



**Progetto INTERREG IV
Innovative Beläge und Beleuchtung für Tunnel
iBBT (ID 5273)**

**Aktueller Stand der
Labortätigkeiten
am 31.05. 2012**

Ancona 31/05/2012

Prof. Ing. Maurizio BOCCI

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Helle Straßenbeläge im Tunnelbau	4
Forschungsprogramm.....	5
Forschungsergebnisse	7
Beschreibung der Zuschlagstoffe.....	7
Beschreibung der Bindemittel.....	11
Photometrische Eigenschaften	12
SHRP Projekt der Mischung	16
Literaturverzeichnis	22

Einleitung

Im Rahmen des INTERREG IV Projektes - innovative Beläge und Beleuchtung für Tunnel werden vonseiten 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 um 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 2) Einbau eines Drainasphaltes mit hoher Porosität, dessen Hohlräume mit einem weißen, hochfließfähigen Zementmörtel verfüllt werden.

Die Untersuchungen, die vom Labor des Amtes für Geologie der Autonomen Provinz Bozen und dem Straßenbaulabor der polytechnischen Universität der Marken (Ancona), betrieben werden, bestehen aus der Charakterisierung der Zuschlagstoffe und der Bindemittel, dem SHRP-Projekt der Mischung, der Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften und der Durchführung von Leuchtdichtemessungen der im Labor hergestellten Mischungen. Das Ziel ist eine in den Bereichen Photometrie und Leistung optimale Mischung herzustellen.

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 [1]. Jüngste experimentelle Messungen sprechen von einer Einsparung der Beleuchtungsenergie von bis zu 30 ÷ 40% bei hellen Deckschichten [2].

Wie bekannt, 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 man 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 traditionsmäßig 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. Dem gegenüber steht der höhere Bauaufwand und die hohen Instandhaltungskosten für die Erhaltung der Oberflächenrauigkeit.

Im Bereich der flexiblen Fahrbeläge fällt die Bindemittelwahl entweder auf Bindemittel oder auf die künstlichen, bernsteinfarbenen, hellen Harze mit geringem Asphaltgehalt.

Die Einführung heller Bindemittel beruht auf dem Bedürfnis, die Straßenbeläge in die Umgebung, innerhalb der Städte aber auch auf dem Land, harmonisch einzugliedern, um somit die optischen Auswirkungen auf Umgebungen mit großen 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 entasphaltenisierte 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, nehmen unterschiedliche Farben an, die die Leuchtdichte der Fahrbahn, in Abhängigkeit der Durchsichtigkeitseigenschaften des Bindemittels beeinflussen.
- Art der Mischung der Zuschlagstoffe: Herkömmliche sandreiche Verschleißschichten und Splittmastixasphaltschichten nehmen verschiedene Farbtonarten an, aufgrund der unterschiedlichen Körnungskurve (hauptsächlich im Feinbereich) und aufgrund des verschiedenen Gehaltes an Bindemittel.

Halbstarre Deckschichten sind die Alternative zu den starren und zu den flexiblen Fahrbelägen. Es handelt sich dabei um ein bitumengebundenes Traggerüst mit einem sehr hohen Hohlraumgehalt, dessen Hohlräume mit einem Mörtel ausgefüllt werden.

Diese Technik, die im Flugplatzbau starke Anwendung hat, sieht den Einbau eines Drainasphaltes (Hohlraumgehalt zwischen 20 und 30%) und die Verfüllung dessen Poren mit einem hochfließfähigen, faserverstärkten, hellen Mörtel vor. Dieser Oberbau übernimmt sowohl die Flexibilität und die Anpassungsfähigkeit des bituminösen Mischgutes als auch die Steifheit des Betons und ist somit sehr leistungsfähig. Außerdem bleibt die helle Farbe im Laufe der Zeit erhalten, da der Zementmörtel an der Oberfläche bleibt.

Versuchsprogramm

Angesichts der verschiedenen Technologien für die Herstellung heller Asphaltbeläge wurde eine Versuchsreihe gestartet, um die geeignetsten Zuschlagstoffe, Bindemittel und Mischungen zu identifizieren, die die besten photometrischen und leistungstechnischen Eigenschaften erzielen.

Daher wurden folgende Materialien untersucht:

- Unterschiedliche Zuschlagstoffe: Als Grobkorn wurden Porphyry, Diorit, Granit und Basalt, als Feinkorn immer ein Kalksand verwendet;
- Verschiedene Bindemitteltypen: Der Gebrauch zweier durchsichtiger Bindemittel wurde untersucht: Kromatis und Biokromatis. Außerdem wurde eine Mischung des offenporigen Belages mit herkömmlichen Bitumen studiert, der mit hellem Zementmörtel verfüllt wird;
- Verschiedene Asphalttypen: Es wurden die Eigenschaften von geschlossenen Verschleißschichten und von Splittmastixasphaltdeckschichten, die mit hellem Bindemittel hergestellt wurden und von halbstarren Verschleißschichten, die mit der Technik des „verfüllten Drainasphaltes“ hergestellt wurden, untersucht;
- Verschiedene Füllertypen: Mischungen mit folgenden Füllertypen wurden untersucht: Eigenfüller, Füller aus hydriertem Kalk (Calfill) und Industriefüller (Omya);
- Zugabe von Titandioxid (TiO_2) als Farbpigment des Mischgutes.

In der Tabelle 1 ist das Versuchsprogramm zusammengefasst.

Prüfungen zur Bestimmung der Kennwerte der Zuschlagstoffe	
Siebanalyse	UNI EN 933-1
Bestimmung des Abplattungsindex	UNI EN 933-3
Bestimmung des Kornformindex	UNI EN 933-4
Bestimmung der Raumdichte und des Wasseraufnahmevermögens	UNI EN 1097-6
Bestimmung des Zertrümmerungswertes (Los Angeles Probe);	UNI EN 1097-2
Bestimmung des Polierwertes	UNI EN 1097-8
Bestimmung des Leuchtdichtekoeffizienten auf nassem und trockenem Material	-
Prüfungen zur Bestimmung der Kennwerte der durchsichtigen Bindemittel	
Bestimmung der Nadelpenetration	UNI EN 1426
Bestimmung des Erweichungspunktes	UNI EN 1427
Bestimmung der elastischen Rückverformung	UNI EN 13398
Bestimmung des Brechpunktes nach Fraass	UNI EN 12593
Bestimmung der Viskosität	UNI EN 13702

Werte nach RTFOT	UNI EN 12607-1
Bestimmung der Massenänderung	UNI EN 12607-1
Bestimmung der verbleibenden Penetration	UNI EN 1426
Bestimmung des Erweichungspunktes	UNI EN 1427
Bestimmung der Zunahme des Erweichungspunktes	UNI EN 1427

Photometrische Prüfungen der Mischungen (vor und nach dem Sandstrahlen der Prüfkörper)	
Bestimmung der Leuchtdichte C_L	
Bestimmung der rückreflektierten Leuchtdichte R_L	
Bestimmung der Leuchtdichte bei gestreuter Beleuchtung Q_D	
Bestimmung des Leuchtdichtefaktors β	
Prüfungen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der Projektmischung	
Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit	UNI EN 12967-23
Bestimmung des Steifheitsmoduls in indirekter Zugfestigkeitskonfiguration	UNI EN 12967-26
Bestimmung der Abrasionsfestigkeit (Cantabrischer Test)	UNI EN 12967-17
Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen Wassereinfluss	UNI EN 12967-12
Bestimmung der Festigkeit bei Frost – Tau Wechsel	AASHTO T 283
Bestimmung der Festigkeit gegen Spurrinnenbildung	UNI EN 12967-22
Bestimmung der Rutschfestigkeit (Skid – Resistenz)	

Tabelle 1: *Versuchsprogramm*

Experimentelle Ergebnisse

Beschreibung der Zuschlagstoffe

Das Grobkorn (Siebrückstand 4 mm) wurde unter handelsüblichen Zuschlagstoffen für Verschleißschichten ausgesucht, d. h., es handelt sich um Materialien, die die besten Zertrümmerungseigenschaften besitzen und die besten Polierwiderstandswerte aufweisen. Im Besonderen wurden 4 Zuschlagstofftypen als Grobkorn geprüft: Basalt, Diorit, Granit und grauer Porphyr.

Als Feinkorn wurde immer derselbe helle Kalksand (aus massivem Kalkmaterial) verwendet.

Bewertet wurde der Unterschied bei der Zugabe verschiedener Füllertypen: heller Eigenfüller (massiver Kalk), Füller aus Kalk und hydriertem Kalk produziert von Unicalce (Calfill), Füller aus natürlichem Kalziumkarbonat in Pulverform, produziert von der Firma Omya.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Siebanalysen der einzelnen Korngruppen angeführt.

Maschen- weite (mm)	Durchgang (%)								
	Porphyry 8/12	Porphyry 4/8	Basalt 8/12	Basalt 4/8	Diorit 8/12	Diorit 4/8	Granit 8/12	Granit 4/8	Kalk - sand
25	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
19	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
16	100.0	100.0	97.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12.5	100.0	100.0	49.5	99.0	97.8	100.0	97.5	100.0	100.0
9.5	76.4	99.6	13.1	88.3	73.4	100.0	59.6	100.0	100.0
8	50.2	96.8	1.8	63.4	37.5	99.0	25.8	100.0	100.0
6.3	15.3	74.8	0.4	24.0	5.8	78.5	1.6	72.6	100.0
4.75	3.5	40.9	0.3	4.5	1.5	43.2	0.5	16.0	100.0
4	1.0	21.8	0.3	0.9	1.1	21.1	0.5	2.0	98.6
2	0.1	1.1	0.3	0.1	1.1	1.0	0.5	0.7	64.6
1	0.1	0.3	0.3	0.1	1.0	0.2	0.5	0.7	38.1
0.5	0.1	0.3	0.3	0.1	0.9	0.2	0.5	0.7	23.3
0.25	0.1	0.3	0.3	0.1	0.8	0.2	0.4	0.6	15.2
0.125	0.1	0.3	0.3	0.1	0.6	0.2	0.3	0.5	11.2
0.063	0.1	0.2	0.3	0.1	0.4	0.2	0.2	0.4	9.3

Tabelle 2: Prozentanteil des Siebdurchgangs der einzelnen Korngrößen

Das Mischungsverhältnis der einzelnen Körnungen (bituminöses Mischgut) wurde laut Körnungsbegrenzungskurven der technischen Richtlinien für bituminöse Beläge der Autonomen Provinz Bozen, proportioniert (Tabelle 3 und Abb. 1-3).

Art der Verschleiß- Schicht	Art des Grob- korns	Pezzature									
		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 Verschleiß- schicht	Porphyry	35 %	17 %	-	-	-	-	-	-	43 %	5 %
	Basalt	-	-	2 %	48 %	-	-	-	-	45 %	5 %
	Diorit	-	-	-	-	30 %	22 %	-	-	43 %	5 %
	Granit	-	-	-	-	-	-	35 %	17 %	43 %	5 %
SMA	Porphyry	39	25	-	-	-	-	-	-	27 %	9 %
	Basalt	-	-	3 %	58 %	-	-	-	-	30 %	9 %
	Diorit	-	-	-	-	35 %	30 %	-	-	26 %	9 %
	Granit	-	-	-	-	-	-	39 %	25 %	27 %	9 %
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

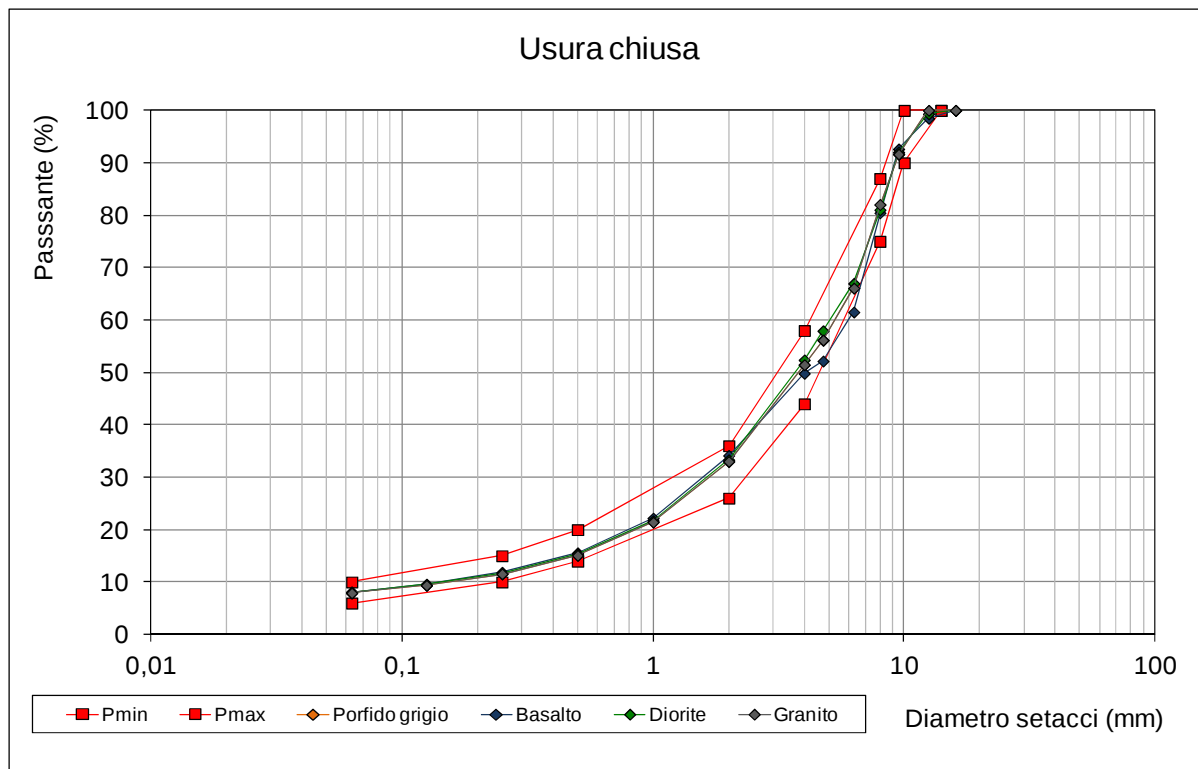


Abbildung 1: Körnungskurven für helle Verschleißschichten
 Siebdurchgang (%) / Maschenweite (mm) – grauer Prophyr – Basalt – Diorit - Granit

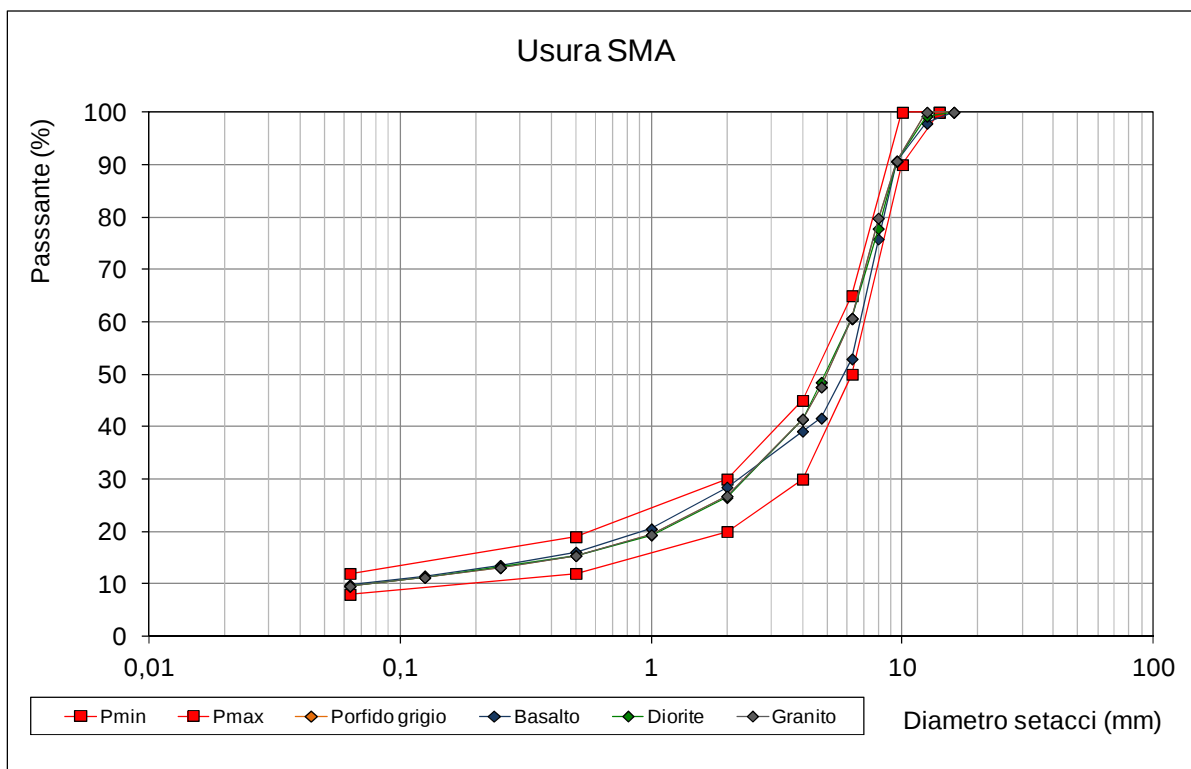


Abbildung 2: Körnungskurven für SMA Deckschichten
 Siebdurchgang (%) / Maschenweite (mm) – grauer Prophyr – Basalt – Diorit - Granit

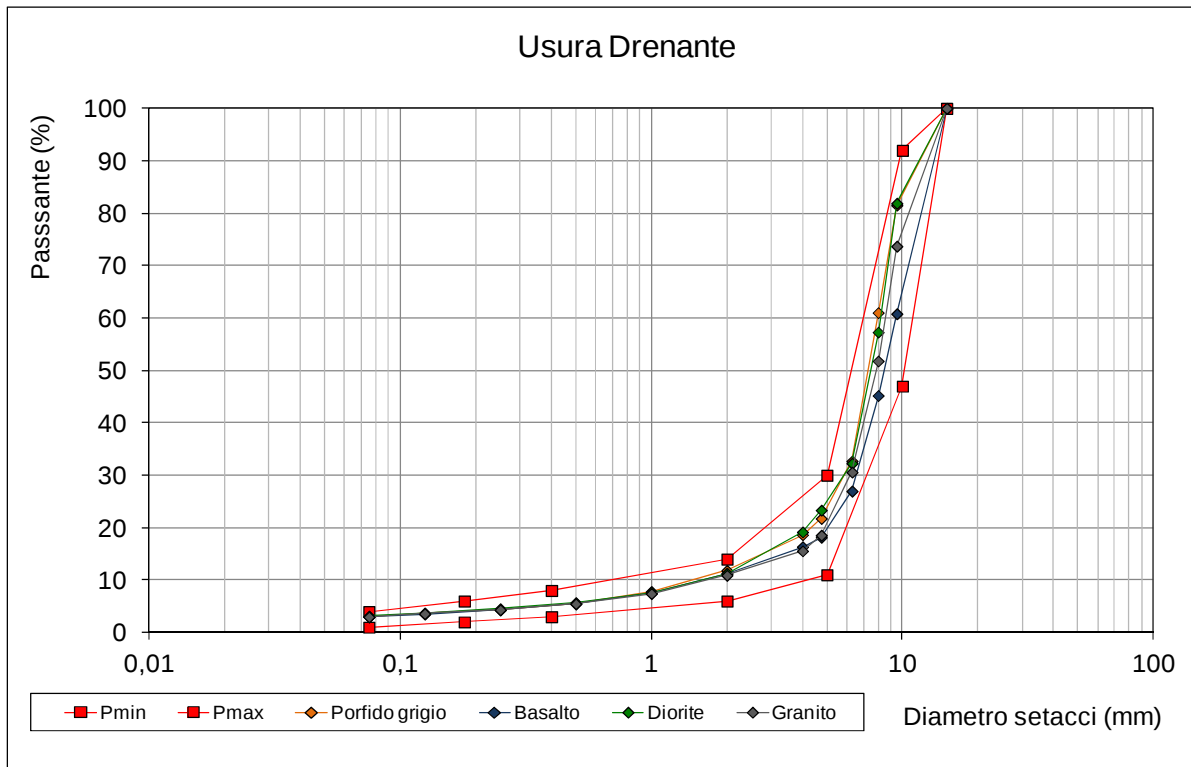


Abbildung 3: Körnungskurven für Drainasphalt
 Siebdurchgang (%) / Maschenweite (mm) – grauer Prophy – Basalt – Diorit - Granit

In der folgenden Tabelle 3 sind die wichtigsten Eigenschaften der untersuchten Materialien angeführt: Abplattungsindex, Formindex, Raumdichte, Wasseradsorption, Widerstand gegen Zertrümmerung (Los Angeles) und Polierwert (CLA).

Eigenschaften	Prüfmethode	Einheit	Grauer Porphy	Basalt	Diorit	Granit	Kalk sand
Abplattungsindex	EN 933-3	%	-	-	-	-	/
Formindex	EN 933-4	%	-	-	-	-	/
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 (CLA)	EN 1097-8	-	50	51	46	52	/

Tabelle 4: Mechanische Eigenschaften der Zuschlagstoffe

Auf denselben Zuschlagstoffen wurden im Labor Leuchtdichtemessungen vom trockenen und vom nassen Material durchgeführt, um den Einfluss auf die Helligkeit der Verschleißschicht bestimmen zu können. Die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen sind in der Tabelle 4 angeführt.

Kennwerte	Einheit	Grauer Porphy	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 4: Leuchtdichteigenschaften des Materials

Beschreibung der Bindemittel

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

Das Kromatis ist ein Bitumen, dem die Asphaltene entzogen wurden und dem elastomerische Polymere hinzugegeben wurden. Das Biokromatis wird 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. 4 und Abb. 5).



Abb. 4: Kromatis



Abb. 5: Biokromatis

In der Tabelle 5 sind die Prüfungen aufgelistet, die auf beiden durchsichtigen Bitumentypen durchgeführt wurden.

Eigenschaften	Prüf-methode	Einheit	Kromatis 35/50	BioKromatis
Penetration bei 25°C	EN 1426	dmm	42	65
Erweichungspunkt (P.A.)	EN 1427	°C	53.8	49.2
Brechpunkt (Fraass)	EN 12593	°C	-	-
Dynamische Viskosität 60°C	EN 13702	Pas	-	-
Dynamische Viskosität 100°C	EN 13702	Pas	584	305
Dynamische Viskosität 135°C	EN 13702	Pas	16.5	7.8
Dynamische Viskosität 160°C	EN 13702	Pas	0.365	0.298
Elastische Rückverformung bei 25°C	EN 13398	%	83	67
Eigenschaften nach RTFOT EN 12607-1	Prüf-methode	Einheit	Kromatis 35/50	BioKromatis
Massenänderung	EN 12607-1	%	-0.65	-0.73
Penetration bei 25°C	EN 1426	dmm	27	44
Bestimmung der verbleibenden Penetration abei 25°C	EN 1426	%	63	68
Erweichungspunkt (R.K.)	EN 1427	°C	55.1	47.8
Zunahme des Erweichungspunktes	EN 1427	%	2	3

Tabelle 5: Eigenschaften der durchsichtigen Bindemittel

Photometrische Eigenschaften

Um die Reflexionsfähigkeiten der hellen Beläge quantitativ erfassen zu können, wurden verschiedene photometrische Größen verwendet:

- Leuchtdichte (L): ist der Lichtstromanteil, der von einem Flächenelement produziert oder reflektiert wird. Sie wird in $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ gemessen die Leuchtdichte ist der von einem Flächenelement einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche in einer bestimmten Richtung in einem Kegel mit dem Raumwinkel ausgesandter Lichtstromanteil und stellt die photometrische Größe dar, welche das Auge sieht und die den Helligkeitseindruck wiedergibt.
- Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion (R_L): Drückt die Helligkeit einer horizontalen Oberfläche aus, wie sie von den Autofahrern bei Einwirkung des eigenen Scheinwerferlichts wahrgenommen wird; Messeinheit ist $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lux}^{-1}$;
- Leuchtdichtekoeffizient (Kontrastgütekoeffizient) bei diffuser Beleuchtung (Q_d): Drückt die Helligkeit einer horizontalen Oberfläche aus, wie sie von den Autofahrern bei Vorhandensein von Straßenbeleuchtung wahrgenommen wird. Messeinheit ist $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lux}^{-1}$;
- Leuchtdichtefaktor β : Ist die Leuchtdichte der untersuchten Oberfläche im Vergleich zur Leuchtdichte eines bekannten Flächenelementes.

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

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



Abb. 6: Roller Compactor



Abb. 7: Verdichtete Platte

Mischung	Binde- mittel	Füller	Zuschlag	L [cd·m ⁻²]	R _L [mcd·m ⁻² ·lux ⁻¹]	Q _d [mcd·m ⁻² ·lux ⁻¹]	β [-]
Verschleiß, geschlossen	Bitumen traditionell	Werk.	Grauer Porphy	3.11	2.9	31.5	2.9
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Werk.	Grauer Porphy	9.84	9.5	65.4	12.5
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Werk.	Basalt	11.59	12.6	90.1	15.6
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Werk.	Diorit	9.36	10.8	78.4	12.9
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Werk.	Granit	11.21	8.8	76.6	15.2
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Calfill	Grauer Porphy	9.36	8.3	39.5	12.0
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Calfill	Basalt	9.48	10.1	73.4	10.8
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Calfill	Diorit	8.91	10.4	72.0	11.9
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Calfill	Granit	11.98	11.3	80.3	14.4
SMA	Kromatis	Werk.	Grauer Porphy	7.30	10.9	60.4	9.5
SMA	Kromatis	Werk.	Basalt	8.44	7.9	61.9	9.5
SMA	Kromatis	Werk.	Diorit	7.80	7.4	56.9	9.7
SMA	Kromatis	Werk.	Granit	9.57	8.5	62.9	12.3
SMA	Kromatis	Calfill	Grauer Porphy	7.55	7.1	64.0	9.4
SMA	Kromatis	Calfill	Basalt	7.23	6.4	60.0	8.7
SMA	Kromatis	Calfill	Diorit	7.60	7.3	49.9	9.3
SMA	Kromatis	Calfill	Granit	8.68	7.1	76.3	9.1
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Omya	Grauer Porphy	10.57	13.3	71.0	11.9
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Omya + 0.08% TiO ₂	Grauer Porphy	13.33	11.9	81.3	17.0
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Omya + 0.5% TiO ₂	Grauer Porphy	20.36	15.6	79.8	25.0
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Omya + 1.0% TiO ₂	Grauer Porphy	21.48	16.8	75.6	27.1
Verschleiß, geschlossen	Kromatis	Calfill + 0.08% TiO ₂	Grauer Porphy	11.16	13.5	72.9	14.7
Verschleiß, geschlossen	Biokromatis	Werk.	Grauer Porphy	13.25	13.9	93.6	18.3
Verschleiß, geschlossen	Biokromatis	Calfill	Grauer Porphy	11.64	11.3	83.1	13.0
SMA	Biokromatis	Calfill	Grauer Porphy	8.48	8.6	59.9	11.5
Drainasph ausgefüllt.	Bitumen traditionell	Werk.	Grauer Porphy	40.95	47.1	174.5	54.6
Drainasph ausgefüllt.	Bitumen traditionell	Werk.	Basalt	39.79	49.9	167.5	50.2
Drainasph ausgefüllt.	Bitumen traditionell	Werk.	Diorit	41.76	47.1	162.8	55.5
Drainasph ausgefüllt.	Bitumen traditionell	Werk.	Granit	43.13	62.9	196.5	56.8

Tabelle 6: Ergebnisse der Leuchtdichtemessungen

Die nachfolgenden Graphiken vergleichen die Leuchtdichten der verschiedenen Mischungen. Aus der Abb. 8 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, dessen Werte untereinander vergleichbar sind.
- 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.

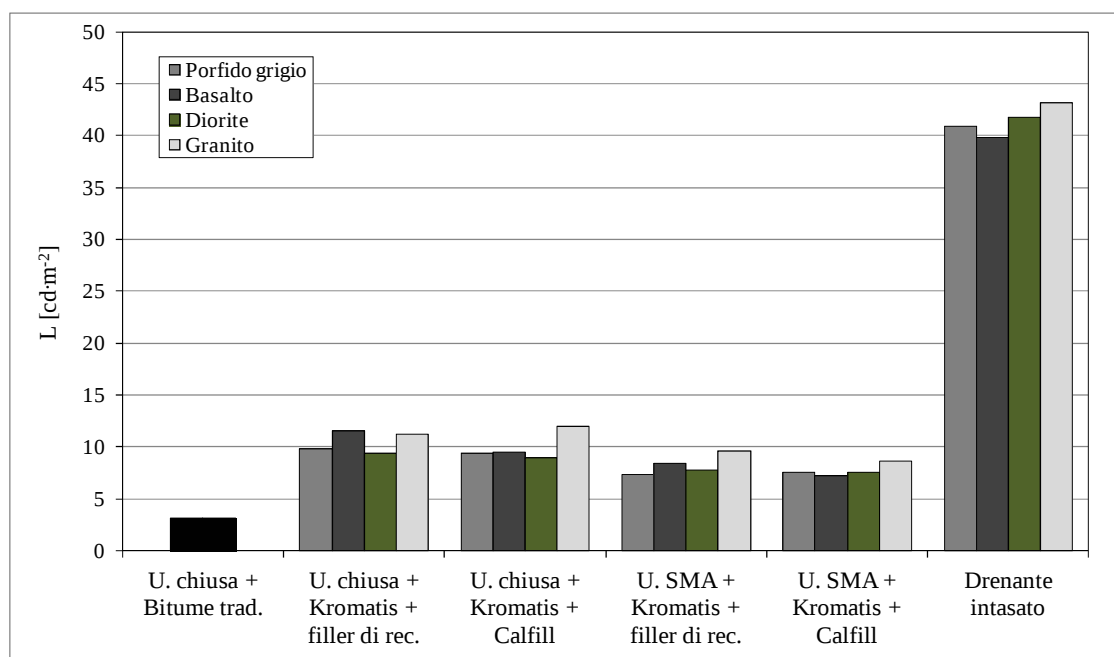


Abb. 8: Ergebnisse der Leuchtdichtemessungen

In den Abb.9 und 10 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% TiO_2 auf Bindemittelgehalt).

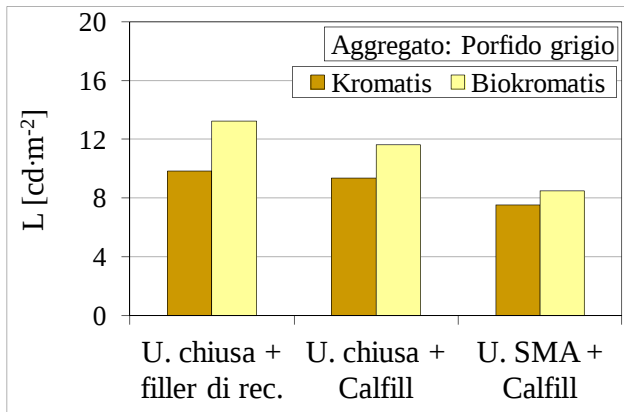


Abb. 9: Einfluss des Bindemittels Biokromatis

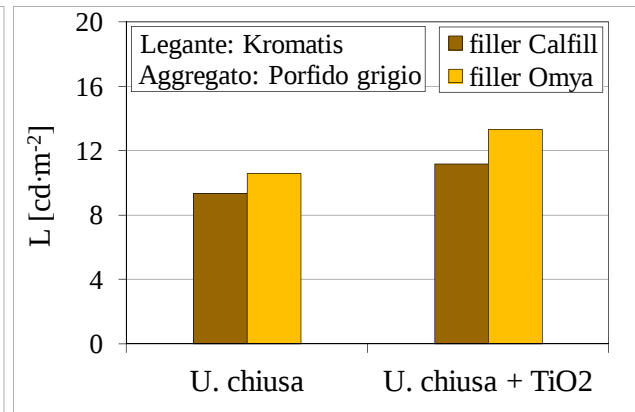


Abb. 10: Einfluss des Füllers Omya und von TiO2

Aus der Abb. 9 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. 8 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. 11 zeigt den Verlauf der Leuchtdichte bei unterschiedlichen Gehalten an Titandioxid. Bei steigendem Titandioxidgehalt nimmt die Leuchtdichte einen asymptotischen Maximalwert an. Man kann daraus schließen, dass ein Gehalt an Titandioxid von 0,5 Gew% auf den Zuschlagstoffen ausreichend ist, um optimale Leuchtdichtewerte zu erzielen.

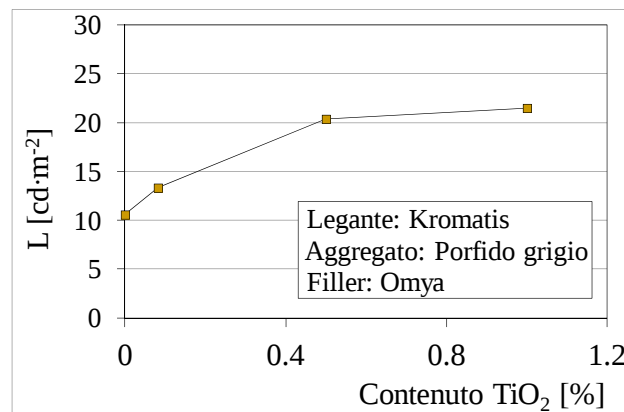


Abb. 11: Leuchtdichte bei verschiedenem Gehalt an TiO₂

SHRP Projekt der Mischung

Nach Auswertung der Ergebnisse der Prüfungen der Zuschlagstoffe und Bindemittel und der Lichtdichtemessungen der unterschiedlichen Mischungen und unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Materialien und 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. 12 ist die im Projekt verwendete Körnungskurve angeführt.

d [mm]	Siebe	Sieblinien der einzelnen Materialfraktionen				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	0.2	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.

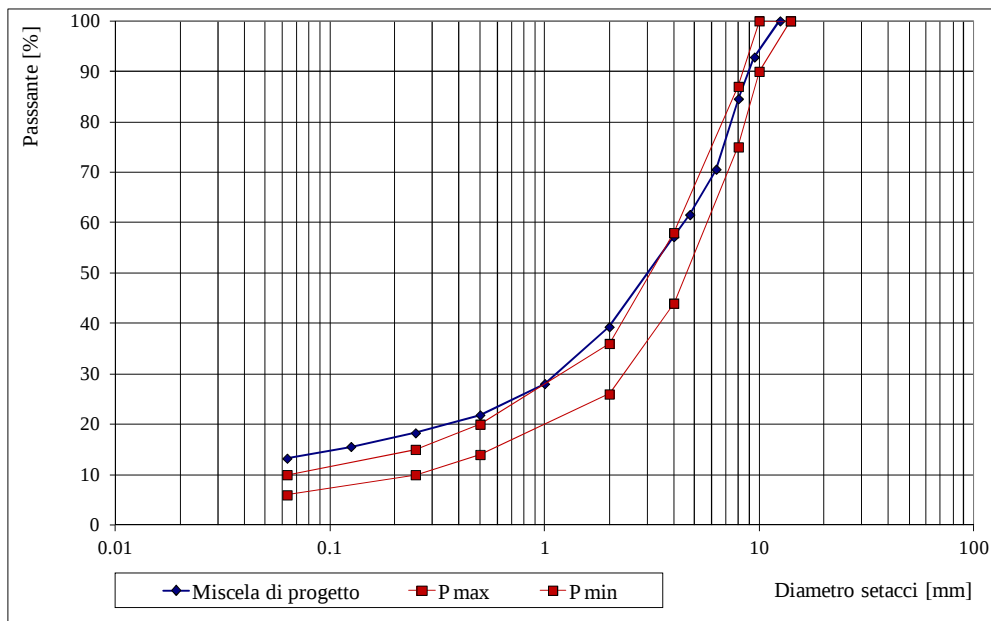


Abb. 12: Körnungskurve für die SHRP-Eignungsprüfung

Die SHRP-Eignungsprüfung 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;
- 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 , $P_b + 0.5\%$ e $P_b + 1.0\%$ und Bestimmung der Hohlraumgehalte V_a , Hohlraumgehalt der Zuschlagstoffe VMA e 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, mit Calfill und mit Omya wurden $N_{init} = 10$, $N_{des} = 100$ und ein $N_{max} = 180$ angewandt gemäß der technischen Richtlinien für bituminöse Beläge der Autonomen Provinz Bozen,

Für die Eignungsprüfung der Mischung mit dem Füller Calfill wurde $P_{b(i)} = 6\%$ Gew. 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 $P_b = 6.31\%$ auf 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).

Mischung mit Füller Calfill	Mischung mit Füller Omya
$P_{b(A)} = 5.81 \text{ Gew\% auf Mischung}$	$P_{b(A)} = 5.00\% \text{ Gew\% auf Mischung}$
$P_{b(B)} = 6.31\% \text{ Gew\% auf Mischung}$	$P_{b(B)} = 5.50\% \text{ Gew\% auf Mischung}$
$P_{b(C)} = 6.81\% \text{ Gew\% auf Mischung}$	$P_{b(C)} = 6.00\% \text{ Gew\% auf Mischung}$
$P_{b(D)} = 7.31\% \text{ Gew\% auf Mischung}$	$P_{b(D)} = 6.50\% \text{ Gew\% auf Mischung}$

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. 13-15 und in der Tabelle 10, Abb. 16-18 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
Gmm	2.47	2.45	2.43	2.41
Gmb (des)	2.33	2.34	2.33	2.34
Cin	84.20	85.92	86.25	88.89
Cdes	94.40	95.75	96.01	96.84
Cmax	96.34	97.21	97.42	97.49

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

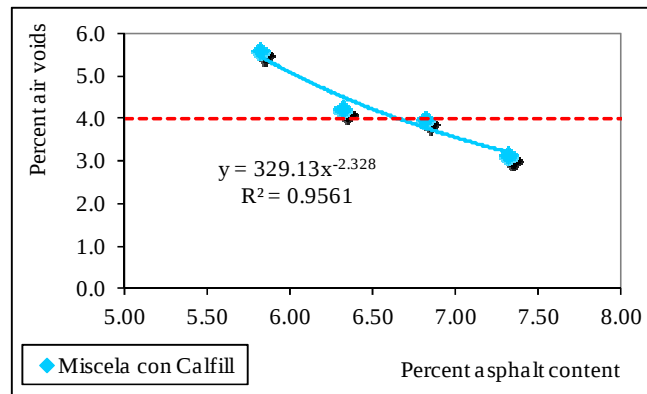


Abb. 13: Hohlraumgehalt des bituminösen Mischgutes in Funktion des Bindemittelgehaltes (Mischung mit Füller Calfill)

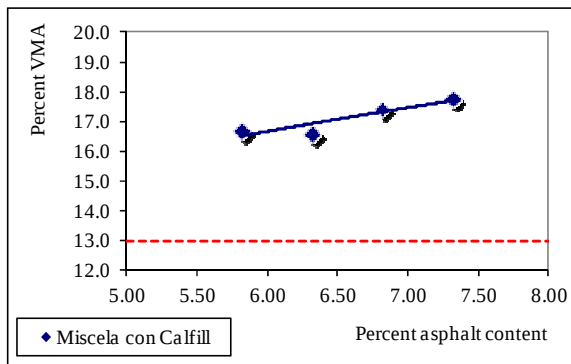


Abb. 14: Hohlraumgehalt des Mineralstoffgemisches in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes für die Mischung mit Calfill

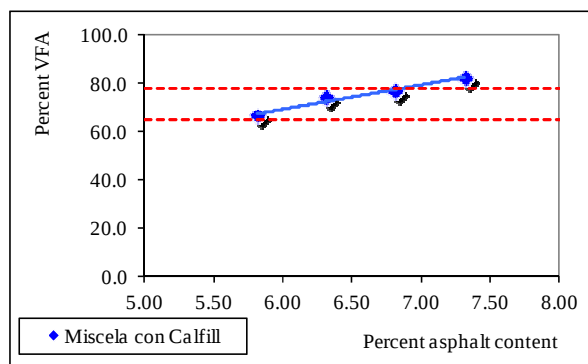


Abb. 15: Anteil der mit Bitumen gefüllten Hohlräume in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes für die Mischung mit Calfill

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

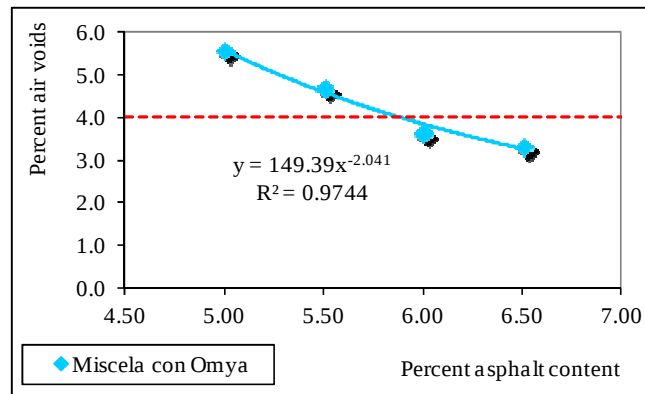


Abb. 16 Hohlraumgehalt des bituminösen Mischgutes in Funktion des Bindemittelgehaltes (Mischung mit Füller Omya)

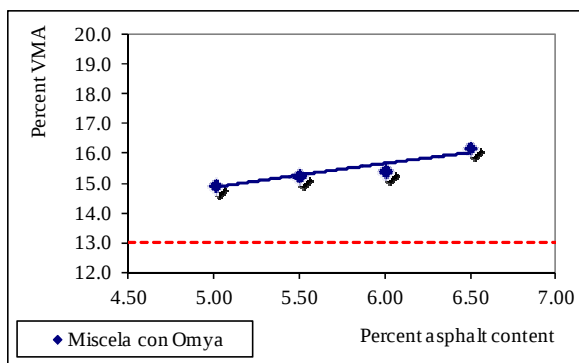


Abb. 17: Hohlraumgehalt des Mineralstoffgemisches in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes für die Mischung mit Omya.

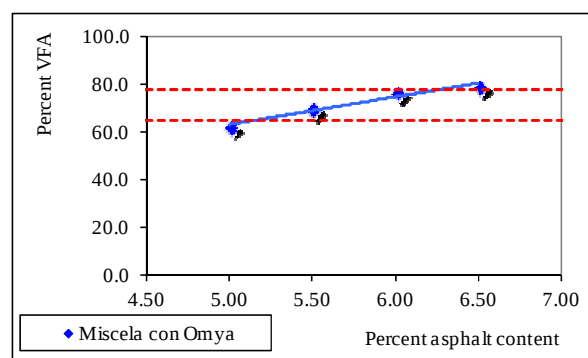


Abb. 18: Anteil der mit Bitumen gefüllten Hohlräume in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes für die Mischung mit Omya.

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. 13) zu erreichen, die Mischung mit Omya hingegen benötigt einen Gewichtsanteil von 5.80% für denselben Verdichtungsgrad (Abb. 16).

Dadurch kann man festhalten, 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} (Abb. 13) 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** (TiO_2) wird mit **0,5 Gew.% der Zuschlagstoffe** angenommen.

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

d [mm]	Maschen- weite	Korngrößen der einzelnen Bestandteile				Mischungs- kurve
		Porphyr 6/12 G _c 90/20	Porphyr 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		6Gew. % der Zuschlagstoffe				

Tabelle 11: Zusammenfassung der Bestandteile der Projektmischung

Die zurzeit weiterlaufenden Untersuchungen haben die Aufgabe die physisch-mechanischen Eigenschaften der verwendeten Mischung zu bestimmen und die Leuchtdichte nach der Simulation der Abnutzung durch den Straßenverkehr (Sandstrahlung) zu ermitteln.

Ancona 31/05/2012

Prof. Ing. Maurizio BOCCI

Literaturverzeichnis

- 1) European Asphalt Pavement Association, “*Asphalt Pavements in tunnels*”, Position paper, 2008.
- 2) St-Jacques M., Brosseaud Y., “Coloured Bituminous Wearing Courses in France, *Overview of Uses*”, *10th International Conference on Asphalt Pavements*, vol. 3, pp. 233-242, Quebec, 2006.
- 3) Navarro F. J., Partal P., Martinez-Boza F., Gallegos C., “Effect of Composition and Processing on the Linear Viscoelasticity of Synthetic Binders”, *European Polymer Journal*, No. 41, pp. 1429-1438, 2005.
- 4) Merusi F., Giuliani F., “Chromatic and Rheological Characteristics of Clear Road Binders” *Proceedings of the TRB Annual Meeting 2012*, Washington D.C., 21th-27th January 2012.
- 5) Synnefa A., Karlessi T., Gaitani N., Santamouris M., Assimakopoulos D. N., Papakatsikas C., “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, 2011.
- 6) Menegatti E., “Tecnologie a Basso Impatto Ambientale”, *Strade & Autostrade*, vol. 6, pp. 2-3, 2011.
- 7) Lin D. F., Luo H.L., “Fading and Color Changes in Colored Asphalt Quantified by the Image Analysis Method”, *Construction and Building Materials*, No. 18, pp. 255-261, 2004.
- 8) Ding Q., Sun Z., Shen F., Huang S., “The Performance Analysis of Semi-Flexible Pavement by the Volume Parameter of Matrix Asphalt Mixture”, *Advanced Materials Research*, vols. 168-170, pp. 351-356, 2011.
- 9) Hassan K. E., Setyawan A., Zoorob S. E., “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, 2002.
- 10) Al-Qadi I. L., Weyers R. E., “Asphalt Portland Cement Concrete Composite: Laboratory Evaluation”, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 120, No. 1, 1994.