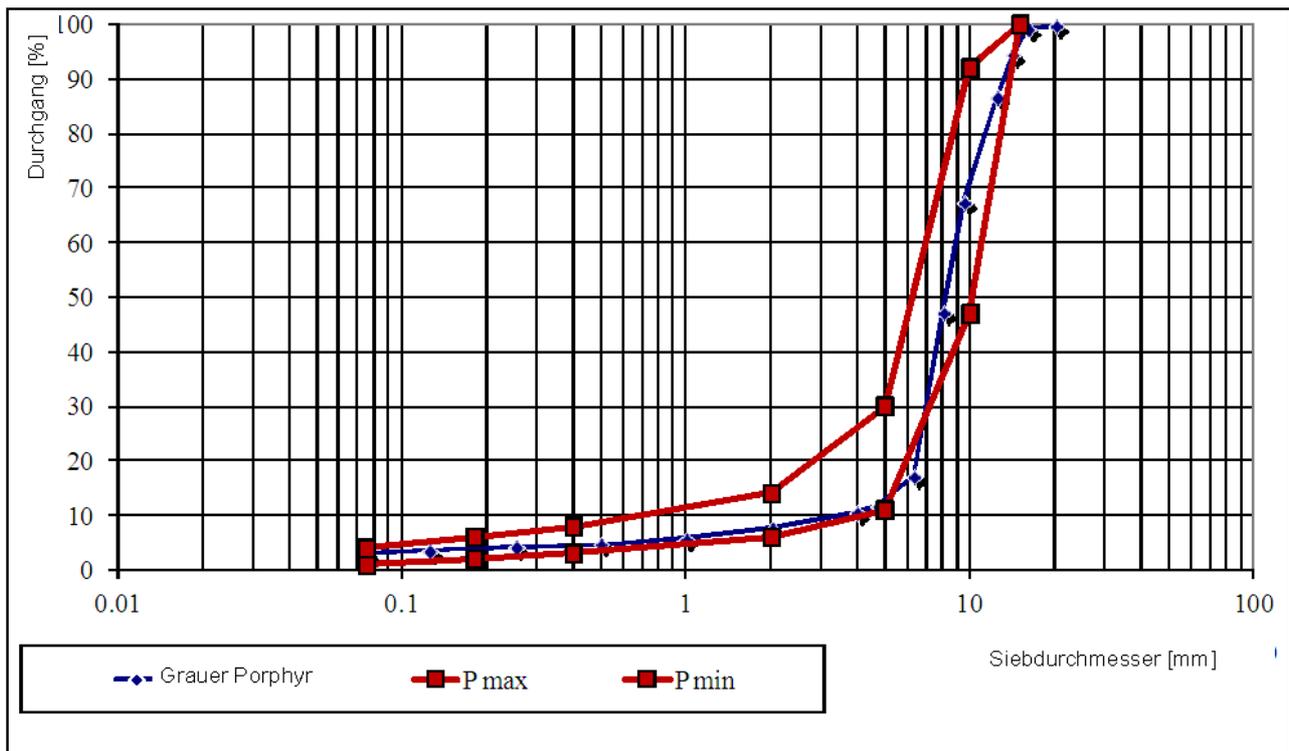


Abb. 15 - Sieblinie des offenporigen Asphalts

23-18 Der Zementmörtel für die Verfüllung

Das verwendete Produkt für die Verfüllung ist ein Micro-Bindemittel mit polymer-modifiziertem Zement, welchem Silikastaub und angemessene Zusatzstoffe wie Fließmittel, Viskositäts- unterdrücker, Ausscheidungsverzögerer und Auswaschungsverhinderer beigemischt werden.

Die Haupteigenschaften des Zementmörtels sind:

- **Erhöhte mechanische Festigkeit**
- **Optimale Fließfähigkeit**
- **Abwesenheit von Entmischung**
- **Vermindertes Vorkommen von löslichen Chloriden**

- **Widerstandsfähigkeit gegen Wasser, Streusalzbeständigkeit, Treibstoffresistenz, Widerstandsfähigkeit gegen Sulphate und Chloride**
- **Alkaliunempfindlichkeit**
- **kompensierte hygrometrische Ausdehnung**

Die nachfolgende Ausdehnung im Asphaltträgergerüst und die Homogenität des Estrichs garantieren eine erhöhte mechanische Festigkeit, Scherspannungswiderstand und Abriebwiderstand gegen Autoreifen und somit eine hervorragende Lebensdauer des Bauwerks.

24-10 Einbau der Straßenbeläge in Südtirol

24-11 Die für die Versuche verwendeten Tunnel in Südtirol

Die Südtiroler Landesverwaltung wählte als Versuchsstrecke den Tunnel Naraun 238G02 (Gemeinde Tisens, Fraktion Naraun, von km 26+290 bis 26+460 der S.S. 238 Gampenpass). Dabei handelt es sich um einen Tunnel mit einer Länge von ca. 174 m, welcher die Besonderheit einer Öffnung nach oben im Mittelabschnitt aufweist. Diese unterteilt das Bauwerk in zwei Abschnitte, welche nachfolgend mit **Naraun 1** (bergseitiges Teilstück Richtung Gampenpass) und **Naraun 2** (talseitiges Teilstück Richtung Meran) bezeichnet werden.

Der Einbau des hellen Belages mit durchsichtigem Bindemittel in Naraun 1 erfolgte in der Nacht zwischen dem 4. und 5. Juli 2012. Im Tunnel Naraun 2 wurde der mit weißen Zementmörtel verfüllte Drainspalt in den Nächten vom 1. und 2. Juli 2013 eingebaut.

Die zwei verschiedenen Beläge wurden in einem Abstand von einem Jahr ausgeführt, da man bis zur Fertigstellung des Umbaus im Portalbereich von Naraun 2 (Erweiterung des Kurvenradius) warten musste.



Abb. 16 - Einbau auf der gesamten Fahrbahnbreite – Tunnel Naraun 1

Das selbe Mischgut mit durchsichtigen bituminösen Bindemittel wie Naraun 1 wurde am selben Tag im Tunnel Nr. 6 bei Moos in Passeier (km 13+000 der S.S. 44bis - Timmelsjoch) eingebaut. Der Grund dafür liegt in der erforderlichen Mindesteinkaufsmenge des französischen Bitumenlieferanten. Daher wurde entschieden das selbe Material zusätzlich in einem anderen Tunnel einzubauen. Die Prüfergebnisse dieses zweiten Tunnel ermöglichten eine Überprüfung bzw. Vergleich mit jenen von Naraun 1.



Abb. 17 - Entladen des Mischgutes in den Straßenfertiger – Tunnel Naraun 1

24-12 Straßenbelag mit durchsichtigem Bindemittel

Die Herstellung des Mischgutes mit durchsichtigem Bindemittel und dessen Einbau ist im Kapitel 14-11 dokumentiert. Es handelt sich dabei um ein Mischgut mit dem Bindemittel "Kromatis" der Firma TOTAL, dem Titandioxid in einem Anteil von 0,5% bezogen auf das Gewicht der Zuschlagstoffe beigemischt wurde. Als Grobkorn (> 4,0 mm) wurde der Graue Porphyr einer der hellen in Südtirol vorkommenden Zuschlagstoffe ausgewählt und die Mischtemperatur betrug ca. 180°C, die Temperatur beim Einbau 160°C



Abb. 19 - Verfüllen des Mörtels

24-13 Halbstarre Deckschicht

Die zweite Typologie des hellen Straßenbelages, die Halbstarre Deckschicht, bestehend aus einer offenporigen Verschleißschicht (Drainasphalt) deren Hohlräume anschließend mit Zementmörtel verfüllt werden, wurde im Tunnel **Naraun 2**, dem zweiten Abschnitt des Tunnels 238G02 in Fahrtrichtung Meran, eingebaut. Der Einbau der offenporigen Verschleißschicht und das Verfüllen des Zementmörtels sind im Kapitel 14-11 des Handbuches beschrieben.



Abb. 20 - Der oberflächliche Mörtel wurde durch die Autoreifen abgetragen



Abb. 18 - Absplitten der Haftschrift

24-14 Das Kugelstrahlen der beiden Straßenbeläge in Naraun

Am 12. Juli 2013 wurde die Griffigkeit mittels der Pendelprobe (*skid test pendulum*) durchgeführt, welche hohe Werte für Naraun 2 (halbstarre Deckschicht) und niedrige auf der Fahrspur in Richtung Gampenpass von Naraun 1 (Deckschicht mit durchsichtigen Bitumen, 2012 eingebaut) ermittelte.

Die starke Verminderung der Griffigkeit auf der Fahrspur in Richtung Gampenpass von Naraun 1 ist auf die Ausführungsarbeiten des zweiten Tunnels zurückzuführen, im Besonderen da der Zementmörtel über mehrere Stunden plastische Eigenschaften beibehält (auch nach der Freigabe für den Verkehr) und von den Reifen der Fahrzeuge abgetragen und auf den unmittelbar nachfolgenden Straßenbelag von Naraun 1 abgelagert wurde. Dieser mit freiem Auge sichtbare Umstand wurde auch durch die Tatsache bekräftigt, dass im Tunnel von Moos in Passeier keine signifikante Absenkung der Griffigkeit desselben Belages gemessen wurden.

Mit dem Ziel die potenziell gefährliche Situation zu beseitigen, wurde eine „Reinigung“ der Deckschicht von Naraun 1 mittels „Kugelstrahlen“ durchgeführt.



Abb. 21 - Straßenbelag mit durchsichtigen Bitumen – Im Vordergrund der nicht kugelgestrahlte Bereich

Am 5. September wurde die Behandlung im ersten Tunnel mit der Ausnahme eines Teilbereichs außerhalb des Tunnels, der ausreichende Griffigkeitswerte aufwies, ausgeführt. Dieser nicht behandelte Bereich dient dazu die natürliche Entwicklung der Affinität von Gesteinskörnung

und Bitumen und die damit verbundenen Werte der Leuchtdichte auszuwerten (Abb. 21).

In den folgenden Abbildungen 22 und 23 sind die detaillierten Unterschiede zwischen den behandelten und nicht behandelten Zonen durch Kugelstrahlen wiedergegeben.

Der Fahrbahnbelag des Tunnels Naraun 2, der am 2. Juli 2013 als Halbstarre Deckschicht eingebaut wurde, wies unterschiedliche Farbtonalitäten auf, je nach dem wie stark der Zementmörtel durch den Verkehr abgetragen wurde (Abb. 24).



Abb. 22 - Unterschied vor und nach der Behandlung



Abb. 23 - Detail



Abb. 24 - Halbstarre Belag am 5 September 2013

Dieser Zustand verminderte die genaue Erkennung der Straßenfahrspur. Des Weiteren konnte das Abtragen (Verlust des Zementmörtels) in kurzer Zeit in selektiver Weise beginnen (stärker im Bereich der Autoreifenspur), welches die farblichen Unterschiede der Fahrbahn zukünftig noch weiter hervorheben würde.

Da die notwendige Ausrüstung schon vor Ort war, erachtete man es als vorteilhaft, auch Naraun 2 kugelzustrahlen (Abb. 25, 26 und 27)



Abb. 25 - Ausführung des Kugelstrahlens im zweiten Tunnel von Naraun



Abb. 26 - Unterschied vor und nach der Behandlung



Abb. 27 - Detailansicht

24-21 Durchführung der Eingriffe im Seehoftunnel, B 181 Achenseestraße

24-22 Übersichtskarte

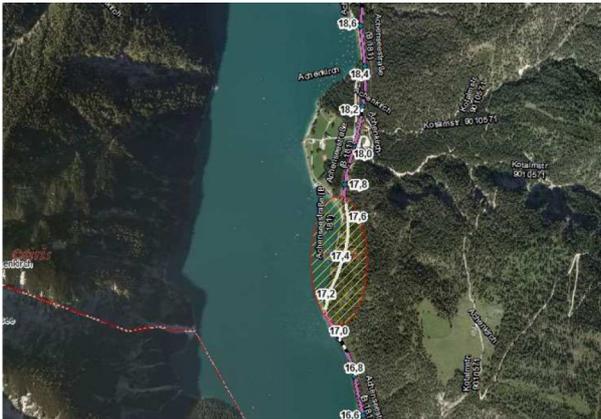


Abb. 28 - Übersichtskarte Seehoftunnel

24-23 Vorstellung

Der Seehoftunnel befindet sich auf der B 181 Achenseestraße bei km 17,10. Im Zuge der Sanierung wurde der Tunnel mit einer innovativen Ulmenbeschichtung aus weißer Spritzspachtel, einer neuartigen hellen Fahrbahndecke (mit Aufhellungsgesteinen, halbstarrer Belag) und einer zukunftsweisenden Durchfahrtsbeleuchtung in LED ausgestattet.

Die Herstellung der Sanierungsmaßnahmen wurde in den Jahren 2012 und 2013 realisiert.

24-24 Beschichtung: Ulmenbeschichtung mit weißer Spritzspachtel

Die Vorbereitung des Untergrundes erfolgte bis 2,0m Höhe durch HDW-Abtrag von bis zu 3 cm

und aufbringen eines herkömmlichen Spritzmörtels. Der Untergrund in der Höhe von 2,0 bis 4,0m wurde mittels HDW-Strahlen mehrere mm aufgeraut.

Die gesamte Ulmenfläche wurde dann mit einer innovativen weißen Spachtelmasse im Spritzverfahren aufgebracht. Dies erfolgte in zwei Lagen, wobei die 2. Lage geglättet bzw. abgezogen wurde. Diese Oberfläche erlaubt den Verzicht auf einen weiteren kostenintensiven Tunnelanstrich.



Abb. 29 - Seehoftunnel: Ulmenbeschichtung - aufbringen und abziehen der Spritzspachtel

24-25 Fahrbahnbelag

24-25.a Allgemeines

Die natürlich vorkommenden Gesteine in Tirol besitzen entweder einen guten PSV-Wert und einen schlechten Leuchtdichtekoeffizienten, oder einen guten Leuchtdichtekoeffizient aber einen schlechten PSV-Wert. Es gibt jedoch Gesteine die beide Eigenschaften aufweisen. Diese kommen bei unseren nördlichen Nachbarn als natürliches Gestein z.B. als Taunusquarzit vor.

Das Aufhellungsgestein wird in das Mischgut der bit. Deckschichte eingemischt und zur Baustelle gebracht. Der Einbau des Mischguts erfolgt mit einem herkömmlichen Fertiger. Erst wenn der Bitumenfilm an der Kornoberfläche durch Abnutzung (z.B. befahren, Witterung, UV-Licht, Winterdienst etc.) langsam entweicht, kommt das Aufhellungsgestein, und damit die hellen Eigenschaften der Decke zum Vorschein. Dieser „Alterungs“- Prozess kann durch strahlen mit Stahlkugeln oder Korund beschleunigt werden.

24-25.b Beschreibung

Im gegenständlichen Projektunnel wurde die rd. 560m lange alte Betondecke durch einen hellen und neuen Fahrbahnbelag ersetzt.

Abschnitte:

Ausgehend vom Nordportal (**Achenkirch**) wurden folgende Systeme verbaut:

- **100lfm, 5cm halbstarre Decke mit Fließmörtel, Halbstarre Belag** (Pos 16.2930C) PA11 PmB45/80-65,P4,G1, 5cm

- **200lfm, 3cm starke SMA11 Decke mit regionalem Aufhellungsgestein aus dem Ötztal (Ötztaler Granit)** (POS 16.2645A) SMA11 PmB45/80-65,S2,G1, 3cm Fahr/Abst
- **100lfm, 3cm starke SMA8 Decke mit Aufhellungsgestein aus Deutschland (Taunusquarzit)** (POS SMA8) PmB45/80-65,S2,G1, 3cm Fahr/ Abst
- **160lfm, 3cm starke SMA11 Decke mit regionalem Aufhellungsgestein aus dem Ötztal (Ötztaler Granit)** (POS 16.2645A) SMA11 PmB45/80-65,S2,G1, 3cm Fahr/Abst

24-25.c Halbstarre Belag

Das eigentliche Einsatzgebiet des halbstarren Belags sind Flächen die vermehrt größeren Belastungen (z.B. Lagerplätze, Bushaltestellen, Kreuzungsbereiche etc.) ausgesetzt sind. Bei der Bauweise des halbstarren Belags wird der offenporige Asphalt mit einem hochviskosen zementgebundenen Fließmörtel ausgefüllt.



Abb. 30 - Seehoftunnel: halbstarre Belag – aufbringen des hochviskosen zementgebundenen Fließmörtels

Die Herstellung im Seehoftunnel erfolgte auf einer bestehenden Betondecke.

Zuerst wurde die Oberfläche mittels HDW stahlen gereinigt, anschließend wurde eine Sami-Schicht aufgebracht und nachfolgend mit Asphalt profiliert. Der Einbau der 5,0 cm starken offenporigen Asphaltdecke erfolgt mit einem herkömmlichen Fertiger. Weiters wurden die Poren mit einem hochviskosen Fließmörtel ausgegossen. Das Auf- und Einbringen des Mörtels erfolgte mittels Gummischieber.

24-25.d Bituminöse Deckschicht mit Aufhellungsgestein

a. Aufhellungsgestein Öztaler Granit

b. Aufhellungsgestein Taunusquarzit von der Fa. Cemex

Für die oben beschriebenen Abschnitte wurde zum einen Öztaler Granit aus dem gleichnamigen Öztal und zum anderen Taunusquarzit von der Fa. Cemex aus Heuchelheim (D) eingebaut. Das Gestein wurde als 5/8 Kornfraktion bezogen.

Vor Einbau wurden die Nachweise bzgl. des PSV-Wert und den LA - Wert geprüft. Auch wurde der Leuchtdichtekoeffizient des Taunusquarzit angefordert.



Abb. 31 - Seehoftunnel: Decke mit Aufhellungsgestein, künstliche Alterung (gestrahlt) und naturbelassen.

Nach Einbau der Decke wurde der rd. 50m lange Übergangsbereich zwischen der Decke mit Aufhellungsgestein Öztaler Granit und Taunusquarzit gestrahlt. Diese Maßnahme wurde gesetzt, damit das oben beschriebene Aufhellungsgestein schneller zur Geltung kommt. Jedoch führt diese Maßnahme zu einem künstlichen Abnutzungsprozess der die Lebenslänge der Decke geringfügig herabsetzt.

24-26 Beleuchtung

Die Beleuchtung ist in Straßentunnel ein wesentlicher Bestandteil der Betriebs- und Sicherheitsausstattung und wirkt sich maßgeblich auf die Risikoanalysen aus.

Die Entscheidung zur Beleuchtung viel, aufgrund der Feinabstimmungsmöglichkeiten im Bereich der Steuerung, eindeutig auf ein System mit LED Technik. Spezielle Leuchtdichtemessgeräte wurden ungefähr 65m vor dem Tunnelportal errichtet. Die Messwerte liefern aktuell gemessene Werte der nahen Umgebung und des Tunneleinsichtsbereiches. Diese Messwerte werden mit Messwerten aus der Leuchtdichtekamera im Tunnelinneren abgestimmt und dienen zur Steuerung der Einfahrtsbeleuchtung und indirekt zur Steuerung der Durchfahrtsbeleuchtung.



Abb. 32 - Seehoftunnel: Das Südportal

Die Lichtausbeute im Verhältnis zum Energieaufwand ist im Vergleich zu herkömmlichen Beleuchtungselementen in dieser Tunnelanlage hervorragend. Es benötigt keine langen Einbrennzeiten, die Lichtregelung kann auf beinahe fünf Prozent minimiert werden und das Licht gibt bei den hier angewendeten 4500 Kelvin

eine sehr gute Lichtausbeute und vom Verkehrsteilnehmer subjektiv betrachtet immer noch ein hohes Maß an Sicherheit.

Zudem wurden am erhöhten Seitenstreifen beidseitig selbstleuchtende LED-Sockel als Leiteinrichtung montiert. Im Einfahrtsbereich sind spezielle Unterflurelemente der Leiteinrichtung eingesetzt. Diese halten auch schweren Schneeräumgeräten stand.

In dieser Tunnelanlage konnten die aktiven Elemente der Beleuchtung und der Leiteinrichtung in der Betriebsstation untergebracht werden. Der große Vorteil dabei ist, dass bei Messungen, Wartungen der Steuerelemente oder Störungen keine unmittelbare Tunnelsperre notwendig ist.



Abb. 33 - Seehoftunnel: LED Einfahrts - und Durchfahrtsbeleuchtung sowie Leiteinrichtung am erhöhten Seitenstreifen

24-31 Einbau Beschichtung Tunnel Rattenberg, B 171 Tiroler Straße

Die Beleuchtung ist in Straßentunnel ein wesentlicher Bestandteil der Betriebs- und Sicherheitsausstattung und wirkt sich maßgeblich auf die Risikoanalysen aus.

24-32 Übersicht



Abb. 34 - Übersichtskarte Tunnel Rattenberg

24-33 Vorstellung

Der Tunnel Rattenberg auf der B 171 Tiroler Straße bei km 30,59 und wurde in den Jahren 1994 -1996 gebaut. Die Motivation zum Bau des Tunnels war die Verkehrsentlastung zugunsten der Stadtgemeinde Rattenberg.

Die Gesamtlänge des Tunnels beträgt 624m. Der Querschnitt wurde als Gewölbe ausgebildet.

Von Ost nach West unterteilt sich der Tunnel in folgende Abschnitte:

- 20m Galerie
- 12m offene Bauweise

- 584m bergmännische Bauweise
- 8m offene Bauweise

Der Tunnel ist im Ulmenbereich bis auf eine Höhe von 4m beschichtet. Die Einfahrtsgalerie im Osten ist ohne Beschichtung. Die bestehende Beschichtung besteht bis zu einer Höhe von rd. 2m aus einer Vollspachtelung und von 2 bis 4m wurden örtlich, wo erforderlich, die Lunker bzw. Poren verspachtelt.

24-34 Prüfbericht

Ein Ingenieurbüro aus Oberösterreich wurde mit der Zustandsfeststellung der Tunnelinnenschale des Tunnels Rattenberg beauftragt. Aus dem Bericht geht hervor, dass aus Gründen der Verkehrssicherheit der Tunnelanstrich bis auf 2,0 m Höhe vollständig zu erneuern ist. Die Bereiche über 2,0 m sollten nach lokalen Ausbesserungen mit einem Pflegeanstrich versehen werden. Auch geht aus dem Prüfbericht hervor, dass die Spachtelung der Beschichtung der Schwachpunkt ist.

24-35 Sanierungsmaßnahmen

Die Universität Innsbruck (AB Intelligente Verkehrssysteme wurde im Rahmen des Interreg IV - Projektes iBBT beauftragt, eine Entscheidungshilfe für die Sanierung der Tunnelbeschichtung zu erarbeiten.

Ziel der Sanierung ist eine innovative, neuartige und wirtschaftliche Lösung für die Tunnelbeschichtung zu finden.

24-36 Ergebnis & Herstellung

Auf Grundlage der Forschungsergebnisse der Universität Innsbruck, wurden sieben Blöcke mit je einer Länge von rd. 12m mit einem neuen Anstrichsystem versehen. Die Auswahl der Anstrichsysteme erfolgte in Abstimmung mit der Tiroler Landesstraßenverwaltung und der Universität Innsbruck.

Mit der Herstellung wurde eine Baufirma beauftragt, die von einem unabhängigen Ingenieurbüro überwacht wurde. Auch musste der Verkehr über die gesamte Bauzeit (rd. zwei Wochen) einspurig aufrechterhalten werden.

24-37 Beobachtung

Die Flächen werden nun zwei bzw. mehrere Jahre dem Straßenbetrieb (Verschmutzung, Witterung, Salzeintrag etc.) ausgesetzt und halbjährlich einer Überprüfung unterzogen. Nach Ablauf der Frist wird das beste System im Hinblick auf den Preis und Leistung ermittelt. Anschließend wird der gesamte Tunnelanstrich mit dem „Gewinner“ generalsaniert.



Abb. 35 - Tunnel Rattenberg – Musterflächenblöcke

25-10 Kontrollprüfungen und Monitoring der hellen Straßenbeläge in Südtirol

Während des Einbaus der beiden hellen Straßenbeläge wurden Proben des losen Mischguts, und in den darauf folgenden Tagen Bohrkerne in den Tunneln von Naraun und Moos in Passeier entnommen. Damit werden um die Kontrollprüfungen im Labor für Baustoffprüfung der Autonomen Provinz Bozen und im Labor Straßen und Transporte der Università Politecnica delle Marche durchgeführt.

Außerdem wurden Leuchtdichtemessungen an beiden Verschleißschichten durchgeführt, sowie deren Griffigkeit (*skid test pendulum*) überprüft.

Die Ergebnisse der Prüfungen des losen Mischguts, der Bohrkerne des Belages mit durchsichtigem Bindemittel, dem Vergleich mit der Projektmischung und den lichttechnischen Prüfungen im Labor finden sich im Kapitel 15-10 des Handbuches dieses Projekts.

25-11 Leuchtdichtemessungen vor Ort

Die Leuchtdichtemessungen wurden in den Testgebieten von Naraun (1 und 2) und Moos in Passeier durchgeführt. Die Leuchtdichte wurde als Mittelwert von zahlreichen Messungen durch das Selben Gerät, einen Leuchtdichtemesser Konica Minolta LS-110, mit dem die Leuchtdichte im Labor ermittelt wurde, gemessen. Anschließend wurden die verschiedenen Straßenbeläge mithilfe des Reflexionskoeffizienten ρ miteinander verglichen.

Um die photometrischen Eigenschaften der Beläge vor Ort, unter Berücksichtigung des Verkehrs, mit denen im Labor zu vergleichen, reicht die Leuchtdichtemessung nicht aus. Da die

Leuchtdichte als Ausdruck der Reflexionseigenschaft einer Oberfläche der Beleuchtungsstärke beeinflusst wird, die die Menge des Lichts darstellt, die eine gewisse Oberfläche trifft. Daher war es notwendig den Wert der Beleuchtung an jedem Messungspunkt mittels eines Beleuchtungsstärkemessers festzulegen, sei es vor Ort als auch im Labor.

In Folge wurden die verschiedenen Beläge durch den zuvor definierten Reflexionskoeffizienten miteinander verglichen.

25-12 Straßenbelag mit durchsichtigem Bindemittel

Die Tabellen 13 und 14 geben jeweils den Reflexionskoeffizienten ρ für die Beläge mit durchsichtigem Bindemittel in den Tunneln von Naraun 1 und Moos in Passeier von 2012 an. Die Messungen wurden an zufälligen Punkten am Eingang, im Mittelteil und am Ausgang der Tunneln durchgeführt. Außerdem erfolgen die Messungen auch an kritischen Punkten der Fahrbahn wo Reifenspuren der Fahrzeuge oder runde Flecken (variabler Durchmesser zwischen 10 und 15 cm) von dunkler Farbe vorhanden sind.

Eingang Richtung Gampenpass	Im Inneren des Tunnels	Im Inneren des Tunnels	Eingang Meran	Beschmutzte Fahrbahn
$\rho = 0,157$	$\rho = 0,129$	$\rho = 0,117$	$\rho = 0,189$	$\rho = 0,056$

Tabelle 13 - Ergebnisse der Versuche vor Ort 2012– Tunnel Naraun 1

Im Inneren des Tunnels	Im Inneren des Tunnels	Südlicher Eingang	Nördlicher Eingang	Im Inneren des Tunnels - nasse Fahrbahn	Im Inneren des Tunnels - Reifenspur
$\rho = 0,114$	$\rho = 0,167$	$\rho = 0,149$	$\rho = 0,117$	$\rho = 0,175$	$\rho = 0,117$

Tabelle 14 - Ergebnisse der Versuche vor Ort 2012 – Tunnel Moos in Passeier

25-13 Halbstarre Deckschicht

Analog zur Deckschicht mit durchsichtigem Bindemittel wurden die Werte der Leuchtdichte, Beleuchtungsstärke und dem Reflexionskoeffizienten für die halbstarre Deckschicht im Tunnel Naraun 2 gemessen.

Betrachtet man die Ergebnisse der Tabelle 15 so kann man daraus schließen, dass die nicht kugelgestrahlte halbstarre Deckschicht, aufgrund des weißen Farbtones des Zementmörtels, deutlich höhere lichttechnische Eigenschaften gegenüber dem Belag mit hellem Bindemittel garantiert. Die Bearbeitung durch das Kugelstrahlen bewirkt für den halbstarren Belag

eine Verminderung der Reflexionskapazität, da der oberflächliche weiße Zementfilm, welcher die Zuschlagstoffe bedeckt, abgetragen wird und das graue Grobkorn (Grauer Porphy) noch zum Teil mit Bitumen bedeckt ist. Trotzdem sind auch nach der Oberflächenbehandlung sind die lichttechnischen Eigenschaften des halbstarren Belags höher als jene des anschließenden Tunnels mit Asphalt mit durchsichtigem Bindemittel; auch im Bezug auf die "schwarze" Referenzmischung.

25-14 Betonfahrbahnbelag im Tunnel von Leifers

Im Dezember 2013 wurden die Arbeiten abgeschlossen und der neue Tunnel von Leifers (Gemeinde südlich von Bozen), in welchem eine Fahrbahn aus Beton eingebaut wurde, für dem Verkehr freigegeben.

Da es sich dabei um einen der ersten Tunnel mit Betonfahrbahn in Italien handelt und er sich in der Nähe der Tunnel von Naraun befindet, war es sinnvoll die lichttechnischen Eigenschaften der Tunnel von Naraun in denen zwei helle Straßenbelägen realisiert worden sind, mit jenen des Tunnels in Leifers zu vergleichen.

Messzeit- raum	Position	Beleucht- ungsstärke E [Lux]	Leucht- dichte L [cd/m ²]	Reflexions- koeffizient ρ [-]
Juni 2013	Naraun 1 - nicht gestrahlt – Richtung Meran	275.3	22.60	0.258
Juni 2013	Naraun 1 - nicht gestrahlt – Richtung Meran	15.66	1.161	0.233
Juni 2013	Naraun 1 - nicht gestrahlt – Richt. Gampenpass	95.70	6.268	0.206
Juni 2013	Moos in Passeier – nicht gestrahlt	45.1	2.35	0.164
Juni 2013	Moos in Passeier – nicht gestrahlt	52.9	2.790	0.166
Dez. 2013	Naraun 1 - nicht gestrahlt – Richtung Meran	1447.7	44.03	0.096
Dez. 2013	Naraun 1 - nicht gestrahlt – Richt. Gampenpass	1339.3	78.556	0.184
Dez. 2013	Naraun 1 - kugelgestrahlt – Richtung Meran	265.5	12.31	0.146
Dez. 2013	Naraun 1 - kugelgestrahlt – Richt. Gampenpass	817.8	31.65	0.122
Dez. 2013	Naraun 2 - nicht gestrahlt – Richt. Gampenpass	758.2	59.52	0.247
Dez. 2013	Naraun 2 - kugelgestrahlt – Richtung Meran	752.5	41.86	0.175
Dez. 2013	Naraun 2 - kugelgestrahlt – Richt. Gampenpass	156.0	8.27	0.166
Dez. 2013	Leifers – Richtung Süden	262.2	15.98	0.191
Dez. 2013	Leifers – Richtung Norden	421.8	27.64	0.206
Juli 2014	Naraun 1 - kugelgestrahlt – Richtung Meran	280.0	21.13	0.237
Juli 2014	Naraun 1 - kugelgestrahlt – Richtung Meran	637.5	40.86	0.201
Juli 2014	Naraun 2 - kugelgestrahlt – Richtung Meran	296.3	24.15	0.256
Juli 2014	Naraun 2 - kugelgestrahlt – Richtung Meran	745.8	52.410	0.221
Juli 2014	Leifers – Richtung Süden	1803.3	64.92	0.113
Juli 2014	Leifers – Richtung Norden	1665.0	53.76	0.101

Tabelle 15 - Werte der Leuchtdichte zu verschiedenen Zeitpunkten

Betrachtet man die Messergebnisse in ihrer Gesamtheit (Tabelle 15) kann Folgendes festgestellt werden:

- **Beim Straßenbelag mit durchsichtigem Bindemittel sinkt die Leuchtdichte zuerst und nimmt dann im Juli 2014 wiederum die Anfangswerte an.**
- **Der halbstarre Belag (Naraun 2) vermindert zuerst die Leuchtdichtewerte, welche sich nach dem Kugelstrahlen verbessern und daraufhin die Selben Werte wie Naraun 1 zeigen**
- **In der Betonfahrbahn von Leifers halbieren sich die Leuchtdichtewerte nach der Freigabe für den Verkehr**
- **Alle untersuchten Straßenbeläge weisen in den ersten Jahren ihrer Verwendung deutlich höhere Leuchtdichtewerte traditioneller "schwarzer" Asphaltbelag auf.**

Diese Ergebnisse sind noch in ihrer Entwicklungsphase da der Abtragungsprozess der Bindemittel durch den Verkehr auch nach dem Kugelstrahlen noch nicht abgeschlossen ist.

In der Abbildung 36 wird in graphischer Form die Evolution des Reflexionskoeffizienten im Tunnel Naraun 1 in Bezug auf einen traditionellen "schwarzer" Asphaltbelag dargestellt.

In der Abbildung 37 werden die lichttechnischen Eigenschaften der untersuchten Tunnel miteinander verglichen.

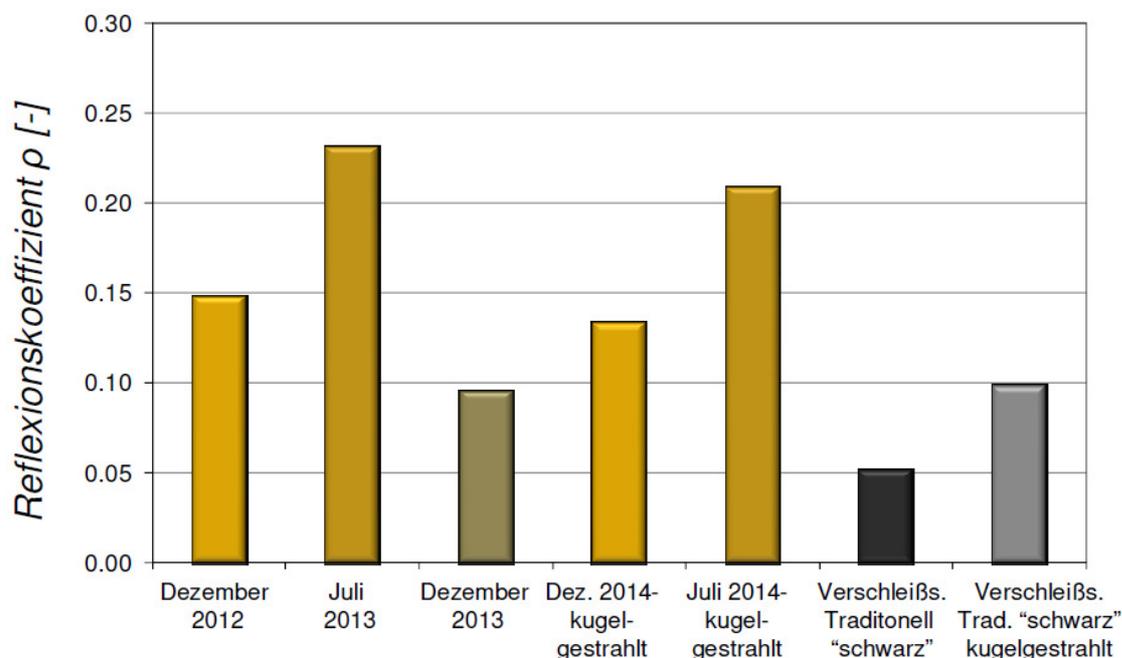


Abb. 36 - Evolution der lichttechnischen Eigenschaften - Tunnel Naraun 1

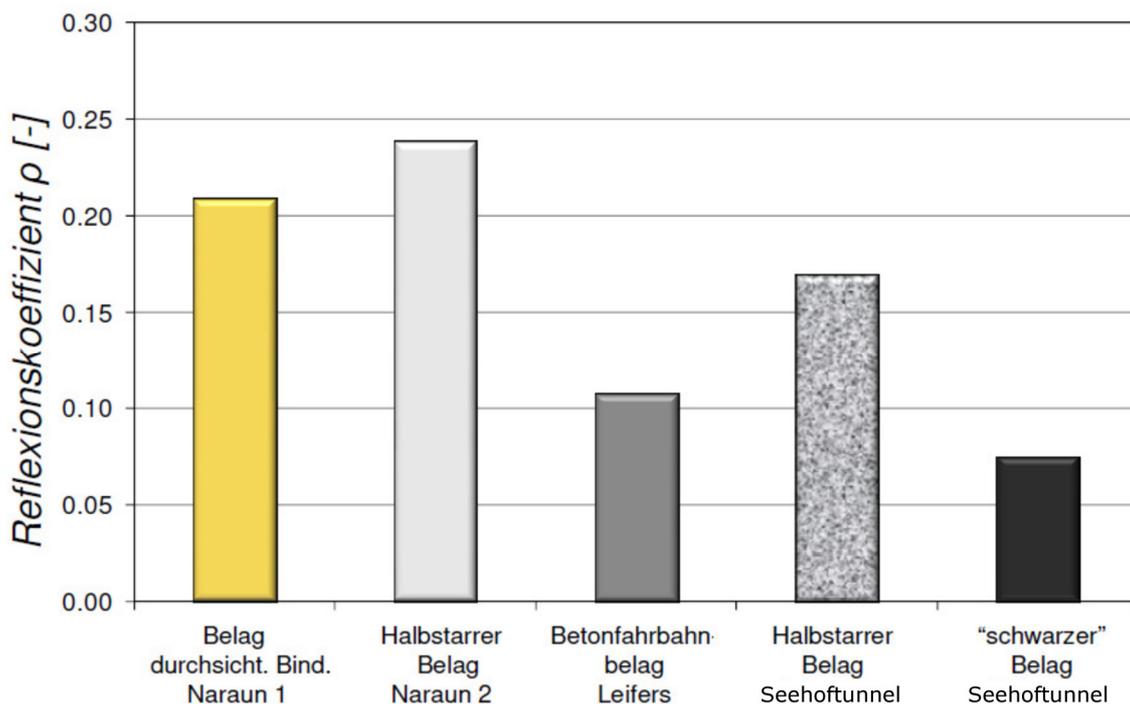


Abb. 37 - Vergleich der lichttechnischen Eigenschaften in den untersuchten Tunnel (Messungen Juli 2014)

25-15 Griffigkeitsnachweis

Die eingebauten hellen Straßenbeläge mit durchsichtigen Bindemittel (Tunnel Naraun 1 und Moos in Passeier) und die halbstarre Deckschicht (Naraun 2) sind periodisch auf ihre Griffigkeitseigenschaften mithilfe des Pendel - Prüfverfahrens (*skid resistance test*) überprüft worden, um die Entwicklung der Griffigkeit der Verschleißschichten zu monitorieren.

Die Ergebnisse des Griffigkeitsnachweises sind in der Tabelle 16 wiedergegeben.

Die besonders starke Abnahme der Griffigkeit der Verschleißschicht mit durchsichtigem Bindemittel (Tunnel Naraun 1) auf der Fahrspur in Richtung Gampenpass, welche innerhalb eines Monats (zwischen 13.06.2013 und 12.07.2013) stattfand, ist auf die Arbeiten im zweiten Tunnel vom 2. Juli 2013 zurückzuführen. Dieser Umstand wird durch die Tatsache verstärkt, dass im Tunnel von Moos

im Passeier, während des selben Zeitraums, keine signifikative Veränderung der BPN Werte festgestellt wurde.

Während des Lokalausgangs vom 31. Juli 2013 konnte auf der Fahrspur in Richtung Gampenpass des Tunnels Naraun 1 (Belag mit durchsichtigem Bitumen) eine Ablagerung mit dem in Naraun 2 zur Verfüllung verwendeten Zementmörtel festgestellt werden. Dieses Phänomen (gut sichtbar in Abb. 38 und 39) ist darauf zurückzuführen, dass der Mörtel über mehrere Stunden (unvorhergesehen) nach der Freigabe für den Verkehr einen plastischen Zustand beibehielt. Die Reifen der Fahrzeuge haben einen oberflächlichen Teil des Zementmörtels abgetragen und diesen auf den darauf folgenden Belag abgelagert.

Mess- zeitraum	Naraun 1 Richtung Gampenpass	Naraun 1 Richtung Meran	Moos i. Pass. Richtung Moos	Moos i. Pass. Richtung Timmelsjoch	Naraun 2 Richtung Gampenpass	Naraun 2 Richtung Meran
	BPN	BPN	BPN	BPN	BPN	BPN
09.07.2012	60	65	59	57		
12.07.2012	55	56	59	56		
19.07.2012	60	54				
26.07.2012	56	57	57	57		
06.09.2012	53	53	58	57		
09.10.2012	55	53				
28.11.2012	60	55				
13.06.2013	48	62	69,3	69,2		
05.07.2013						57,2
12.07.2013	41	56				57,8
31.07.2013	39	53				
05.09.2013	79	76				78
09.07.2014	60	61				64

Tabelle 16 - Evolution der Griffigkeitswerte (skid resistance) in den drei Tunneln



Abb. 38 - Übergang zwischen den beiden Belagstypen – Man beachte die Verschmutzung durch den Zementmörtel

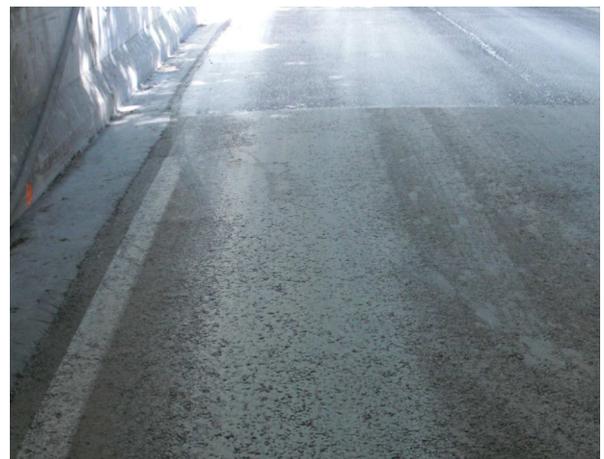


Abb. 39 - Abdeckung des Belag aus durchsichtigen Bitumen durch den Zementmörtel in Fahrtrichtung Gampenpass

Weniger augenscheinlich und vereinzelt auftretend ist die Verschmutzung in Fahrtrichtung Meran, welche durch die Tätigkeiten der Baumaschinen verursacht wurde: Reifenspur eines LkWs, Zementspritzer, usw. (Abb. 40)

Um das Rutschverhalten des Straßenbelages im Tunnel Naraun 1 zu beseitigen wurde beschlossen eine Reinigung mittels "Kugelstrahlen" durchzuführen.

Am 5. September wurde die Behandlung im ersten Tunnel ausgeführt mit der Ausnahme eines Teilbereichs außerhalb des Tunnels, der eine ausreichende Rutschfestigkeit aufwies. Dieser nicht behandelte Bereich dient dazu die natürliche Entwicklung der Affinität von Gesteinskörnung und Bitumen, und die damit verbundenen Werte der Leuchtdichte, auszuwerten (Abb. 21).



Abb. 40 - Reifenspur und Zementspritzer in Richtung Meran

Unter Berücksichtigung, dass die notwendige Ausrüstung schon vor Ort war, erachtete man es als vorteilhaft, auch den Fahrbahnbelag im Tunnel

Naraun 2 Kugelstrahlen, um die Fahrbahnoberfläche homogen zu gestalten (für ein besseres Erkennen der Fahrspur durch die Verkehrsteilnehmer), da sie zuvor verschiedene Farbtöne, aufgrund der unterschiedlichen Abtragung des Zementmörtels an der Oberfläche durch die Befahrung der Verkehrs, aufwies.

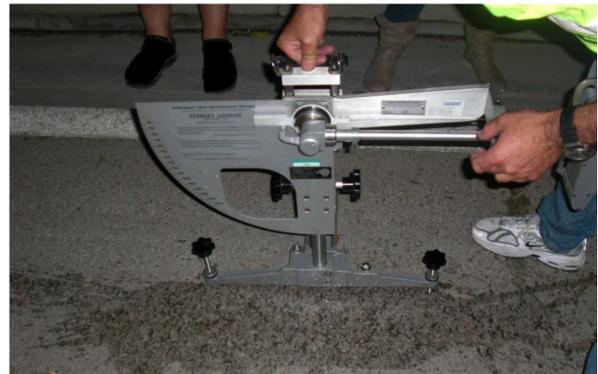


Abb. 41 - Griffigkeitsmessung

Die gleich nach dem Kugelstrahlen gemessenen BPN Werte (Abb. 41) ergaben ein sehr gutes Ergebnis (siehe Tabelle 18).

25-20 Kontrollprüfungen und Monitoring Seehoftunnel, B 181 Achenseestraße

überprüft. Alle Werte konnten gem. RVS 08.97.05 für das Gestein eingehalten werden.

Die Werte wurden entweder durch Nachweise (Zeugnisse) von einer akkreditierten Prüfanstalt oder durch das eigene Labor der Landesstraßenverwaltung überprüft.

25-21 Asphalt

Vor Einbau des Aufhellungsgesteins (Taurusquarzit, Ötztaler Granit) wurden sämtliche Werte der eingebauten Gesteinsklasse G1

In Abbildung 42 eine Tabelle aus der RVS 08.97.05 mit den Anforderungen an die Gesteinsklasse:

Bezug zur ÖNORM EN 13043:2004		Anforderungen										
		Gesteinsklassen bzw. Sollwerte										
Ab-schnitt	Merkmal gemäß CE-Kennzeichnung	G1 ^a	G2 ^a	G3 ^a	G4	G5	G6	G7	G8	G9	GS ^a	
4.1.3	Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN 933-1	im Allgemeinen die Korngruppen 0/1, 0/2, 2/4, 2/5, 4/8, 8/11, 11/16, 16/22, G _C 90/15, G _F 85			Korngruppen und Gesteinskörnungsgemische zulässig G _C 90/20, G _F 85, G _A 90						wie G1	
4.1.3.2	Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN 933-1 für feine Gesteinskörnungen	G _{TC} 20			G _{TC} NR						wie G1	
4.1.4	Gehalt an Feinanteil gemäß ÖNORM EN 933-1	grob: f_1 fein: f_{16}			grob: f_2 fein: f_{NR}						wie G1	
4.1.5	Qualität der Feinanteile gemäß ÖNORM EN 933-9	MB _F NR									MB _F 10	
4.1.6	Kornform von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-4	SI_{15}			-						SI_{15}	
	Masseanteil nicht-kubischer Körner im-Anteil ≥ 4 mm gemäß ÖNORM EN 933-4, bezogen auf den Anteil ≥ 4 mm, in %	-			≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 20	≤ 25	-		
4.1.7	Anteil gebrochener Körner in groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-5	$C_{100/0}$	$C_{90/1}$			-						$C_{100/0}$
	Masseanteil gebrochener Körner im Anteil ≥ 4 mm gemäß ÖNORM EN 933-5, bezogen auf den Anteil ≥ 4 mm Anteil C_{cs} in % Anteil $C_{10'}$ in % Anteil C_{1r} in %	-			≥ 90 ≥ 30 ≤ 1	≥ 50 - -	- - -	100 ≥ 90 0	≥ 90 ≥ 30 ≤ 1	≥ 50 - -	-	
4.1.8	Kantigkeit von feinen Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-6:2002, Abschnitt 8	$E_{CS}35$			-						$E_{CS}35$	
	Kantigkeit des Anteil kleiner 2 mm aus der gesamten Gesteinskörnung gemäß ÖNORM EN 933-6:2002, Abschnitt 8, Ausflusszeit in s	-			≥ 35	≥ 30	-	≥ 35	≥ 30	-		
4.2.2	Widerstand gegen Zertrümmerung für grobe Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 1097-2:1998, Abschnitt 5	LA_{20}	LA_{25}			LA_{30}	LA_{40}	LA_{25}	LA_{30}		LA_{20}	

Bezug zur ÖNORM EN 13043:2004		Anforderungen										
		Gesteinsklassen bzw. Sollwerte										
Ab-schnitt	Merkmal gemäß CE-Kennzeichnung	G1 ^a	G2 ^a	G3 ^a	G4	G5	G6	G7	G8	G9	GS ^a	
4.2.3	Widerstand gegen Polieren an groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 1097-8	PSV ₅₀	PSV ₄₄	PS _{Vangegeben}	PSV _{NR}			PS _{Vangegeben}			PSV ₅₀	
4.2.9.2	Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel an 8/16 gemäß ÖNORM EN 1367-1 ^b	F ₁			F ₂						F ₁	
4.2.10	Widerstand gegen Hitzebeanspruchung gemäß ÖNORM EN 1367-5	nicht gefordert										
4.2.11	Affinität von groben Gesteinskörnungen zu Bitumen gemäß ÖNORM EN 12697-11:2007, Verfahren B, bei 40 °C; Bezugsbitumen: Straßenbaubitumen 70/100	Anzahl nicht bedeckter Körner: ist anzugeben Bedeckungsgrad: ist anzugeben ^c										
	Affinität von groben Gesteinskörnungen zu Bitumen gemäß ÖNORM EN 12697-11:2007, Verfahren B, bei 40 °C; Bezugsbitumen: Bindemittelsystem gemäß Erstprüfung	Anzahl nicht bedeckter Körner: ist anzugeben Bedeckungsgrad: ≥ 80 % ^c										
4.2.12	Sonnenbrand von Basalt gemäß ÖNORM EN 1367-3	SB _{LA}										
4.3.4.3	Raubbeständigkeit von Stahlwerkschlacke gemäß ÖNORM EN 1744-1	V _{3,5}			V _{6,5}						V _{3,5}	
Ohne Bezug zu ÖNORM EN 13043												
–	Widerstand gegen Polieren an feinen Gesteinskörnungen (PWS), gemäß RVS 11.06.23 ^c	–									≥ 0,50	
^a Die feine Gesteinskörnung ist aus einer Bezugsquelle zu beziehen, in der die groben Gesteinskörnungen einen LA-Wert LA ₂₀ für G1 und GS sowie einen LA-Wert LA25 für G2 und G3 aufweisen. ^b Bei WA ₂₄ 1 ist F ₁ erfüllt, bei WA ₂₄ 2 F ₂ . Die Wasseraufnahme gemäß ÖNORM EN 1097-6 ist an Körnungen > 32 mm zu prüfen. Steht keine Prüfkörnung > 32 mm zur Verfügung, ist die Wasseraufnahme an der größten zur Verfügung stehenden Körnung durchzuführen. ^c Im Rahmen der CE-Kennzeichnung Angabe auf freiwilliger Basis.												

Abb. 42 - Auszug aus der RVS 08.97.05

Der Leuchtdichtekoeffizient q_0 des Aufhellungsgesteins (Tanusquarzit) wurde im Trockenem mit 0,132 cd/(m² lx) angegeben (Prüfzeugnis). Gem. Vorgaben liegt der Wert bei 0,10 cd/(m² lx) und wird daher übertroffen.

Die Prüfung der Griffigkeit erfolgte mit einem tragbaren Griffigkeitsmesser (Pendelgerät). Die abgeb. Decken mit Aufhellungsgestein erreichten die erforderlichen PTV Werte von 55 SRT (BPN). Bei

der halbstarren Decke wurde ein nicht ausreichender PTV von 38-42 SRT gemessen. Die Empfehlung für diesen Abschnitt war, eine Hochdruckreinigung mit Wasser welche die Betonschlämme von der Decke entfernte, und die Griffigkeit auf das erforderliche Maß von PTV 55 SRT (BPN) erhöhte.

25-22 Tunnelbeschichtung

Vor dem Aufbringen der Tunnelbeschichtung wurde der Betonuntergrund nach den Vorgaben des Merkblattes „Anstriche für Tunnelinnenschalen“ der Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik vorbereitet. Dieses Merkblatt sieht Haftzugprüfungen und die Messung der Rauhtiefe des Betonuntergrundes vor. Des Weiteren wurden Bohrmehlproben für die Ermittlung des Chloridgehaltes entnommen.

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Epoxidharzmaterialien konnte die Taupunktproblematik vernachlässigt werden, da es sich um rein mineralische Materialkomponenten handelt.

Vor der Wintersaison 2012/13 wurden zwei Stück Musterflächen im Ausmaß von je 1,5 m² hergestellt. Der Unterschied der Flächen lag in der Rauigkeit der Oberflächenbeschaffenheit. Eine Fläche blieb spritzrauh und die andere Fläche wurde abgezogen und geglättet. Die Flächen wurden eine Winterperiode lang beobachtet. Die Entscheidung fiel auf die abgezogene und geglättete Fläche, da diese nach der Reinigung wesentlich weniger Schmutzrückstände aufwies als die spritzrauh Fläche. Die vorgegebene Schichtdicke (mind. 5 mm über den Spitzen) wurde während der Herstellung laufend kontrolliert.

25-23 Beleuchtung

Ausgangslage ist das Errichten einer ausreichenden Beleuchtung für die Verkehrsteilnehmer im Gesamtkonzept, wobei die Reflexionen der Fahrbahn und der Tunnelbeschichtung einfließen.

Für den Seehoftunnel wurde mit Hilfe eines Ingenieurbüros ein Beleuchtungskonzept auf Basis der geltenden Vorschriften (RVS 09.02.41 – Beleuchtung, vom 28. Jänner 2014) ausgearbeitet, ausgeschrieben und umgesetzt.

Zur Abnahme der technischen Beleuchtungseinrichtungen (Steuerung und Beleuchtungselemente) ist die erste große Beleuchtungsmessung notwendig. Dabei fließen alle Faktoren hinsichtlich Lichtstärke, Steuerbarkeit abhängig von den Leuchtdichtekameras sowie Reflexionswerte der Decken, der Wände und Fahrbahn ein. Die Messungen wurden nur zur Nachtzeit durchgeführt. Damit werden Lichtfremdeinflüsse verhindert.

Für die Zeit der Messung mussten die Tunnel gesperrt werden. Eine ausreichende Anzahl an Messpunkten wird vorbereitet. Eine Spezialkamera wird eingesetzt. Pro Messpunkt werden zumindest 5 Bilder angefertigt. Ein ausgereiftes Computerprogramm ermöglicht eine visuelle Darstellung der Messergebnisse.

Messmittel:

Leuchtdichtemessgerät: Firma Techno, Bildverarbeitung GmbH, Typ: LMK mobile advanced

Beleuchtungsstärkemessgerät: Firma: PRC Krochmann, Typ: Radiolux 111 advanced

Zur Reverenz Messung wurde ein Messgerät der Firma Gossen, Typ Mavolux 5032B eingesetzt.

Messmethode:

(Auszug aus der in Österreich gültigen Vorschrift RVS 09.02.41 Beleuchtung – Kapitel 9, Messmethode)

Fahrbahnleuchtdichte:

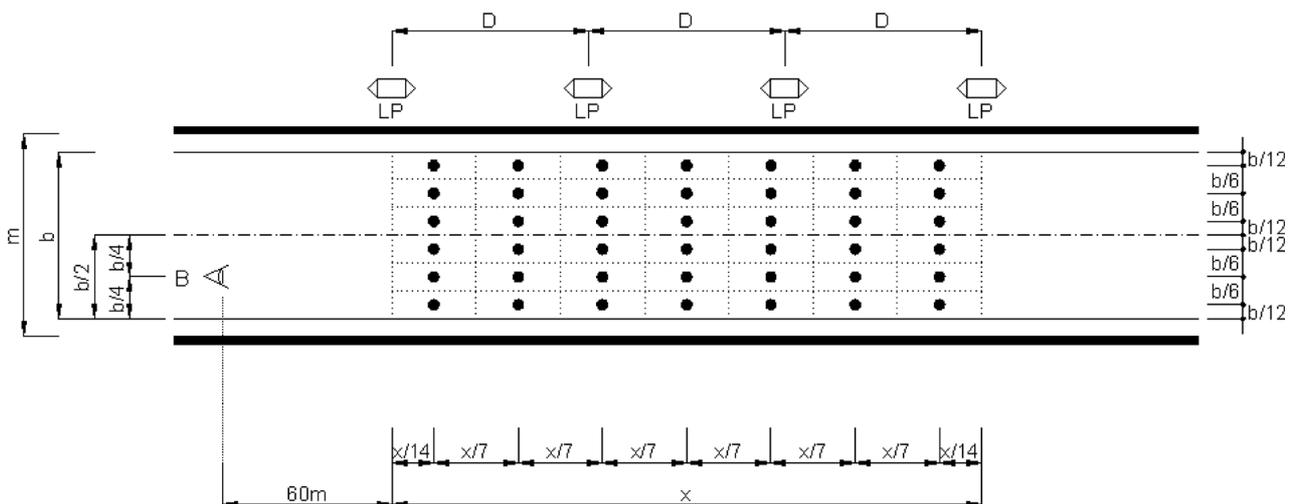
Die Messung erfolgt bei einem RV-Tunnel in Fahrtrichtung, bei einem GV-Tunnel für die Innenstrecke aus beiden Fahrtrichtungen (wegen der außermittigen Leuchtenanordnung).

Die Fahrbahnleuchtdichte L_f und die Horizontalbeleuchtungsstärke E_{hf} werden in drei Messpunkten je Fahrstreifen und eventuell vorhandenem Abstellstreifen in der Querrichtung und sieben Messpunkten in der Längsrichtung bestimmt.

Die Messfeldlänge x in der Innenstrecke und im ersten Teil der Einsichtsstrecke (ein oder mehrere Leuchtenabstände) hat mindestens 20 m zu betragen.

Grenze zwischen äußerem und mittlerem Fahrstreifen sowie für den/die mittleren Fahrstreifen die jeweilige Fahrstreifenbreite.

Der Kurvenverlauf der Einfahrtsbeleuchtung (zweiter Teil der Einsichtsstrecke und Übergangsstrecke) ist mit Querschnitten im Abstand von 6 m zu messen, wobei der erste Querschnitt der halben Anhaltestrecke ab dem Portal entsprechen soll. Der Abstand des Beobachters zum Messquerschnitt ist in diesem Fall mit 60 m konstant.



Legende:

B Beobachter - Referenzmesspunkt

D Leuchtenabstand

● Messpunkt

X Messfeldlänge [m],

B Abstand zwischen den Bordsteinen [m]

m Lichte Weite [m]

Abb. 43 - Messfeld für die Fahrbahn

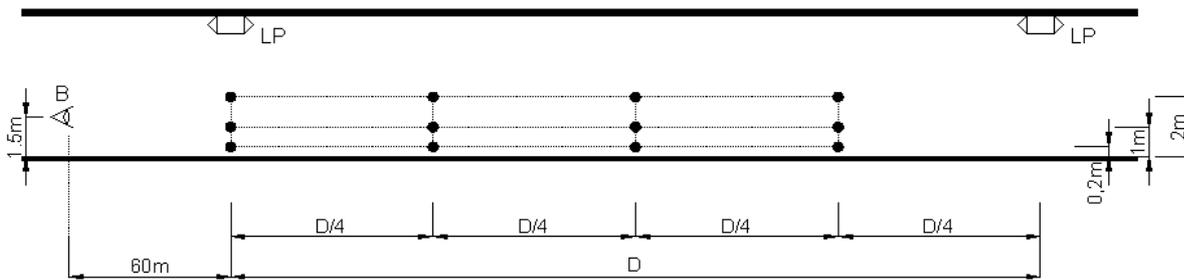
Ist der erste Teil der Einsichtsstrecke kürzer als 30 m, genügt ein Querschnitt. Die sieben Messpunkte liegen, in Längsachse gesehen, mittig in den Teil-Messfeldern ($x/7$).

Bei mehr als zwei Fahrstreifen gilt für die äußeren Fahrstreifen die Breite zwischen Bordstein und

Wandleuchtdichten:

Die Wandleuchtdichte ist im Bereich der Innenstrecke und im Bereich des ersten Teiles der Einsichtsstrecke nachzuweisen.

Die Messung ist gemäß Abbildung „Fahrbahnleuchtdichte“ zwischen zwei Leuchten



Legende:

- B Beobachter - Referenzmesspunkt
- D Leuchtenabstand
- Messpunkt

- D Leuchtenabstand und Messfeldlänge [m],
- D / 4 Messpunktabstand in Fahrtrichtung [m]
- H Messpunkthöhe [m] → 0,2; 1,0; 2,0 m über dem erhöhten Seitenstreifen

Abb. 44 - „Wandleuchtdichte“: Messfeld für die Wände

durchzuführen. Ist der Abstand zwischen zwei Leuchten geringer als 12 m, genügen zwei Messpunkte. Aus den Messwerten ist das arithmetische Mittel zu bilden. Die Höhenangabe in Abbildung „Fahrbahnleuchtdichte“ bezieht sich auf den erhöhten Seitenstreifen.

Als Referenzmesspunkt für Leuchtdichtemessungen im Tunnel wird der Punkt in der Mitte des rechten Fahrstreifens in 1,5 m Höhe in einem Abstand von 60 m vor dem Messfeld bezeichnet.

Der Referenzmesspunkt für die Leuchtdichtemessung L_{20} ist in der Regel in Abhängigkeit von der Anhaltstrecke zu wählen.

Für die Projektierung und Messung sind jeweils die gleichen Messfelder und Messpunkte anzuwenden.

Die gemessenen Werte ergeben die Leuchtdichte. Vergleichsweise wurde auch in Einzelbereichen die Lichtstärke gemessen.

Aufgrund von Verschmutzung im Tunnel ändern sich die Oberflächen- und Reflexionswerte. Um diese Veränderungen darstellen und dokumentieren zu können, sind wiederkehrende Messungen mit denselben Messaufbauten und

auch mit derselben Messfirma durchgeführt worden.

Die realistische **Energieersparnis**, bei einem Beobachtungszeitraum von rund einem Jahr, kann zwischen **25% und 30%** angegeben werden.

25-30 Kontrollprüfungen und Monitoring Tunnel Rattenberg, B 171 Tiroler Straße

25-31 Messprogramm Tunnelanstrich

Im Zuge der Herstellung der Musterflächen im Tunnel Rattenberg wurde von der Universität Innsbruck und in Zusammenarbeit mit einem Ingenieurbüro ein umfangreiches Messprogramm für die Herstellung und die weitere Beobachtung ausgearbeitet. Die Prüfungen wurden nach der Untergrundvorbereitung, während der Verarbeitung und an der fertigen Oberfläche durchgeführt. Nachfolgend eine Übersicht zum Prüfplan:

Nach der **Untergrundvorbereitung**:

- **Abreißfestigkeit der gestrahlten Oberfläche**
- **Rauigkeit der gestrahlten Oberfläche**
- **Bohrmehlprobe in drei Tiefenstufen zu 1,5 cm als Rückstellprobe zur Chloridbestimmung**

Während der **Verarbeitung** (3x tägl.; Beginn, während und Ende der Arbeiten):

- **Relative Luftfeuchte**
- **Lufttemperatur**
- **Bauwerkstemperatur**
- **Taupunkt**
- **Betonfeuchte**
- **Herstellung von drei Stück Musterflächen**
- **Rückstellproben aller Produkte**

An der **fertigen Oberfläche**:

- **Haftzugfestigkeit Anstrichsystem**
- **Schichtdicke Spachtelung**
- **Schichtdicke Anstrich**
- **Helligkeitswert LRV gem. BS8493**

Alle Prüfungen konnten während der Herstellung und an der fertigen Oberfläche ordnungsgemäß durchgeführt werden. Die Arbeiten und Messungen wurden von der ÖBA und einem Ingenieurbüro auf der Baustelle überwacht. Sämtliche Prüfungen wurden von einer unabhängigen Fremdfirma durchgeführt.

25-32 Tunnel Reinigung

Die Reinigung der Ulmenbeschichtung erfolgte mit einer Reinigungsflüssigkeit und klarem Wasser im dichten Abstand. Eine mechanische Reinigung kam nicht zum Einsatz.

Des Weiteren wurde jeweils mit einem Tuch auf der Beschichtung versucht den Schmutz zu entfernen um die Verschmutzung und die Wirksamkeit der Reinigung zu überprüfen.



Abb. 45 - Tunnel Rattenberg - Reinigung der Ulmenfläche



Abb. 46 - Tunnel Rattenberg - Vor und nach der Waschung

25-33 Vorläufige Schlussfolgerung Tunnelanstrich

Die Unterschiede der Schmutzablagerungen auf den Musterflächen nach erfolgter Tunnelwaschung können als gering bezeichnet werden.

Alle Teilbereiche der Musterflächen, die mit einer zusätzlichen Nanobeschichtung versehen wurden, erweisen sich als weniger schmutzempfindlich gegenüber der Hauptfläche. Keine der Musterflächen zeigte Ablösungsansätze.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Beschichtung auf Block Nr. 52 augenscheinlich am geringsten verschmutzt war.

Das gegenständliche Interreg IV Projekt „innovative Beläge und Beleuchtung für Tunnel“ ist bis Ende Oktober 2014 anberaumt. Der Tiroler Projektpartner hat sich darüber hinaus dazu entschlossen, die Beobachtung der Musterflächen um eine Jahr (Herbst 2015) zu verlängern.

Durch die zeitliche Verlängerung können die Musterflächen länger als ein Jahr beobachtet werden und sind dadurch stärker der Frost-Tausalz-Periode sowie Verschmutzung ausgesetzt.

25-34 Beleuchtung

Im Gegensatz zur Beleuchtungsmessung des Seehoftunnels, wo speziell die LED-Beleuchtung auf ihre Funktionalität gemessen wurde, wird im Tunnel Rattenberg die bestehende Beleuchtung einer Natrium Hochdruckdampfampe weiterhin verwendet. Hier wurde das Augenmerk auf die Beschichtung der Ulmenfläche gelegt, die nach Aufbringen der Testflächen unterschiedliche Reflexionswerte ergab.

Die Messmethode wurde gleich jener der Messmethode im Seehoftunnel aufgebaut. Die Messergebnisse konnten ebenso durch ein ausgereiftes Computerprogramm visualisiert werden.

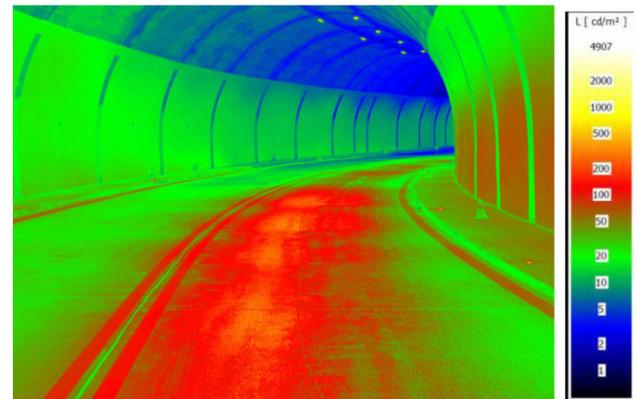


Abb. 47 - Messkamerabild Seehoftunnel



Abb. 48 - Kameraaufnahme ca. 40m vor dem Bild der Messkamera

Leuchtdichte bezogen auf die Fahrbahn-
leuchtdichte

Fahrbahnleuchtdichte [cd/m ²]					
Bildnr.	Bez.	MITTELW	MIN	MAX	U ₀
1	Einfahrtsstrecke; -60m	110,1	17,0	244,5	0,2
2	Übergangsstrecke; 30m	101,0	16,0	254,1	0,2
3	Übergangsstrecke 90m	17,3	2,8	48,0	0,2
4	Durchfahrtsstrecke 165m	6,4	0,8	23,6	0,1
5	Durchfahrtsstrecke 240m	3,3	0,2	10,9	0,1
6	Durchfahrtsstrecke 315m	3,6	0,4	22,3	0,1
7	Übergangsstrecke 365m	7,2	0,5	31,7	0,1
8	Übergangsstrecke 415m	11,1	1,9	38,0	0,2
9	Übergangsstrecke 465m	25,8	5,5	89,0	0,2
10	Ausfahrtsstrecke 515m	45,6	7,1	189,1	0,2

Tab. 17 - Messergebnis vom 24.Juli 2012 von 22:50 – 23:40 - Erstmessung

Fahrbahnleuchtdichte [cd/m ²]							
Blockbereich	Region	vor der Reinigung			nach der Reinigung		
		Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Mittelwert
54-50	1	11,0	213,6	100,2	27,9	241,6	113,6
49-46	1	9,0	115,8	52,7	13,5	117,2	56,4
45-44	1	3,8	44,8	19,5	7,0	60,9	29,2
43-42	1	3,2	34,4	16,0	6,1	47,1	21,9
41-40	1	2,3	31,1	12,0	3,7	37,1	15,0
39-38	1	1,3	24,4	10,3	3,3	26,2	12,3
37-36	1	0,8	24,1	6,6	1,7	16,8	5,3
35-34	1	0,8	6,9	2,7	0,6	6,0	2,1
33-32	1	0,7	7,2	2,8	1,3	9,7	4,0
31-30	1	0,6	6,0	2,1	1,3	9,8	4,2

Tab. 18 - Messergebnis 23.04.2014 und 08.05.2014 in der Zeit von 21:00 – 23:00 (vor und nach einer Reinigung)

Ergebnis:

Es konnten nicht dieselben Messpunkte verwendet werden. Trotzdem lässt sich erkennen, dass die Beschichtung durch die Musterflächen eine deutliche Erhöhung des Reflexionsfaktors bewirkt hat. Zudem konnte durch die Reinigung eine weitere Verbesserung und damit ein positiver Einfluss auf die Reflexion erzielt werden.

Diese Gegenüberstellung stellt eine markante Verbesserung durch die neue Ulmenbeschichtung im Stadtbergtunnel Rattenberg dar, wobei hier noch keine Klassifizierung der einzelnen Beschichtungsprodukte stattgefunden hat (siehe Abb. 51 und 52).

Stadtbergtunnel Rattenberg, 640m Länge				
Messung 2012			Messung 2014	
Mittelwert	Bild NR	Länge	Block	Mittelwert
101,00 cd/m ²	2	12	54	102,00 cd/m ²
		24	53	
17,30 cd/m ²	3	36	52	52,70 cd/m ²
		48	51	
		60	50	
		72	49	
		84	48	
6,40 cd/m ²	4	96	47	19,50 cd/m ²
		108	46	
		120	45	
		132	44	
		144	43	
3,30 cd/m ²	5	156	42	16,00 cd/m ²
		168	41	
		180	40	
		192	39	
		204	38	
3,60 cd/m ²	6	216	37	12,00 cd/m ²
		228	36	
		240	35	
		252	34	
		264	33	
3,60 cd/m ²	6	276	32	2,80 cd/m ²
		288	31	
		300	30	
				2,10 cd/m ²

Abb. 49 - Die vergleichbaren Bereiche des Tunnel Rattenberg

Beleuchtungsstärke bezogen auf die Fahrbahn

Bildnr.	Bez.	Beleuchtungsstärke [lx]
1	Einfahrtsstrecke; 0m	380
2	Übergangsstrecke; 30m	505
3	Übergangsstrecke 90m	320
4	Durchfahrtsstrecke 165m	55
5	Durchfahrtsstrecke 240m	43
6	Durchfahrtsstrecke 315m	25
7	Übergangsstrecke 365m	28
8	Übergangsstrecke 415m	106
9	Übergangsstrecke 465m	163
10	Ausfahrtsstrecke 515m	365

Tab. 19 - Messergebnis vom 24. Juli 2012 von 22:50 – 23:40 - Erstmessung

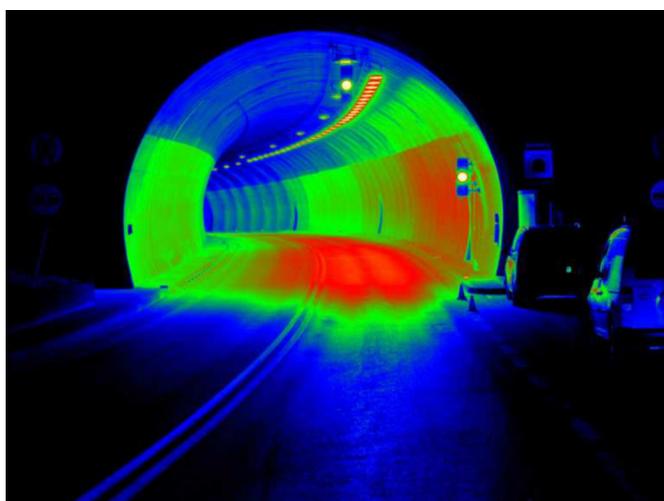


Abb. 50 - Tunnel Rattenberg - Eingangportal

hor. Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn [lx]			
Blockbereich	Region	vor der Reinigung	nach der Reinigung
		Mittelwert	Mittelwert
53	1	1180,0	1220,0
52	1	1070,0	1300,0
51	1	950,0	1010,0
50	1	525,0	550,0
49	1	530,0	620,0
48	1	345,0	370,0
47	1	275,0	360,0
46	1	305,0	360,0
35	1	19,0	31,0

Tab. 20 - Messung 23.04.2014 und 08.05.2014 in der Zeit von 21:00 – 23:00 (vor und nach einer Reinigung)

Beleuchtungsstärke an der rechten Wand in Fahrtrichtung (West nach Ost) [lx]									
Blockbereich	Region	vor der Reinigung				nach der Reinigung			
		0,2m	1m	2m	Mittelw	0,2m	1m	2m	Mittelw
53	1	800,0	630,0	570,0	666,7	850,0	959,0	800,0	869,7
52	1	670,0	660,0	560,0	630,0	850,0	780,0	810,0	813,3
51	1	670,0	700,0	540,0	636,7	770,0	750,0	670,0	730,0
50	1	400,0	420,0	310,0	376,7	420,0	350,0	380,0	383,3
49	1	330,0	340,0	320,0	330,0	520,0	590,0	330,0	480,0
48	1	230,0	210,0	185,0	208,3	210,0	220,0	200,0	210,0
47	1	220,0	200,0	240,0	220,0	210,0	200,0	210,0	206,7
46	1	190,0	190,0	150,0	176,7	200,0	220,0	190,0	203,3
35	1	8,3	8,0	6,6	7,6	12,0	16,0	13,0	13,7

Tab. 21 - Zudem konnte bei den Messungen vom 23.04.2014 und 08.05.2014 in der Zeit von 21:00 – 23:00 (vor und nach einer Reinigung) die Beleuchtungsstärke der Wände im Bereich der Musterflächen gemessen werden.

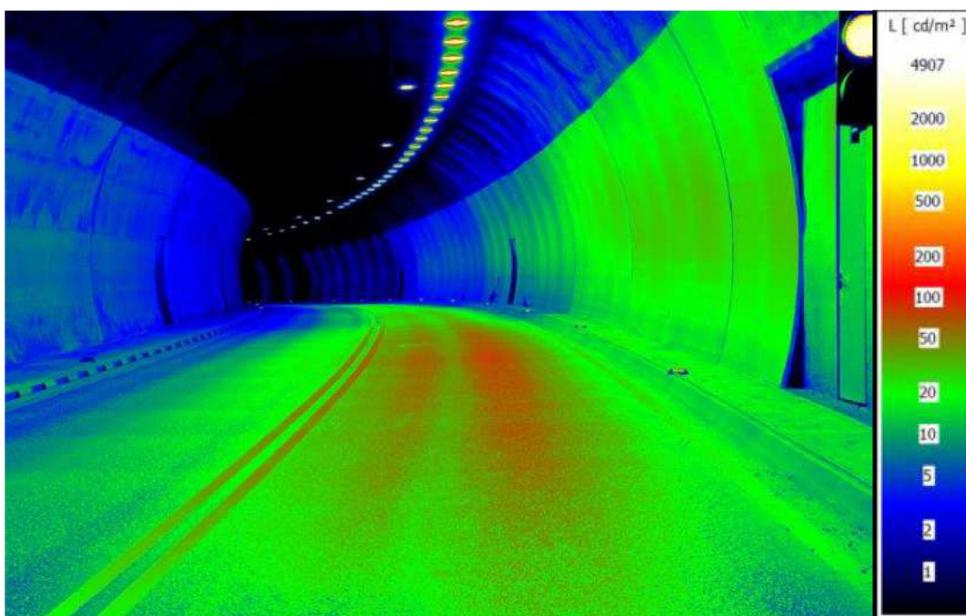


Abb. 51 - Leuchtdichtemessung Stadtbergtunnel Rattenberg vor dem Aufbringen der Musterflächen

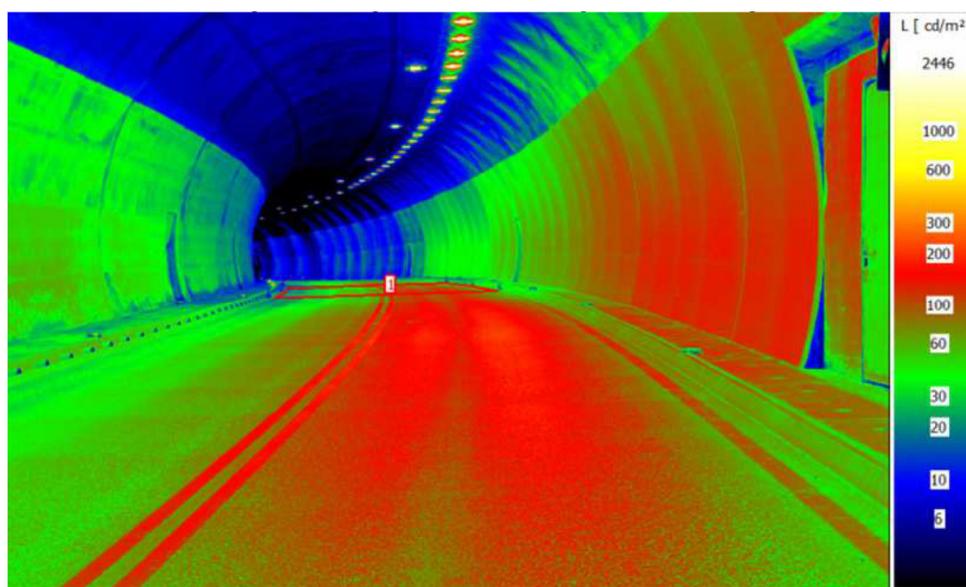


Abb. 52 - Leuchtdichtemessung im Bereich der Musterflächen nach dem Aufbringen der Musterflächen

25-35 Vorläufige Schlussfolgerung Beleuchtung

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann gesagt werden, dass die aufgetragenen Musterflächen im Stadtbergtunnel Rattenberg gegenüber der bestehenden Tunnelbeschichtung, die 1996 aufgebracht wurde, eine markante Verbesserung der Reflexionswerte erbrachte.



Abb. 53 - Messung

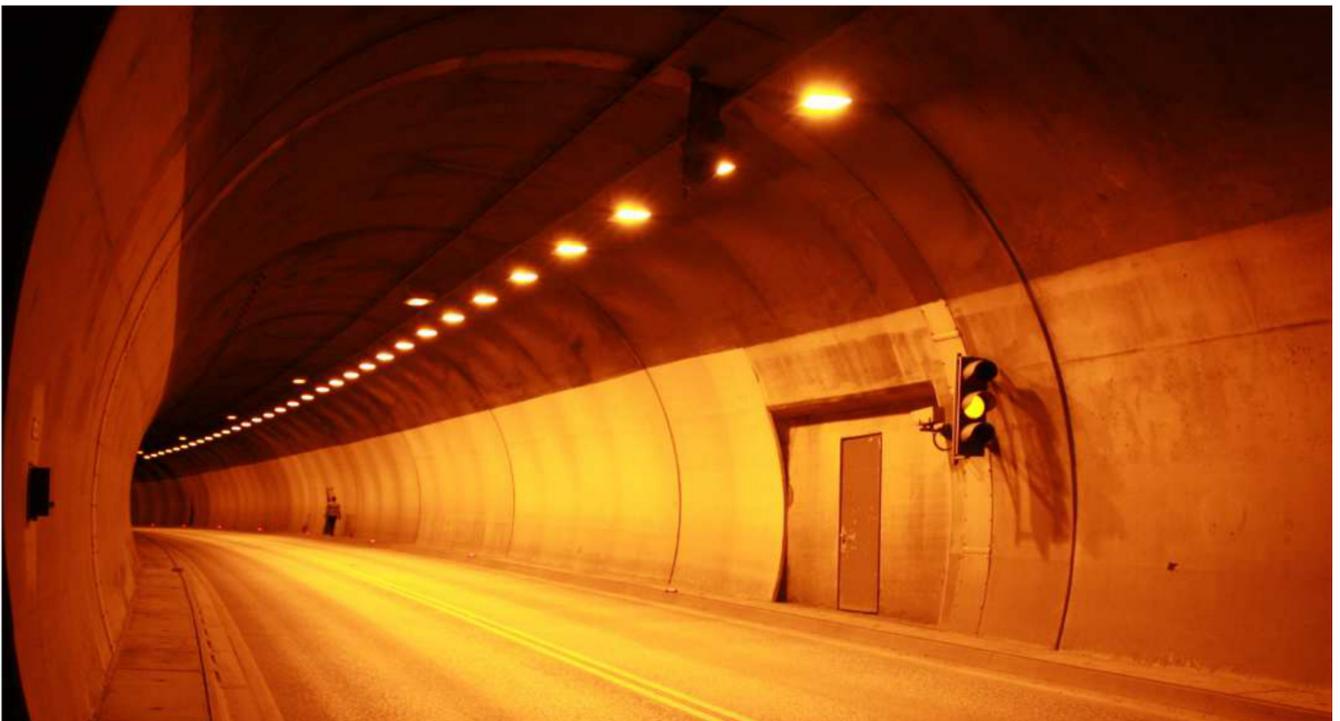


Abb. 54 - Die Musterflächen beginnen nach dem Technikraum Tunneleinwärts

26-10 Energiebetrachtung Tunnel Naraun 1 und 2

Vergleich der eingebauten innovativen Straßenbeläge:

Betrachtet man allein die beleuchtungstechnischen Aspekte, dann weist die Oberfläche der verlegten Fahrbahn im Tunnel **Naraun 1** die besseren Eigenschaften auf als jene von **Naraun 2**.

Anhand der Ergebnisse der durchgeführten Messungen rund 1 - 2 Jahren nach der Fertigstellung der Sanierungsarbeiten und hinsichtlich der vorgegeben Kriterien der geltenden Norm UNI 11095/11, kann man die Fahrbahnoberfläche NARAUN 1 zu den hellen Fahrbahnen einstufen ($Q_0=0,11$), hingegen die Fahrbahnoberfläche NARAUN 2 zu den dunkleren Oberflächen mit mittelmäßiger Leuchtdichte der Fahrbahnoberfläche ($Q_0=0,075$).

In wirtschaftlicher Hinsicht, kann durch den Einsatz von hellen Fahrbahnoberflächen gegenüber von traditionellen dunklen Fahrbahnen eine erhebliche **Energieeinsparung** erzielt werden, da der Einsatz von weniger Leuchten erforderlich ist: **die Einsparung beträgt zwischen 50 und 60 %**.

Vergleich der eingebauten innovativen Beleuchtungskörper:

Zur Quantifizierung der wirtschaftlichen Einsparungen bei der Verwendung von LED-Leuchten gegenüber traditionellen Beleuchtungskörpern mit Natriumhochdruck Leuchtenmitteln (NAV), wurden folgende Punkte in eine Berechnungsvorlage eingebaut:

In dieser Berechnungsvorlage werden folgende Parameter berücksichtigt:

1. die Tagesstunden der verschiedenen Monate des Jahres in der Provinz Bozen
2. ein Prozentsatz der bewölkten Tage
3. die Zeit in welcher das Portal nicht vollständig von der Sonne ausgeleuchtet wird
4. die Anschaffungskosten der LED-Leuchten
5. die Anschaffungskosten der Beleuchtungskörper mit NAV-Leuchtmittel
6. die Energiekosten pro kWh
7. der prozentuale Anstieg der Energiekosten in den kommenden Jahren (geschätzt)
8. die in der UNI 11095/11 enthaltenen Vorschriften zur Dauerbeleuchtung und jener der Dauerbeleuchtung in den Nachtstunden

wobei folgende Annahmen gelten:

- a. eine zu erwartende Lebensdauer der Anlage von 20 Jahren;
- b. Kosten einer kWh von 0,22 €;
- c. einer jährlichen Erhöhung der Stromkosten um 3%;
- d. einer Dauerbeleuchtung mit NAV-Leuchten welche nicht mit einem Lichtregler gedimmt werden

Die Berechnungsvorlage bietet eine Reihe von Ergebnissen:

1. die möglichen finanziellen Einsparungen mit Berücksichtigung auch der Anschaffungskosten
2. die Verbrauchskosten (geschätzt) mit Anwendung von Natriumdampf-hochdrucklampen, angenommene Leistung von 80W
3. die Verbrauchskosten (geschätzt) mit Anwendung von LED-Leuchten
4. die prozentuelle Einsparung beim Verbrauch durch den Einsatz von LED-Leuchten gegenüber NAV-Leuchten

Die Gesamtausgaben nach 20 Jahren für den Einsatz von LED-Leuchten im Narauner Tunnel betragen: 277.928,00 €, hätte man die Beleuchtungsanlage mit Natriumdampflampen ausgestattet, hätten die Gesamtausgaben 363.078,00 € betragen, inklusive MwSt. von 22%.

Die Gesamteinsparung der Kosten im Vergleich zum rechnerischen Einsatz von Leuchten mit Natriumhochdrucklampen (NAV) beträgt 85.150,00 €, was einer Einsparung von **23%** entspricht.

Die Energieeinsparung beträgt 432.514 kWh, was einer Einsparung von **39%** entspricht.

26-21 Energiebetrachtung Seehoftunnel

Dazu darf eine Vergleichsberechnung der Energiezufuhr für die Beleuchtung und damit eine Gegenüberstellung der Beleuchtung mittels Natriumhochdruckdampf lampen und einer LED Beleuchtungsanlage mit Linsentechnologie für Einfahrts- und Durchfahrtsbeleuchtung angeführt werden.

Die Berechnung gilt nur für den erforderlichen Aufwand an zugeführter Energie zur Beleuchtung. Es sind keine Herstellungskosten, Instandhaltungs- und Wartungskosten berücksichtigt. Ebenso geht die Energiebilanz nicht auf die unterschiedlichen Beschichtungen und Beläge ein. Allerdings verbessert sich der Wirkungsgrad der Beleuchtung mit der erstellten Beschichtung im Seehoftunnel zusätzlich.

Im Bereich der Einfahrt konnte eine Einfahrtshilfe mit Werten um 70cd/m^2 geplant werden, da die Viadukte im Norden und im Süden einen guten natürlichen Lichteinfall unterstützen. Die Berechnung der herkömmlichen Beleuchtung erbrachte mit 250Watt und 150Watt Leuchten einen Jahresenergieaufwand von 25.967 kWh. Für die Durchfahrtsbeleuchtung würden 35.394 kWh benötigt.

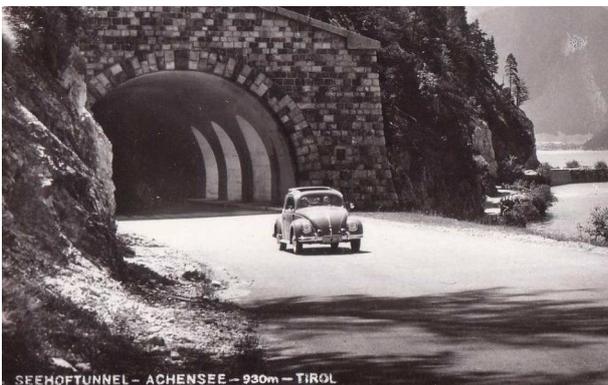


Abb. 55 - Der Seehoftunnel in den 1960er Jahren

Die eingesetzte LED – Linsen Technik benötigt für die Einfahrtshilfe einen Jahresenergieaufwand von 17.468 kWh und für die Durchfahrtsbeleuchtung 27.255 kWh.

Berücksichtigt wurde zudem der jeweilige Wirkungsgrad, die Nachtabenkung, und die geplante Leuchtdichte für den Einfahrtsbereich mit ca. 75cd/m^2 und dem Durchfahrtsbereich mit ca. 4cd/m^2 .

Beleuchtung:

Bei einem Preis von 0,1588 € in dem der Energiepreis, die Netzkosten, öffentliche Abgaben und die Steuern enthalten sind, ergibt dies einen Kostenaufwand für die herkömmliche Beleuchtung von 9.750,22 € und einem Kostenaufwand bei der eingesetzten LED Beleuchtung in Linsentechnik von 7.106,55 €.

Das bedeutet eine rechnerische Einsparung durch den Einsatz der LED Beleuchtung von **27%**.

Ein weiterer großer Vorteil ergibt sich aus den kurzen Schaltzeiten der LED Beleuchtung. Es müssen keine Einbrennzeiten berücksichtigt werden. Es kann nach einer Energiereduzierung sofort wieder eine Vollbeleuchtung geschaltet werden.

Bibliographie

- Abteilung Straßenbau, Nordtirol. (2012). Innsbruck: Landesbaudirektion.
- Al-Qadi I. L., Weyers R. E., (1994) "Asphalt Portland Cement Concrete Composite: Laboratory Evaluation", Journal of Transportation Engineering, vol. 120, No. 1
- ANAS. (2009). Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente, seconda edizione. Bozen.
- ASFINAG, Merkblatt Tunnelanstrichsystem - Anlage zur Technischen Richtlinie. (2011). Wien: Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft.
- ASFINAG, Planungshandbuch Tunnel - Bau. (2011). Technische Richtlinie, Wien. (2011, Hrsg., & A. u. Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft, Redakteur) Planungshandbuch Tunnel - Bau, Technische Richtlinie: Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft.
- ASFINAG, Tunnel - Beleuchtung (BEL) - Technische Richtlinie. (2010). Wien: Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft.
- ASFINAG, Tunnel - Beleuchtung (BEL) - Technische Spezifikation. (2013). Wien: Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft.
- Asphaltdeckschichten, N. E. (2004). Praktische Hinweise für den Bau von hellen Asphaltdeckschichten. Hamburg.
- ASTRA, B. f. (2005). Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen. Richtlinie ASTRA 12001. Bern.
- ASTRA, B. f. (2010). Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen. Weisungen ASTRA 74001. Bern.
- ASTRA, B. f. (13. November 2012). Fachbuch BSA (Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen ASTRA, Version 2.0. Bern.
- ASTRA, B. f. (09. November 2012). Fachbuch T/G (Tunnel/ Geotechnik). Version 4.0. Bern: ASTRA.
- ASTRA, B. f. (2012). Strassen und Verkehr - Zahlen und Fakten. Bern.
- Außerlechner, M. (08. Mai 2014). Beleuchtungstechnologien in Tunneln. (F. Pospischil, Interviewer) Innsbruck.
- Autobahndirektion Südbayern. (2012). Baubeschreibung Dünnenschichtbelag, heiß auf Versiegelung mit farblosem Bitumen. E-mailverkehr mit Löcherer, Ludwig. München.
- Bartenbach LichtLabor GmbH. (2012). Tunnelbeleuchtung mit LED. Eröffnungskonferenz Projekt iBBT. Bozen Südtirol.
- Bauberichte, Tagungsberichte. Geomechanik Tunnelbau, 1. (2008). 85–91, doi: 10.1002/geot.200890005.
- Baum, A. (2012). Photokatalytische Oberflächen zur Minderung der Stickoxidbelastung an Verkehrswegen. Graz: Symposium "Emissionen, Verkehr & Lösungen".
- Baureferat Süd. (2012). Schriftverkehr. Stuttgart, Deutschland: Referat 47.3 Baureferat Süd.
- Bocci, M. (2012). Stato di avanzamento delle attività di laboratorio al 31.05.2012. Ancona.

- Bundesamt für Strassen ASTRA. (2010). Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen, Weisungen ASTRA 74001. Bern: Bundesamt für Strassen ASTRA.
- Bundesamt für Strassen, ASTRA. (2012). Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung. Bern, Schweiz: VSS - Verband der Schweizer Strassen- und Verkehrsfachleute.
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2007). ZTV-ING Teil 5 - Tunnelbau. Bundesanstalt für Straßenwesen.
- CEN - 13201-1. (2004). Straßenbeleuchtung Teil 1 CEN/TR 13201 - 1. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung.
- CEN - 13201-2. (2004). Straßenbeleuchtung Teil 2 CEN/TR 13201 - 2. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung.
- CEN - 13201-3. (2007). Straßenbeleuchtung Teil 3 CEN/TR 13201 - 3. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung.
- CEN - 13201-4. (2004). Straßenbeleuchtung Teil 4 CEN/TR 13201 - 4. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung.
- CENELEC 60598 -2-3. (2011). Leuchten Teil 2-3: Besondere Anforderungen - Leuchten für Straßen- und Wegebeleuchtung. Brüssel: Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung.
- Ceramicoat Group. (2003). Road Tunnel Systems - Data Sheet. Somerset, England: Ceramicoat Group.
- Ceramicoat Limited. (2003). Tunnel Systems. Somerset, England: Ceramicoat Group.
- Damm, K.-W., & Buchholz. (2009). Aufhellung von Asphaltdeckschichten. asphalt, S. 23-25.
- DIN 67524. (2011). Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Ding Q., Sun Z., Shen F., Huang S., (2011) "The Performance Analysis of Semi-Flexible Pavement by the Volume Parameter of Matrix Asphalt Mixture", Advanced Materials Research, vols. 168-170, pp. 351-356.
- Dudenhöfer, B., & Schumann, R. (2003). Verfüllter offenporiger Asphalt. Zur Instandsetzung von Fahrbahnbelägen an Brücken, Tunnel- und Trogbauwerken. Asphalt, S. 16-24.
- Enk, W. (07. Mai 2014). Beschichtungstechnologien in Tunneln. (F. Pospischil, Interviewer)
- European Asphalt Pavement Association (2008), "Asphalt Pavements in tunnels", Position paper
- Europäische Union. (2004). Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz. Brüssel: Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates; Amtsblatt der Europäischen Union L 167 vom 30. April 2004.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit. (2006). Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln RABT. Köln: FGSV Verlag.
- Fujishima, A., Hashimoto, K., & Watanabe, T. (1999). TiO₂ Photocatalysis. Tokyo: BKC, Inc.
- Glantschnigg, N. (2005). Die Bedeutung der Untergrundtemperatur beim Beschichten von Betonbauteilen und Zementestrichen mit Reaktionsharzen. Abgerufen am 15. 01 2012 von <http://www.bvfs.at/htm/pub/harze.htm>

- Hassan K. E., Setyawan A., Zoorob S. E., (2002), "Effect of Cementitious Grouts on the Properties of Semi-Flexible Bituminous Pavements", Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements, Zoorob, Collop and Brown (eds), pp. 113-120.
- Kipf, M. (2011). Oberflächenqualität von Beton bei Verwendung von Stahlschalungen. Wehr: Tunnel-onile.info.
- Krispel, S. (2010). Tunnelinnenschale aus hellem SCC. Bauportal, S. 706-709.
- Krispel, S., & Peyerl, M. (2011). Selbstverdichtender Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit. Wien: VÖZfi.
- licht.de. (2014). licht.de. Abgerufen am 29. April 2014 von <http://www.licht.de/de/produkte-und-hersteller/lampen>
- Lin D. F., Luo H.L. (2004), Fading and Color Changes in Colored Asphalt Quantified by the Image Analysis Method, Construction and Building Materials, No. 18, pp. 255-261,
- MC-Bauchemie; PCT swiss Protection & Cleaning Technologies. (2012). Emcephob HPC - Hochleistungsbeschichtungen für Tunnelbauwerke. Bottrop: MC Bauchemie Müller GmbH Co. KG.
- Meier, S., & Martinola, G. (2006). Untersuchung der Wirkung unterschiedlicher Oberflächenschutzkonzepte. Zürich, Schweiz: Concretum Construction Science AG Zürich.
- Menegatti E. (2011). Tecnologie a Basso Impatto Ambientale, Strade & Autostrade, vol. 6, pp. 2-3.
- Merusi F., Giuliani F. (2012). Chromatic and Rheological Characteristics of Clear Road Binders Transportation Research Record, n. 2293, vol. 1.
- Meseberg. (2009). Gutachten G07/2009 Optimaler Leuchtdichtekoeffizient q_0 von Fahrbahnoberflächen.
- Navarro F. J., Partal P., Martinez-Boza F. (2005), Gallegos C., Effect of Composition and Processing on the Linear Viscoelasticity of Synthetic Binders, European Polymer Journal, No. 41, pp. 1429-1438
- Onaygil, S., Güler, Ö., & Erkin, E. (2002). Determination of the effects of structural properties on tunnel lighting with examples from Turkey. Abgerufen am 26. September 2012 von ScienceDirect: www.Sciencedirect.com
- Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik. (2004). Merkblatt - Anstriche für Tunnelinnenschalen. Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik.
- PCT swiss Protection & Cleaning Technologies. (2012). Nano Tech Coating PCT WU Nanoprotect. Basel: PCT®swiss Protection & Cleaning Technologies.
- Rhomberg, A. (05. Mai 2014). Belagstechnologien in Tunneln. (F. Pospischil, Interviewer)
- RIS - STSG. (2010). Straßentunnel Sicherheitsgesetz. Wien: Bundeskanzleramt.
- RVS 01.01.11. (01. 09 2006). Bestimmungen für den EWR und die Türkei. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 08.16.01. (06. September 2010). Anforderungen an Asphalttragschichten. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 08.16.01. (06. 09 2010). Anforderungen an Asphalttragschichten. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.

- RVS 08.16.06. (12. März 2013). Anforderungen an Asphaltmischgut - Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 08.16.06. (12. 03 2013). Anforderungen an Asphalttragschichten - Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 08.97.05. (14. Mai 2012). Anforderungen an Asphaltmischgut. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 08.97.06. (12. März 2013). Anforderungen an Asphaltmischgut - Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 08.97.06. (12. 03 2013). Anforderungen an Asphaltmischgut - Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 09.01.23. (14. 12 2010). Tunnel - Innenausbau. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 09.01.24. (18. 08 2009). Tunnel - Bauliche Anlagen. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 09.01.31. (11 2003). Tunnel - Projektierungsrichtlinie. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 09.02.22. (09. 03 2011). Tunnel - Tunnelausrüstung. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 09.02.31. (01. 08 2008). Tunnel - Grundlagen. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 09.02.41. (01. 02 2014). Tunnel - Beleuchtung. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- RVS 09.03.11. (01. 03 2009). Tunnel - Risikoanalysemodell. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.
- Schaffaczek. (14. Januar 2014). Whitetopping in Straßentunnel. (F. Pospischil, Interviewer) Schweizer Eidgenossenschaft. (Oktober 2012). Nationalstrassenverordnung vom 7. November 2007 SR 725.111, 2. Abschnitt: Tunnelsicherheit Art.50. Bern.
- Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute, V. (2008). Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung, Forschungsauftrag VSS 2008/204.
- Steiner, M. (2009). Helle Innenschale ohne Beschichtung. Zement + Beton 5_09.
- St-Jacques M., Brosseaud Y., (2006). Coloured Bituminous Wearing Courses in France, Overview of Uses, 10th International Conference on Asphalt Pavements, vol. 3, pp. 233-242, Quebec.
- StoCretec. (2008). Geomechanik und Tunnelbau - Bauberichte - Schutz, Instandsetzung und Sicherheit von Tunnelbauwerken. Salzburg: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik.
- StoCretec. (2008). Schutz und Instandsetzung von Tunnelbauwerken. Kriefel.
- Strauber, J. (2012). LED-Beleuchtung im Tunnel Lungern. TEC 21 Nr. 1-2/2012.

- Südtirol, L. v. (27. Juni 2006). Nr. 28 Funktionelle und geometrische Normen für die Planung und den Bau von Straßen in der Autonomen Provinz Bozen - Südtirol. Bozen.
- (2012). verschiedene LED verarbeitende Gewerbe. (UIBK, Interviewer)
- Synnefa A., Karlessi T., Gaitani N., Santamouris M., Assimakopoulos D. N., Papakatsikas C. (2011). Experimental Testing of Cool Colored Thin Layer Asphalt and Estimation of its Potential to Improve the Urban Microclimate, Building and Environment, No. 46, pp. 38-44
- UNI 11095, (2011). Illuminazione delle gallerie stradali.
- von Lutz, A. (2012). Beleuchtung von Straßentunnel. Eröffnungskonferenz, Projekt iBBT. Bozen - Südtirol.
- VÖZ fi. (2012). Prüfbericht - B 499-2/12 "Bestimmung des Hellbezugwertes L an Tunneloberflächen - Zusammenfassung" - Entwurf. Wien: Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie.
- Wencheng, C., Zheng, H., Liping, G., Yandan, L., & Dahua, C. (2007). Performance of induction lamps and HPS lamps in rad tunnel lighting. (Elsevier, Hrsg.) Abgerufen am 26. September 2012 von ScienceDirect: www.sciencedirect.com
- Werner, R. (2003). www.betonstrassen.bvbe.ch. Abgerufen am 13. Januar 2014 von Betonfahrbahnen in Tunnels: http://www.betonstrassen.bevbe.ch/fileadmin/user_upload/Literatur/Betonfahrbahnen%20in%20Tunnels.pdf
- Werner, R. (13. Januar 2014). Gespräche zu Betonbelägen in Tunnel. (F. Pospischil, Interviewer)
- Wierer, A. (2012). Treffen in der ASFINAG. (UIBK, Interviewer)
- Wiesholzer, F. D.-I. (2012). Tunnelspezifische Grundlagen für den Oberbau. Wien: BMVIT.