

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

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

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

Schweizerisches Handbuch für die Konzeption des Strassenoberbaus

Manuel suisse de conception des chaussées

une version française est disponible

**Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)
J.-C. Turtschy, dipl. Ing. ETH**

M. Blumer, dipl. Ing. ETH/SIA

**EMPA, Dübendorf
Dr. M. Partl, dipl. Ing. ETH/SIA**

E. Stahel, dipl. Ing. ETH/SIA

**Colas SA, Neuchâtel
T. Bühler, dipl. Ing. ETH/SIA**

**BEVBE, Bonstetten
R. Werner, dipl. Ing. HTL**

**ETHZ IGT, Zürich
M. Horat, dipl. Ing. ETH**

Forschungsauftrag VSS 2000/412
auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und
Verkehrsfachleute (VSS)

April 2005

ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende Handbuch für die Konzeption des Strassenoberbaus richtet sich an Ingenieure und Fachleute, die in der Schweiz im Bereich Strassenbau und -unterhalt tätig sind. Das Nachschlagewerk bietet die nötigen Hilfsmittel und Ratschläge für die Dimensionierung des Strassenoberbaus und die Auswahl sowohl des wirtschaftlich günstigsten Strukturaufbaus als auch von angemessenen Unterhaltstechniken und Baustoffen. Dies unter Einbezug der Verkehrsbelastung, sowie der geometrischen, topographischen und umweltrelevanten Aspekte des betroffenen Bauwerks. Das Handbuch enthält das Fachwissen verschiedener im schweizerischen Strassenbau und -unterhalt tätigen Spezialisten und bietet nützliche Informationen zu Konzeption und Unterhalt von Strassenoberbauten, sowohl für flexible, starre und gemischte Strukturaufbauten, allerdings ohne auf Kunstbauwerke einzugehen. Es enthält auch Informationen über innovative Techniken und Baustoffe.

Das Handbuch stellt eine Ergänzung zu den schweizerischen Normen und Publikationen im Bereich der Konzeption und des Unterhalts von Strassenoberbauten dar. Die zitierten Normen werden durch praktische Überlegungen ergänzt, speziell für die Auswahl des optimalen Strukturaufbaus, der Unterhaltstechniken und der Baustoffe. Das Handbuch muss den Fachleuten die technisch und wirtschaftlich angemessenste Lösung bieten, unter Einbezug der lokalen Bedingungen des betroffenen Bauwerks.

RESUME

Le présent manuel de conception des chaussées s'adresse aux ingénieurs et aux techniciens oeuvrant dans le domaine de la construction et de l'entretien des chaussées en Suisse. L'ouvrage fournit les outils et conseils nécessaires au dimensionnement d'une chaussée, à la sélection de la structure offrant la solution économique optimale et à la sélection des techniques d'entretien et des matériaux adéquats, compte tenu du trafic, des conditions géométriques, topographiques et environnementales de l'ouvrage concerné. Il contient le savoir-faire d'experts de la construction et de l'entretien des chaussées en Suisse et fournit les informations utiles à la conception et à l'entretien des superstructures routières, qu'elles soient souples, semi-rigides ou en béton, mais ne comprend pas les ouvrages d'art. Il traite également des techniques et des matériaux innovants.

Le manuel se veut complémentaire aux normes suisses et aux publications helvétiques en matière de conception et d'entretien des chaussées. Les normes reprises dans ce recueil sont complétées par les considérations pratiques en matière de construction et de maintenance des chaussées, en particulier pour le choix des structures, des techniques d'entretien et des matériaux. Le manuel doit fournir au praticien la solution technique et économique la mieux adaptée compte tenu des conditions locales de l'ouvrage considéré.

ABSTRACT

The present handbook for road superstructure design is intended for engineers and technicians in the field of road construction and maintenance in Switzerland. It provides the necessary tools and recommendations for the design of a road superstructure, the selection of the economically most advantageous structure and for the selection of the most adapted maintenance techniques and materials, taking into account traffic as well as geometric, topographic and environmental conditions of the particular project. It contains the expert know-how of different experts working in the field of road construction and maintenance in Switzerland and provides useful information for the design and maintenance of flexible, stiff and mixed road superstructures. The handbook also deals with innovative techniques and materials, but does not consider engineering structures.

The handbook is complementary to the Swiss standards and technical publications in the field of road design and maintenance. The cited standards are completed with practical considerations concerning construction and maintenance of road superstructures, especially regarding the choice of structures, maintenance techniques and materials. The handbook has to provide the experts with the technical and economical most adapted solution, considering local conditions of the particular road project.

Allgemeines Inhaltsverzeichnis

ALLGEMEINES INHALTSVERZEICHNIS.....	5
MODUL A: EINFÜHRUNG	9
INHALTSVERZEICHNIS	10
VORWORT	11
ZUM ANDENKEN	11
ZIEL	12
INHALT	12
NUTZEN	12
ANWENDUNG	13
AKTUALISIERUNG	13
LITERATURVERZEICHNIS	13
MODUL B: BEANSPRUCHUNG	15
INHALTSVERZEICHNIS	16
1 EINFÜHRUNG.....	17
2 DIE MECHANISCHE BEANSPRUCHUNG	17
2.1 <i>Die Verkehrsbelastung</i>	18
2.2 <i>Quantitative Untersuchung gemäss Schweizer Normen</i>	18
2.3 <i>Qualitative Untersuchung: Spezialfälle des Verkehrs</i>	20
2.4 <i>Anwendungsbeispiele</i>	20
3 DIE KLIMATISCHE BEANSPRUCHUNG	23
3.1 <i>Die thermische Beanspruchung</i>	23
3.2 <i>Die hydrogeologische Beanspruchung</i>	24
4 DIE CHEMISCHE BEANSPRUCHUNG	24
5 LITERATURVERZEICHNIS	25
MODUL C: NEUE STRASSENKÖRPER.....	27
INHALTSVERZEICHNIS	28
1 EINFÜHRUNG.....	29
1.1 <i>Grundlagen</i>	29
1.2 <i>Einflussfaktoren</i>	29
2 STRUKTURELLE DIMENSIONIERUNG.....	30
2.1 <i>Dimensionierungsverfahren</i>	30
2.2 <i>Tragfähigkeitsdimensionierung</i>	31
2.3 <i>Frostdimensionierung</i>	32
2.4 <i>Aufwertung des Untergrunds</i>	32
3 VERHALTENSRELEVANTE CHARAKTERISTIKEN DER OBERBAUTYPEN GEM. SN 640 324	33
3.1 <i>Grundsätzliches</i>	33
3.2 <i>Asphaltbelag auf Kiessand (Oberbautyp 1)</i>	34
3.3 <i>Asphaltbelag auf Asphaltfundationsschicht (Oberbautypen 2/3)</i>	34
3.4 <i>Asphaltbelag auf hydraulisch stabilisierten Schichten (Oberbautypen 4/5)</i>	34

4	KOMBINIERTE OBERBAUTYPEN, KOMPOSITBELAG	35
4.1	Grundprinzip	35
4.2	Dimensionierung	35
5	WAHL DER OPTIMALEN OBERBAUVARIANTE	35
5.1	Ansatz	35
5.2	Erneuerungszyklen	36
5.3	Kriterien für den Variantenvergleich	38
5.4	Bewertung und Gewichtung der einzelnen Kriterien.....	38
5.5	Beispiel: Variantenvergleich HLS mit sehr schwerem Verkehr.....	40
6	ANALYTISCHE DIMENSIONIERUNGSMETHODEN	42
7	LITERATURVERZEICHNIS	44
MODUL D: ERHALTUNG BESTEHENDER STRASSEN.....		45
INHALTSVERZEICHNIS		46
1	EINFÜHRUNG.....	48
2	VERHALTENSBEZOGENE KONZEPTION DES STRASSEN OBERBAUS	48
2.1	Verhaltenskenngrößen (Schadenbild).....	48
2.2	Schädigungsmechanismen und verhaltensrelevante Anforderungen an die Oberbauschichten.....	48
3	ZUSTANDSERFASSUNG UND SCHADENANALYSE	49
3.1	Asphaltbeläge	49
3.2	Betonbeläge.....	53
4	MASSNAHMEN ZUR ERHALTUNG BESTEHENDER FAHRBAHNEN	53
4.1	Einführung.....	53
4.2	Massnahmen zur Erhaltung von Asphaltstrassen.....	58
4.3	Massnahmen zur Erhaltung von Betonstrassen.....	65
4.4	Massnahmen- und Strategieplanung	74
5	LITERATURVERZEICHNIS	85
MODUL E: SCHICHTEN.....		89
INHALTSVERZEICHNIS		90
1	SCHICHTEN DES STRASSEN OBERBAUS.....	91
1.1	Definitionen und Funktionen der Oberbauschichten.....	92
1.2	Schichtfunktionen	93
1.3	Strukturelles Tragverhalten.....	95
1.4	Schichtenverbund	95
1.5	Kontrolle.....	95
1.6	Anforderungen.....	95
2	ASPHALTBETONBELÄGE: BESTIMMEN DER BELAGSSCHICHTEN	95
2.1	Vorgehen	96
2.2	Beispiel.....	96
3	LITERATURVERZEICHNIS	97
MODUL F: BAUSTOFFE		99
INHALTSVERZEICHNIS		100
1	BAUSTOFFE.....	101

1.1	<i>Baustoffe Unterbau / Foundation</i>	101
1.2	<i>Die normierten bitumenhaltigen Belagsbaustoffe</i>	102
1.3	<i>Zu normierende bitumenhaltige Heissmischgute</i>	103
1.4	<i>Neuartige Baustoffe</i>	104
1.5	<i>Bitumenhaltige Kaltmischgute</i>	104
2	ANWENDUNGSGEBIET	105
2.1	<i>Die Oberflächenbehandlung</i>	108
2.2	<i>Die Zwischenmembran (SAMI)</i>	109
3	LITERATURVERZEICHNIS	110
MODUL G: LABORVERSUCHE		111
INHALTSVERZEICHNIS		112
1	VORWORT	113
2	LABORVERSUCHE	114
MODUL H: RECYCLING		119
INHALTSVERZEICHNIS		120
1	ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE	121
2	ZIELVORSTELLUNGEN	121
3	BEWERTUNG DER UMWELTVERTRÄGLICHKEIT DES AUSBAUASPHALTS	122
3.1	<i>Ausbauasphalt</i>	122
4	RECYCLING VON ASPHALTGRANULAT DURCH HEISSAUFBEREITUNG	123
4.1	<i>Einführung</i>	123
4.2	<i>Recycling von Asphaltgranulat im Kaltverfahren (Kaltrecycling)</i>	125
4.3	<i>Recycling von Strassenaufbruch</i>	126
4.4	<i>Recycling von Betongranulat</i>	127
LITERATURVERZEICHNIS		128

MODUL A: Einführung

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	11
ZUM ANDENKEN	11
ZIEL	12
INHALT	12
NUTZEN	12
ANWENDUNG	13
AKTUALISIERUNG	13
LITERATURVERZEICHNIS	13

Vorwort

Das vorliegende Handbuch ist das Werk einer Arbeitsgruppe, welche das in der Schweiz vorhandene Fachwissen im Bereich der Bemessung, des Baus und des Unterhalts von Strassen vereinigt.

Die für die Redaktion verantwortlichen Experten stammen aus verschiedenen Gebieten der Forschung, der Projektierung, der Praxis, sowie der Versuchslaboratorien. Auf diese Weise war es möglich, Theorie und Praxiswissen des Strassenbaus im vorliegenden Werk zu vereinigen.

Folgende Personen haben massgeblich zu diesem Handbuch beigetragen:

- Mathias Blumer, dipl. Ing. ETH/SIA
- Dr. Manfred Partl, dipl. Ing. ETH/SIA, Leiter Strassenbau / Abdichtungen EMPA
- Ernst Stahel, dipl. Ing. ETH/SIA
- Tony Bühler, dipl. Ing. ETH/SIA, Direktor COLAS SA
- Rolf Werner, dipl. Ing. HTL, BEVBE
- Martin Horat, dipl. Ing. ETH, ETHZ-IGT

Die Arbeitsgruppe dankt sowohl dem Bundesamt für Strassen für die Finanzierung der Bearbeitung dieses Handbuchs für den Strassenbau, wie auch der VSS für die Veröffentlichung und die Verteilung dieses Dokuments.

Ein weiterer Dank geht an Daniel Baumann, Forschungsassistent am LAVOC, für die Übersetzung.

J.-C. Turtschy, dipl. Ing. ETH

Wissenschaftlicher Mitarbeiter EPFL - LAVOC

Projektleiter

Zum Andenken

Wir möchten dieses Handbuch Mathias Blumer widmen, der kurz vor der Vollendung verschieden ist. Sein umfassendes Wissen war stets hilfreich, sowohl für die Erarbeitung des vorliegenden Werks, vor allem aber generell für den schweizerischen Strassenbau. Mathias Blumer war stets liebenswürdig, fröhlich und äusserst hilfsbereit.

Ziel

Das vorliegende Handbuch für die Konzeption des Strassenoberbaus soll hauptsächlich die im Strassenbau und Strassenunterhalt beschäftigten Spezialisten in ihrer Arbeit unterstützen. Es dient ihnen als zusätzliches Werkzeug und bietet hilfreiche Ratschläge, sowohl bei der Dimensionierung des Strassenoberbaus, als auch bei der Wahl des wirtschaftlich optimalen Schichtaufbaus, der angemessenen Unterhaltsmethoden und der geeignetsten Baustoffe. Dies alles unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastung, der klimatischen, topographischen, und umweltrelevanten Bedingungen des Projekts.

Inhalt

Das Handbuch für die Konzeption des Strassenoberbaus beinhaltet das nötige Expertenwissen über Bau und Unterhalt von Strassen.

Das vorliegende Werk liefert wertvolle Informationen für die Konzeption und den Unterhalt des Strassenoberbaus, sowohl in flexibler, halb-flexibler, als auch in starrer Bauweise. Ausgenommen sind lediglich Kunstbauten. Zudem werden auch innovative Anwendungsmethoden und Baustoffe behandelt.

Das vorliegende Handbuch wurde in modularer Form realisiert, um die spätere Aktualisierung zu vereinfachen. Jedes Modul beinhaltet grundsätzlich:

- einen theoretischen Teil
- einen praktischen Teil mit Ratschlägen, Vorschlägen, sowie Anwendungs-, Rechen-, oder Auswahlbeispielen für gewisse Bauvarianten, Anwendungsmethoden oder Baustoffe

Nutzen

Das Handbuch soll die Normen und die Fachliteratur im Bereich der Konzeption und des Unterhalts von Strassenoberbauten ergänzen.

In der Tat bieten die Normen die notwendigen Regeln, Bestimmungen und Anforderungen im Bereich der Dimensionierung, des Einbaus, des Unterhalts und der Zustandserfassung des Strassenoberbaus, wie auch der Mischrezepturen, des Transports und der Anwendung der Baustoffe.

Die Fachliteratur besteht hauptsächlich aus Büchern, welche die Theorie des Strassenbaus in genereller Art und Weise behandeln.

Die für den Bau und den Unterhalt von Strassen zuständigen Fachleute vermissen jedoch praktische Anhaltspunkte, welche die Normen und die Fachliteratur ergänzen, besonders für:

- die Wahl des Schichtaufbaus und der Unterhaltsmethoden
- die Wahl der Baustoffe

um die technisch und wirtschaftlich angemessenste Lösung zu finden, unter Einbezug der örtlichen Gegebenheiten der zu planenden Strasse.

Anwendung

Beim Aufbau des Handbuchs wurde darauf geachtet, die einzelnen Moduli so unabhängig als möglich voneinander zu gestalten, um unnötiges Hin- und Herblättern bei der Informationsbeschaffung zu vermeiden und die Handhabung zu vereinfachen. Das Handbuch enthält, neben der Einführung (Modul A), sieben verschiedene Moduli mit folgenden Themen:

- MODUL B „BEANSPRUCHUNG“
- MODUL C „NEUE STRASSENKÖRPER“
- MODUL D „UNTERHALT“
- MODUL E „SCHICHTEN“
- MODUL F „BAUSTOFFE“
- MODUL G „LABORVERSUCHE“
- MODUL H „RECYCLING“

Der Anwender kann somit rasch auf die ihn interessierenden Moduli zurückgreifen, um an die benötigten Informationen zu gelangen.

Aktualisierung

Um den Einstieg in das Handbuch für den Praktiker zu erleichtern, wurden in dieser ersten Version des Handbuchs die bisher in der Praxis geläufigen Bezeichnungen für die Mischgutgruppen beibehalten, zumal die neuen Bezeichnungen im Zuge der laufenden Aktualisierung der Normen immer wieder Änderungen erfuhren und während der Erstellung des Handbuchs nicht festlagen. Bei einer Revision des Handbuchs wird allerdings den neuen Gegebenheiten Rechnung zu tragen sein. Nach heutigem Stand kann davon ausgegangen werden, dass sich folgende Bezeichnungen für die Mischgutgruppen durchsetzen werden (heutige Bezeichnung in Klammern):

AC	Asphaltbeton (AB, HMT, HMF)
ACVTL	Asphaltbeton für dünne Schichten (DSB)
SMA	Splittmastixasphalt
PA	Offenporiger Asphalt (Drainasphalt DRA)
MA	Gussasphalt (GA)
HRA	Hot Rolled Asphalt (HR)
KMF	Bitumenhaltige Kaltmischfundationsschicht
AC MR	Rauasphalt
OB	Oberflächenbehandlung, Kaltmikrobelag Slurry
BBHM	Bitumenhaltiger Belag mit hohem Modul
B	Beton (---)

Wie bereits erwähnt wurde der modulare Aufbau des Handbuchs gewählt, um die Aktualisierung zu erleichtern. Die einzelnen Moduli werden nach Bedarf auf den neusten Stand gebracht. Die nächste Aktualisierung wird mit der Einführung der Euronormen im Bereich der Strassenbeläge und anderer relevanter Baustoffe im Jahre 2005 nötig sein.

Literaturverzeichnis

Die Literaturhinweise werden jeweils am Ende jedes Moduls gegeben.

MODUL B: Beanspruchung

Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG.....	17
2	DIE MECHANISCHE BEANSPRUCHUNG	17
2.1	<i>Die Verkehrsbelastung</i>	18
2.2	<i>Quantitative Untersuchung gemäss Schweizer Normen</i>	18
2.2.1	Berechnung der äquivalenten Verkehrslast für Schwerverkehr unter 28 t	18
2.2.2	Berechnung der äquivalenten Verkehrslast für Schwerverkehr über 28 t.....	19
2.2.3	Berechnung der äquivalenten Verkehrslast für Busverkehr	19
2.2.4	Jährliche Verkehrszunahme	19
2.3	<i>Qualitative Untersuchung: Spezialfälle des Verkehrs</i>	20
2.4	<i>Anwendungsbeispiele</i>	20
3	DIE KLIMATISCHE BEANSPRUCHUNG	23
3.1	<i>Die thermische Beanspruchung</i>	23
3.2	<i>Die hydrogeologische Beanspruchung</i>	24
4	DIE CHEMISCHE BEANSPRUCHUNG	24
5	LITERATURVERZEICHNIS	25

1 Einführung

Die Beanspruchung kann verschiedenen Ursprungs sein:

- mechanisch
- klimatisch
- chemisch

In der Regel besteht die Beanspruchung eines Strassenkörpers aus einer Kombination der drei genannten Ursachen. Dies bedeutet, dass die Konzeption eines Strassenoberbaus oder einer Erhaltungmassnahme alle drei Punkte berücksichtigen sollte. Zur Zeit gibt es allerdings keine anerkannte Methode, welche ermöglicht, die drei Faktoren miteinander zu verbinden und ein Resultat zu erhalten, das den Kombinationseffekt berücksichtigt. Daher müssen sie getrennt betrachtet werden (Tabelle 1).

Beanspruchung	Ursache	Untersuchungsmethode	Konsequenz
Mechanisch	Verkehrslast	Quantitativ: Äquivalente Verkehrslast	Dicke der Deck- und Tragschichten
		Qualitativ: Belastungsarten	Rezeptierung
	Untergrund	Tragfähigkeit	Dicke der Foundationsschichten und Verstärkung des Untergrunds
	Topologie	Meereshöhe, Sonneneinstrahlung, Geometrie, etc.	Belagsart Bindemittelart
Klimatisch	Frost	Frost/Auftau-Zyklen	Frostdimensionierung
	Niederschlag	Hydraulische Voraussetzungen	Drainage
	Temperaturschwankungen	Temperaturgradient in den Schichten	Wahl des Bindemittels
	Thermischer Schock	Qualität des Bindemittels bei tiefen Temperaturen	Wahl des Bindemittels
Chemisch	Alterung	Bindemittelverhalten	Wahl des Bindemittels

Tabelle 1: Beanspruchungsarten

2 Die mechanische Beanspruchung

Die mechanische Beanspruchung von bituminösen Belägen kann als Ursache haben:

- die Verkehrsbelastung
- die Bewegungen des Untergrunds

2.1 Die Verkehrsbelastung

Die Verkehrsbelastung stellt unbestrittenerweise den wichtigsten Faktor der Beanspruchung der Strasse dar. Ihre Untersuchung muss sowohl quantitativ als auch qualitativ erfolgen (Tabelle 2). Die meisten Dimensionierungsmethoden berücksichtigen für die quantitative Analyse eine äquivalente Verkehrslast, welche die Gesamtheit des Verkehrs mit Hilfe eines einzigen Parameters ausdrückt. Die Norm SN 640 324 [1] beschreibt die anzuwendende Methode. Sie bezieht sich hauptsächlich auf Achslasten und die Gesamtheit des Schwerverkehrs und wird zur Bestimmung der Schichtdicken und der zu benutzenden Baustoffe angewandt. Diese Quantifizierung gibt allerdings keinerlei Auskunft über die Art des Belastungsauftritts auf dem Strassenkörper: statische oder sich bewegende Last, Geschwindigkeit letzterer, eventuelle horizontale Lasten. Eine qualitative Untersuchung des Verkehrs liefert zusätzlich nützliche Informationen für die Auswahl und Rezeptierung der bituminösen Baustoffe.

Verkehrslast	Ausschlaggebende Faktoren	Hauptsächliche Schadensarten	Hauptsächlich betroffene Stellen
Quantitativ	Achslast Gesamtes Verkehrsvolumen	Ermüdungsrisse Bleibende Verformungen Verlust des Haftvermögens Ausbrechen von Granulat	Alle Verkehrsflächen
Qualitativ	Temperatur während der Belastung Belastungsdauer (Geschwindigkeit) Intensität und Konfiguration der Last	Bleibende Verformungen der bituminösen Schichten	Langsamfahrzonen Bushaltestellen Parkplätze Kreisverkehrsanlagen Schwerverkehrsspuren (Busspuren, Langsamfahrspuren)

Tabelle 2: Verkehrsanalyse

2.2 Quantitative Untersuchung gemäss Schweizer Normen

Die Schweizer Dimensionierungs- und Verstärkungsnormen verwenden die von der AASHTO entwickelten äquivalenten Verkehrslast, um die Verkehrslast zu beschreiben. Die Norm SN 640 320 [1] regelt die Berechnung der äquivalenten Verkehrslast, welche die Verkehrslast anhand einer mit Hilfe eines Äquivalenzfaktors berechneten Anzahl Standardachsen (ESAL: Equivalent Standard Axle Load) ausdrückt. Die in der Schweiz benutzte Standardachslast beträgt 8.16 t. Die Einteilung des Verkehrs in die verschiedenen Verkehrslastklassen geschieht anhand der ESAL-Tagesmittelwerte und gewisser logarithmischer Kurven. Die von der SN 640 320 beschriebene Verkehrslast beinhaltet nur den Schwerverkehr, welcher Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht über 3.5 t umfasst.

Die für die Berechnung der äquivalenten Verkehrslast notwendigen Daten betreffen die Intensität der Last, das gesamte Verkehrsvolumen und die Verkehrszusammensetzung (Fahrzeug- oder Achstyp). Die nützlichsten Informationen liefern automatische Gewichtsmessanlagen WIM (Weigh in Motion), wie sie in [2] und [5] beschrieben werden.

2.2.1 Berechnung der äquivalenten Verkehrslast für Schwerverkehr unter 28 t

Die Norm SN 640 320 sieht vier Methoden vor, je nach vorhandener Datenqualität bezüglich der Achslastverteilung.

Die **erste** beruht auf Achsäquivalenzfaktoren und benötigt detaillierte Wägedaten bezüglich Achslasten und –typen. Dieses Vorgehen wird als grundlegendes Verfahren bezeichnet, weil es als Basis für die drei folgenden Methoden dient. Beispiel Nummer 1 zeigt die praktische Anwendung.

Die **zweite** basiert auf Äquivalenzfaktoren nach Schwerverkehrslastklassen. Die Schwerverkehrslastklassen werden anhand der Fahrzeugsilhouetten bestimmt, was die Anwendung von visuellen Verkehrsbeobachtungen voraussetzt. Für die Berechnung der äquivalenten Verkehrslast muss die Klassenverteilung bekannt sein. Beispiel 2 zeigt diese Methode.

Die **dritte** stützt sich auf Äquivalenzfaktoren nach SLF-Kategorien. Die drei Kategorien von schweren Lastfahrzeugen (SLF) entsprechen denjenigen der Verkehrszählungen, was die Benutzung statistischer Verkehrsdaten ermöglicht. Für die Berechnung der äquivalenten Verkehrslast muss die Kategorienverteilung bekannt sein. Diese Methode wird in Beispiel 3 dargestellt.

Die **vierte** beruht auf für verschiedene Strassentypen und den gesamten Schwerverkehr definierten Äquivalenzfaktoren. Die Äquivalenzfaktoren unterscheiden Transitautobahnen, Autobahnen, Hauptstrassen und Verbindungsstrassen. Die äquivalente Verkehrslast wird mit Hilfe des gesamten Schwerverkehrsvolumens berechnet. Beispiel 4 zeigt diese Methode.

Die zweite, die dritte und die vierte Methode sind Schätzungen, die auf im Jahre 2000 punktuell durchgeführten Zählungen beruhen. Vor ihrer Anwendung sollte man sich versichern, dass diese Zählungen dem zu untersuchenden Projekt entsprechen.

2.2.2 Berechnung der äquivalenten Verkehrslast für Schwerverkehr über 28 t

Die Norm SN 640 320a beruht auf WIM-Messungen, welche unter dem 28 t-Regime durchgeführt wurden. Sie ist daher nicht dazu geeignet, die äquivalente Verkehrslast anhand der globalen Faktoren (Methoden 2, 3 und 4) für Schwerverkehr über 28 t zu berechnen. Es muss also die erste in der Norm SN 640 320 beschriebene Methode angewendet werden, welche die äquivalente Verkehrslast pro Achse in Abhängigkeit der Verkehrslast ergibt. Es ist also notwendig, detaillierte Gewichtsmessungen (Achslast und –typ) eines dem projektierten ähnlichen Verkehrsaufkommens zu analysieren. Diese Messungen können zum Beispiel aus Ländern stammen, welche eine höhere Gewichtslimite kennen. Es ist eine deutliche Erhöhung der Äquivalenzfaktoren pro Fahrzeug zu erwarten, verglichen mit den in der Norm SN 640 320 für die zweite und die dritte Methode vorgegebenen Werten.

2.2.3 Berechnung der äquivalenten Verkehrslast für Busverkehr

Im diesem Fall muss ebenfalls die erste Berechnungsmethode der SN 640 320 angewendet werden, welche die Äquivalenzfaktoren pro Achse vorgibt. Um die von den Bussen verursachte äquivalente Verkehrslast zu berechnen, müssen die für die Strecke vorgesehenen Fahrzeuge gewogen werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, verschiedene Lastkonfigurationen (Auslastungsgrad) in Betracht zu ziehen und die entsprechende Verteilung zu schätzen. Dieses Vorgehen erlaubt es, die Anzahl der Standardachsen zu bestimmen, welche auf dem zu untersuchenden Abschnitt unterwegs sein werden. Haltestellen, Parkplätze und Bremsstrecken vor Lichtsignalanlagen müssen gesondert untersucht werden. Für diese Flächen sollte die quantitative durch eine qualitative Untersuchung ergänzt werden.

2.2.4 Jährliche Verkehrszunahme

Die Strassendimensionierung wird jeweils für eine genau definierte Benutzungsdauer durchgeführt. Dieses Vorgehen verlangt eine gewisse Kenntnis der zu erwartenden Verkehrslast, welche den Strassenkörper über diesen Zeitraum belasten wird. Daher sollte die durchschnittliche jährliche Verkehrszunahme bestimmt werden, um danach die in Ziffer 22 der Norm SN 640 320 beschriebene Formel anzuwenden:

$$TF_n = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \cdot TF_0$$

2.3 Qualitative Untersuchung: Spezialfälle des Verkehrs

Grundsätzlich ist für die richtige Wahl der Bitumenmischung eines jeden Projekts eine qualitative Untersuchung der Verkehrslast notwendig. Diese Analyse muss sehr detailliert durchgeführt werden, wenn das hauptsächliche Schadensrisiko abhängig ist von der Verkehrslast. Dies ist vor allem der Fall bei:

- Langsamfahrstrecken (in der Nähe von Kreuzungen) oder Wendepunkten
- Busspuren und Haltestellen
- Parkplätzen und Parkhäusern
- Kreisverkehrsanlagen
- Kriechspuren

Diese Sachlagen haben eine Gemeinsamkeit: Die Verkehrslast wirkt mit geringer Geschwindigkeit, oder ist gar statisch. Die viskoplastischen Eigenschaften von bituminösen Baustoffen machen diese Belastungsart besonders kritisch, denn konstante oder langsame Lastanwendung fördert die dauerhafte Verformung. Die Viskosität der Baustoffe erhöht sich mit steigender Temperatur, was die besagten Verkehrslasten bei hohen Temperaturen noch zerstörender macht. Die Einflussfaktoren für eine quantitative Untersuchung sind, geordnet nach ihrer Wichtigkeit:

- Die Temperatur des Strassenbelags während der Lasteinwirkung
- Die Anwendungsdauer
- Die Lastintensität

Dort, wo Lasten über lange Zeit auf stark erhitzten bituminösen Verkehrsflächen wirken, können durchaus auch geringe Lasten dauerhafte Verformungen hervorrufen. In solchen Fällen muss das gewählte Bitumengemisch über eine hohe Festigkeit gegen dauerhafte Verformungen verfügen, was mithilfe von Laboruntersuchungen geprüft werden kann.

Bei Kreisverkehrsanlagen und Wendepunkten mit geringem Wendekreis können Fahrzeuge mit Doppel- oder Dreifachachsen erhebliche horizontale Kräfte bewirken. Diese Kräfte können zusammen mit hohen Temperaturen plötzliche und schwere Schäden der Deckschicht zur Folge haben.

2.4 Anwendungsbeispiele

Beispiel 1 (Anwendung des grundlegenden Verfahrens gemäss Ziffer 18 der Norm SN 640 320):

Drei Bustypen, die auf einem zu erneuernden Strassenabschnitt zur Anwendung kommen sollen, wurden gewogen. Dabei kamen verschiedene Lastkonfigurationen zur Anwendung, je nach Füllgrad der Fahrzeuge (leer, mittel, voll). Die Busse haben zudem folgende Eigenschaften:

- Bus I: Zwei Einzelachsen
- Bus II: Einzelachse vorne, Doppelachse hinten
- Bus III: Gelenkbus, drei Einzelachsen

Es wird angenommen, dass die Busse auf dem Strassenabschnitt während 18 Stunden zu 15 % leer, zu 55 % teilweise gefüllt und zu 30 % voll unterwegs sein werden. Die stündliche Verteilung der Bustypen pro Fahrtrichtung sieht folgendermassen aus: 7 Busse des Typs I, 3 Busse des Typs II und 8 Busse des Typs III.

Die Berechnung der äquivalenten täglichen Verkehrslast ergibt folgende Resultate (Tabelle 3). Für jeden Bustyp wird die Gewichtsmessung und der der Achslast entsprechende Äquivalenzfaktor notiert. Zusätzlich werden die Gesamtwerte pro Bustyp angegeben.

Bus I	Bus leer		Bus teilweise gefüllt		Bus voll	
Einzelachse vorne	5 t	0,15	6 t	0,29	7 t	0,53
Einzelachse hinten	7 t	0,53	9 t	1,52	11 t	3,66
Total Bus I	12 t	0,68	15 t	1,81	18 t	4,19

Bus II	Bus leer		Bus teilweise gefüllt		Bus voll	
Einzelachse vorne	6 t	0,29	7 t	0,53	8 t	1,00
Doppelachse hinten	9 t	0,14	13 t	0,54	17 t	1,63
Total Bus II	15 t	0,43	20 t	1,07	25 t	2,63

Bus III	Bus leer		Bus teilweise gefüllt		Bus voll	
Einzelachse vorne	6 t	0,29	7 t	0,53	8 t	1,00
Einzelachse hinten	7 t	0,53	8 t	1,00	9 t	1,52
Einzelachse angehängt	5 t	0,15	7 t	0,53	8 t	1,00
Total Bus III	18 t	0,97	23 t	2,06	25 t	3,52

Tabelle 3: Ergebnisse der Gewichtsmessung und Äquivalenzfaktoren

Unter Berücksichtigung von Fahrzeugverteilung und deren Belegung ist es möglich, einen mittleren Äquivalenzfaktor pro Bustyp auszurechnen:

- Bus I: $0.15 \cdot 0.68 + 0.55 \cdot 1.81 + 0.30 \cdot 4.19 = 2.35$
- Bus II: $0.15 \cdot 0.43 + 0.55 \cdot 1.07 + 0.30 \cdot 2.63 = 1.44$
- Bus III: $0.15 \cdot 0.97 + 0.55 \cdot 2.06 + 0.30 \cdot 3.52 = 2.33$

Die Anzahl der auf dem Strassenstück verkehrenden Standardachsen (ESAL) entspricht der Einfluss-Summe jedes Bustyps während 18 Stunden:

$$TF_0 = 18 \cdot (7 \cdot 2.35 + 3 \cdot 1.44 + 8 \cdot 2.33) = 710 \text{ ESAL}$$

Beispiel 2 (Anwendung des ersten Schätzverfahrens gemäss Ziffer 19 der Norm SN 640 320):

Die Zufahrtsstrasse zu einem Industriegebiet mit einer Fahrspur pro Richtung soll saniert werden. Aus den vorgängig durchgeführten visuellen Verkehrsbeobachtungen lässt sich ein mittlerer Tagesverkehr pro Fahrzeugkategorie gemäss Tabelle 3 der Norm SN 640 320a ermitteln. Dabei werden die Fahrzeuge in beiden Fahrrichtungen berücksichtigt. Aus Gründen der Erweiterung der Industriezone wird mit einer konstanten Verkehrszunahme von 3 % gerechnet. Mit diesen Vorgaben soll die äquivalente tägliche Verkehrslast des Strassenabschnitts für die folgenden 10 Jahre bestimmt werden.

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der visuellen Verkehrsbeobachtungen. Für jede Fahrzeugklasse wird zudem der Äquivalenzfaktor (gemäss Tabelle 3 der Norm SN 640 320), sowie die daraus resultierende Anzahl Standardachsen (ESAL) angegeben. Die letzte Zeile zeigt das massgebende Gesamttotal.

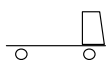
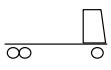
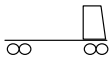
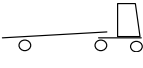
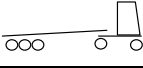
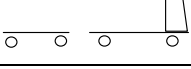
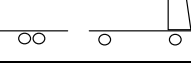
Fahrzeugklassen	Anzahl Fahrzeuge	Äquivalenzfaktor	Anzahl ESAL
	120	0.8	96
	136	1.5	204
	102	1.5	153
	82	0.5	41
	105	1.4	147
	131	2.2	288
	46	2.6	120
Total	722	-	1049

Tabelle 4: Ergebnisse der visuellen Verkehrsbeobachtungen und Äquivalenzfaktoren

Nach Einbezug der Fahrtrichtungsverteilung des Gesamtverkehrs ergibt sich die aktuelle Verkehrslast des Strassenabschnitts:

$$TF_0 = 0.50 \times 1049 = 525 \text{ ESAL}$$

Wie bereits beschrieben, wird die jährliche Verkehrszunahme auf 3 % geschätzt. Die durchschnittliche äquivalente tägliche Verkehrslast über 10 Jahre, TF_{10} , wird folgendermassen berechnet:

$$TF_{10} = \frac{(1 + 0.03)^{10} - 1}{0.03 \cdot 10} \cdot TF_0 = 602 \text{ ESAL}$$

Beispiel 3 (Anwendung des zweiten Schätzverfahrens gemäss Ziffer 20 der Norm SN 640 320):

Vor der Verstärkung eines vierspurigen Autobahnabschnitts ist es notwendig, die aktuelle äquivalente tägliche Verkehrslast der Strecke zu bestimmen. Dafür werden vom ASTRA zur Verfügung gestellte Verkehrsdaten verwendet, welche den Schwerverkehr gemäss Norm SN 640 002 [8] in drei Klassen einteilen. Die Ergebnisse der Messperiode von 60 Tagen werden in Tabelle 5 dargestellt. Darin werden die Fahrzeuge in beiden Fahrrichtungen berücksichtigt. Zusätzlich werden der entsprechende Äquivalenzfaktor und die resultierende Anzahl Standardachsen (ESAL) angegeben.

Kategorie	Anzahl Fahrzeuge	Äquivalenzfaktor	Anzahl ESAL
Lastwagen	20'628	1,0	20'628
Lastwagen mit Anhänger	7'448	2,2	16'386
Sattelschlepper	14'426	1,4	20'196
Total	42'502	-	57'210

Tabelle 5: Ergebnisse der Verkehrszählung und Äquivalenzfaktoren

Aus den Ergebnissen der obenstehenden Tabelle kann – unter Berücksichtigung der Verteilung – die äquivalente tägliche Verkehrslast folgendermassen berechnet werden:

$$TF_0 = 0.45 \cdot \frac{57'210}{60} = 429 \text{ ESAL}$$

Beispiel 4 (Anwendung des dritten Schätzverfahrens gemäss Ziffer 21 der Norm SN 640 320):

Angenommen, man verfügt über die unter Beispiel 3 verwendeten Verkehrsdaten, jedoch ohne die Verteilung der Fahrzeugkategorien zu kennen. Für eine Hochleistungsstrasse beträgt damit die äquivalente tägliche Verkehrslast, ausgehend von 42'502 Fahrzeugen:

$$TF_0 = 0.45 \cdot \frac{42'502 \cdot 1.3}{60} = 414 \text{ ESAL}$$

3 Die klimatische Beanspruchung

Die klimatische Beanspruchung eines Strassenoberbaus beinhaltet:

- Thermische Beanspruchung
- Hydraulische Beanspruchung
- Hydrogeologische Beanspruchung

In diesem Kapitel wird auf die thermische und die hydrogeologische Beanspruchung eingegangen, welche die Strassenkonzeption massgeblich beeinflussen.

3.1 Die thermische Beanspruchung

Die thermische Beanspruchung resultiert aus raschen und ungleichmässigen Temperaturveränderungen in den bituminösen Schichten. Die Temperaturverteilung in den Schichten hängt vom Klima ab, welche von der örtlichen Topographie bestimmt wird. Grundsätzlich führt eine starke thermische Beanspruchung zu Rissbildung in den Deckschichten, wo die Temperaturschwankungen am stärksten und am schnellsten auftreten. Dies wird als thermische Rissbildung bezeichnet.

Die wichtigsten klimatischen Faktoren sind Lufttemperatur und Sonneneinstrahlung. Daneben muss auch der Winterdienst erwähnt werden, denn die verwendeten Taumittel üben einen starken thermischen Einfluss auf den Strassenbelag aus.

Der Bindemitteltyp muss so gewählt werden, dass den örtlichen klimatischen und topographischen Bedingungen Rechnung getragen wird [9].

Falls der betreffende Strassenabschnitt in einer Region liegt, in der häufig starke Temperaturschwankungen beobachtet werden, welche zu thermischer Rissbildung führen können, muss ein besonderes Augenmerk auf die Rezeptierung und das Bindemittel der Deckschicht gelegt werden. Es sollten ein bindemittelreiches Mischgut sowie ein thermisch unempfindlicher Bitumen (positiver Penetrationsindex PI) gewählt werden, oder besser noch ein modifiziertes Bindemittel.

3.2 Die hydrogeologische Beanspruchung

Die Auswirkungen von Belagsschäden, welche hauptsächlich durch den Einfluss der Verkehrslast hervorgerufen werden, sind abhängig von der Tragfähigkeit des Untergrunds. Die Dimensionierungsmethode beschreibt die Bodenqualität anhand der in der Norm SN 640 317 [5] beschriebenen Tragfähigkeitsklassen, welche zusammen mit den Verkehrslastklassen als Grundlage für die Wahl des Oberbautyps nach SN 640 324 dienen. Die Norm SN 640 317 beschreibt zudem Massnahmen für die Tragfähigkeitsverbesserung des Untergrunds. Eine schlechte Bodenqualität hat üblicherweise eine Erhöhung der Dicke der Foundationsschicht, jedoch nicht der direkt vom Verkehr belasteten Schichten zur Folge.

Es kann vorkommen, dass während der Betriebsdauer eine Veränderung der klimatischen und hydraulischen Bedingungen die Tragfähigkeit des Bodens verändert. Solche Veränderungen haben häufig eine bruske Verschiebung der Foundationsschicht zur Folge und rufen damit eine zusätzliche starke Belastung des Schichtenverbunds hervor. Diese Beanspruchung resultiert meistens in Setzungen und Rissbildung in den bituminösen Schichten. Die Einflussfaktoren für eine Veränderung der Tragfähigkeit sind:

- Die Auswirkungen von Frost
- Die Veränderung der hydraulischen Bedingungen

Gegen die Auswirkungen der Frostbelastung hilft eine Frostdimensionierung gemäss Norm SN 640 317. Die am häufigsten durch Frost hervorgerufenen Schäden sind in SN 670 140 [4] beschrieben.

Was die hydraulischen Bedingungen betrifft, sollte man sich versichern, dass sie unterhalb des Strassenkörpers so konstant als möglich bleiben und dass das Grundwasser die Tragfähigkeit des Untergrunds nicht vermindert. Die Norm SN 640 355 [7] beschreibt die notwendigen vorbeugenden Massnahmen.

4 Die chemische Beanspruchung

Grundsätzlich werden zwei verschiedene chemische Beanspruchungsarten unterschieden:

- Die chemische Beanspruchung durch den Winterdienst. Diese führt zu einer thermischen Beanspruchung durch jähes Absenken der Temperatur der Strassenoberfläche.
- Die chemische Beanspruchung durch unabsichtliches Verschütten von chemischen Stoffen auf der Strassenoberfläche. Verschiedene Stoffe können den Strassenbelag angreifen (Mineralölstoffe, Säuren). An gefährdeten Stellen sollte der Strassenbelag gegen das Verschütten kleiner Mengen aggressiver Stoffe geschützt werden, was sich auch wirtschaftlich als vorteilhaft erweisen kann. So sollte zum Beispiel ein Parkplatz mit einer Schutzschicht überzogen werden, um ihn gegen Mineralölstoffe zu schützen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] SN 640 324 Dimensionierung; Strassenoberbau
- [2] SN 640 320 Dimensionierung; Äquivalente Verkehrslast
- [3] COST 323 Pesage en marche des véhicules routiers, 2^e conférence européenne
Lisbonne, 14/16 septembre 1998, Actes finaux
- [4] D. Cebon: Handbook of vehicle-road interaction, University of Cambridge, 1999
- [5] SN 640 317 Dimensionierung; Untergrund und Unterbau
- [6] SN 670 140 Frost
- [7] SN 640 355 Drainage; Projektierung
- [8] SN 640 002 Verkehrserhebungen; Verkehrszählungen
- [9] SN 640 431 Asphaltmischgut – Asphaltbeton; Mischgutanforderungen
- [10] A.-G. Dumont: Conception des voies de circulation, EPFL-LAVOC, 2000

MODUL C: Neue Strassenkörper

Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG.....	29
1.1	<i>Grundlagen</i>	29
1.2	<i>Einflussfaktoren</i>	29
2	STRUKTURELLE DIMENSIONIERUNG.....	30
2.1	<i>Dimensionierungsverfahren</i>	30
2.2	<i>Tragfähigkeitsdimensionierung</i>	31
2.3	<i>Frostdimensionierung</i>	32
2.4	<i>Aufwertung des Untergrunds</i>	32
2.4.1	<i>Stabilisierung</i>	32
2.4.2	<i>Geomembranen (Geotextilien und Geogitter)</i>	33
2.4.3	<i>Bewehrung mit Geogittern</i>	33
3	VERHALTENSRELEVANTE CHARAKTERISTIKEN DER OBERBAUTYPEN GEM. SN 640 324	33
3.1	<i>Grundsätzliches</i>	33
3.2	<i>Asphaltbelag auf Kiessand (Oberbautyp 1)</i>	34
3.3	<i>Asphaltbelag auf Asphaltfundationsschicht (Oberbautypen 2/3)</i>	34
3.4	<i>Asphaltbelag auf hydraulisch stabilisierten Schichten (Oberbautypen 4/5)</i>	34
4	KOMBINIerte OBERBAUTYPEN, KOMPOSITBELAG	35
4.1	<i>Grundprinzip</i>	35
4.2	<i>Dimensionierung</i>	35
5	WAHL DER OPTIMALEN OBERBAUARIANTE	35
5.1	<i>Ansatz</i>	35
5.2	<i>Erneuerungszyklen</i>	36
5.3	<i>Kriterien für den Variantenvergleich</i>	38
5.4	<i>Bewertung und Gewichtung der einzelnen Kriterien</i>	38
5.5	<i>Beispiel: Variantenvergleich HLS mit sehr schwerem Verkehr</i>	40
5.5.1	<i>Interpretation der Ergebnisse:</i>	40
6	ANALYTISCHE DIMENSIONIERUNGSMETHODEN	42
7	LITERATURVERZEICHNIS	44

1 Einführung

Eine performanceorientierte Konzeption des Strassenoberbaus umfasst die strukturelle Dimensionierung und die Wahl beanspruchungskonformer Baustoffe für die Oberbauschichten. Sie hat zum Ziel, ein gutes Gebrauchsverhalten (performance) der Fahrbahn während der ihr zugeordneten Gebrauchsdauer zu gewährleisten.

1.1 Grundlagen

Die Dimensionierungsmethode des Strassenoberbaus in bituminöser Bauweise nach Schweizerischer Norm [1] basiert hauptsächlich auf dem von der AASHTO in den 60er Jahren entwickelten Verfahren. Die Tragfähigkeit eines Strassenoberbaus in bituminöser Bauweise wird nach dem AASHTO Guide for Design [2] durch den Strukturwert SN (Structural Number) ausgedrückt. Dieser ist definiert als die Summe der Dicken D [cm] der einzelnen Oberbauschichten multipliziert mit den entsprechenden Tragfähigkeitswerten a (Tab. 5 SN 640 324):

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 + \dots + a_nD_n$$

- a_i Mass für die relative Tragfähigkeit einer Oberbauschicht bezogen auf den Basiswert Kiessand rund $a = 1.0$
- a_iD_i Tragfähigkeitswert einer Oberbauschicht von D cm Dicke

Die in Abhängigkeit der Verkehrslastklassen T_i und der Tragfähigkeitsklassen S_i erforderlichen Strukturwerte SN_{erf} [cm] sind in der Schweizer Norm aufgeführt [3].

Der erforderliche Strukturwert SN_{erf} bildet die Grundlage für:

- Dimensionierung neuer Strassenkörper in bituminöser Bauweise gemäss SN 640 324
- Dimensionierung einer Verstärkung im Hocheinbau oder durch teilweise Oberbauerneuerung gemäss SN 640 324 (Modul D)
- Dimensionierung einer Verstärkung im Hocheinbau mit Asphaltbelag von Betonstrassen gemäss SN 640 736 [4] (Modul D, Kap. 4.3)

Die in Tabelle 5 der Norm SN 640 324 enthaltenen Tragfähigkeitswerte (a -Werte) der Oberbauschichten beziehen sich auf normkonforme Baustoffe. Neue Baustoffe können berücksichtigt werden, wenn deren Tragfähigkeitswert bekannt ist.

1.2 Einflussfaktoren

Für die strukturelle Dimensionierung sind folgende Einflussfaktoren massgebend:

- Verkehrsbelastung
- Untergrund bzw. Unterbau
- Örtliche Bedingungen (Klima, hydrologische Bedingungen)

Die Verkehrsbelastung wird gemäss SN 640 320 [5] ermittelt und entweder durch die tägliche äquivalente Verkehrslast TF oder die gesamte äquivalente Verkehrslast W ausgedrückt (vgl. Modul B).

Anhand der errechneten Verkehrslast erfolgt die Einteilung in eine der sechs Verkehrslastklassen T_i .

Massgebende Eigenschaften des Untergrundes bzw. Unterbaus sind Tragfähigkeit und Frostempfindlichkeit (vgl. Abbildung 1). Bei der Dimensionierung gemäss SN 640 324 werden die Tragfähigkeitsklassen $S1$ bis $S4$ berücksichtigt; Böden der Klasse $S0$ benötigen eine vorausgehende Tragfähigkeitsverbesserung oder eine Dimensionierung auf Grund von Spezialuntersuchungen.

In der Norm SN 640 317 [6] sind die örtlichen Bedingungen (Frosttiefe X_{30} , hydrologische Bedingungen) angegeben, welche bauliche Massnahmen zur Verhütung von Frost- und Auftauschäden oder eine Frostdimensionierung erforderlich machen.

2 Strukturelle Dimensionierung

2.1 Dimensionierungsverfahren

Die Oberbaudimensionierung beinhaltet eine Tragfähigkeitsdimensionierung und, bei ungünstigen Voraussetzungen, eine Frostdimensionierung. Das Funktionsschema der für die Dimensionierung benötigten Normen ist aus Abbildung 1 ersichtlich.

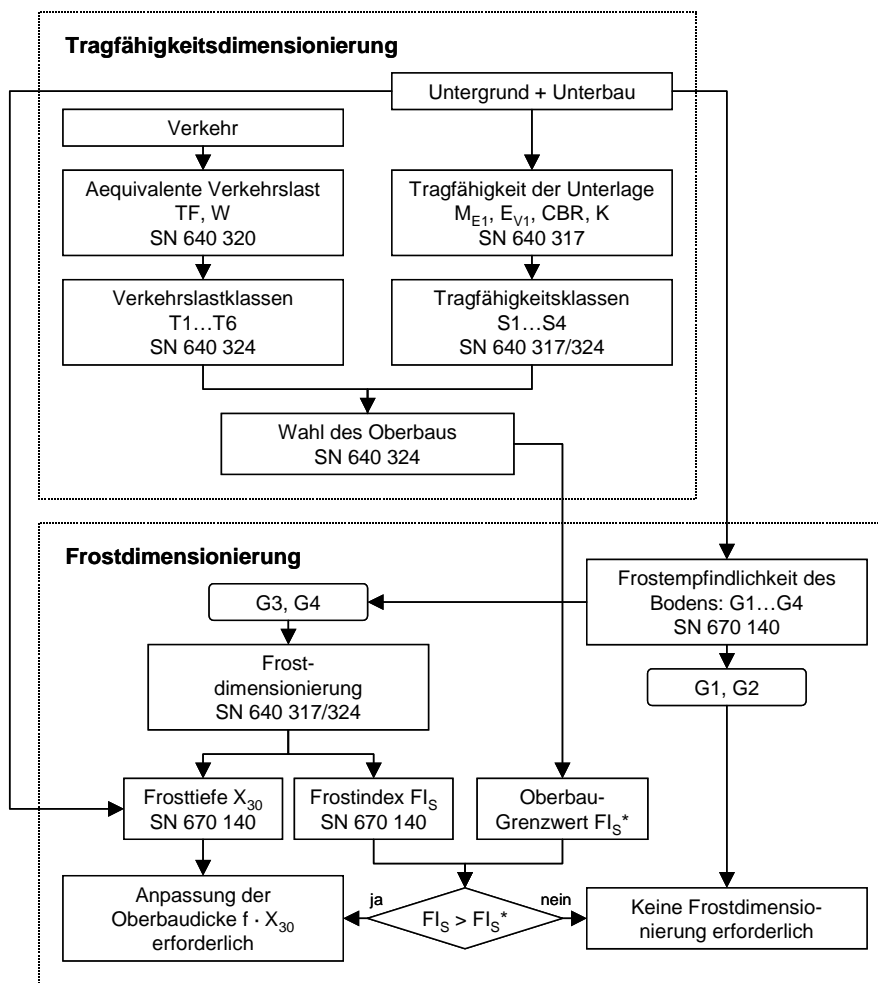


Abbildung 1: Funktionsschema der Dimensionierungsnormen

2.2 Tragfähigkeitsdimensionierung

Bei theoretischen Überlegungen zur Tragfähigkeitsdimensionierung wird der Strassenoberbau als ein aus zwei Schichten bestehendes System betrachtet. Dabei besteht die eine Schicht aus den gebundenen Belagsschichten, die andere aus den nicht oder kaum gebundenen Schichten des Unterbaus. Die im Zweischichtensystem auftretenden Spannungen sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Um ein gutes Verhalten der Strasse zu gewährleisten, sind bei der Tragfähigkeitsdimensionierung die beiden nachstehenden Anforderungen zu erfüllen:

- Ausreichende Tragfähigkeit (lastverteilende Wirkung) des gesamten Oberbaus, um ein Überschreiten der zulässigen Normalspannung auf Höhe des Planums auszuschliessen und übermässige Verformungen (strukturelle Spurrinnenbildung) zu verhindern.
- Um die Bildung von Ermüdungsrissen (strukturelle Rissbildung) zu verhindern, soll die Biegezugspannung an der Unterseite des Asphaltbelages nicht grösser sein als die momentan vorhandene Biegezugfestigkeit.

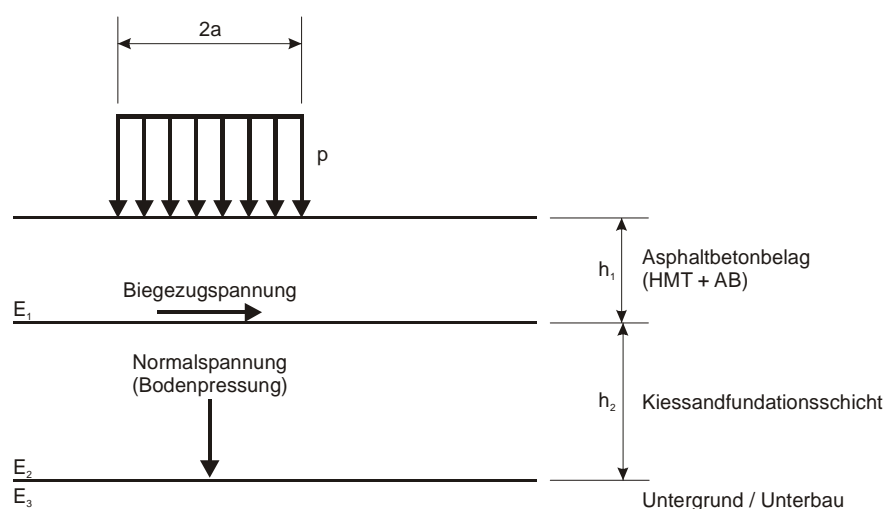


Abbildung 2: Spannungen im Zweischichtensystem [7]

Bei der Tragfähigkeitsdimensionierung sind die Dicken der Oberbauschichten so zu berechnen, dass der resultierende Strukturwert SN_{dim} mindestens den erforderlichen Strukturwert SN_{erf} erreicht. Die Anforderung an ausreichende Tragfähigkeit ist erfüllt, wenn

$$SN_{dim} \geq SN_{erf}$$

Um ein Überschreiten der zulässigen Biegezugspannung an der Unterseite des Asphaltbelages auszuschliessen und das Risiko der Bildung von Reflektionsrissen zu verringern (Oberbautypen 4/5) dürfen die in Tabelle 1 aufgeführten Verkehrslastklassen- und typenabhängigen Minstdicken nicht unterschritten werden.

Verkehrslastklasse T_i	T1	T2	T3	T4	T5	T6
auf Kiessand Oberbautypen 1 / 6 min. cm	7	10	13	17	22	27
auf bindemittelgebundener Schicht (HMF, bit. und hydraul. Stabilisierung) Oberbautypen 2 / 3 / 4 / 5 min. cm	4	4	10	12	15	18

Tabelle 1: Erforderliche Minstdicken Asphaltbelag (Werte gemäss SN 640 324)

2.3 Frostdimensionierung

Der Strassenoberbau ist so zu dimensionieren, dass er die Tragfähigkeitsverminderung während der Auftauperiode und Hebungen während der Frostperiode ohne Schäden zu überstehen vermag.

In der Regel genügt die Tragfähigkeitsdimensionierung, um Frost- und Auftauschäden auszuschliessen. Bei folgenden Voraussetzungen hingegen sind bauliche Massnahmen zur Verhütung von Frost- und Auftauschäden zu treffen, oder es ist eine Frostdimensionierung durchzuführen:

- frostempfindliche Böden der Frostempfindlichkeit G3 und G4 (SN 670 140) [8]
- mittlere Frosteindringtiefe X_{30} (SN 670 140) grösser als Oberbaudicke d_s
- die hydrogeologischen Bedingungen sind ungünstig (Strasse in Einschnitt, Grundwasserspiegel weniger als 1,4 m unter der Strassenoberfläche oder oberhalb der Frosttiefe X_{30} befindet sich Porenwasser)

Sofern bei frostempfindlichen Böden der Klassen G3 und G4 keine derartigen Massnahmen getroffen worden sind, ist durch eine Frostdimensionierung nachzuweisen, dass folgende Beziehung erfüllt ist:

$$d_s \geq f \cdot x_{30}$$

wobei: d_s Oberbaudicke (cm)

f Frostdimensionierungsfaktor (Proportionalitätsfaktor)

x_{30} mittlere Frosteindringtiefe der drei kältesten Winter der letzten 30 Jahre

Der Faktor f ist abhängig:

- vom Mass der Frostempfindlichkeit des Bodens (G3 oder G4)
- vom Oberbautyp
- von der Verkehrslastklasse (bei Strassen mit leichtem bis mittlerem Verkehr dürfen erhöhte Frostrisiken in Kauf genommen werden)
- vom Frostindex FI_s der Strasse.

Falls die Bedingung nicht erfüllt ist, müssen bauliche Massnahmen getroffen werden. Unter den am häufigsten verwendeten finden sich:

- Erhöhung der Dicke einer Schicht (normalerweise der Tragschicht)
- Stabilisierung des Bodens mit einem Bindemittel
- Ersatz des Bodens oder thermische Isolation der Drainage.

2.4 Aufwertung des Untergrunds

Im Falle einer mangelnden Tragfähigkeit des Untergrunds (S0, S1) oder bei ungünstigen hydrogeologischen Verhältnissen können folgende Aufwertungen vorgenommen werden:

2.4.1 Stabilisierung

Die Stabilisierung des Bodens ist eine der effizientesten Methoden, um das Schadensrisiko bei einer mangelhaften Tragfähigkeit (S0 und S1) zu reduzieren. Folgende Resultate werden mit dieser Massnahme erzielt:

- Dauerhafte Reduktion der Wasser- und Frostempfindlichkeit
- Erhöhung der Tragfähigkeit durch Konsolidierung des Bodens. Die Aufwertung kann bis zu zwei Klassen betragen, was eine Reduktion des Oberbaus bedeutet
- Verbesserung der Homogenität des Bodens. Ein stabilisierter Boden ist viel homogener als der natürliche Untergrund

- Trennungsfunktion zwischen dem natürlichen Untergrund und der Tragschicht

Diese Vorteile, gekoppelt mit der Möglichkeit von preisgünstigen Stabilisierungen dank moderner Baustoffe, haben die Einführung dieses Vorgangs für grossflächige Anwendungen vorangetrieben.

Die Norm SN 640 500 [9] zeigt die Korngrössenverteilung von stabilisierbaren Böden. Daraus ergibt sich, dass sehr siltige und tonige Böden mit Weisskalk, leicht siltige und tonige Böden (Plastizitätsindex bis 20 %) aber mit einem hydraulischen Bindemittel stabilisiert werden.

2.4.2 Geomembranen (Geotextilien und Geogitter)

Beim Einbauen und Verdichten einer Foundationsschicht auf wenig tragfähigen, feuchtigkeits- und frostempfindlichen Böden ergeben sich Probleme, die sich ungünstig auf das Gebrauchsverhalten auswirken können: Verformungen des Planums, Materialverluste und Verschmutzung der Foundationsschicht durch Hochpumpen von feinen Bodenbestandteilen erhöhen das Risiko von Tragfähigkeits- und Frostschäden [10]. Zweckmässige Problemlösung für Böden der Tragfähigkeitsklassen S1 und S2 ist die Verwendung eines Geotextils mit Trenn- und Filterfunktion zwischen Untergrund bzw. Unterbau und Foundationsschicht. Auf Böden der Tragfähigkeitsklassen S3 und S4 sind in der Regel keine Geotextilien erforderlich.

Die Norm SN 640 242 [11] enthält mechanische Mindestanforderungen (Zugfestigkeit, Dehnung unter Höchstzugkraft, Durchschlagswiderstand) und hydraulische Mindestanforderungen (charakteristische Öffnungsweite, Durchlässigkeit) für Geotextilien mit Trennfunktion. Ist neben der Trennfunktion die Funktion Filtern ebenso wichtig, müssen die strengeren hydraulischen Anforderungen an Geotextilien mit Filterfunktion berücksichtigt werden. Empfehlungen für die korrekte Auswahl und Anwendung von Geotextilien finden sich in [12].

2.4.3 Bewehrung mit Geogittern

Geogitter aus Polymeren (z.B. Polypropylen) mit einer Maschenweite von über 10 mm, deren Quer- und Längsrippen knotensteif verbunden sind, vermögen die Last verteilende Wirkung des Oberbaus zu verbessern und damit die Bodenpressung zu reduzieren. Die durch eine Geogitterbewehrung erzielte Verbesserung der Tragfähigkeit lässt sich beim Oberbau mit Asphaltbelag auf Kiessand durch Multiplikation des Tragfähigkeitswertes von Kiessand mit dem Faktor α ausdrücken:

$$SN = a_1 D_1 + \alpha \cdot a_2 D_2$$

Der Faktor α hängt vom Geogittertyp und der Bodentragfähigkeit ab. Beispielsweise hat man bei einem Aufbau mit einem Geovlies mit Trennfunktion kombiniert mit einem fünflagigen knotensteifen Geogitter auf Böden der Tragfähigkeitsklasse S1 und S2 einen Faktor $\alpha = 1.5$ ermittelt [13]. Das heisst, mit diesem System kann die Dicke der Kiessandfoundationsschicht um einen Drittel reduziert werden.

3 Verhaltensrelevante Charakteristiken der Oberbautypen gem. SN 640 324

3.1 Grundsätzliches

Die Norm SN 640 324 enthält einen Typenkatalog. Diese Darstellung gestattet, bei gegebener Tragfähigkeit auf dem Planum und gegebener Verkehrslast unter gleichwertigen Oberbautypen zu wählen. Die gewählten Oberbauvarianten sind gleichwertig hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit (Strukturwert SN), unterscheiden sich aber, wie die Untersuchungen über das Langzeitverhalten [14] [15] zeigen, hinsichtlich Schadenanfälligkeit und Erneuerungszyklen.

Die Abbildung 3 zeigt die Oberbauvarianten für sehr schweren Verkehr (Verkehrslastklasse T5) auf einem Untergrund mittlerer Tragfähigkeit (Tragfähigkeitsklasse S2).

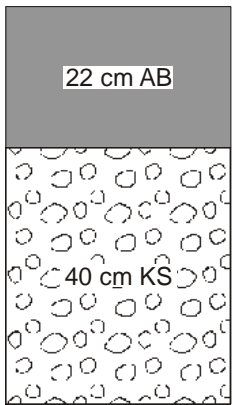
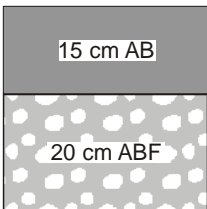
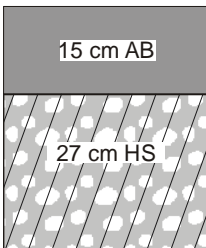
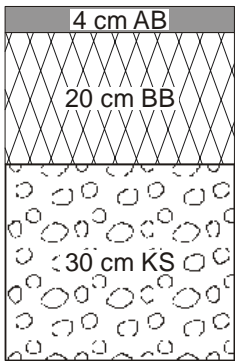
Oberbautypen gemäss SN 640 324			Kombinierter Oberbautyp
Oberbautyp 1	Oberbautyp 3	Oberbautyp 5	
 <p>Total : 62 cm</p>	 <p>Total : 35 cm</p>	 <p>Total : 42 cm</p>	 <p>Total : 54 cm</p>
AB Asphaltbelag BB Betonbelag KS Kiessand rund		HMF Asphaltfundationsschicht HS Hydraulische Stabilisierung	

Abbildung 3: Beispiel Strassenoberbau: Verkehrslastklasse T5 / Tragfähigkeitsklasse S2

3.2 Asphaltbelag auf Kiessand (Oberbautyp 1)

Es handelt sich um den Standardoberbau. Da keine stabilisierten Baustoffe verwendet werden, vergrössert sich die Dicke der Tragschicht erheblich. Die anderen Oberbautypen sind Alternativen, welche die Dicke der Tragschicht oder das Frostschadenrisiko vermindern.

3.3 Asphaltbelag auf Asphaltfundationsschicht (Oberbautypen 2/3)

Um den einwandfreien Verbund zwischen Asphaltfundationsschicht und –tragschicht zu gewährleisten, wird die Fundationsschicht mit einem bituminösen Bindemittel angesprüht. Es entsteht ein homogenes Paket bituminöser Schichten, die schubfest miteinander verbunden sind. Wegen der Plattenwirkung der bituminös gebundenen Schichten von grosser Gesamtdicke und wegen ihres grösseren Wärmedurchgang-Widerstandes sind die Risiken von Ermüdungsrissen und von differenziellen Frosthebungen kleiner als beim vergleichbaren Oberbautyp 1.

3.4 Asphaltbelag auf hydraulisch stabilisierten Schichten (Oberbautypen 4/5)

Beim Oberbautyp 4 besteht die Tragschicht aus einer hydraulischen Stabilisierung, normalerweise mit Hilfe von Portland-Zement.

Beim Oberbautyp 5 wird die Tragfähigkeit des Bodens mit einer hydraulischen Stabilisierung verbessert. Für feine Böden wird Kalk verwendet (Kalkhydrat oder Branntkalk, oder aber hydraulischen Kalk bei Böden mit kleinem Tonanteil). Eine Zementstabilisierung wird bei silt- und tonhaltigen Böden mit sehr kleinem Feinkornanteil verwendet.

Zur Verbesserung des Verbundes zwischen Stabilisierung und Asphaltbelag und um das Entstehen von Reflektionsrissen zu verhindern oder mindestens zu verzögern, ist eine SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) vorzusehen. (s. Modul E).

4 Kombinierte Oberbautypen, Kompositbelag

4.1 Grundprinzip

Ein kombinierter Oberbautyp ist ein Belagsaufbau aus zwei grundsätzlich verschiedenen Belagsarten, einem Asphalt- und einem Betonbelag, wobei der Asphaltbelag über dem Betonbelag eingebaut wird.

Unter einem Kompositbelag versteht man ebenfalls einen Belagsaufbau Asphalt auf Beton, wobei allerdings der Betonbelag als ein durchlaufend bewehrtes Betonband konzipiert wird [16]. Bei diesem Betonband ist der Bewehrungsgehalt so gerechnet, dass in Abständen von ein bis drei Metern gezielt feine Querrisse entstehen. Damit wird der Problematik der negativen Auswirkungen der Querrugfugenbewegungen auf den Asphaltbelag wirksam begegnet. Der Asphaltdeckbelag wird wegen des guten Fahrkomforts verwendet und er vereinfacht zudem die Instandhaltung der Strassenoberfläche.

4.2 Dimensionierung

Die Berechnungen der Dicke des Betonbelages und des Gehalts der durchlaufenden Bewehrung werden zur Zeit vorgenommen [17]. Die Resultate werden in die Dimensionierungsnorm SN 640 324 einfließen.

Vorläufig wird als Grundlage der Oberbautyp 12, Betonbelag auf Heissmischtragschicht HMT und Kiessand, gewählt, und die Dicke des Asphaltbelages mit 4 cm festgelegt. Dabei kann die Dicke des Betonbelages um die Hälfte der Asphaltbelagsdicke reduziert werden.

Nach bisherigen Erfahrungen beträgt die Gebrauchsdauer einer gem. SN 640 324 dimensionierten Strasse mindestens 30 Jahre

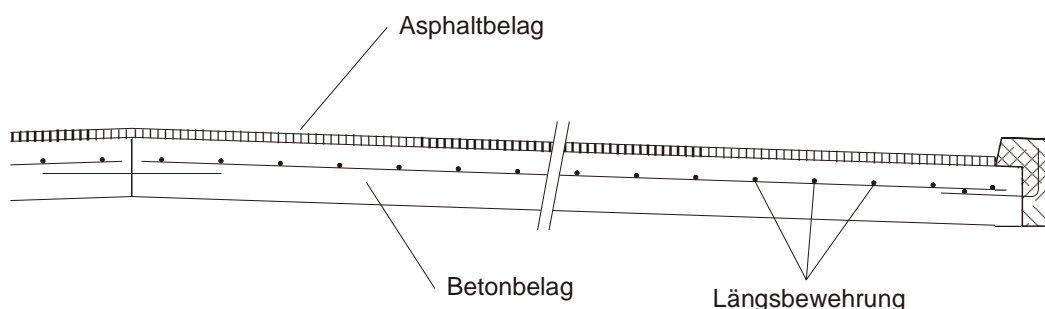


Abbildung 4: Prinzipskizze kombinierter Oberbau

5 Wahl der optimalen Oberbauvariante

5.1 Ansatz

Grundsätzlich bieten alle Oberbautypen, berechnet für eine gegebene Tragfähigkeit des Bodens und eine gegebene Verkehrsbelastung, die gleiche Lebensdauer von 20 Jahren. Unter Lebens- oder Gebrauchsdauer einer Strasse versteht man den Zeitraum, der zwischen dem Bau und dem Moment verstreicht, an welchem die Verkehrsbedingungen eine Verstärkung oder eine Erneuerung erfordern. Die langfristige Beobachtung einzelner Strassenabschnitte hat aber gezeigt, dass sich die Schadensentwicklung und die am Kapitalverlust gemessene Lebensdauer bei den verschiedenen Oberbautypen unterscheiden.

Die Wahl eines Oberbautyps hängt also von den für die Instandhaltung gesteckten Zielen (oft, minimal, etc.) und den über die gesamte Lebensdauer gewünschten Strasseneigenschaften ab.

Um die Kosten einzelner Oberbauvarianten vergleichen zu können, müssen neben den Baukosten auch die Instandhaltungs- und die Instandstellungskosten einbezogen werden, die während der gewählten Beobachtungsdauer anfallen können. Um die Erneuerungskosten berechnen zu können, muss man abschätzen können, zu welchem Zeitpunkt welche Unterhalts- und Instandsetzungsmassnahmen nötig sein werden.

5.2 Erneuerungszyklen

Die in Tabelle 2 aufgeführten, vom Oberbautyp abhängigen Erneuerungszyklen basieren auf den Ergebnissen der Untersuchungen über das Langzeitverhalten von erneuerten Fahrbahnbelägen [15]. Je nach Beanspruchung ergeben sich andere Erneuerungszyklen: bei schwerem bis extrem schwerem Verkehr und bei besonderer Beanspruchung sind Spurrinnenbildungen infolge permanenter Verformungen primäre Schadenerscheinung und die Instandsetzungsintervalle betragen im ungünstigsten Fall nur 15 bis 18 Jahre. Treten vorwiegend Oberflächenrisse und Materialverluste auf, kann das Instandsetzungsintervall bei normaler Beanspruchung bis auf 30 Jahre ansteigen.

		Oberbautypen gem. SN 640 324						Kombinierter Oberbautyp	
		Oberbautyp 1		Oberbautyp 3		Oberbautyp 5			
Beanspruchung		Normale	Besondere	Normale	Besondere	Normale	Besondere	Normale	Besondere
Verkehrslast		Verkehrslastklassen T 4 ... T 6 (schwerer bis extrem schwerer Verkehr)							
Geschätztes Instandsetzungsintervall	Jahre	20 ... 23	15 ... 18	22 ... 25	18 ... 20	15 ... 18	15 ... 18	22 ... 25	22 ... 25
Erneuerungsmassnahmen		Belagserneuerung		Belagserneuerung		Belagserneuerung		Erneuerung Deckschicht	
Erneuerungsdicke	cm	8 ... 10	10 ... 12	6 ... 8	8 ... 10	min. 15		4	

Verkehrslast		Verkehrslastklassen T 1 ... T 3 (sehr leichter bis mittlerer Verkehr)							
Geschätztes Instandsetzungsintervall	Jahre	25 ... 28	18 ... 20	28 ... 30	20 ... 23	20 ... 23	20 ... 23	28 ... 30	28 ... 30
Erneuerungsmassnahmen		Belagserneuerung		Belagserneuerung		Belagserneuerung		Erneuerung Deckschicht	
Erneuerungsdicke	cm	3 ... 4	8 ... 10	3 ... 4	6 ... 8	min. 10		3 ... 4	

Tabelle 2: Erneuerungszyklen in Abhängigkeit der Oberbauvarianten

5.3 Kriterien für den Variantenvergleich

Wenn für den Vergleich der Oberbauvarianten ausser den Bau- und Erneuerungskosten auch projektbezogene ausführungs- und umweltrelevante Kriterien (z.B. Verfügbarkeit von Materialien) einbezogen werden, können die Besonderheiten des Projektes optimal berücksichtigt werden.

Mögliche Kriterien sind:

- Ökonomische Kriterien
 - ↗ Initiale Baukosten
 - ↗ Aktualisierte Erneuerungskosten Für die Vergleichsuntersuchungen alternativer Oberbautypen sind die Erneuerungskosten zu aktualisieren, d.h. auf den Anfangszeitpunkt abzuzinsen. Bei Annahme einer Diskontrate $p = 3\%$ resultieren für die Kosten der Erneuerungsmassnahmen im Jahr t [18]:

$$\text{Aktualisierte Erneuerungskosten} = I_t \cdot \left(\frac{3}{100} \right)^{-(t-1)}$$

- ↗ Kapitalverlust
- ↗ Externe Kosten
 - Benutzerkosten
 - Sicherheit
 - Umweltverschmutzung (Lärm, Luftverschmutzung)
- Ausführungsrelevante Kriterien
 - ↗ Bauzeit
 - ↗ Bauablauf
 - ↗ Know how der Unternehmungen
 - ↗ Installations- und Gerätebedarf
 - ↗ Verfügbarkeit der Baustoffe (z.B. Mineralstoffe)
 - ↗ Auswirkungen auf den Verkehr (Behinderung der Verkehrsteilnehmer)
- Ökologische Nachhaltigkeitskriterien
 - ↗ Umweltbelastung während Baubetrieb
 - ↗ Transportmengen und Distanzen
 - ↗ Möglichkeit der Verwendung von Sekundärbaustoffen
 - ↗ Energiebedarf
 - ↗ Ressourcenverbrauch (z.B. Mineralstoffe)

5.4 Bewertung und Gewichtung der einzelnen Kriterien

Tabelle 3 zeigt eine Matrix für die Bewertung und Gewichtung der gewählten Kriterien. Ihrer Bedeutung entsprechend wird den ökonomischen Kriterien in der Regel ein Gewicht von 50 – 60 % (0.5 – 0.6) zugeordnet, und die nicht direkt quantifizierbaren, ausführungsrelevanten und ökologischen Kriterien werden entsprechend gesamthaft mit 40 – 50 % (0.4 – 0.5) gewichtet.

Bei den Baukosten und den aktualisierten Erneuerungskosten wird die jeweils preisgünstigste Variante mit 10 Punkten bewertet; auf die übrigen Varianten werden die Punkte umgekehrt proportional zu den Kosten der Billigstvariante verteilt. Dies gilt auch für weitere Kriterien, die numerisch erfasst werden können (z.B. Bauzeit, Transportmengen).

Bei den nicht direkt quantifizierbaren, ausführungsrelevanten und ökologischen Kriterien erfolgt die Bewertung empirisch zwischen 10 (sehr gut) und 1 (sehr schlecht).

Kriterien	Gewicht G	Variante 1 Oberbau:		Variante 2 Oberbau:		Variante 3 Oberbau:		Variante 4 Oberbau:	
		Bewertung P	G·P	Bewertung P	G·P	Bewertung P	G·P	Bewertung P	G·P
Total	1.00								

Gewichtung: G total = 1.00

Bewertung : Punkte zwischen 1 (schlecht, negativ, nachteilig) bis 10 (gut, positiv, vorteilhaft)

Tabelle 3: Formular für Bewertung der Oberbauvarianten

5.5 Beispiel: Variantenvergleich HLS mit sehr schwerem Verkehr

In Tabelle 4 ist der Variantenvergleich für eine Hochleistungsstrasse mit sehr schwerem Verkehr (Verkehrslastklasse T5) auf einem Boden mittlerer Tragfähigkeit (Tragfähigkeitsklasse S2) angestellt worden. Die für die Berechnung der aktualisierten Erneuerungskosten massgebenden Daten (geschätztes Instandsetzungsintervall, erforderliche Erneuerungsmassnahmen) sind der Tabelle 2 entnommen worden.

5.5.1 Interpretation der Ergebnisse:

Oberbautyp 3 (Asphaltbelag auf Asphaltfundationsschicht) schneidet sowohl bei normaler als auch bei besonderer Beanspruchung am besten ab, obwohl die Baukosten höher sind als bei den Typen 1 und 5. Zum guten Resultat beigetragen haben das grosse Instandsetzungsintervall, die niedrigen Erneuerungskosten sowie die einfache Ausführung mit kurzer Bauzeit und die geringe Umweltbelastung.

Oberbautyp 1 (Standardoberbau mit Asphaltbelag auf Kiessand) rangiert an zweiter Stelle. Im Vergleich zum Typ 3 hat man die Schadenrisiken höher eingeschätzt und die Kiessand-Fundationsschicht ergibt eine längere Bauzeit und ein grösseres Transportvolumen.

Oberbautyp 5 (Asphaltbelag auf hydraulisch stabilisierter Schicht) wird bei normaler Beanspruchung leicht höher und bei besonderer Beanspruchung etwa gleich bewertet wie der Standardoberbau mit Kiessand. Die Baukosten sind zwar niedriger als die der anderen Varianten, aber da Reflektionsrisse nicht ausgeschlossen werden können, muss mit einem kurzen Instandsetzungsintervall und hohen Erneuerungskosten gerechnet werden.

Vom kombinierten Oberbautyp (Asphaltbelag auf Betonbelag) darf ein sehr gutes Langzeitverhalten erwartet werden, da sowohl das Schadenrisiko einer Spurrinnenbildung wie das Risiko von Rissbildungen klein ist. Dementsprechend resultieren kleine Erneuerungskosten – die Instandsetzung beschränkt sich auf die Erneuerung der Deckschicht von 3 – 4 cm Dicke bei verlängertem Instandsetzungsintervall. Andererseits sind die initialen Baukosten sehr hoch und die Ausführung komplex. Bei der Gesamtbewertung schneidet der kombinierte Oberbau am ungünstigsten ab. Für extrem stark beanspruchte Verkehrsflächen (z.B. Kriechstreifen, Lastwagen- und Busterminals) kann er aber gleichwohl die optimale Lösung darstellen.

Kriterien		Oberbautyp gem. SN 640 324												Kombinierter Oberbautyp			
		Oberbautyp 1				Oberbautyp 3				Oberbautyp 5							
Beanspruchung		Normale		Besondere		Normale		Besondere		Normale		Besondere		Normale		Besondere	
	Gewicht	Punkte		Punkte		Punkte		Punkte		Punkte		Punkte		Punkte		Punkte	
	G	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P
Baukosten	0.4	9	3,6	9	3.6	8	3.2	8	3.2	10	4.0	10	4.0	6	2.4	6	2.4
Aktualisierte Erneuerungskosten	0.2	5	.0	4	0.8	6	1.2	5	1.0	3	0.6	3	0.6	10	2.0	10	2.0
Instandsetzungsintervall	0.1	9	0.9	7	0.7	10	1.0	8	0.8	7	0.7	7	0.7	10	1.0	10	1.0
Bauzeit	0.1	8	0.8	8	0.8	10	1.0	10	1.0	8	0.8	8	0.8	6	0.6	6	0.6
Ausführung : Bauablauf	0.1	10	1.0	10	1.0	10	1.0	10	1.0	6	0.6	6	0.6	4	0.4	4	0.4
Installationen / Geräte, Know-How der Unternehmung																	
Umweltbelastung / Transportvolumen	0.1	5	0.5	5	0.5	10	1.0	10	1.0	8	0.8	8	0.8	6	0.6	6	0.6
Total	1.0	7.8		7.4		8.4		8.0		7.5		7.5		7.0		7.0	

Gewichtung : G total = 1.0

Bewertung : Punkte zwischen 1 (sehr schlecht) bis 10 (sehr gut)

Tabelle 4: Beispiel Variantenvergleich: HLS mit schwerem Verkehr (vgl. auch Abbildung 3)

6 Analytische Dimensionierungsmethoden

Die Dimensionierung der Transportinfrastruktur in der Schweiz basiert zur Hauptsache noch immer auf empirischen Methoden, welche auf Schadensbeobachtungen an konkreten Strassenabschnitten beruhen. Neue Erkenntnisse in den Bereichen der Baustoffe und der numerischen Modellierung ermöglichen jedoch heutzutage eine andere Betrachtungsweise der Strassenzustandsentwicklung, basierend auf einem Modell, welches das mechanische Verhalten des Strassenkörpers berücksichtigt. Die Menge an verschiedenen Parametern für die Materialbelastung (Last) und das Materialverhalten (Einfluss von Klima und Alterung auf die Materialeigenschaften) machen die Modellierung allerdings zu einer heiklen Aufgabe. Hingegen erlauben es diese mechanischen Untersuchungen nicht direkt, das Verhalten der Strasse vor Ort einzuschätzen. Dazu werden jeweils experimentelle Erfahrungen zu Hilfe gezogen. Das Dimensionieren einer Strasse besteht also hauptsächlich aus der Interpretation und dem Verbinden von Daten aus numerischen Materialverhaltens-Modellen mit empirischen Angaben aus Beobachtungen vor Ort, Grossversuchen, oder Laborexperimenten. Dimensionierungsmethoden, welche diese Vorgehensweise benutzen, werden als mechanistisch empirische, manchmal auch semi-analytische, bezeichnet.

Diese Methoden werden in zwei Arbeitsschritten durchgeführt. Im ersten wird die Belastungsverteilung (Spannung und Verformung) im Innern des Oberbaus unter der Verkehrsbelastung berechnet. Im zweiten Schritt wird anschliessend eine Verbindung zwischen dieser Beanspruchung und der Schadensentwicklung des Schichtaufbaus gesucht. Die Ergebnisse des ersten Arbeitsschritts werden häufig als „Rückwirkung“ (englisch: response), diejenigen des zweiten Schritts als „Schaden“ (englisch: distress) bezeichnet.

Die Teilung in zwei Etappen erlaubt es, die beiden angewendeten Modelltypen zu unterscheiden, welche benutzt werden, wie in Abbildung 5 gezeigt:

- Modell zur Beschreibung der Primärwirkungen (resultierende Spannungen und Dehnungen)
- Verhaltensmodell

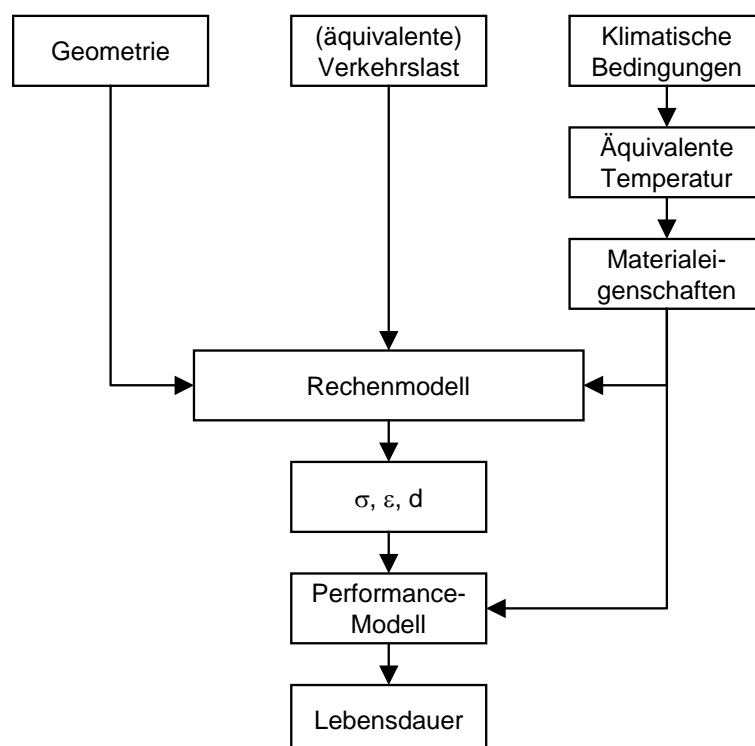


Abbildung 5: Berechnungsverfahren der meisten heute verwendeten mechanistisch empirischen Dimensionierungsmethoden gemäss COST 333

Die Modelle zur Beschreibung der Primärwirkung werden verwendet, um rasch eine Auskunft über Spannungen und Dehnungen unter Belastung und genau definierten Bedingungen zu erhalten. Diese rein analytischen Modelle benötigen die Festlegung mehrerer Parameter, welche den Strukturaufbau und die Belastungsbedingungen beschreiben. Sie liefern ein theoretisches Ergebnis, das den getroffenen Annahmen bei der Modellierung entspricht. In den meisten Fällen wird auf das Schichtmodell von Burmister zurückgegriffen, welches folgende Grundannahmen voraussetzt:

- Die Belastung wirkt gleichmässig auf einer runden Fläche
- Die homogenen, isotropen Schichten werden als linear elastisch betrachtet, definiert durch die Dicke (die unterste Schicht hat eine unendliche Dicke), das E-Modul und den Poissonkoeffizienten
- Die Schichten sind horizontal nicht begrenzt (unendlich)
- Der Schichten können untereinander vollständig verbunden, teilweise verbunden, oder verbindungslos sein

Die Performance-Modelle basieren meistens aus einer Kombination aus Laborversuchen an Baustoffen und vor Ort beobachteten Materialverhalten bestehender Strassen. Sie erlauben eine Einschätzung der voraussichtlichen Lebensdauer der Strasse.

Die Verkehrslast wird bei diesen Methoden üblicherweise anhand einer Standardachse ausgedrückt, welche zur Berechnung der Spannungen und Dehnungen im Schichtaufbau dient. Der Gesamtverkehr wird dann mit Hilfe von Äquivalenzfaktoren als Anzahl verkehrender Standardachsen ausgedrückt. Die Verhaltensmodelle berechnen anschliessend die maximale Anzahl Standardachsen, welche der gewählte Strukturaufbau zu tragen vermag. Diese Vorgehensweise soll die für die Strassendimensionierung notwendigen Berechnungen möglichst minimieren. Die Tendenz geht allerdings in Richtung Untersuchung verschiedener Lastbedingungen (vor allem Lastintensität und Pneutypen), um deren Auswirkungen anschliessend unter Einhaltung der Miner'schen Hypothese zu verbinden.

Grundsätzlich werden zwei Schadensmechanismen von den mechanistisch empirischen Dimensionierungsmethoden berücksichtigt:

- Alterungsbedingte Rissbildung des Schichtverbunds (ob bituminös oder hydraulisch verbunden) unter den von der Verkehrslast hervorgerufenen Zugkräften. Diese Rissbildung beginnt üblicherweise am unteren Rand einer Schicht und setzt sich dann nach oben fort
- Eine zu starke dauerhafte Verformung der Fundationsschichten (strukturelle Spurrinnenbildung)

Um sich gegen diese Schäden zu wappnen, werden für die Verformungen und die lastabhängigen Spannungen minimale Schwellenwerte definiert.

Gegenüber der für die Schweiz übernommenen empirischen Dimensionierungsmethode der AASHTO bieten die analytischen Methoden den Vorteil, die einzelnen Eigenschaften der Baustoffe zu nutzen. Damit können auch neuartige, noch nicht normierte Baustoffe in die Berechnung einbezogen werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] SN 640 324 Dimensionierung; Strassenoberbau
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington D.C. 1986
- [3] M. Blumer, L. B. Fetz: Dimensionierung, Ausarbeiten des Katalogs der Oberbautypen, Forschungsarbeit 3/84 auf Antrag der VSS, Januar 1988, Bericht 147
- [4] SN 640 736 Erhaltung von Betonbelägen; Instandsetzung und Verstärkung
- [5] SN 640 320 Dimensionierung; Äquivalente Verkehrslast
- [6] SN 640 317 Dimensionierung; Untergrund und Unterbau
- [7] M. Blumer: SMI Schweizerische Mischgut Industrie, Heft Strassenbau und Strassenbauhaltung mit Asphaltmischgut, 1989
- [8] SN 670 140 Frost
- [9] SN 640 500 Stabilisierung; Allgemeines
- [10] M. Blumer: La construction routière, Baufachverlag SA Zurich, 1985
- [11] SN 670 242 Geokunststoffe – Anforderungen für die Funktion Bewehren
- [12] Schweizerischer Verband für Geokunststoffe: Bauen mit Geokunststoffen – Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender, St. Gallen (2003)
- [13] B. Funyo, H. R. von Känel: Unter- und Oberbaubewehrung mit Geogittern, Schweizer Ingenieur und Architekt, SI+A, Mai 1999
- [14] Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT, ETHZ, I. Scazziga: Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte, Forschungsarbeit 29/81 auf Antrag der VSS, Januar 1996, Bericht 365
- [15] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, E. Stahel und M. Blumer: Langzeitverhalten von erneuerten Strassenbelägen, Forschungsarbeit 10/97 auf Antrag der VSS; Juli 1999, Bericht 435
- [16] R. Werner: Kombinierte Beläge, Strasse und Verkehr, Nr. 5/2001
- [17] Forschungsauftrag VSS 2001/501 Kombinierte Beläge, in Bearbeitung
- [18] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, M. Blumer und E. Stahel: Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell Asphaltstrassen, Forschungsarbeit 15/93 im Auftrag des EVED; Februar 1996, Bericht 357

MODUL D: Erhaltung bestehender Strassen

Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG.....	48
2	VERHALTENSBEZOGENE KONZEPTION DES STRASSEN OberBAUS	48
2.1	<i>Verhaltenskenngrössen (Schadenbild).....</i>	48
2.2	<i>Schädigungsmechanismen und verhaltensrelevante Anforderungen an die Oberbauschichten</i>	48
3	ZUSTANDSERFASSUNG UND SCHADENANALYSE	49
3.1	<i>Asphaltbeläge</i>	49
3.1.1	Vorgehen.....	49
3.1.2	Visuelle Zustandserfassung.....	49
3.1.3	Messung der Längsebenheit.....	52
3.1.4	Messung der Querebenheit.....	52
3.1.5	Tragfähigkeit.....	52
3.1.6	Weitere Untersuchungsmethoden auf Netzebene.....	52
3.1.7	Zusätzliche Untersuchungen auf Projektebene.....	52
3.2	<i>Betonbeläge.....</i>	53
3.2.1	Vorgehen.....	53
3.2.2	Visuelle Zustandserfassung der Strassenoberfläche.....	53
3.2.3	Einschätzung der Betonqualität.....	53
4	MASSNAHMEN ZUR ERHALTUNG BESTEHENDER FAHRBAHNEN	53
4.1	<i>Einführung.....</i>	53
4.2	<i>Massnahmen zur Erhaltung von Asphaltstrassen.....</i>	58
4.2.1	Grundsätzliche Kriterien für die Wahl der Massnahmen	58
4.2.2	Sofortmassnahmen.....	59
4.2.3	Örtliche Reparaturen	59
4.2.4	Kurz- und mittelfristige Instandsetzungsmassnahmen	60
4.2.5	Langfristige Instandsetzungsmassnahmen	60
4.2.6	Verstärkungsmassnahmen.....	63
4.2.7	Belagswahl.....	65
4.3	<i>Massnahmen zur Erhaltung von Betonstrassen.....</i>	65
4.3.1	Grundsätzliche Kriterien für die Wahl der Massnahmen	65
4.3.2	Sofortmassnahmen.....	66
4.3.3	Örtliche Reperaturen	67
4.3.4	Kurz- und mittelfristige Instandsetzungsmassnahmen	68
4.3.5	Langfristige Instandsetzungsmassnahmen	68
4.3.6	Teilweise Belagserneuerung	69
4.3.7	Verstärkungsmassnahmen.....	69
4.3.8	Oberbauerneuerung.....	70
4.3.9	Beispiel Belagserneuerung A2 Uri [15]	71
4.4	<i>Massnahmen- und Strategieplanung</i>	74
4.4.1	Kriterien für den Vergleich alternativer Massnahmen und Strategien.....	74
4.4.2	Strategiemodelle.....	75

MODUL D – Erhaltung bestehender Strassen

4.4.3	Kostenvergleich	75
4.4.4	Bewertung von Erneuerungsverfahren	83
5	LITERATURVERZEICHNIS	85

1 Einführung

Unter dem umfassenden Begriff «Strassenerhaltung» versteht man alle baulichen Massnahmen, die der Substanzerhaltung und/oder der Aufrechterhaltung oder Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Gebrauchswertes dienen. In den einschlägigen Schweizer Normen wird unterschieden zwischen:

- Reparaturen (örtlich)
- Instandsetzungsmassnahmen (z.B. Belagserneuerung),
- Oberbauverstärkung im Hocheinbau oder durch teilweise Oberbauerneuerung

Es ist von entscheidender Bedeutung, für Sanierungen und Fahrbanerneuerungen den richtigen Zeitpunkt und das geeignete Verfahren zu wählen. Optimale Lösungen sind aber nicht in jedem Fall möglich: Kantone und Gemeinden mit ausgedehntem Strassennetz, denen für die Erneuerung der Strassen ein bestimmter (in der Regel zu kleiner) Budgetbetrag zur Verfügung steht, sehen sich gezwungen, Prioritäten für die Programmierung der Massnahmen und die Zuteilung der Kredite fest zu legen. In diesem Fall wird man sich bei einzelnen Objekten vorläufig auf kurz- und mittelfristige Instandsetzungsmassnahmen (z.B. Oberflächenbehandlung, Kaltmikrobelag) beschränken müssen, um den uneingeschränkten und sicheren Gebrauch der Strasse bis zum Zeitpunkt der langfristigen Erneuerung sicher zu stellen. Die objektbezogene Massnahmen- und Strategieplanung (Kapitel 4) dient dazu, mögliche Varianten zu vergleichen und die verfügbaren Mittel optimal einzusetzen.

2 Verhaltensbezogene Konzeption des Strassenoberbaus

2.1 Verhaltenskenngrossen (Schadenbild)

Verhaltenskenngrossen (performance factors) gestatten, den Gebrauchszustand zu beschreiben und Verhaltensmodelle zu entwickeln. Folgende Verhaltenskenngrossen werden als geeignet zur Beschreibung des Gebrauchsverhaltens von Fahrbahnen betrachtet:

- Längsebenheit
- Querebenheit (Spurrinnenbildung)
- Oberflächenrisse
- Strukturelle Risse (Ermüdungsrisse)
- Tragfähigkeit (Deflektion)
- Oberflächenschäden (Materialverluste)
- Griffigkeit

2.2 Schädigungsmechanismen und verhaltensrelevante Anforderungen an die Oberbauschichten

Die Kenntnis der Schädigungsmechanismen gestattet, quantitative und qualitative Anforderungen an die Oberbauschichten festzulegen, die eine unzulässige Schadensbildung verhindern sollen. Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, wie die einzelnen Schädigungsmechanismen in den Schweizer Normen durch verhaltensrelevante Anforderungen berücksichtigt werden [1] [2] [3]:

Schädigungsmechanismen	Verhaltensrelevante Anforderungen
Strukturelle Schäden	Strukturelle Dimensionierung
Übermässige Verformungen in den Radspuren (Strukturelle Spurrinnenbildung). Sie gehen von Verformungen im Untergrund / Unterbau aus und sind durch Überschreiten der zulässigen Normalspannung oder –dehnung auf dem Planum verursacht.	Begrenzung der Normalspannung oder –dehnung auf dem Planum durch ausreichende, auf Verkehrslast und Bodentragfähigkeit abgestimmte Tragfähigkeit des Oberbaus (Strukturwert $SN_{dim} \geq SN_{erf}$).
Belagsschäden	Konzeption Asphaltbeläge
Spurrinnenbildung infolge permanenter Verformung der Asphaltdeck- und –binderschichten bzw. der oberen Asphalttragschichten auf Fahrbahnen und Plätzen mit starker bis sehr starker Beanspruchung durch den Verkehr sowie durch die klimatischen und örtlichen Bedingungen.	Wahl eines Mischgutes mit grossem Widerstand gegen bleibende Verformungen und hoher Standfestigkeit (Mischguttypen S oder H) für stark bis sehr stark beanspruchte Asphaltdeck-, -binder und –tragschichten.

Tabelle 1: Beispiele von Schädigungsmechanismen und Anforderungen an Oberbauschichten zur Gewährleistung eines guten Gebrauchsverhaltens

3 Zustandserfassung und Schadenanalyse

3.1 Asphaltbeläge

3.1.1 Vorgehen

Generelles Ziel der Zustandserfassung muss sein, auf rasche und wirtschaftliche Weise die Schwachstellen im Strassennetz zu ermitteln, wo Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen notwendig sind oder werden. Gleichzeitig bildet sie die Grundlage für eine erste, zuverlässige Abschätzung des Finanzbedarfs.

Es ist auf der Ebene des Strassennetzes wie auch auf der Projektebene notwendig, die einzelnen Schadenmerkmale zu Schadenbildern zusammenzufassen. Aus diesen Schadenbildern resultieren erste Hinweise auf die Schadenursachen und es können auf dieser Grundlage Entscheide für weitergehende messtechnische Aufnahmen oder Schadenanalysen getroffen werden.

Das Vorgehen ist in der Schweizer Norm SN 640 925 [4] beschrieben und im Forschungsbericht „Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell Asphaltstrassen“ [5] im Rahmen des MSE umgesetzt.

3.1.2 Visuelle Zustandserfassung

Bei der visuellen Zustandserfassung wird der Strassenzustand von blossen Auge oder messtechnisch unterstützt, vom langsam fahrenden Fahrzeug aus beobachtet und festgehalten.

Die Schäden werden üblicherweise durch die beiden Indikatoren Schadensschwere S und Schadenausmass A beschrieben, zu deren Bestimmung der Schadenkatalog zur Norm SN 640 925, zur Zeit in Revision, benützt werden kann. Abbildung 1 zeigt einen Auszug aus der besagten Norm. Ein Musterformular für die visuelle Zustandserfassung wird im Anhang gezeigt.

Tabelle 2 zeigt anschliessend ein Beispiel einer detaillierten Zustandserfassung.



Spurrinnenbildung und Aufwölbungen infolge permanenter Verformungen des Asphaltbelages



Materialverluste (Ausmagerung, Kornausbrüche, Ablösungen) und wilde Risse zurückzuführen auf fortgeschrittene Bindemittelalterung

Abbildung 1: Beispiele von charakteristischen Schadenbildern (aus dem Schadenkatalog der Norm SN 640 925)

Strasse : K112		Strasstyp : Kantonsstr.		Bezug			
Abschnitt von: km 4.200		bis: km 6.050		Länge:		1'850 m	
Teilabschnitt von: km 4.560		bis: km 4.720		Länge:		160 m	
Fahrbahn:		Fahrstreifen:					
Datum Erfassung: 23.10.01				Inspektor: A. Peyer			
Fahrbahnschäden	Schadenschwere			Schadenausmass			Bemerkungen
	Leicht	Mittel	schwer	<10%	10..50%	>50%	
	S1	S2	S3	A1	A2	A3	
Belagsschäden							
Polieren							
Schwitzen							
Abrieb							
Ausmagerung, Absanden		X				X	
Kornausbrüche	X					X	
Ablösungen							
Schlaglöcher							
Offene Nähte							
Wilde Risse							
Reflektionsrisse							
Belagsverformungen							
Spurrinnen							
Aufwölbungen							
Wellblechverformung							
Schubverformung							
Strukturelle Schäden							
Setzungen, Einsenkungen		X			X		
Abgedrückte Ränder							
Netzrisse		X		X			talseits
Frosthebungen		X		X			bergseits
Frostrisse	X			X			
Entwässerungsschäden							
Fahrbahnentwässerung			X	X			im Kurvenbereich
Seitliche Drainage							
Schadenbeschreibung:							
Leichte bis mittlere strukturelle Schäden: Unebenheiten infolge Setzungen und Verdrückungen, Netzrisse, Frosthebungen, vereinzelt Frostrisse, mangelhafte Entwässerung auf Kurveninnenseite							
Erforderliche messtechnische Zustandserfassung:							
Deflektionsmessungen							

Tabelle 2: Detaillierte Zustandserfassung auf Formular (Beispiel)

3.1.3 Messung der Längsebenheit

Die Messung der Längsebenheit wird auf Netzebene mit effizient arbeitenden Geräten durchgeführt. Diese erlauben häufig zugleich die Erfassung anderer Parameter, wie der Querebenheit. Für örtliche Messungen schreibt die Norm SN 640 520 [6] die Anwendung eines Goniographen für die Bestimmung des Längsprofils der Strasse vor. Bei Grossbaustellen von mehreren Kilometern ist allerdings die maschinelle Messung vorzuziehen.

3.1.4 Messung der Querebenheit

Auch die Querebenheit wird auf Netzebene mit Vorteil mit modernen Geräten gemessen. Lokal werden Spurrinnen, wie in der Norm SN 640 520 empfohlen, mit einem Massstab oder mit einem Transverso-Profilographen ausgemessen. Wie für die Messung der Längsebenheit ist bei Grossbaustellen die Anwendung eines effizienten Messgeräts sinnvoller.

3.1.5 Tragfähigkeit

Die Messung der Tragfähigkeit auf Netzebene wird mit effizienten Messgeräten durchgeführt (Lacroix-Deflektograph, FWD, etc.). Dazu muss allerdings gesagt werden, dass die Messungen bei langsamer Geschwindigkeit oder gar bei Stillstand durchgeführt werden, was eine entsprechende Signalisation verlangt, um die Sicherheit des Personals und des Verkehrs zu garantieren. Für lokale Anwendungen kann zudem der Benkelmanbalken angewendet werden. Die Vorschriften zur Messung der Tragfähigkeit finden sich in der Norm SN 640 733.

3.1.6 Weitere Untersuchungsmethoden auf Netzebene

Erfassung Schichtdicken mit Georadar

Die Anwendung eines Georadars erlaubt eine zerstörungs- und kontaktfreie Erfassung der Schichtdicken eines Strassenkörpers. Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienen hauptsächlich zur Erkennung von Strukturübergängen und örtlichen strukturellen Mängeln, sowie als Hilfe zur Auswertung von FWD-Messdaten.

Erfassung von Störungen im Aufbau mit Infrarot-Thermographie

Bei diesem zerstörungsfreien Verfahren ist es möglich, Oberflächentemperaturen flächenhaft anhand von Farbaufnahmen sichtbar zu machen und damit Aussagen zu machen, entweder in der Einbauphase oder in einer späteren Nutzungsphase. Die Messung der Oberflächentemperaturen geschieht unter der Annahme, dass sich Inhomogenitäten im Innern des Belages in der Temperaturverteilung widerspiegeln [7].

Im Zusammenhang mit der Schadenanalyse eignet sich das Verfahren zur Erfassung versteckter Blasen (z.B. bei Gussasphalt) und zur zerstörungsfreien Verfolgung von Schadenentwicklungen.

3.1.7 Zusätzliche Untersuchungen auf Projektebene

Belageigenschaften

An aufgebrochenen Belagsschichten oder durch Entnahme von Bohrkernen wird Belagsmaterial rückgewonnen und im Labor die aktuellen Mischguteigenschaften gemäss SN 640 431 [8] bestimmt (Bindemittelgehalt, Korngrössenverteilung, Marshall-Versuch). Die Extraktionsergebnisse decken auf, ob das Mischgut geeignet und mängelfrei war. Vorhandene Abweichungen von Soll-Werten lassen Schlüsse zu über das künftige Verhalten.

Untergrund- und Unterbaueigenschaften

Die Zusammensetzung der Infrastruktur des Strassenkörpers, die Schichtdicken, die Materialeigenschaften und die hydraulischen Bedingungen sind wichtige Elemente zur Bestimmung der strukturellen Qualität eines Strassenaufbaus, um die vorzunehmenden korrigierenden Massnahmen vorschreiben zu können (Verstärkung der Fundationsschichten, Stabilisierung, Drainage, etc.).

3.2 Betonbeläge

3.2.1 Vorgehen

Wie für flexible Strassen wird die Zustandserfassung einer Betonstrasse in der Norm SN 640 925 behandelt.

3.2.2 Visuelle Zustandserfassung der Strassenoberfläche

Die visuelle Zustandserfassung wird nach Norm SN 640 925 ähnlich durchgeführt wie diejenige von Asphaltstrassen.

3.2.3 Einschätzung der Betonqualität

Um den Unterhaltsbedarf einer Betonfahrbahn richtig einzuschätzen empfiehlt sich das in der praktischen Fachpublikation „Betonpraxis - Der Weg zum dauerhaften Beton“ [9] beschriebene Verfahren.

4 Massnahmen zur Erhaltung bestehender Fahrbahnen

4.1 Einführung

Eine Strasse wird im allgemeinen für eine Gebrauchsdauer von 20 Jahren dimensioniert. Unter Gebrauchsdauer versteht man die Zeitdauer, die zwischen dem Bau oder der Instandstellung einer Strasse und dem Moment verstreicht, an dem eine Verstärkung der Strasse nötig wird, um die Verkehrssicherheit und einen angemessenen Komfort zu garantieren. Die Gebrauchsdauer kann durch Unterhaltsarbeiten verlängert werden. Wenn diese fachgerecht durchgeführt werden, kann sich die Gebrauchsdauer auf 40 oder mehr Jahre verlängern.

Die Zusammenhänge zwischen den Schadengruppen einerseits und den Massnahmen / Erneuerungszyklen andererseits sind in Tabelle 3 (folgende Seiten) dargestellt.

Bereich	Kritische Zone		Schäden		Erneuerungsverfahren (Baumassnahme)				Kommentar Heutige Verfahren / Problematik neuer Entwicklungen
	Bauteil	Baustoff	Erscheinung	Ursachen	Art	Bauzeit	Kosten	Erneuzyklen	
Unterbau	Fahrbahn	Boden, Schüttung	Setzungen, Risse im Oberbau (Belag)	nicht ausreichende Tragfähigkeit, ungünst. Bodeneigenschaften, ungünst. hydrologische Verhältnisse	- Totalerneuerung: Verstärkung Oberbau, Bodenverbesserung, z.B. Ersatz Stabilisierung, Einbau Geotextilien, Drainage	→	↑	Jahre 30-40	ev. Entlastung des Untergrundes durch Ersatz mit Leichtbau-Materialien, z.B. Schaumglas-Unterschichten
					- Aufschichten des Oberbaus	○	○	20-30	
Oberbau	Fundamentalschichten	Kiessand	Risse.	Überbeanspruchung, ungenügende Verdichtung	Ersatz, Verstärkung Oberbau	→	↑	30-40	Kommt im Nationalstrassenbau praktisch nur in Form von Setzungen in problematischen Böden und im Bereich der heute z.T. befahrenen Standspuren vor (Umnutzung während Bauarbeiten). Häufig in Verbindung mit Drainage-Problemen
			Hebungen während Frostperiode	Verschmutzung, ungenügende Materialdicke, fehlende Frostbeständigkeit	Teilersatz, Geotextil als Filter- und Trennschicht (Armierung), Verstärkung Oberbau	→	↑	30-40	
		Stabilisierungen	Risse, Ausbrüche	Ungünstige Rezeptierung, fehlende Frosttausalzbeständigkeit bei Zementstabi, ungenügende Verdichtung	Teilersatz Örtliche Reparaturen mit Asphalt, z.B. bei dilatierenden Querrissen, Verstärkung Oberbau	→	↑	30-40		Problem Zementstabilisierung: Dilatierende Querrisse in der Stabi alle ca. 8-10 m (Schwindrisse)

Fortsetzung S. 48

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die kritischen Bereiche und die Erneuerungszyklen der Fahrbahn einer Hochleistungsstrasse. Es werden die nach dem heutigen Stand der Technik zum Einsatz gelangenden Bauverfahren aufgezeigt und hinsichtlich der Kriterien Bauzeit, Kosten und Gebrauchsdauer grob bewertet. Schliesslich erfolgen Hinweise auf mit den Verfahren gemachte Erfahrungen und auf neue technische Lösungen. Ein Vergleich verschiedener ausgeführter Bauwerkserneuerungen hat gezeigt, dass detaillierte Angaben über Kosten, Bauzeit etc. der einzelnen Massnahmen von Objekt zu Objekt stark variieren. Die Bewertung der Kriterien Bauzeit und Kosten erfolgt gemäss nachstehender Legende:

Bauzeit		Kosten	
lang	→	hoch	↑
mittel	○	mittel	○
kurz	←	tief	↓

Bereich	Kritische Zone		Schäden		Erneuerungsverfahren (Baumassnahme)				Kommentar
	Bauteil	Baustoff	Erscheinung	Ursachen	Art	Bauzeit	Kosten	Erneuzyklen Jahre	Heutige Verfahren / Problematik neuer Entwicklungen
Oberbau	Beläge	Asphalt Asphaltbelag AB	<i>Belagsschäden:</i> Glätte, Ausmagerung, Abrieb, leichte Risse.	Polieren	Rissanerierung	←	↓	5	Bei Oberflächenglätte Sofortmassnahme erforderlich (Verkehrssicherheit)
				Alterung, Verhärtung Bindemittel, Abnutzung, Zuschlagsstoffe	Oberflächenbehandlung, Dünnschichtbelag Belagsüberzug oder Fräsen und Belagsersatz	←	↓	5-10	
					○	○	10-15		
			<i>Belagsverformungen:</i> Spurrinnen Schubverformungen	Mangelnde Standfestigkeit der Deckschicht, zu weiche Bindemittel für Verkehrsbeanspruchung	- Örtliche Sanierung durch Fräsen und Schiften mit AB	←	↓	5-10	Als Sofortmassnahme zur Verhinderung von Aquaplaning
					- Belagsüberzug.	←	○	5-10	
					- Erneuerung der Deckschicht oder Remixing	○	○	10-15	Generelle Tendenz zur Erhöhung der Verformungsstabilität und Verlängerung der Gebrauchsdauer
					Spezialdeckbeläge mit modif. Bindemitteln:				
					- Splittmastixasphalt (SMA),	○	↑	15	
					- Rauasphalt (MR), etc.	○	↑	15	
					Multifunktionale Beläge:				Vorteilhaft für Wasserabfluss, mit Isolierwirkung Nur als Überbrückungsmassnahme.
					- Drainasphalt (DRA),	○	↑	10	
		AB + HMT		Mangelnde Standfestigkeit der Tragschichten	- Belagsüberzug oder Remixing.				Variante: Remixing der Tragschicht und Einbau neuer AB-Beläge Neue Eignungstests: Spurrinnenprüfung LCPC
					Erneuerung der Deckschicht und Tragschichten (HMT)	→	↑	30-40*	
					*) Erneuerung Deckschicht nach 20 Jahren				

Bereich	Kritische Zone		Schäden		Erneuerungsverfahren (Baumassnahme)				Kommentar
	Bauteil	Baustoff	Erscheinung	Ursachen	Art	Bauzeit	Kosten	Erneuzyklen	Heutige Verfahren / Problematik neuer Entwicklungen
Oberbau	Beläge	Asphalt AB + HMT	<i>Strukturelle Schäden:</i> Setzungen, Risse, abgedrückte Ränder, Längsrisse bei Standspuren	Alterung, Verhärtung Bindemittel	Verstärkung im Hocheinbau: - Einbau zusätzlicher AB oder HMT / AB-Schichten	○	○	Jahre 15-25	Mit Erhöhung der Nivellette (nur wenn verbleibende Schichten qualitativ ausreichend)
				Überbeanspruchung durch Verkehr oder zu leichte Dimensionierung z.B. im Bereich der Normal- und Standspuren Versagen der Zement stabilisierung (Schwindrisse)	Verstärkung durch teilweise Oberbauerneuerung - Ersatz einzelner Schichten des Oberbaus durch Schichten höherer Tragfähigkeit	→	↑	30-40*	Ohne oder mit teilweiser Erhöhung der Nivellette
					Vollständige Oberbauerneuerung - Neu T6: bis 27 cm Asphalt(bisher T5: bis 22 cm Asphalt auf Kiessand-Fundationsschicht)	→	↑	30-40*	Der Belagsaufbau unserer Nationalstrassen ist seit Eröffnung ausreichend dimensioniert. Tragfähigkeitsprobleme ergeben sich nur bei extremen Verkehrsbelastungen. Die VSS- Dimensionierungsnormen (z.Z. in Überarbeitung) sehen neu die Verkehrslastklasse T6 vor (TF > 3000...10000).
					Spezialtragschichten mit hochstandfesten Bindemitteln PB: VSS-Norm (in Überarbeitung), > neuer Mischguttyp H	○	○	30-40	Generelle Tendenz zur Erhöhung der Standfestigkeit und Verlängerung der Gebrauchsdauer

Fortsetzung S. 50

Bereich	Kritische Zone		Schäden		Erneuerungsverfahren (Baumassnahme)				Kommentar
	Bauteil	Baustoff	Erscheinung	Ursachen	Art	Bauzeit	Kosten	Erneuerungszyklen	
Oberbau	Beläge	Beton	<i>Belagsschäden:</i> Glätte, Fugendichtung spröde/fehlend, Kanten-/Oberfl. Abplatzungen, Abrieb, Schwindrisse	Polieren Abnutzung, Materialtechnologie (Betonbeläge 1. und 2. Generation) überholt	Aufrauen, Fräsen von Rillen	○	○	5	Als örtliche Sofortmassnahme Betonfugen schlagen durch Betonfugen schlagen durch
					Fugenverfüllung.	○	↓	5	
					Örtliche Reparaturmassnahmen. Oberflächenbehandlung (bituminös oder Kunststoff),	←	↓	5	
					Belagsüberzug (bituminös) mit SAMI	○	○	5-10	
					Dünnschichtbeläge SMA, MR, DRA	○	○	5-10	
					<i>Strukturelle Schäden:</i> Blow-Up (Stufenbildung), Unebenheit, dilatierende Risse, zerstörte Platten (untere Schicht)		Hohlliegende Platten, Pumpen, Setzungen, Frosthebung Fehlende Frostausalz- beständigkeit (Ober- beton BH 350 / Unter- beton BN 250 bei 1. Generation) Materialtechnologie (Betonbeläge 1. und 2. Generation) überholt Foundationsschicht mangelhaft oder ver- schmutzt	Hocheinbau:		- Asphaltbelag ca. 12-15 cm mit SAMI auf vorhandenen ca. 20 cm dicken Beton Belagsersatz: - Abbrechen Betonbelag, neuer Asphaltbelag ca. 22 -27 cm auf verbleibende Foundations-schicht / oder - Abbruch oberer Teil Foundationsschicht ca. 15 cm, neue Zementstabilisierung, neuer Betonbelag 20 cm	○	○	15-20	Sofortmassnahme: Ausgleichen, Heben oder Platte ersetzen
			Nur ausführbar, falls Lichtraumhöhen ausreichend (Überführungen)						
			Vorteil: Keine Erhöhung der Nivellette, wenig Anpassungsarbeiten.						
					→	↑	30-40		
					→	↑	30-40	Falls keine Erhöhung der Nivellette möglich	

Tabelle 3: Kritische Bauteile: Schäden / Massnahmen / Erneuerungszyklen (Übersicht)

4.2 Massnahmen zur Erhaltung von Asphaltstrassen

4.2.1 Grundsätzliche Kriterien für die Wahl der Massnahmen

Für die Erhaltung von Fahrbahnen steht eine Reihe unterschiedlicher Bauweisen und Verfahren zur Verfügung. Die Massnahmen reichen von örtlichen Sofortmassnahmen im Rahmen des betrieblichen Unterhalts bis hin zur langfristig geplanten, grossflächigen Oberbauverstärkung. Je nach gewählter Massnahme ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen auf das zukünftige Verhalten und die nachfolgenden Zustandentwicklungen resp. Erhaltungsintervalle.

Die Kriterien zur Wahl der geeigneten Massnahmen und Verfahren zur Erhaltung von Asphaltstrassen sind in den Forschungsarbeiten ‚Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell Asphaltstrassen‘ eingehend erörtert [5]. Die Tabelle 4 gibt einen Überblick über die baulichen Erhaltungsmassnahmen für Asphaltstrassen.

Visuelle Zustandserfassung	Belagsschäden			Strukturelle Schäden	
Schadenbild	Oberflächenglätte infolge von Schwitzen oder Polieren	Materialverluste (Ausmagerung, Absanden, Kornausbrüche usw.) sowie oberflächliche Rissbildung (wilde Risse) Reflektionsrisse	Belagsverformungen (Spurrinnen, Aufwölbungen, Wellblech- und Schubverformungen)	Unebenheiten infolge Setzungen und Verdrückungen Strukturelle Rissbildung (Netzrisse)	Unebenheiten infolge Frosthebungen Klaffende Einzelrisse (Frostrisse)
Reparaturmassnahmen SN 640 731	Aufrauen Abstreuen mit Sand oder Splitt	Örtliche Oberflächenbehandlung Reparatur von Rissen und offenen Nähten	Aufwölbungen und Wellen abfräsen Verfüllen der Spurrinnen mit Mischgut	Aufschiftungen mit Asphaltmischgut	Rissreparatur
Instandsetzungs- massnahmen SN 640 732	Oberflächenbehandlung Kaltmikrobelag (Slurry Sealing)				
	Belagsüberzug (*)				
		Belagserneuerung			
Oberbau- verstärkung SN 640 324 SN 640 733				Verstärkung im Hocheinbau *	
				Verstärkung im Hocheinbau (*) kombiniert mit teilweiser Oberbauerneuerung in den stark geschädigten Bereichen	
				Teilweise Oberbauerneuerung mit <ul style="list-style-type: none"> - Asphaltfundationsschicht - Stabilisierung bituminös - Stabilisierung hydraulisch 	

(*) Sofern Erhöhung der Nivellette ohne grössere Anpassungsarbeiten möglich

Tabelle 4: Übersicht bauliche Erhaltungsmassnahmen Asphaltstrassen

4.2.2 Sofortmassnahmen

Sofortmassnahmen sind erforderlich, wenn die Verkehrssicherheit nicht gewährleistet ist oder wenn bei einem Zuwarten ein grosser Substanzverlust befürchtet werden muss. Sofortmassnahmen werden kurzfristig meist auf einer Teilfläche, oder aber auch ganzflächig durchgeführt. Mit Sofortmassnahmen kann der Zeitpunkt für eine grossflächige Erneuerung eines Strassenabschnittes oft um einige Jahre hinausgeschoben werden. In Tabelle 5 werden die möglichen Massnahmen aufgezeigt.

Schadenbild	Oberflächenglätte	Spurrinnen, Aufwölbungen	Setzungen, Einsenkungen, abgedrückte Ränder	Unzureichender Wasserabfluss
Kritischer Zustand	Ungenügende Griffigkeit	Unzulässige Spurrinnen- und Wassertiefe	Ungenügender Fahrkomfort	Aquaplaning (Schleudergefahr)
Örtliche Reparaturen	Aufräumen (z.B. leichtes Abfräsen) Abstreuen mit Brechsand oder vorumhülltem Splitt	Aufwölbungen und Wellen abfräsen Spurrinnen mit Mischgut verfüllen	Aufschiftungen mit Asphaltmischgut	Abfräsen von kritischen Bereichen zur Verbesserung des Wasserabflusses
Instandsetzungs-massnahmen (ganzflächig)	Oberflächenverbesserung [z.B. Oberflächenbehandlung (OB), Kaltmikrobelag] Belagsüberzug	Belagserneuerung	Ein- oder mehrschichtiger Belagsüberzug	Reprofilierung zur Erhöhung des Quergefälles (z.B. Diagonalgrat in Verwindungen) Drainasphalt-Deckschicht

Tabelle 5: Sofortmassnahmen

4.2.3 Örtliche Reparaturen

Örtliche Reparaturen werden in der Regel im Rahmen des Strassenunterhalts ausgeführt und beschränken sich auf Schäden begrenzten Umfangs, um Folgeschäden zu vermeiden.

Örtliche Oberflächenbehandlung (OB)

Reparatur örtlich begrenzter Bereiche durch OB mit bituminösem Bindemittel und Abstreuen mit Brechsand oder Feinsplitt. Zweckdienliche Massnahme, um ausgemagerte und poröse Beläge präventiv vor zunehmender Schadenbildung zu schützen. Dient gleichzeitig zur Verbesserung der Griffigkeit.

Örtliche Spurrinnensanierung

Reparatur von Spurrinnen mit Kaltmikrobelag ohne vorgängiges Fräsen, oder mit Belagsmischgut mit vorgängigem Fräsen

Das Verfahren dient bei Spurrinnenbildung zur Verbesserung der Querebenheit als Sofortmassnahme oder zum Profilausgleich vorgängig eines Belagüberzugs.

Rissesanierung

Sanierung von Rissen und offenen Nähten durch Verfüllen mit einer Vergussmasse.

Die Massnahme dient zur definitiven, aber zeitlich beschränkten, Reparatur von Einzelrissen oder zur Behebung von klaffenden Einzelrissen im Belag vorgängig eines grossflächigen Belagsüberzugs.

Die Sanierung verhindert, dass Wasser in den Strassenoberbau eindringt und ihn beschädigt. Das Vergiessen verzögert das Durchschlagen der Risse in neu aufgetragene Schichten.

4.2.4 Kurz- und mittelfristige Instandsetzungsmassnahmen

Instandsetzungsmassnahmen kurz- und mittelfristiger Art werden angewendet, wo aus wirtschaftlichen, projektbedingten oder finanziellen Gründen, eine langfristige bauliche Massnahme nicht in Betracht kommt. Sie streben eine Verbesserung der Oberfläche für einen bestimmten, aber zeitlich begrenzten Zeitraum an.

Oberflächenverbesserung

Eine Oberflächenverbesserung ist geeignet für Deckschichten, die grossflächig leichtere Schäden aufweisen oder die ungenügend griffig sind. Der Belag muss standfest und der Aufbau ausreichend tragfähig sein. Oberflächenverbesserungen bilden dünne Schichten, welche keine tragende Funktion erfüllen und nicht in der Lage sind, Fahrbahnunebenheiten auszugleichen.

Oberflächenbehandlung

Die Gebrauchsdauer einer OB, mit modifiziertem Bitumen und ein- oder zweimaligen Abstreuen mit Splitt beträgt ca. 4 – 6 Jahre.

Kaltmikrobelag (Slurry Sealing)

Entsprechend der eingesetzten hochwertigen Komponenten und des kontrollierten, maschinellen Vorgangs kann, bei einem Flächengewicht von 25 – 30 kg/m², mit einer Gebrauchsdauer von 5 – 7 Jahren gerechnet werden.

4.2.5 Langfristige Instandsetzungsmassnahmen

Mit langfristigen Erneuerungsmassnahmen wird der Zustandswert einer Fahrbahn wieder, oder mindestens annähernd, auf das Niveau des seinerzeitigen Neuzustandes gebracht.

Die nachstehend beschriebenen Verfahren sind dort geeignet, wo für die gegenwärtige Verkehrsbelastung die Tragfähigkeit der Fahrbahn ausreicht und eine Verstärkung des Gesamtaufbaus nicht angestrebt wird.

Belagsüberzug

Die Eignung von Belagsüberzügen ist gegeben für die Instandsetzung von Fahrbahnen mit leichten bis mittleren Oberflächenschäden und/oder leichten Spurrinnenbildungen, bei ungenügender Griffigkeit der Oberfläche oder bei Bedarf eines lärmindernden Deckbelags.

Belagsüberzüge bedingen eine Erhöhung der Nivellette je nach aufgebracht Schichtdicke, was projektmässig für den Wasserabfluss, bei Gehwegen und beim Lichtraumprofil zu beachten ist. Die Schichtdicken richten sich je nach Anforderung, Belagstyp und Grösstkorn nach der geltenden Belagsnorm SN 640 431.

Belagsüberzüge kommen auch zur Anwendung bei der Erneuerung von Betonbelägen, bei welchen Kantenschäden, Abplatzungen und (nur) leichte Stufenbildungen vorkommen. Der Belagsüberzug, in Verbindung mit einer SAMI (vgl. Modul F: Baustoffe) oder einer OB, muss dabei allerdings mindestens 40 mm dick sein und allfällige pumpende oder zerstörte Platten müssen vorgängig ersetzt werden. Ein Beispiel aus dem Nationalstrassennetz ist in Tabelle 6 dargestellt.

Je nach Beanspruchung und Dicke des Belagsüberzugs kann ein Erhaltungsintervall von 8–12 Jahren bei Hochleistungsstrassen, 12–16 Jahren bei Hauptverkehrsstrassen und 15–20 Jahren bei Verbindungsstrassen erreicht werden. Bei lärmindernden Belägen, welche sehr hohlraumreich zusammengesetzt sind, reduzieren sich diese Werte, je nachdem ob man die Faktoren „Lärminderung“ oder „Oberflächenzustand“ betrachtet. Beim ersten kann man eine effiziente Lärmreduktion während 5 bis 10 Jahren erwarten, falls der Belag regelmässig gründlich gereinigt wird. Im zweiten Fall ist die Lebensdauer mit derer eines herkömmlichen Belags vergleichbar (bis zu 15 Jahre).

Belagserneuerung (Belagsersatz)

Beim Belagsersatz werden die geschädigten Belagsschichten abgefräst und ein- oder mehrschichtig ersetzt, bei prinzipiell unveränderter Höhenlage. Die Frästiefe ergibt sich aus den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen (Prüfkörper, Materialanalysen).

Diese Art der Instandsetzung ist geeignet bei Fahrbahnen mit schweren Oberflächenschäden und/oder mittleren bis schweren Belagsverformungen.

Vorausgesetzt wird ein ausreichend tragfähiger Gesamtaufbau ohne wesentliche strukturelle Schäden im verbleibenden Teil.

Belagserneuerungen können, z.B. bei einer Autobahn mit ausgeprägter Spurrinnenbildung im Normalfahrstreifen, auf einen Fahrstreifen beschränkt und höhengleich an die angrenzenden Belagsflächen angeschlossen werden. Zu beachten sind dabei Einschränkungen bei hohlraumreichen und daher wasserführenden Belägen, weil der seitliche Wasserabfluss jederzeit sichergestellt werden muss.

Wenn die Unterlage für den Einbau neuer Belagsschichten genügend tragfähig und standfest ist, aber wilde Risse, Reflektionsrisse oder offene Nähte aufweist, empfiehlt sich der Einbau einer spannungsabsorbierenden Membrane SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer).

Die zu erwartende Gebrauchsdauer bei Erneuerungen durch Belagsersatz liegt, so haben neuere Erhebungen im Rahmen von Forschungsarbeiten [10] [14] ergeben, wesentlich über denjenigen für Belagsüberzüge angegebenen Zeiträumen. So ergaben sich auf unserem Nationalstrassennetz bei Verkehrslastklassen T5/T6 und normaler Beanspruchung durchwegs Perioden von 20-25 Jahren, und bei besonderen Verhältnissen (starke Steigungen und extreme Sonneneinstrahlung) Perioden von immerhin 15-20 Jahren. In Tabelle 6 werden für verschiedene Oberbautypen die charakteristischen Schadenbilder und die in der Folge auszuführenden Erneuerungsmassnahmen mit den erwarteten Instandsetzungsintervallen dargestellt.

Oberbau	Typ 1: 20 – 22 cm Asphaltbetonbelag auf Kiessandfundationsschicht		Typ 5: 12 cm AB-Belag auf Zementstabi	Typ 11: 20 – 22 cm Betonbelag zweite Generation auf Kiessand
Verkehrslast- klasse Beanspruchung	T5 ... T6 Normal	T5 ... T6 Besondere	T5 ... T6 Normal	T5 ... T6 Normal
Klimatische Bedingungen	Mittelland	Starke Sonneneinstrahlung	Mittelland	Mittelland
Charakteris- tische Schadenbilder	Normalfahrstreifen: Schwere Spurrinnenbildung Überholstreifen: Vorwiegend Belagsschäden (Materialverluste + wilde Risse)	Kriechstreifen: Schwere Spurrinnenbildung Normalfahrstreifen: Vorwiegend Belags- schäden (Material- verluste + wilde Risse). Leichte Spurrinnenbildung	Ganze Fahrbahn: Schwere Belagsschäden (Materialverluste + wilde Risse) und Reflektionsrisse. Örtlich durch eindringendes Salzwasser zerstörte Stabi	Ganze Fahrbahn: Leichte bis mittlere Belagsschäden (Kantenschäden, Abplatzungen). Leichte Stufenbildung und einzelne zerstörte Platten.
Örtliche Reparaturen vorgängig der ganzflächigen Instandsetzung			Entfernen der zerstörten Stabischichten und Ersatz durch HMF oder HMT	Reparatur der Belagsschäden und Ersatz zerstörter oder pumpender Platten durch Betonbelag dritte Generation
Instandsetzungs- massnahmen	Alle Fahrstreifen: - Fräsen 100 mm tief - Belagsersatz: 60 mm HMT 22 S/H* + 40 mm AB 11 S/H* (mit PmB) oder 40 mm SMA oder 40 mm MR 11 Variante Überhol- streifen: (je nach Analysen- resultaten) - Erneuerung Deck- schicht 40 mm mit Belag wie Normal- fahrstreifen	Alle Fahrstreifen: - Fräsen 120 mm tief - Belagsersatz: 80 mm HMT 22 H + 40 mm SMA 11 oder 40 mm MR 11	Alle Fahrstreifen: - Fräsen 40 mm tief - Geovlies von 80 mm Dicke auf bestehende HMT - Belagsersatz: 50 mm HMT 16 S + 40 mm SMA 11 od. 40 mm MR 11 Variante: - Fräsen 150 mm tief - Geovlies auf Stabi - Belagsersatz: 100 mm HMT 22 S + 50 mm SMA 11 oder 50 mm MR 11	Alle Fahrstreifen: - SAMI auf Betonbelag (Geovlies oder OB) - Belagsüberzug: 40 mm SMA 11, AB 11 S, od. MR 11 - Ausbilden von Querfugen im Belagsüberzug durch Einfräsen und Verfüllen über dilatierenden Fugen im Betonbelag
Instandsetzungs- intervall	20 – 25 Jahre	15 – 20 Jahre	20 – 25 Jahre	20 – 25 Jahre
* T5 = Typ S T6 = Typ H				

Tabelle 6: Instandsetzungsmassnahmen auf Autobahnen

4.2.6 Verstärkungsmassnahmen

Verstärkungsmassnahmen müssen vorgesehen werden, wenn die Tragfähigkeit des Gesamtaufbaus nicht ausreicht, oder wenn zukünftig mit zunehmender Beanspruchung gerechnet werden muss.

Dimensionierung der Oberbauverstärkung

Die nachstehenden Dimensionierungsmethoden sind im Modul C, Kap. 2 eingehend erörtert worden.

Basis Strukturwert (SN 640 324)

Die Dimensionierung basiert auf Ergebnissen des AASHTO Guide for Design, was die Berechnung eines Strukturwertes SN (Structural Number) in Abhängigkeit der Verkehrslastklasse T_i und der Tragfähigkeitsklassen der verschiedenen Materialien S_i zulässt. Der erforderliche Strukturwert setzt sich zusammen aus dem Strukturwert der verbleibenden Schichten und dem Strukturwert der neuen Schichten. Dabei wird den verbleibenden Schichten in Funktion der vorhandenen Schadenbildung ein Tragfähigkeitswert (a-Wert) zugeordnet, bezogen auf einen Basiswert (Kiessand rund = 1.0).

Die in der Norm angegebenen a-Werte für alte Oberbauschichten sind Richtwerte, basierend auf Erfahrungen. Dabei zeigen neuere Untersuchungen, dass die aufgeführten a-Werte für die nicht einsehbaren, unteren Schichten zu günstig angenommen werden [11].

Basis Deflektionsmessung (SN 640 733)

Die Berechnung der erforderlichen Verstärkung basiert auf der Bestimmung der effektiven Tragfähigkeit des bestehenden Aufbaus durch Messung der elastischen Deflektion mit dem Benkelmanbalken resp. Deflektograph Lacroix. Die Verstärkungsdicke ergibt sich auf Basis der massgebenden Deflektion und des massgebenden Verkehrs anhand der Verstärkungsdiagramme der Norm [2]. Die aus dem AASHTO-Programm abgeleitete Methode ergibt zuverlässige Resultate und verlangt einen kleinen Aufwand zur Messung der Deflektion [12].

Ermittelte Deflektionswerte, die erheblich höher ausfallen als an benachbarten Punkten, müssen auf spezielle Weise behandelt werden.

Verfahren

Die vollständige Oberbauerneuerung, d.h. der Ersatz aller Oberbauschichten, gilt gemäss SN 640 324 als Neukonstruktion und wird hier nicht weiter behandelt.

Bei einer Verstärkung verbleiben einzelne oder alle bisherigen Schichten des Oberbaus bestehen und diese werden mit zusätzlichen Schichten überbaut. Erfolgt die Verstärkung mit zusätzlichen Schichten ohne Ersatz von einzelnen Schichten, resultiert eine Erhöhung der Nivellette der Belagsoberfläche. Eine Erhöhung der Nivellette kann vermieden werden, wenn einzelne Schichten durch neue, hochwertigere Schichten ersetzt werden.

In diesem Kapitel werden Verstärkungsmassnahmen behandelt, bei denen die verbleibenden Schichten qualitativ nicht verändert (vergütet) werden.

Für die Aufteilung der Verstärkungsdicke in Schichten und für die Wahl der Mischgutttypen und -sorten ist SN 640 430 [13] massgebend.

Verstärkung im Hocheinbau

Bei einer Verstärkung im Hocheinbau werden auf den bestehenden Belag eine oder mehrere Verstärkungsschichten eingebaut. Unebenheiten in der Fahrbahn werden in der Regel mit der ersten Verstärkungsschicht ausgeglichen; grössere Profildifferenzen werden vorgängig durch Abfräsen resp. durch Vorschriften mit Mischgut korrigiert.

Ein einwandfreier Verbund der Verstärkungsschicht mit dem alten, gereinigten Fahrbahnbelag ist von wesentlicher Bedeutung. Art und Dosierung des Haftvermittlers sind der Alterung der Unterlage anzupassen.

Verstärkungen im Hocheinbau werden ausgeführt bei leichten bis mittleren strukturellen Schäden. Sie kommen nicht in Frage bei ungenügender Standfestigkeit oder Frostsicherheit der verbleibenden Schichten. Weil eine Erhöhung der Nivellette erfolgt, muss die Verstärkung auf die ganze Fahrbahnbreite erfolgen und angrenzende Belagsflächen wie Standstreifen und Anschlüsse müssen einbezogen werden. Ebenso sind alle Einbauten (Schächte etc.) anzupassen.

Teilweise Oberbauerneuerung

Bei der Verstärkung durch eine teilweise Oberbauerneuerung werden einzelne Schichten des vorhandenen Oberbaus – in der Regel sind es die bituminösen Trag- und Deckschichten und eventuell ein Teil der Fundationsschicht – entfernt und durch tragfähigere Materialien ersetzt. Für die Dimensionierung setzt sich die Gesamt-Tragfähigkeit des verstärkten Oberbaus zusammen aus der Tragfähigkeit der verbleibenden Oberbauschichten sowie der Tragfähigkeit der neuen Schichten.

Da die teilweise Oberbauerneuerung nicht zwingend mit einer Erhöhung der Nivellette verbunden ist, kann sie auf einem einzelnen Fahrstreifen (z.B. Normalfahrstreifen einer Nationalstrasse) oder beschränkt auf einem einzelnen besonders stark geschädigten Bereich ausgeführt und höhengleich an die angrenzenden Belagsflächen angeschlossen werden.

Abbildung 2 zeigt Beispiele verschiedener Varianten von teilweisen Oberbauerneuerungen für eine Strasse mit mittlerer Verkehrsbelastung, welche trotz unterschiedlicher Schichten gleiche Tragfähigkeiten bei identischer Nivellette der Fahrbahnoberfläche ergeben. Die Variantenwahl erfolgt meistens nach wirtschaftlichen Kriterien und der zur Verfügung stehenden Mittel, insbesondere wenn für eine der Varianten spezielle Arbeitsgeräte benötigt werden (Abbildung 3).

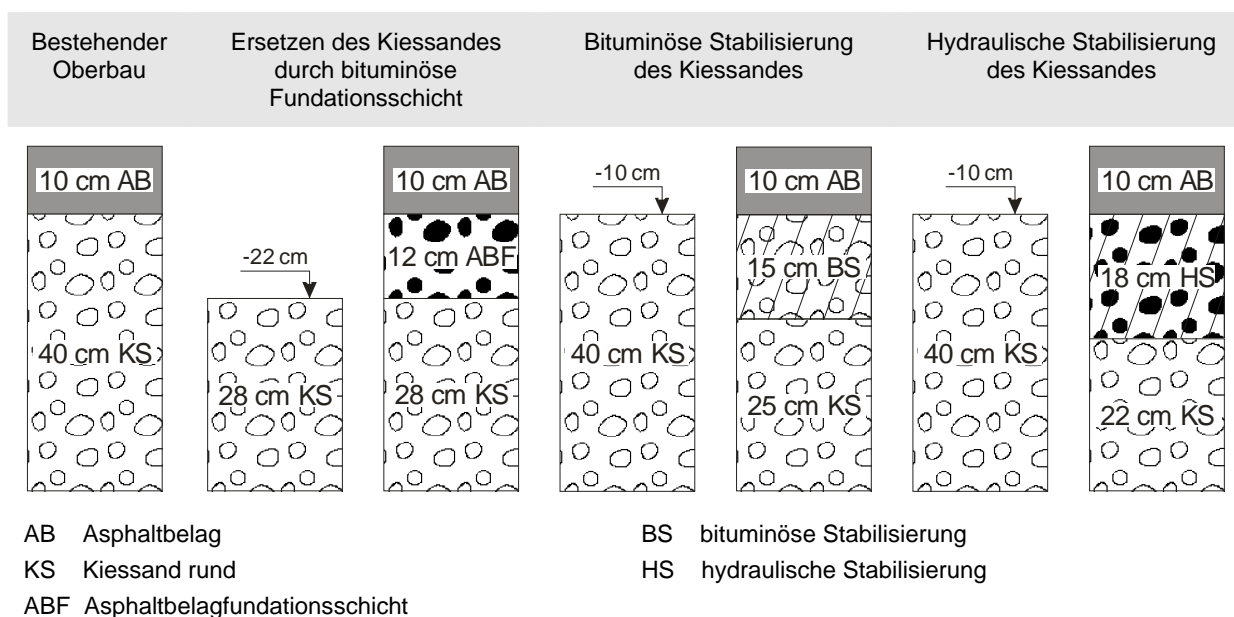


Abbildung 2: Verstärkungsvarianten durch teilweise Erneuerung für eine Strasse mit mittlerer Verkehrsbelastung



Abbildung 3: Kaltrecycling-Maschine: Fräsen, Mischen und Einbauen in einem Arbeitsgang, erlaubt 100 %-ige Wiederverwendung des Oberbaumaterials

Kombination Hocheinbau / partielle Erneuerung

In vielen Fällen stellt eine Kombination der beiden vorgängig beschriebenen Verfahren die optimale Problemlösung dar: In einem ersten Schritt wird in besonders stark geschädigten Bereichen eine Teilweise Oberbauerneuerung ausgeführt, und in einem zweiten Schritt wird auf der gesamten Fläche ein ein- oder zweischichtiger Asphaltbelag (AB) als Verstärkung eingebaut. Damit kann die Erhöhung der Nivellette der Strasse auf ein für den betreffenden Strassenabschnitt zulässiges Mass beschränkt werden.

4.2.7 Belagswahl

Bei einer Verstärkungsmassnahme erfolgt die Belagswahl nach Festlegung der Gesamtdicke des Asphaltbelages analog einem Neubau. Es betrifft dies insbesondere die normierten AB-, SMA-, DRA- und MR-Beläge.

Für die Aufteilung der bestimmten Gesamtdicke des Asphaltbelages in einzelne Schichten resp. die Festlegung der Dicken dieser Schichten ist die Norm SN 640 431 massgebend. Die Wahl der Mischguttypen und Mischgutsorten ist abhängig von der Beanspruchung durch den Verkehr und die klimatischen Verhältnisse.

Auf weitere Details wird in diesem Kapitel verzichtet. Es gelten die im Modul E dargelegten Grundsätze.

4.3 Massnahmen zur Erhaltung von Betonstrassen

4.3.1 Grundsätzliche Kriterien für die Wahl der Massnahmen

Für die Erhaltung von Fahrbahnen steht eine Reihe unterschiedlicher Bauweisen und Verfahren zur Verfügung. Die Massnahmen reichen von örtlichen Sofortmassnahmen im Rahmen des betrieblichen Unterhalts bis hin zur langfristig geplanten, grossflächigen Instandsetzung. Je nach gewählter Massnahme ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen auf das zukünftige Verhalten und die nachfolgenden Zustandsentwicklungen resp. Erhaltungsintervalle.

	Belagsschäden		Strukturelle Schäden		
Visuelle Zustands- erfassung	Oberflächenglätte infolge Polieren	Kantenschäden, Abplatzung, Abblätterung, Abrieb, Schwindrisse	Blow-up (Aufstauchung) leichte Stufenbildung ohne Pumpen, einzelne Risse	Setzungen und /oder Hebungen, hohlliegend Platten, dilatierende Risse	Schwere Stufenbildung, zerstörte Platten, pumpende Platten
Reparatur- massnahmen SN 640 735	Aufräumung z.B. Hochdruckwasser- strahlen oder Kugelstrahlen	Örtliche provisorische Reparaturen mit Asphalt, definitive Reparaturen mit zementgebundenem oder kunststoffmodifiziertem Mörtel		Örtliche Profilverbesserung mit Asphalt, Unterpressen und/oder Heben der Platten, vergiessen der Risse	Ausgleich Stufenbildung durch Abfräsen, provisorischer Plattenersatz mit Asphalt, definitiver Plattenersatz mit Beton
Instandstellungs- massnahmen SN 640 736	Oberflächenbehandlung Kaltmikrobelag (slurry sealing)				
	Belagsüberzug (ABDS, SMA, PA) mit SAMI				
				Belagsüberzug kombiniert mit partieller Oberbauerneuerung in stark geschädigten Bereichen	
Verstärkungs- massnahmen SN 640 736				Verstärkung im Hocheinbau *) mit Asphaltbelag auf nicht entspanntem Beton	
				Verstärkung im Hocheinbau *) mit Asphaltbelag auf entspanntem Beton	
				Oberbauerneuerung mit Asphaltbelag oder Betonbelag	

*) sofern Erhöhung der Nivellette ohne grössere Anpassungsarbeiten möglich ist

Tabelle 7: Übersicht bauliche Erhaltungsmassnahmen Betonstrassen

Die Kriterien zur Wahl der geeigneten Massnahmen und Verfahren zur Erhaltung von Betonstrassen sind in den Forschungsarbeiten ‚Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen- und Strategiemodell Betonstrassen‘ eingehend erörtert [14].

Die Tabelle 7 zeigt den Zusammenhang zwischen den Schadenbildern und den dabei anwendbaren Massnahmen.

4.3.2 Sofortmassnahmen

Sofortmassnahmen sind erforderlich, wenn die Verkehrssicherheit nicht gewährleistet ist oder wenn bei weiterem Zuwarten ein grosser Substanzverlust befürchtet werden muss. Sofortmassnahmen werden kurzfristig durchgeführt. Mit Sofortmassnahmen kann der Zeitpunkt für eine grossflächige Erneuerung eines Strassenabschnittes oft um einige Jahre hinausgeschoben werden. In Tabelle 8 werden die möglichen Massnahmen aufgezeigt.

Schadenbild	Oberflächen- glätte	Abplatzungen Kantenschäden	Gerissene Platten Zerstörte Platten Blow-up	Instabile und/oder hohl- liegende Platten Stufenbildung	Unzureichender Wasserabfluss
Kritischer Zustand	Ungenügende Griffigkeit	Ungenügender Fahrkomfort	Ungenügender Fahrkomfort	Ungenügender Fahrkomfort	Aquaplaning (Schleuder- gefahr)
Örtliche Reparaturen	Aufräumen durch: - Kugelstrahlen - Hochdruck- wasserstrah- len - Flächenfräsen - Rillieren	Füllen mit: - Asphalt- mischgut - Feinbeton oder Reparatur- mörtel	Abdichten der Risse Plattenersatz - bituminös - zementös	- Abfräsen der Stufen - Stabilisieren / unter- pressen / heben der Platten	Querrillierung in kritischen Bereichen zur Verbesserung des Wasserabflusses
Instandsetzungs- massnahmen (ganzflächig)	- Oberflächen- verbesser- ung [z.B. Oberflächen- behandlung (OB), Kaltmikro- belag] - Bituminöse oder Kunststoff- Oberflächen- behandlun- gen - Belagsüberzug	Füllen mit Feinbeton oder Reparaturmörtel Oberflächen- behandlung Belagsüberzug	Plattenersatz - zementös	- Unterpressen / Heben der Platten - Stabilisieren / Entspannen der Platten - Belagsüberzug	Erhöhung des Quergefälles in Verwindungen (z.B. Diagonalgrat)

Tabelle 8: Sofortmassnahmen

4.3.3 Örtliche Reparaturen

Örtliche Reparaturen sind bauliche Massnahmen kleineren Umfanges und bauliche Sofortmassnahmen zur Beseitigung von Fahrbahnschäden (z.B. Oberflächenglätte, Blow-up, Abplatzungen) und zur Verhinderung von Folgeschäden.

Oberflächenglätte

Kleinflächen können gestockt werden; etwas grössere Flächen sind im Kugelstrahl- oder Hochdruck-Wasserstrahl-Verfahren aufzuräumen.

Abplatzungen, Kantenschäden

Reparatur der ausgebrochenen Oberfläche mit Asphaltmischgut oder Feinbeton. Kantenschäden sind bei strukturell intakten Betonbelägen (Kraftübertragung in den Quertugen vorhanden) immer mit Beton/Mörtel zu reparieren.

Zerstörte Platten, Blow-Up

Zerstörte Platten, insbesondere nach einer Aufstauchung (Blow-up) können provisorisch durch einen Asphaltbelag HMT, zweischichtig, ersetzt werden.

Bei Platten mit einem Quer- oder Längsriss genügt als Sofortmassnahme das Abdichten des Risses mit einer Heissvergussmasse.

Instabile und hohl liegende Platten, Stufenbildung

Instabile und hohl liegende Platten sind festzulegen bzw. zu unterpressen. Als Injektionsmaterial eignen sich Kunststoff modifizierte Zementmörtel oder Kunstharze.

Bei genügender Betonbelagsdicke können die vorstehenden Plattenrandzonen gefräst werden. Je nach Stufenhöhe beträgt die Fräsbreite entlang der Fuge 30 bis 70 cm.

Bei Belägen, deren Plattendicke infolge der Verkehrsbelastung eine Verminderung nicht zulassen, hat der Höhenausgleich entweder durch Hebung zu erfolgen oder durch Auftragen eines geeigneten Reprofilierungsmörtels.

4.3.4 Kurz- und mittelfristige Instandsetzungsmassnahmen

Instandsetzungsmassnahmen kurz- und mittelfristiger Art werden angewendet, wo aus wirtschaftlichen, Projekt bedingten oder finanziellen Gründen, eine langfristige bauliche Massnahme nicht in Betracht kommt.

Bei einer Instandsetzung durch Oberflächenverbesserung oder Belagsüberzug sind alle Schäden, welche durch die gewählte Instandsetzungsmassnahme nicht beseitigt werden, vorgängig zu beheben. Die Instandsetzung besteht in der Regel aus einer Oberflächenbehandlung oder einem Belagsüberzug.

4.3.5 Langfristige Instandsetzungsmassnahmen

Erneuerung Fugendichtung

Fugen sind periodisch neu abzudichten. Dabei ist der alte spröde Fugenverguss vollständig zu entfernen und die Fugenflanken sind nach zu schneiden.

Vergussmassen haben eine Lebensdauer von 12 bis 15 Jahren, Dichtungsmassen und Profile eine von gegen 20 Jahren.

Bituminöser Belagsüberzug

Anwendungsbereich:

Zur Instandsetzung von Betonbelägen mit mittleren bis schweren Belagsschäden (Kantenschäden, Abplatzungen, Schwindrisse), vorausgesetzt der Betonbelag ist stabil und weist keine Stufenbildung und Risse auf.

Die Stabilität der Betonplatten (Pumpen) kann visuell überprüft werden. Bei stark belasteten Fahrbahnabschnitten empfiehlt es sich, die Kraftübertragung zwischen den Platten und die Auflagebedingungen im Fugenbereich (Hohlräume unter dem Betonbelag) mittels Deflektionsmessungen zu untersuchen. Pumpende Platten sind durch Unterpressen zu stabilisieren bzw. festzulegen oder zu ersetzen.

Bei Kantenbrüchen an Querfugen ist durch Entnahme von Bohrkernen im Fugenbereich insbesondere der Unterbeton zu prüfen. Im Falle einer schlechten Betonqualität sind die geschädigten Platten oder Plattenteile abzubrechen und zu ersetzen, bevor der Belagsüberzug aufgebracht wird.

Abplatzungen auf der Betonoberfläche sind mit Gussasphalt oder Asphaltmischgut zu reparieren. Da ein einschichtiger Belag nicht genügt um grössere Unebenheiten auszugleichen, sind Stufenbildungen durch Fräsen der Plattenrandzonen zu korrigieren und grössere Unebenheiten mit Asphaltmischgut auszugleichen.

Fugenbehandlung:

Vorgängig des Belagsüberzuges ist die Fugenabdichtung zu kontrollieren; fehlender Fugenverguss ist zu ergänzen sowie offene, dilatierende Risse zu schliessen (Verguss).

Zur Riss- und Fugenüberbrückung aber auch zum Schutz des Betonbelages vor eintretendem (Salz-) Wasser empfiehlt es sich, eine SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) aufzubringen.

Als einschichtige Belagsüberzüge sind folgende Spezialbeläge anzuwenden:

- Splittmastixasphalt SMA 11
- Asphaltbeton AB 11 S
- Rauasphalt MR 11
- Drainasphalt DRA

Wie Erhebungen im Rahmen einer Forschungsarbeit [5] ergeben, liegt die zu erwartende Gebrauchsdauer von Instandsetzungsmassnahmen (Instandsetzungsintervall) selbst auf schwer belasteten Autobahnen bei 20 – 25 Jahren.

4.3.6 Teilweise Belagserneuerung

Bei mittleren bis schweren Belagsschäden (Kantenschäden, Ablätterungen, Abplatzungen, Schwindrissen) auf Brückenbelägen im Verbund mit der Fahrbahnplatte kann die Instandsetzung dadurch erfolgen, dass der oberste Bereich des Betonbelages abgefräst und durch einen neuen Betonbelag ersetzt wird. Die Gebrauchsdauer solcher Instandsetzungsmassnahmen beträgt 20 – 25 Jahre.

4.3.7 Verstärkungsmassnahmen

Eine Verstärkung des bestehenden Betonbelags ist erforderlich,

- wenn der Betonbelag schwere strukturelle Schäden (Stufenbildung, dilatierende Risse und zahlreiche zerstörte Platten) aufweist und die Instandsetzung durch einen einschichtigen Belagsüberzug nicht genügt, um ein gutes Langzeitverhalten zu gewährleisten;
- wenn der Betonbelag unterdimensioniert ist und die Tragfähigkeit an die massgebenden Verkehrslasten und die gewünschte Gebrauchsdauer angepasst werden muss.

Als Massnahmen eignen sich je nach Schadensausmass und –schwere die Verstärkung im Hocheinbau mit Asphaltbelag auf nicht entspanntem oder auf entspanntem Beton.

Erfahrungen zeigen, dass Verstärkungsmassnahmen wie sie hier anschliessend beschrieben werden, eine Verlängerung der Gebrauchsdauer von 20 – 25 Jahren bringen.

Dimensionierung

Nach der Dimensionierungsnorm SN 640 324 wird bei einer Tragfähigkeitsdimensionierung auf Grund der Verkehrslastklassen T_i und der an Sondierungen ermittelten Tragfähigkeitsklasse S der erforderliche Strukturwert SN_{erf} bestimmt.

Für die Oberbauverstärkung im Hocheinbau mit Asphaltbelag gilt die Gleichung:

$$SN_{ver} = SN_{erf} - SN_{vorh} \quad (2)$$

wobei

- SN_{ver} Strukturwert der Verstärkungsschicht
- SN_{erf} Erforderlicher Strukturwert für eine Gebrauchsdauer von mindestens 20 Jahren in Funktion von Verkehrslastklasse T_i und Tragfähigkeitsklasse S_i .
- SN_{vorh} Strukturwert des vorhandenen Oberbaus

Vorgehen:

Zuerst ist der erforderliche Strukturwert SN_{erf} in Funktion der Verkehrslastklasse T_i und der Tragfähigkeitsklasse S_i der unmittelbar unter dem Betonbelag liegenden Fundationsschicht zu bestimmen. Anschliessend ist die Tragfähigkeit des bestehenden bzw. des entspannten Betonbelages in Funktion der Schadenbildung mit Hilfe der in Tabelle 9 angegebenen a_2 -Werten zu bewerten.

Die Dicke der Verstärkungsschicht D_{ver} ergibt sich aus Gleichung (3):

$$D_{\text{ver}} = \frac{SN_{\text{erf}} - SN_{\text{Beton}}}{4,0} \quad (3)$$

Schadenbildung (Strukturelle Schäden)	a_2 -Wert
Betonbelag stabil und rissfrei, kein Pumpen	6,5
Betonbelag stabil, vereinzelt Stufenbildung, einzelne Risse, kein Pumpen	5,2
Leichte bis mittlere Stufenbildung, leichte Rissbildung, einzelne zerstörte Platten	4,0
Schwere Stufen- und Rissbildung, zahlreiche zerstörte Platten, vermehrt Pumpen	3,0
Schwere Stufen- und Rissbildung, zahlreiche zerstörte Platten, Setzungen/Hebungen, Pumpen	2,2
Entspannter Betonbelag	2,0

Tabelle 9: Tragfähigkeitswerte (a_2 -Werte) des bestehenden Betonbelages in Funktion der Schadenbildung bezogen auf den Basiswert Kiessand rund $a = 1,0$ (Asphaltbelag $a_1 = 4,0$)

Verstärkung im Hocheinbau mit Asphaltbelag

In der Regel werden für den zwei- oder mehrschichtigen Belag Asphaltbeton-Trag- und Deckschichten gemäss Norm SN 640 431 verwendet. Um das Risiko des Auftretens von Reflexionsrissen zu verringern, empfiehlt es sich, eine SAMI vorzusehen.

Belagsschäden sind vor der Verstärkungsmassnahme zu reparieren, dilatierende Risse sind zu vergiessen und pumpende und/oder zerstörte Platten müssen ersetzt werden. Unebenheiten und Stufenbildungen hingegen können mit dem zweischichtigen Belag ausgeglichen werden.

Eine nachträgliche Ausbildung der Querfugen im Asphaltbelag ist erforderlich, wenn Horizontalbewegungen in den Querfugen zu erwarten sind.

Eine SAMI ist bei Fehlen von Rissen nicht erforderlich, als Haftvermittler genügt ein Voranstrich mit einem bituminösen Bindemittel.

4.3.8 Oberbauerneuerung

Wenn der Betonbelag schwere strukturelle Schäden aufweist und / oder unterdimensioniert ist und eine Oberbauverstärkung im Hocheinbau nicht in Frage kommt, ist eine Erneuerung durch teilweise oder partielle Oberbauerneuerung erforderlich.

Teilweise Oberbauerneuerung

Bei einer teilweisen Oberbauerneuerung wird der vorhandene Betonbelag und nötigenfalls ein Teil der Fundationsschicht entfernt und durch einen neuen Betonbelag oder durch einen Asphaltbelag ersetzt. Wenn die bestehende Kiessandfundationsschicht zu wenig tragfähig ist oder aus ungeeignetem (z.B. frostempfindlichem) Material besteht, kann der vorhandene Kiessand durch eine Stabilisierung im Ortsmischverfahren verbessert werden.

Für die Dimensionierung gilt die Norm SN 640 324 „Dimensionierung Strassenoberbau“.

Partielle Oberbauerneuerung

Die partielle Oberbauerneuerung stellt eine kombinierte Lösung mit teilweiser Oberbauerneuerung in den stark geschädigten Bereichen und einen Belagsüberzug auf ganzer Fläche dar:

- Wo der Betonbelag stabil ist und höchstens leichte Rissbildung und vereinzelt Stufenbildung ohne Pumpen aufweist, kann er direkt mit einem Spezialbelag von 35 – 40 mm Dicke überzogen werden.
- Wo der bestehende Betonbelag mittlere bis schwere strukturelle Schäden aufweist, muss der Betonbelag abgebrochen und erneuert werden, bevor der Belagsüberzug erstellt werden kann.

Wie das Beispiel der untersuchten Erneuerungsvarianten einer vierstreifigen Autobahn zeigt, erweist sich die partielle Oberbauerneuerung mit Betonbelag und Belagsüberzug insbesondere dann als zweckmässig, wenn der Überholstreifen durchwegs in gutem Zustand ist und sich die strukturellen Schäden auf einzelne zusammenhängende Teilabschnitte des Normalfahrstreifens beschränken.

4.3.9 Beispiel Belagserneuerung A2 Uri [15]

Tabelle 10 zeigt die Charakteristik der einzelnen Fahrstreifen der untersuchten A2.

Fahrstreifen	Überholstreifen	Normalfahrstreifen	
Längen	26250 m = 100 %	19970 m = 76 %	6280 m = 24 %
Längsebenheit Mittelwert S_w	2.140 ‰	2.327 ‰	2.590 ‰
Struktureller Zustand	gut	mittel bis gut	kritisch
Schadenbild	Leichte Kantenschäden, einzelne Flickstellen, vereinzelt leichte Stufenbildung, Betonbelag stabil	Leichte Kantenschäden, örtlich zahlreiche Flickstellen, leichte Stufenbildung, vereinzelt Pumpen, Betonbelag dank Unterpressen im allgemeinen stabil	Leichte Kantenschäden, zahlreiche Flickstellen, starke Stufenbildung, pumpende und schlagende Platten, einzelne dilatierende Risse, spürbare Unebenheiten
Tragfähigkeitswert a_2 des bestehenden Betonbelags	5,2	4,6	2,2
Erforderliche Sanierungs- massnahmen	Belagsüberzug 4 cm zur Verbesserung der Längsebenheit		Verstärkung im Hoch-einbau 14 cm

Tabelle 10: Charakteristiken der einzelnen Fahrstreifen

Anfänglich wurden drei Varianten zur Instandsetzung der A2 vorgeschlagen. Sie sind in Abbildung 4 dargestellt.

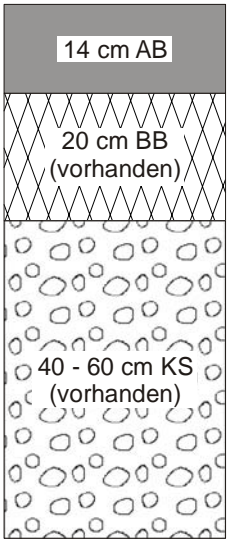
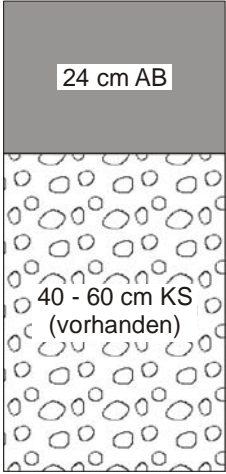
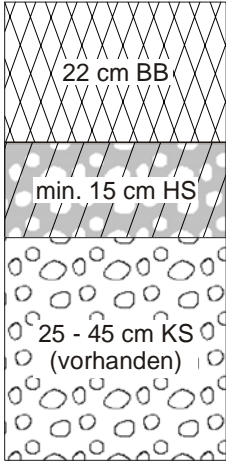
Variante 1: Oberbauverstärkung im Hocheinbau	Variante 2: Teilw. Oberbauerneuerung mit Asphaltbelag	Variante 3: Teilw. Oberbauerneuerung mit Betonbelag
		
AB Asphaltbelag BB Betonbelag		KS Kiessand rund HS Hydraulische Stabilisierung

Abbildung 4: Aufbau der ursprünglich vorgeschlagenen Varianten zur Fahrbahnerneuerung

Der Kostenvergleich der untersuchten Erneuerungsvarianten zeigte, dass die Variante 4, Kombination partieller Plattenersatz und Belagsüberzug (Abbildung 5), nur etwa halb so viel kostet, wie eine vollständige Erneuerung des Betonbelages und nur zwei Drittel einer Verstärkung im Hocheinbau mit 14 cm Asphaltbelag.

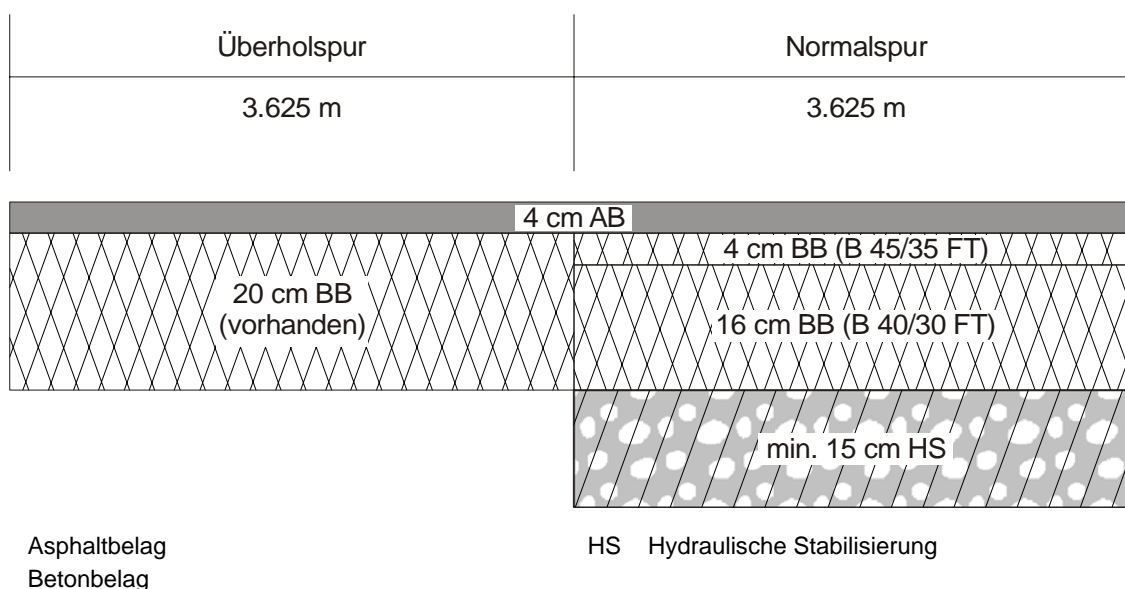


Abbildung 5: Aufbau Variante 4 – Partielle Oberbauerneuerung mit Betonbelag und Belagsüberzug

Kriterien	Gewicht	Variante 1: Oberbauverstärkung im Hocheinbau		Variante 2: Teilw. Oberbauerneuerung mit Asphaltbelag		Variante 3: Teilw. Oberbauerneuerung mit Betonbelag		Variante 4: Partielle Oberbauerneuerung mit Betonbelag und Belagsüberzug	
		Punkte	G·P	Punkte	G·P	Punkte	G·P	Punkte	G·P
Erneuerungskosten	0.35	6.8	2.38	5.1	1.78	5.3	1.86	10.0	3.50
Aktualisierte Erhaltungskosten während einer Betrachtungsdauer von 30 Jahren	0.15	6.6	0.99	6.6	0.99	10.0	1.50	9.6	1.44
Bauzeit Erneuerung	0.15	10.0	1.50	6.0	0.90	5.0	0.75	7.5	1.12
Bauzeit Erhaltungsmassnahmen	0.10	5.0	0.50	5.0	0.50	5.7	0.57	10.0	1.00
Ausführung in Phasen möglich?	0.10	10.0	1.00	6.0	0.60	6.0	0.60	10.0	1.00
Umweltbelastung (Transporte; Lärm)	0.10	10.0	1.00	7.0	0.70	5.0	0.50	8.0	0.80
Risiken bei erhöhter Verkehrsbelastung	0.05	4.0	0.20	4.0	0.20	10.0	0.50	8.0	0.40
Total	1.00		7.57		5.67		6.28		9.26

Tabelle 11: Matrix zur Bewertung der Erneuerungsvarianten „Betonbelag Uri“

4.4 Massnahmen- und Strategieplanung

4.4.1 Kriterien für den Vergleich alternativer Massnahmen und Strategien

Im Modul C, Kap. 5, werden die Kriterien für die optimale Wahl der Oberbauvarianten bei Neu-Dimensionierungen von Fahrbahnen erläutert. Für Erneuerungen gilt ein analoges Vorgehen.

Erhaltungsstrategien, über einen bestimmten Zeitraum betrachtet, umfassen:

- den Zeitpunkt der Durchführung einer baulichen Massnahme
- die Arten der innerhalb dieses Zeitraums zur Ausführung kommenden baulichen Massnahmen
- die zeitliche Abfolge der vorgesehenen Massnahmen (Zeitintervall zwischen den Massnahmen)

Ausgangspunkt für die Entwicklung von Erhaltungsstrategien unter Einbezug von alternativen baulichen Massnahmen bildet der aktuelle Zustand und das Schadenbild einer Fahrbahn. Die erwarteten Zustandsänderungen einer baulichen Massnahme über eine bestimmte Betrachtungsdauer basieren auf Verhaltensprognosen, wie sie im Rahmen von schweizerischen Forschungsarbeiten entwickelt [5] [15] und praktisch überprüft [10] [14] worden sind.

Bauliche Massnahmen

Die Wahl der bautechnischen Massnahme d.h. des Bauverfahrens, ist abhängig von:

- Grösse/Ausmass der Erneuerungsarbeiten
- Verfügbarkeit von Spezialmaschinen und Mischgut-Produktionszentren
- Vorhandenen baulichen Randbedingungen, z.B. Randanschlüsse, Entwässerungssysteme, Einmündungen innerorts/ausserorts etc.
- Verkehrserschwerungen während der Erneuerung oder bei später notwendigen Interventionen

Zeitpunkt

Sofortmassnahmen sind erforderlich, wenn die Verkehrssicherheit nicht mehr gewährleistet ist, z.B. bei ungenügender Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche oder bei Belagsverformungen, welche zu Aquaplaning führen. Sie sind auch angezeigt wenn bei einem weiteren Zuwarten ein unzulässig grosser Substanzverlust befürchtet werden muss.

In allen anderen Fällen ist dann grossflächig zu erneuern, wenn ein bestimmter Zustandswert (Schwellenwert), der eine Erneuerung erforderlich macht, erreicht oder unterschritten wird. Der Schwellenwert hängt vom Strassentyp und von der Funktion der Verkehrsfläche ab.

Kosten

Wenn die finanziellen Mittel für die Erhaltung einer Strasse zu einem gegebenen Zeitpunkt beschränkt oder nicht verfügbar sind, muss man den Zeitpunkt für die Durchführung einer hochwertigen Langzeitmassnahme hinausschieben und sich bis dahin mit Reparaturen und Kurzzeitmassnahmen begnügen. Die Auswirkungen einer solchen Strategie können für einen Betrachtungszeitraum von z.B. 30 Jahren quantitativ und qualitativ verfolgt werden.

Lebensdauer

Hochwertige Massnahmen bedingen grundsätzlich höhere initiale Kosten zum Zeitpunkt der Erneuerung, gewährleisten jedoch eine längere Gebrauchsdauer mit einem Minimum an Zwischeninterventionen. Sie sollten zur Ausführung kommen, wenn die finanziellen Mittel vorhanden sind und wenn möglichst lange Erneuerungsintervalle ohne Zwischeninterventionen angestrebt werden. Mit kurzzeitigen Erhaltungsmassnahmen verteilen sich die Kosten eher, es werden aber Interventionen in geringeren Zeitabständen nötig.

4.4.2 Strategiemodelle

Der zeitliche Verlauf der Verhaltenskurve hängt vom Oberbautyp, von der Dimensionierung der Strasse und von der Beanspruchung durch Verkehr und Klima ab.

Erfahrungen haben gezeigt, dass sich die Schadensentwicklung in zwei Phasen einteilen lässt:

- 1. Phase: Auftreten des Schadens
- 2. Phase: Ausbreitung des Schadens

Verschiedene Forschungsarbeiten haben sich die Aufgabe gesetzt, empirisch bestimmte Annahmen für die Zustandsänderungen in der Praxis mittels Objektanalysen zu überprüfen [10] [14] [17]. Die Ergebnisse zeigen, dass das Gebrauchsverhalten stark abhängig ist vom Gesamtaufbau des Strassenkörpers. So scheinen auf Betonbelägen und Zementstabilisierungen aufgebaute Asphaltbeläge weniger anfällig auf Verformungen zu sein als Asphaltbeläge auf Kiessand, sie neigen aber eher zu Rissbildungen.

In den nachstehend aufgeführten Beispielen wird für bestimmte bauliche Massnahmen jeweils eine zugehörige Gebrauchsdauer angenommen, was anhand der Kosten einen Massnahmen- und Strategievergleich zulässt. Für die Kostenvergleiche alternativer Massnahmen wird eine Betrachtungsdauer von 30 Jahren gewählt.

Ein Musterformular für die Gegenüberstellung von alternativen Massnahmen resp. Strategien wird im Anhang gezeigt.

Eine langfristige Zustandsprognose über 20 oder 30 Jahre ist mit Unsicherheiten behaftet, sind die zukünftigen Verkehrsbeanspruchungen und Randbedingungen doch nur ansatzweise abzuschätzen. Sie ist dennoch sinnvoll, weil sie Aussagen gestattet über die gesamten Erhaltungskosten während dieses Betrachtungszeitraumes. Gleichzeitig zeigt sie auf, wie sich alternative und zeitlich verschoben ausgeführte Massnahmen auswirken.

Im Übrigen kann davon ausgegangen werden, dass beim Vergleich alternativer Massnahmen tendenziell alle Varianten gleichermaßen von allfälligen Fehlbeurteilungen der zukünftigen Beanspruchung betroffen wären.

4.4.3 Kostenvergleich

Die gesamtwirtschaftlichen Kosten setzen sich zusammen aus Erstellungs-, Betriebs- und Erhaltungskosten (Strassenbaulastträgerkosten) und den Kosten der Verkehrsteilnehmer. Für die Vergleiche in diesem Kapitel werden nur die dem Strasseneigentümer während des Betrachtungszeitraums anfallenden Kosten für Erhaltungsmassnahmen betrachtet.

Für den Vergleich alternativer Erhaltungsstrategien sind die während des Betrachtungszeitraums anfallenden Reparatur-, Instandsetzungs- und Verstärkungskosten zu aktualisieren, d.h. auf den Anfangszeitpunkt abzuzinsen. Die Wahl des „wirtschaftlich richtigen“ Zinsfusses ist nicht unumstritten und es existieren verschiedene Theorien zur Ermittlung der zu berücksichtigenden Diskontrate. In Anlehnung an deutsche Richtlinien [18] wurde in den nachstehenden Beispielen ein Kalkulationszinsfuss von $p = 3$ Prozent gewählt.

Hinsichtlich der Kostensteigerungen ist angenommen worden, dass die jährliche Teuerung der baulichen Massnahmen der Zunahme des Bruttozialprodukt-Indexes entspricht [19].

Die Durchführung der letzten Erhaltungsmassnahme fällt nicht immer mit dem Ende des Betrachtungszeitraumes zusammen. Für den Vergleich alternativer Strategien muss deshalb der Wertverlust der letzten Massnahme am Ende des Betrachtungszeitraumes quantifiziert werden. Zur Berechnung dieses Wertverlustes werden die Kosten für die letzte Erhaltungsmassnahme anteilmässig, linear über die vorausgesetzte Gebrauchsdauer, abgeschrieben. Werden bei der letzten Erhaltungsmassnahme mehrere Belagsschichten eingebaut und erneuert, sind für die Berechnung des Wertverlustes nur jene Schichten zu berücksichtigen, die nach dem vorausgesetzten Erhaltungsintervall erneuert werden müssen.

In den nachstehenden Beispielen umfassen die Gesamtkosten die tatsächlichen Kosten für Reparatur- und Erhaltungsmassnahmen während des Betrachtungszeitraumes, sowie die Kosten einer fiktiven Ersatzmassnahme am Ende des Betrachtungszeitraumes in der Höhe des Wertverlustes der letzten Intervention.

Bei einem Zinsfuss von 3 % und einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren errechnen sich die aktualisierte Gesamtkosten wie folgt:

$$AG_{30} = \sum R_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum V_t \times 1.03^{-(t-1)} + W_{30} \times 1.03^{-29}$$

wobei

AG_{30}	Aktualisierte Gesamtkosten während des Betrachtungszeitraumes
R_t	Kosten der Reparaturmassnahmen im Jahr t
I_t	Kosten der Instandsetzungsmassnahmen im Jahr t
V_t	Kosten der Verstärkungsmassnahmen im Jahr t
W_{30}	Wertverlust der letzten Erhaltungsmassnahme am Ende des Betrachtungszeitraumes

Die den nachstehenden Beispielen zu Grunde gelegten Baukosten basieren auf Richtpreisen, die für normale Verhältnisse im schweizerischen Mittelland gelten. Da diese Kosten infolge von regionalen und wirtschaftlichen Schwankungen und auch teuerungsbedingt stark variieren können, müssen sie für konkrete Objekte und für Budgetplanungen individuell ermittelt werden.

Beispiel 1: Verstärkung einer Kantonsstrasse (siehe Tabelle 12)

Schadenbild: Eine konventionell aufgebaute Asphaltstrasse, Verkehrslastklasse T3, mit 10 cm Belag auf einer Kiessandfundationsschicht von 40 cm Dicke weist strukturelle Schäden auf, welche auf ungenügende Tragfähigkeit des Oberbaus unter der gegebenen Beanspruchung hinweisen.

Problem: Infolge der fortgeschrittenen Zerstörung der Asphaltsschicht ist längeres Zuwarten nicht mehr angezeigt, der Oberbau muss umgehend verstärkt werden. Infolge der Randbedingungen der Strasse muss die Nivellette beibehalten werden, d.h. ein Hocheinbau kommt nicht in Frage.

Lösung: Es werden die beiden Verstärkungsvarianten verglichen:

Massnahme 1 / O (O = optimaler Eingreifzeitpunkt)

- ↳ Jahr 1: Fräsen/Abbruch des Asphaltbelags, Abtrag eines Teils der Fundationsschicht, Einbau von zwei Asphaltsschichten (Trag- und Deckschicht) höhengleich wie bisherige Strasse.
- ↳ Jahr 26: Belagsüberzug

Massnahme 2 / O (O = optimaler Eingreifzeitpunkt)

- ↳ Jahr 1: Fräsen/Abbruch des Asphaltbelags, Stabilisierung eines Teils der Fundationsschicht in place mit hydraulischem Bindemittel, Brechsotterplanie, Neueinbau Asphaltbelag
- ↳ Jahr 22: Belagsüberzug

Beurteilung: Beide Varianten basieren auf einem Vorgehen zum optimalen Zeitpunkt.

Die Kostenberechnung mit vorgängiger Dimensionierung der erforderlichen Schichtdicken zeigt, dass beide Varianten ähnliche initiale Kosten sowie auch Gesamtkosten (über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren) verursachen. Bei der etwas teureren Lösung mit verstärktem Asphaltüberbau ist eine etwas längere Zeitspanne bis zur nächsten Intervention zu erwarten. Entscheidend für die Wahl der Massnahme werden sein: Grösse des Strassenabschnittes, Verfügbarkeit von Spezialmaschinen (Stabilisierung), Umweltschutz (weniger Abfuhr/Transport von Material (Stabilisierung), zur Verfügung stehende finanzielle Mittel.

MODUL D – Erhaltung bestehender Strassen

Schadenbild:	Unebenheiten infolge Setzungen und Verdrückungen, ev. Frosthebungen, Netzkrisse, ev.klaffende Einzelrisse > ungenügende Tragfähigkeit des Oberbaus					
Voraussetzungen:	Aufbau: 10 cm Asphaltbelag auf 40 cm Kiessandfundationsschicht					
Strassentyp:	Kantonsstrasse					
Verkehrsbelastung:	Verkehrslastklasse: T3	Beanspruchung: normal				
Variante / Eingreifzeitpunkt		1 / O		2 / O		
Erhaltungsmassnahmen	Jahr	Massn.	Fr./m ²	Massn.	Fr./m ²	
Variante 1: Teilweiser Ersatz Kiessand durch Asphaltfundationsschicht - im 1. Jahr: V ₁ : Abtrag 10 cm Asphaltbelag und 12 cm Kiessandfundationsschicht, Abfuhr, Nachverdichtung und neue Planie, Neueinbau 12 cm ABF und 10 cm Asphaltbelag - im 26. Jahr: I ₁ : Belagsüberzug 30 mm AB 11 Variante 2: Stabilisierung Kiessand mit hydraulischem Bindemittel (in place) - im 1. Jahr: V ₂ : Abbruch 10 cm Asphaltbelag, Abfuhr, Stabilisierung der Kiessandfundationsschicht in place mit hydraul. Bindemittel 18 cm tief, (z.B. Verfahren Coldmix), Brechschotterplanie, Neueinbau 10 cm Asphaltbelag - im 22. Jahr: I ₁ : Belagsüberzug 30 mm AB 11	1	V ₁	74.00	V ₂	67.00	
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					
	21					
	22				I ₁	8.60
	23					
	24					
	25					
	26		I ₁	7.60		
	27					
	28					
	29					
	30		W	1.50	W	3.40
Aktualisierte Gesamtkosten	AG ₃₀	83.10		79.00		
Bemerkungen:						
Eingreifzeitpunkt: O = Optimal AG30 = aktualisierte Gesamtkosten über Untersuchungszeitraum von 30 Jahren $AG30 = \sum V_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ W = Wertverlust Gebrauchsdauer I ₁ = 20 Jahre						

Tabelle 12: Kostenvergleich alternativer Massnahmen zur Verstärkung einer Kantonsstrasse

Beispiel 2: Spurrinnensanierung einer Nationalstrasse (siehe Tabelle 13)

Schadenbild: Belagsschäden auf beiden Fahrspuren der Autobahn infolge intensiver Verkehrsbeanspruchung, schwere Verformungen verursacht durch Schwerverkehr vorwiegend im Normalfahrstreifen, zum Teil bis in Tragschicht reichend. Die Dimensionierung des Oberbaus mit 22 cm Asphalt ist für die Verkehrslastklasse T5 normgerecht und ausreichend, die oberen Schichten sind jedoch gealtert und abgenutzt und müssen möglichst rasch ersetzt werden.

Problem: Infolge der starken Verformungen besteht ein Sicherheitsrisiko (Aquaplaning) im Normalfahrstreifen, weshalb dort eine Sofortmassnahme unumgänglich ist. Diese kann vermieden werden, wenn umgehend eine grossflächige, ohnehin bald anstehende, Gesamterneuerung ausgeführt wird.

Lösung: Es werden 3 Erneuerungs-Strategien untersucht:

Strategie 1 / O (O = optimaler Eingreifzeitpunkt)

- ↳ Jahr 1: Beide Fahrstreifen werden erneuert. Fräsen inkl. Abfuhr der geschädigten Asphaltsschichten 10 cm tief, Neueinbau Tragschicht und Deckschicht auf volle Breite.
- ↳ Jahr 21: Fräsen und neue Deckschicht auf volle Breite.

Strategie 2 / O (O = optimaler Eingreifzeitpunkt)

- ↳ Jahr 1: Beide Fahrstreifen werden erneuert, im Überholstreifen wird jedoch nur die Deckschicht ersetzt. Fräsen inkl. Abfuhr 10 cm tief im Normalfahrstreifen, 4 cm tief im Überholstreifen, Ersatz Tragschicht im Überholstreifen, Neueinbau Deckschicht auf volle Breite.
- ↳ Jahr 21: Fräsen und neue Deckschicht auf volle Breite.

Strategie 3 / V/S (V/S = verzögerter Eingreifzeitpunkt mit Sofortmassnahme)

- ↳ Jahr 1: Spurrinnensanierung im Normalfahrstreifen als Sofortmassnahme
- ↳ Jahr 6: Vorgehen wie Strategie 1/Jahr 1
- ↳ Jahr 26: Vorgehen wie Strategie 1/Jahr 21

Beurteilung: Je nach im Moment verfügbaren finanziellen Mitteln oder anderen, objektbedingten Randbedingungen wird entweder Strategie 1 oder 2, oder aber Strategie 3 ausgeführt. Bei den Strategien 1 und 2 ist vorteilhaft, dass innert des Betrachtungszeitraums lediglich zwei Interventionen nötig werden – im Gegensatz zur Strategie 3, wo es deren drei sind. Am wirtschaftlichsten erscheint die Strategie 2, sie ist allerdings nur realisierbar, wenn die Tragschicht im Überholstreifen nicht verformt ist und noch über längere Zeit belassen werden kann.

MODUL D – Erhaltung bestehender Strassen

Schadenbild:	Normalfahrstreifen: Schwere Spurrinnenbildung Überholstreifen: Belagsschäden (Materialverluste und wilde Risse)							
Voraussetzungen:	Im Normalfahrstreifen Verformungen auch in der HMT Aufbau: 22 cm Asphaltbelag auf Kiessandfundationsschicht							
Strasstyp:	HLS 4-spurige Autobahn							
Verkehrsbelastung:	Verkehrslastklasse: T5							
	Fahrbahnbreite: 8.00 m Beanspruchung: normal							
Strategie / Eingreifzeitpunkt	1 / O 2 / O 3 / V / S							
Erhaltungsmassnahmen	Jahr Massn. Fr./m ² Massn. Fr./m ² Massn. Fr./m ²							
Strategie 1: - im 1. Jahr: I ₁ : Fräsen beide Fahrstreifen 100 mm / Belagsersatz HMT 22 S/H 60 mm + AB 11 S/H 40 mm - im 21. Jahr: I ₂ : Fräsen beide Fahrstreifen 40 mm / Belagsersatz AB 11 S/H 40 mm Strategie 2: - im 1. Jahr: I ₃ : Fräsen Normalfahrstreifen 100 mm, Überholstreifen 40 mm / Belagsersatz HMT 22 S/H 60 mm auf Normalfahrstreifen und AB 11 S/H 40 mm beide Fahrstreifen - im 21. Jahr: I ₂ : analog Strategie 1 Strategie 3: - im 1. Jahr: R ₁ : Spurrinnensanierung Normalfahrstreifen (50 % Fl.) - im 6. Jahr: I ₁ : analog Strategie 1 im 1. Jahr - im 26. Jahr: I ₂ : analog Strategien ½ im 21. Jahr	1	I ₁	48.00	I ₃	29.00	R ₁	4.50	
	2							
	3							
	4							
	5							
	6						I ₁	41.40
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
	13							
	14							
	15							
	16							
	17							
	18							
	19							
	20							
	21		I ₂	13.80	I ₂	13.80		
	22							
	23							
	24							
	25							
	26						I ₂	11.90
	27							
	28							
	29							
	30		W	6.20	W	6.20	W	2.40
Aktualisierte Gesamtkosten	AG ₃₀	68.00		49.00		60.20		
Bemerkungen:								
Varianten Deckschicht: AB 11 S/H (mit PmB) / SMA 11 / MR 11								
Strategie 2/O nur realistisch, wenn Tragschicht in Überholstreifen nicht verformt.								
Eingreifzeitpunkt: O = Optimal / S = Sofortmassnahme / V = Verzögert								
AG ₃₀ = aktualisierte Gesamtkosten über Untersuchungszeitraum von 30 Jahren								
AG ₃₀ = $\sum R_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ W = Wertverlust Gebrauchsdauer I ₂ = 20 Jahre								

Tabelle 13: Kostenvergleich alternativer Strategien zur Spurrinnensanierung einer Autobahn

Beispiel 3: Erhaltung einer Betonstrasse (siehe Tabelle 14)

Schadenbild: Die Betonfahrbahn weist leichte bis mittlere Schäden an der Oberfläche und an den Kanten auf, vereinzelt kommen auch Stufenbildungen vor. Die Schäden sind typisch für einen ca. 20 Jahre alten Betonbelag der zweiten Generation. Die Belagsdicke ist mit 18 cm für die vorhandene Beanspruchung (Verkehrslastklasse T4) ausreichend und normgerecht.

Problem: In den nächsten Jahren drängen sich aus Sicherheits- und Komfortgründen Massnahmen auf. Lokale Reparaturen am Betonbelag sind möglich und können eine grossflächige Massnahme hinausschieben, sie erfordern aber viel Handarbeit und sind dadurch zeitaufwendig und kostspielig. Zudem stören sie den Verkehrsablauf.

Längerfristig wirksame Massnahmen sind erwünscht. Ein Kostenvergleich beider Strategien über die Betrachtungsdauer von 30 Jahren soll zeigen, welche Massnahme langfristig wirtschaftlicher ist.

Lösung:

Strategie 1 / O (O = optimaler Eingreifzeitpunkt)

- ↳ Jahr 5: Asphalt-Belagsüberzug 40 mm, auf SAMI zur Vermeidung eines baldigen Durchschlagens der Fugen im Betonbelag
- ↳ Jahr 25: Teilweises Abfräsen des Asphaltbelages und neuer Belagsüberzug 40 mm

Strategie 2 / V (V = verzögerter Eingreifzeitpunkt)

- ↳ Jahr 4: Lokale Reparatur von Oberflächen- und Kantenschäden
- ↳ Jahr 10: Lokale Reparaturen und vereinzelt Anheben von Platten, Erneuern von Fugendichtungen
- ↳ Jahr 15: Lokale Reparaturen und Ersatz einzelner Platten
- ↳ Jahr 20: Teilweise Oberbauerneuerung durch vollständigen Abbruch des Betonbelages und Neuaufbau mit Asphaltbelag 180 mm auf vorhandene Fundationsschicht

Beurteilung: Mit dem Eingreifen zum optimalen Zeitpunkt, d.h. bevor der Betonbelag allzu stark geschädigt ist, gelingt es die Fahrbahn durch relativ einfache und kostengünstige Instandsetzungsmassnahmen zu sanieren und in annehmbarem Zustand zu erhalten. Das Hinausschieben grossflächiger Massnahmen hat umständliche und teure Reparaturarbeiten zur Folge und bedingt in nicht allzu ferner Zeit eine Gesamterneuerung. Obwohl sich die Fahrbahn während längerer Zeit in minderwertigem Zustand mit geringem Fahrkomfort befindet resultieren hohe Gesamtkosten.

MODUL D – Erhaltung bestehender Strassen

Schadenbild:	Leichte bis mittlere Oberflächenschäden (Kantenschäden, Abplatzungen, Ablätterungen) und vereinzelte Stufenbildung				
Voraussetzungen:	Betonbelag der 2. Generation auf Kiesfundationsschicht, Plattenlänge 6 m, Dicke 18 cm, Alter 20 Jahre				
Strasse:	Kantonsstrasse innerorts	Fahrbahnbreite: 7.00 m			
Verkehrsbelastung:	Verkehrslastklasse: T4	Beanspruchung: normal			
Strategie / Eingreifzeitpunkt *		1 / O		2 / V	
Erforderliche Massnahmen	Jahr	Massn.	Fr./m ²	Massn.	Fr./m ²
Strategie 1: - im 5. Jahr: I ₁ : Belagsüberzug SMA 11, 40 mm mit Geovlies (SAMI) - im 25. Jahr: I ₂ : Anfräsen des Belages 10 - 20 mm, Belagsüberzug SMA 11, 40 mm Strategie 2: - im 4. Jahr: R ₁ : Reparatur von Oberflächen- und Kantenschäden - im 10. Jahr: R ₂ : Reparatur von Oberflächen- und Kantenschäden, Rissanisierungen, Ausgleich von Stufenbildungen und Heben von Platten, Erneuerung von Fugendichtungen - im 15. Jahr: R ₃ : wie R ₂ , plus Ersatz einzelner Platten - im 20. Jahr: V ₁ ** = Teilweise Oberbauerneuerung: Abbrechen des best. Betonbelages, Neukonstruktion mit Asphaltbetonbelag, Dicke 180 mm	1				
	2				
	3				
	4			R ₁	1.10
	5	I ₁	24.00		
	6				
	7				
	8				
	9				
	10			R ₂	6.80
	11				
	12				
	13				
	14				
	15			R ₃	8.00
	16				
	17				
	18				
	19				
	20			V ₁	42.00
	21				
	22				
	23				
	24				
	25	I ₂	13.30		
	26				
	27				
	28				
	29				
	30	W	2.90	W	5.80
Aktualisierte Gesamtkosten	AG ₃₀	40.20		63.70	
Bemerkungen: ** Verstärkung im Hocheinbau nicht möglich wegen zu teuren Anpassungsarbeiten Eingreifzeitpunkt: O = Optimal / S = Sofortmassnahme / V = Verzögert AG30 = aktualisierte Gesamtkosten über Untersuchungszeitraum von 30 Jahren $AG30 = \sum R_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ W = Wertverlust					

Tabelle 14: Kostenvergleich alternativer Erhaltungsstrategien einer Betonstrasse

4.4.4 Bewertung von Erneuerungsverfahren

Die dargestellten Beispiele zeigen, dass für eine umfassende Massnahmen- und Strategieplanung neben den Kosten noch andere Aspekte zu berücksichtigen sind. Es wird in diesem Zusammenhang auch auf Modul C, Kap. 5.2 verwiesen.

Je nach Lage und Nutzung des Objektes kommt diesen Kriterien mehr oder weniger Gewicht zu. Es sind dies:

Bautechnische Kriterien

Verfügbarkeit/Einsatzbarkeit von maschinellen Einrichtungen, Geräten und Baumaterialien, sowie von Know how der ausführenden Unternehmungen, Realisierung von verkehrsbedingt erforderlichen Bauphasen (Los- und Etappengrössen), Sicherstellung der Bauqualität (z.B. bei Nachtarbeit oder generell bei Mehrschichtbetrieb)

Verkehrsbedingte Kriterien

Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft und Leistungsfähigkeit der Strasse während Bauzeit, Vermeidung von volkswirtschaftlichen Nutzerkosten infolge Wartezeiten im Stau oder bei Verkehrsumleitungen, Massnahmen zur Verkürzung der Bauzeit resp. Verlängerung der Erhaltungsintervalle

Sicherheitsbedingte Kriterien

Minimierung der Unfallrisiken für Bau- und Betriebspersonal sowie für Verkehrsteilnehmer während Bauzeit und unmittelbar nach Vollendung der Arbeiten (z.B. Vermeidung von Splittwurf), Vermeidung von Unfallgefahren bei Nachtarbeit

Umweltschutz-relevante Kriterien

Minimierung der Umweltbelastung infolge Lärm, Abgasen oder Erschütterungen während Bauzeit, Vermeidung von An- und Abtransport von Baumaterialien (Recycling-Bauverfahren), Schonung von Rohstoffen

Die nicht umfassend aufgezählten Kriterien sind zum Teil miteinander verknüpft, resp. voneinander abhängig. So bringt eine Verkürzung der Bauzeit unter Einbezug von Nachtarbeit verkehrsmässig bedingte Vorteile (weniger Staustunden), aber sicherheitsmässig und bautechnisch bedingte Nachteile mit sich (höhere Unfallgefahr, Risiken der Bauqualität).

Für den kostenmässigen Vergleich alternativer Massnahmen und –strategien für einen konkreten Strassenabschnitt unter Einbezug der vorgenannten Kriterien empfiehlt es sich, die einzelnen Varianten zu bewerten (Punktesystem 1 bis 10) und die vorgenannten Kriterien objektbezogen zu gewichten (Gesamtgewicht aller Kriterien = 1,0).

Je nach Bewertung der einzelnen Kriterien können sich abweichende ‚Bestnoten‘ ergeben, welche vor allem bei grossflächig ausgeführten Recycling-Verfahren für die Wahl der Massnahme ausschlaggebend sein können.

In Abbildung 2 sind für die Verstärkung einer Strasse durch Teilweise Oberbauerneuerung drei verschiedene Bauverfahren erläutert worden. Diese unterscheiden sich hinsichtlich Rohstoffhaushalt und Transportmengen ganz erheblich, wie in Tabelle 15 an Hand desselben Beispiels mit einer Material- und Transportbilanz gezeigt werden kann: Bei beiden Stabilisierungs-Varianten reduzieren sich sowohl der Verbrauch an neuen Rohstoffen wie die Materialtransporte gegenüber der Variante mit Asphaltfundationsschicht um ca. 40 – 50 %. Dies spricht, wo einsetzbar und unabhängig von den Baukosten, aus Gründen des Umwelt- und Ressourcenschutzes für die Recycling-Verfahren.

Varianten	1. Ersatz Kiessand durch Asphalt-fundationsschichten	2. Stabilisierung mit bituminösem Bindemittel	3. Stabilisierung mit hydraulischem Bindemittel
Gewinnung von Material zur Wiederverwertung:			
- Asphaltgranulat	240 t	240 t	240 t
- Kiessand	<u>180 t</u>	<u>-----</u>	<u>-----</u>
- Total Materialgewinnung	420 t	240 t	240 t
Bedarf an Mineralstoffen	500 t	230 t	230 t
Davon Asphaltgranulat	<u>220 t</u>	<u>70 t</u>	<u>70 t</u>
Neue Mineralstoffe	280 t	160 t	160 t
Transportmengen:			
- Abfuhr zur Aufbereitung	420 t	240 t	240 t
- Zufuhr von Mischgut	<u>530 t</u>	<u>240 t</u>	<u>240 t</u>
- Total Transporte	950 t	480 t	480 t

Mengen in Tonnen je 1000 m² Erneuerung

Tabelle 15: Material- und Transportbilanz der Erneuerungsvarianten gem. Abbildung 2

5 Literaturverzeichnis

- [1] SN 640 324 Dimensionierung; Strassenoberbau
- [2] SN 640 733 Erhaltung von Fahrbahnen; Oberbauverstärkung von Fahrbahnen in bituminöser Bauweise aufgrund von Deflektionsmessungen
- [3] SN 640 736 Erhaltung von Betonbelägen; Instandsetzung und Verstärkung
- [4] SN 640 925 Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF); Zustandserhebung und Indexbewertung
- [5] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, M. Blumer und E. Stahel: Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell Asphaltstrassen, Forschungsarbeiten 15/93 im Auftrag des EVED; Februar 1996, Bericht 357
- [6] SN 640 520 Ebenheit; Prüfung der Geometrie
- [7] EMPA, Ch. Raab und Dr. M. Partl, Anwendung der Thermographiemessung im Strassenbau, Bitumen 2/1996
- [8] SN 640 431 Asphaltmischgut – Asphaltbeton; Mischgutanforderungen
- [9] M. Keller, R. Werner: Betonstrassenpraxis - Der Weg zum dauerhaften Beton, Holcim Fachpublikation, 2004
- [10] Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT, ETHZ, I. Scazziga: Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte, Forschungsarbeit 29/81 auf Antrag der VSS; Januar 1996, Bericht 365
- [11] H. Reuter, Tiefbauamt des Kantons Zürich: Tragfähigkeitswert a gealterter bituminöser Beläge, Strasse und Verkehr Nr. 10, Oktober 1998
- [12] R. Hirt, Forstliches Ingenieurwesen ETHZ: Verstärkung von Strassen, Technik des Recycling-in-place, Schweizer Baublatt Nr. 54, Juli 1996
- [13] SN 640 430 Walzasphalt; Konzeption, Ausführung, Anforderungen an die eingebauten Beläge
- [14] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, E. Stahel, M. Blumer: Langzeitverhalten von erneuerten Fahrbahnbelägen, Forschungsarbeit 10/97 auf Antrag der VSS; Juli 1999, Bericht 435
- [15] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, M. Blumer, E. Stahel; TFB, R. Werner: Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen- und Strategiemodell Betonstrassen, Forschungsarbeiten 13/96 auf Antrag der VSS, März 1999, Bericht 434
- [16] M. Blumer: SMI Schweiz.Mischgut-Industrie, Heft Strassenbau und Strassenerhaltung mit Asphaltmischgut, 1989
- [17] M. Kronig und B. Kuhn: Untersuchung von Risses Schäden an Asphaltbetonbelägen im Kanton Zürich, Strasse und Verkehr Nr. 10, Oktober 1990
- [18] Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Richtlinien für die Anlage von Strassen (RAL), Teil Wirtschaftsuntersuchungen, Köln, 1986
- [19] A. Schmuck: Strassenerhaltung mit System, Grundlagen des Managements, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1987

Anhang

Strasse:		Strasstyp:			Bezug:		
Abschnitt von:		Verkehrslastklasse:			Länge: m		
Teilabschnitt von:		bis:			Länge: m		
Fahrbahn:		Fahstreifen:					
Datum Erfassung:				Inspektor:			
Fahrbahnschäden	Schadenschwere			Schadenausmass			Bemerkungen
	Leicht	Mittel	schwer	<10%	10..50%	>50%	
	S1	S2	S3	A1	A2	A3	
Belagsschäden							
Polieren							
Schwitzen							
Abrieb							
Ausmagerung, Absanden							
Kornausbrüche							
Ablösungen							
Schlaglöcher							
Offene Nähte							
Wilde Risse							
Reflektionsrisse							
Belagsverformungen							
Spurrinnen							
Aufwölbungen							
Wellblechverformung							
Schubverformung							
Strukturelle Schäden							
Setzungen, Einsenkungen							
Abgedrückte Ränder							
Netzrisse							
Frosthebungen							
Frostrisse							
Entwässerungsschäden							
Fahrbahmentwässerung							
Seitliche Drainage							
Schadenbeschreibung:							
Erforderliche messtechnische Zustandserfassung:							

MODUL D – Erhaltung bestehender Strassen

Schadenbild:								
Voraussetzungen:								
Strassentyp:				Fahrbahnbreite: m				
Verkehrsbelastung:		Verkehrslastklasse:		Beanspruchung:				
Strategie / Eingreifzeitpunkt		/		/		/		
Erhaltungsmassnahmen	Jahr	Massn.	Fr./m ²	Massn.	Fr./m ²	Massn.	Fr./m ²	
Strategie 1:	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	Strategie 2:	7						
		8						
		9						
		10						
	Strategie 3:	11						
		12						
		13						
		14						
		15						
		16						
		17						
		18						
		19						
		20						
		21						
		22						
		23						
		24						
		25						
		26						
		27						
		28						
		29						
		30		W		W		W
Aktualisierte Gesamtkosten	AG ₃₀							
Bemerkungen:								
<p>Eingreifzeitpunkt: O = Optimal / S = Sofortmassnahme / V = Verzögert AG₃₀ = aktualisierte Gesamtkosten über Untersuchungszeitraum von 30 Jahren $AG_{30} = \sum R_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ W = Wertverlust</p>								

Vergleich alternativer Massnahmen / Strategien (Musterformular)

MODUL E: Schichten

Inhaltsverzeichnis

1	SCHICHTEN DES STRASSEN OberBAUS.....	91
1.1	<i>Definitionen und Funktionen der Oberbauschichten.....</i>	92
1.2	<i>Schichtfunktionen</i>	93
1.2.1	Deckschichten	93
1.2.2	Tragschicht.....	93
1.2.3	Fundationsschichten.....	94
1.3	<i>Strukturelles Tragverhalten.....</i>	95
1.4	<i>Schichtenverbund</i>	95
1.5	<i>Kontrolle.....</i>	95
1.6	<i>Anforderungen.....</i>	95
2	ASPHALTBETONBELÄGE: BESTIMMEN DER BELAGSSCHICHTEN	95
2.1	<i>Vorgehen</i>	96
2.2	<i>Beispiel.....</i>	96
3	LITERATURVERZEICHNIS.....	97

1 Schichten des Strassenoberbaus

Der Strassenoberbau besteht aus mehreren Schichten, die je nach ihrer funktionellen Bedeutung unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen haben. Letztere richten sich nach dem Konzept der Bauweise, welche dem Strassenoberbau zu Grunde gelegt wird, d.h. ob es sich um eine flexible (Asphaltbelag), eine starre (Betonfahrbahnbelag), oder eine kombinierte Bauweise (Kombination aus Asphalt und Beton) handelt (Abbildung 1).

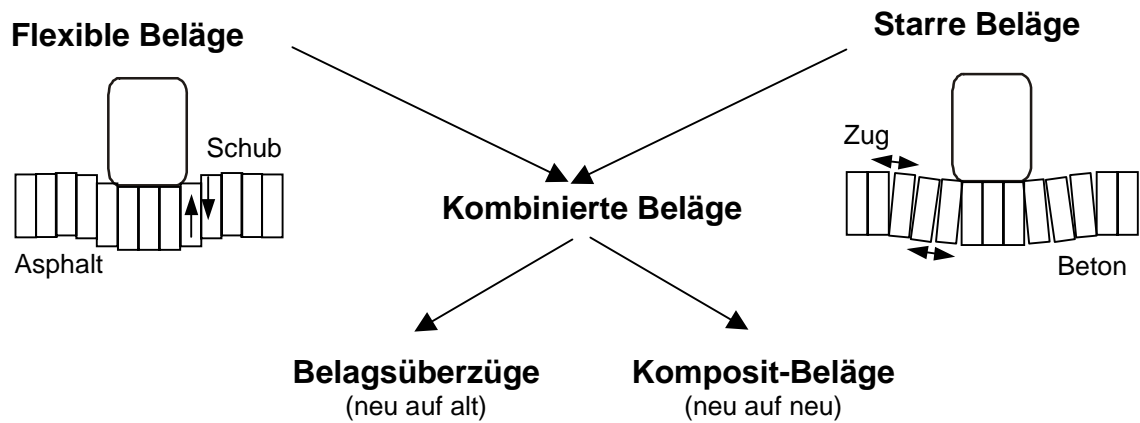


Abbildung 1: Bauweisen

Die Vorteile der reinen Asphaltbauweise liegen vor allem in der einfachen Instandsetzung, der leichten Recyclierbarkeit und raschen Befahrbarkeit nach dem Einbau, während die Nachteile vor allem bei der Temperaturabhängigkeit und bleibenden Verformbarkeit des Materials, den optischen Eigenschaften und der Dauerhaftigkeit zu suchen sind. Nachteilig sind auch die arbeitshygienischen Unannehmlichkeiten sowie der Energieverbrauch beim Heisseinbau.

Die Vorteile der reinen Betonbauweise liegen vor allem in der hohen Dauerhaftigkeit, Tragfähigkeit, den guten optischen Eigenschaften, der Temperaturunabhängigkeit (inkl. Hitzebeständigkeit) und dem Kalteinbau während die Nachteile bei aufwändiger Instandsetzung und Recyclierbarkeit sowie dem Riss-, Lärm- und Polierverhalten liegen.

Mit den kombinierten Belägen wird versucht, die Vorteile beider Materialien optimal zu nutzen und insbesondere die hohe Dauerhaftigkeit und Festigkeit sowie geringere Baudicke des durchgehend bewehrten Betons mit der Möglichkeit einer einfacheren Erneuerung von Asphaltdeckschichten (quasi als Verschleissenteil) zu kombinieren.

Im Folgenden wird bezüglich der Schichten nur auf den Strassenoberbau mit Asphaltbelag eingegangen. Für starre Beläge kann auf die Fachpublikation „Betonstrassenpraxis - Der Weg zum dauerhaften Beton“ [1] zurückgegriffen werden.

1.1 Definitionen und Funktionen der Oberbauschichten

Die Definitionen stammen aus den Normen SN 640 302 [2], SN 640 430 [3] und SN 640 450 [4]. Abbildung 2 zeigt den typischen Schichtaufbau eines Strassenkörpers.

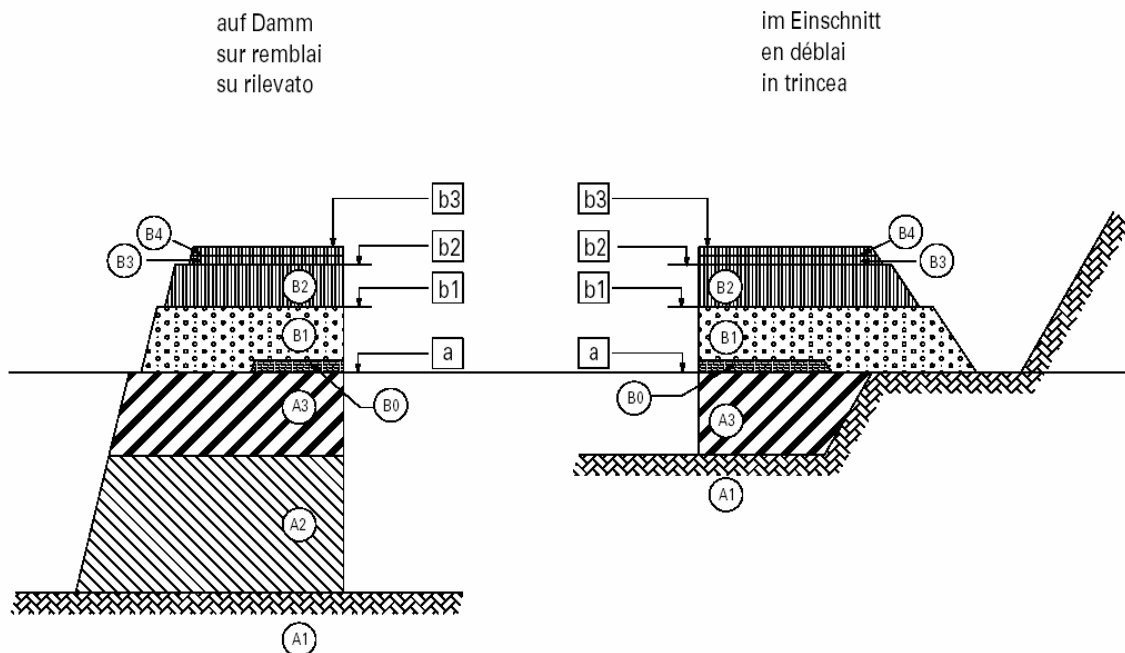


Abbildung 2: Schnitt eines Strassenoberbaus

Deckschicht: Bitumenhaltige Schicht, die in direktem Kontakt mit den Fahrzeugreifen steht

Binderschicht: Schicht der Decke, welche zwischen Deckschicht und Tragschicht liegt und die beiden verbindet

Tragschicht: Schicht unter der Decke, welche zur Lastverteilung bestimmt ist

Fundationsschicht: Schicht unter der Tragschicht, welche die Last auf dem Unterbau verteilt

Übergangsschicht: Sammelbegriff, für Schichten mit Trenn-, Drainage-, Schutz- und Ausgleichsfunktion, usw., die auf dem Untergrund liegen

Zwischenschichten liegen zwischen den Schichten und können als Rissbremse, Schutz, Abdichtung, Haftschrift, Trennschicht etc. wirken. Beispiele sind:

- Stress Absorbing Membrane Interlayer (SAMI, gegen Reflektionsrisse)
- Vlies (Rissüberbrückung)
- Gittereinlagen (Rissarmierung)
- Baustellen OB (Temporärer Schutz)
- Trennschicht bei Brückenbelägen (Verhindert die Verbindung zwischen Brückenplatte und Abdichtung)

Besonderheiten

Tragdeckschichten kommen bei einschichtigen Belägen vor und übernehmen sowohl die Funktion der Trag- wie auch der Deck- und Binderschicht

Sickerschichten sind hohlraumreiche Belagsschichten, die grosse Wasserdurchlässigkeit aufweisen und ein Abfließen von Sickerwasser durch die Schicht hindurch ermöglichen. Sie bilden eine Übergangsschicht

Schutzschicht: Einlagig auf die Abdichtung eingebaute Schicht eines bitumenhaltigen Brückenbelags. Sie schützt vor direkter mechanischer Einwirkung und bildet eine Übergangsschicht

Ausgleichsschicht: Bituminöse Belagsschicht zur Herstellung einer ebenen und profilgerechten Oberfläche zwischen Schutzschicht und Deckschicht. Sie bildet eine Übergangsschicht

Funktionswechsel

Schichten können ihre Funktion wechseln. Beispielsweise kann eine Deckschicht infolge Oberbauverstärkung oder durch Aufbringen einer Oberflächenbehandlung OB zur Binderschicht werden. Unterhalb von Markierungen wird die Deckschicht lokal zur Binder- bzw. Tragschicht.

1.2 Schichtfunktionen

Entsprechend Ihrer Lage im System, haben die Schichten verschiedene Funktionen zu übernehmen (Tabelle 1) und einen dauerhaften Widerstand gegenüber verschiedenen Schadensrisiken aufzuweisen (Modul D), insbesondere gegenüber:

Bleibenden Deformationen (Spurrinnen und Schiebungen):

- Abrieb und Verschleiss der Deckschichten (Materialverlust)
- Plastische Verformungen in der Schicht

Vertikale Verformungen durch mangelnde Tragfähigkeit des Bodens (Rissbildung):

- Thermische Ermüdungsrisse
- Mechanische Ermüdungsrisse
- Reflexionsrisse verursacht durch bestehende Risse in tieferliegenden Belagsschichten

1.2.1 Deckschichten

Die Hauptaufgaben von Deckschichten beziehen sich hauptsächlich auf die Verkehrssicherheit (z.B. Griffbarkeit, optisch Eigenschaften), auf Schutzfunktionen der unteren Schichten (z.B. gegen eindringendes Wasser, Temperatureinwirkung, mechanischen Verschleiss und Abrieb, etc.), sowie auf umweltrelevante Funktionen (Lärminderung).

Sie müssen mit qualitativ hochstehenden mechanisch äusserst widerstandsfähigen polier- und frostresistenten Mineralstoffen mit guter Makro- bzw. Mikrorauigkeit aufgebaut sein und mit einem Bindemittel verbunden werden, welches möglichst weich und alterungsbeständig ist und eine möglichst geringe Temperaturabhängigkeit seiner Eigenschaften aufweist.

1.2.2 Tragschicht

Tragschichten dienen hauptsächlich der flächigen Lastverteilung. Entsprechend sind vor allem die mechanischen Ermüdungseigenschaften sowie die Widerstandsfähigkeit gegen plastische Verformungen massgebend. Je nach Oberbau müssen die Tragschichten auch eine gute Resistenz gegenüber Reflexionsrissen und Frosteinwirkung aufweisen.

1.2.3 Fundationsschichten

Fundationsschichten gelten zu den am wenigsten beanspruchten Schichten. Trotzdem kommt den Fundationsschichten bezüglich Dauerhaftigkeit, und Widerstand gegenüber bleibenden Deformationen und Frost insofern eine besonders hohe Bedeutung zu, als ein Versagen gerade dieser Schichten stets mit extrem hohen Kosten verbunden ist [9].

Schicht		Deckschicht	Tragschicht	Fundationsschicht
Funktion		Verkehrssicherheit, Fahrkomfort; Lärminderung, Lastverteilung, Schutz unterer Schichten vor eindringendem Wasser (Ausnahme offenporiger Asphalt), Übertragung von Horizontalschub (Bremskräften) auf tieferliegende Schicht	Tragfunktion, Lastverteilung	Lastübertragung auf Untergrund, Unebenheitsausgleich
Oberflächeneigenschaften		Verkehrssicherheit und Fahrkomfort: Griffigkeit, Ebenheit, Optische Eigenschaften, Spray; Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff (Frost-Tausalz), Abrieb und Verschleiss		
Schadensrisiken	Risse	Abkühlrisse		
		Thermische Ermüdung		
		Oberflächenrisse induziert durch Verkehr	Reflexionsrisse	
	Bleibende Deformationen	Spurrinnen infolge plastischer Verformungen in der Schicht. Sukzessive Änderung der Schichtdicke		Spurrinnen infolge ungenügender Tragfähigkeit des Unterbaus
	Wasserschädigung	Wasserresistenz	Frost	
Typische Materialcharakteristika		Geschlossenes dichtes Mischgut (Ausnahme offenporiger Asphalt), möglichst weiches Bitumen, Polymerbitumen, polier- und frostresistente Mineralstoffe, Makro- und Mikrotextur für optimale Griffigkeit	Geschlossenes dichtes Mischgut, etwas härteres Bindemittel, leicht erhöhter Bindemittelgehalt (Ermüdung), Polymerbitumen, grob abgestufte Korngrößenverteilung	Halb geschlossenes Mischgut, etwas härteres Bindemittel, geringerer Bindemittelgehalt, grob abgestufte Korngrößenverteilung, grosses Maximalkorn.

Tabelle 1: Schichtfunktionen

1.3 Strukturelles Tragverhalten

Das strukturelle Tragverhalten von Asphaltbelägen wird beeinflusst durch die Beanspruchung aus Verkehr und Klima, durch den Aufbau des Belages, sowie die Eigenschaften der Mischung der einzelnen Schicht. Für das Tragverhalten im System massgebend ist zudem der Schichtenverbund zwischen den einzelnen Schichten, sowie die Steifigkeit und das Sorptionsverhalten des Unterbaus (insbesondere hinsichtlich Frost).

Je nach Belagsstärke sind für das strukturelle Tragverhalten unterschiedliche Mechanismen massgebend:

- Bei dünnen Belägen auf flexibler Unterlage ist für das Tragverhalten vor allem die Grösse der Durchbiegung massgebend, da solche Beläge vor allem als Biegebalken wirken. Für solche Beläge wird daher verformungs- bzw. dehnungsgesteuertes Tragverhalten als massgebend angenommen.
- Bei dicken Belägen auf relativ starrer Unterlage ist weniger das Biegeverhalten, sondern eher die Standfestigkeit bzw. der Widerstand gegen Materialverdrängung respektive Materialverschiebung massgebend. Für solche Beläge wird daher last- bzw. spannungsgesteuertes Tragverhalten als massgebend angenommen.

1.4 Schichtenverbund

Ein guter Schichtenverbund ist äusserst wichtig, um vorzeitige Schadensbildung, speziell Rissbildung durch Ermüdungsbruch, zu verhindern [11] [12] [13].

Es ist daher zu empfehlen, zwischen den Belagsschichten einen Haftvermittler aufzutragen, dessen Qualität und Dosierung auf diejenigen Einflussfaktoren abgestimmt wird, welche den Schichtverbund beeinflussen können. Unter diesen Faktoren finden sich:

- Die Oberflächeneigenschaften derjenigen Schicht, auf der eine andere aufgebracht wird (Verschmutzungen, Fehlstellen, gefräste Stellen, Haftvermittler)
- Die Baustoffkombination (Mischgut/Mischgut, Mischgut/Beton)
- Der Einbau von Zwischenschichten (SAMI, Geomembran)
- Die örtlichen Bedingungen der Strasse (Neigung, Kurven)
- Die Beanspruchung (Verkehr, Klima)

1.5 Kontrolle

Für die Kontrolle des Schichtenverbundes kommt das in der Norm SN 671 961 [5] beschriebene Verfahren zur Anwendung.

1.6 Anforderungen

Zurzeit sind in der Schweiz die Anforderungen bezüglich des Schichtverbunds noch nicht normiert. Einstweilen kann die Norm SN 641 601-1 [6] konsultiert werden.

2 Asphaltbetonbeläge: Bestimmen der Belagsschichten

Nach der Auswahl eines Oberbautyps auf Projektebene einer Strasse (siehe Modul C), sowie nach der Berechnung der Belagsdicken bei Verstärkungs- oder Erneuerungsprojekten, müssen die einzubauenden Belagsschichten bestimmt werden. Ihre Anzahl hängt von der gewählten Mischgutsorte und des Mischguttyps ab. Diese Wahl wird sowohl aufgrund der Beanspruchung getätigt, als auch anhand der einzubauenden Schichtdicken (neu oder als Verstärkung).

2.1 Vorgehen

Zuerst wird der anzuwendende Mischgutttyp mit Hilfe der Tabellen 2 und 3 der Norm SN 640 431 [7] bestimmt. Dieser hängt vom Verkehr, den klimatischen und anderen speziellen Bedingungen ab.

Anschliessend wird die Mischgutsorte der Deckschicht anhand der topologischen und anderen speziellen Bedingungen bestimmt (Modul F).

Für die Tragschichten werden bei starker Verkehrsbelastung grössere Korngrössen bevorzugt, da diese grundsätzlich eine höhere Spurrinnenfestigkeit bewirken als feinere Granulate.

Zum Schluss werden die Dicken der Belags- bzw. Verstärkungsschicht, die der Norm entsprechenden Schichtdicken, sowie die Anzahl der Schichten aufeinander abgestimmt. Falls nötig, wird der Grösstkorndurchmesser der einen oder anderen Schicht angepasst.

2.2 Beispiel

Neu zu bauende Strasse, Oberbautyp 1, Verkehrslastklasse T5, Hauptstrasse ausserorts, durchschnittliche Steigungen und Kurven, Höhe zwischen 500 und 700 m.ü.M.

Gemäss Norm SN 640 324 [8] muss die Schichtdicke für Oberbautyp 1 und Verkehrslastklasse T5 22 cm betragen.

Gemäss der oben beschriebenen örtlichen Bedingungen kommen folgende Mischgutsorten für die Deckschicht in Frage (Tabelle des Moduls F):

- AB 11
- MR, aber mit kleinem Grösstkorndurchmesser (MR 6, ev. 11)

Für die Tragschichten wird ein HMT 22 S ausgewählt.

Wenn nun für die Deckschicht ein AB 11 S gewählt wird, sind die von der Norm SN 640 431 vorgeschriebenen maximalen und minimalen Schichtdicken folgende:

Mischgut	Min (cm)	Max (cm)	Gesamtdicke		Wahl
			Min (cm)	Max (cm)	
AB 11 S	3.5	5.0	3.5	5.0	4
HMT 22 S	6.5	10.0	10.0	15.0	9
HMT 22 S	6.5	10.0	16.5	25.0	9
				Total:	22 cm

Tabelle 2 : maximale und minimale Schichtdicken gemäss Norm SN 640 431

3 Literaturverzeichnis

- [1] M. Keller, R. Werner: Betonstrassenpraxis - Der Weg zum dauerhaften Beton, Holcim Fachpublikation, 2004
- [2] SN 640 302 Strasse und Gleiskörper; Terminologie
- [3] SN 640 430 Walzasphalt; Konzeption, Ausführung, Anforderungen an die eingebauten Beläge
- [4] SN 640 450 Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken – Systemaufbauten, Anforderungen, Ausführung
- [5] SN 671 961 Bituminöses Mischgut; Bestimmung des Schichtverbunds (nach Leutner)
- [6] SN 641 601-1 Prüfplan für bitumenhaltige Schichten (Bituminöser Belag)
- [7] SN 640 431 Asphaltmischgut – Asphaltbeton; Mischgutanforderungen
- [8] SN 640 324 Dimensionierung; Strassenoberbau
- [9] M.N. Partl, H.W. Fritz: Heissmischfundationsschichten HMF. Erläuterungen und Stellungnahme zur neuen SN 640 452c. Strasse und Verkehr, Nr. 2, Februar, pp 68-72, 1999
- [10] C. Raab, M.N. Partl: Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen. ASTRA-Projekt FA 12/94, Bericht Nr. 442, 1999
- [11] U. Stöckert: Schichtenverbund – Prüfung und Bewertungshintergrund, Strasse + Autobahn, 11/2001
- [12] C. Raab: *Schichtenverbund von Asphaltbelägen. Normung der Prüfung.* Strasse und Verkehr, Nr. 6, Juni, pp 225-234, 2000
- [13] C. Raab, M.N. Partl: *Besondere Aspekte des Schichtenverbundes von Belägen,* Strasse und Verkehr, Nr. 4, April, pp 141-145, 2002

MODUL F: Baustoffe

Inhaltsverzeichnis

1	BAUSTOFFE	101
1.1	<i>Baustoffe Unterbau / Foundation</i>	101
1.1.1	Kiessand	101
1.1.2	Die stabilisierten Baustoffe	101
1.2	<i>Die normierten bitumenhaltigen Belagsbaustoffe</i>	102
1.2.1	Asphaltbeton mit kontinuierlicher Sieblinie (AB/HMT)	102
1.2.2	Asphaltbeton mit diskontinuierlicher Sieblinie (SMA)	102
1.2.3	Rauasphaltbeton (MR)	102
1.2.4	Drainasphaltbeton (DRA)	103
1.3	<i>Zu normierende bitumenhaltige Heissmischgute</i>	103
1.3.1	Hochmodulmischgut (EME)	103
1.3.2	Dünnschichtasphalt (BBUM/DSA)	104
1.3.3	Hot Rolled Asphalt (HRA)	104
1.4	<i>Neuartige Baustoffe</i>	104
1.5	<i>Bitumenhaltige Kaltmischgute</i>	104
1.5.1	Dünnschichtasphalt in Kaltbauweise DSA	104
1.5.2	Dichter Kaltbelag	105
2	ANWENDUNGSGEBIET	105
2.1	<i>Die Oberflächenbehandlung</i>	108
2.2	<i>Die Zwischenmembran (SAMI)</i>	109
2.2.1	Bitumenhaltiger Sand	109
2.2.2	Bitumenhaltige Splittmembran	109
2.2.3	Bitumenhaltige Kaltmischmembran	109
2.2.4	Imprägnierte Geotextilien	109
2.2.5	Gespritzte Fasern	109
2.2.6	Faserbelag	109
3	LITERATURVERZEICHNIS	110

1 Baustoffe

1.1 Baustoffe Unterbau / Foundation

1.1.1 Kiessand

Die Norm SN 670 120 [1] regelt die Anforderungen für Kiessand. Man unterscheidet zwei verschiedene Arten:

- Kiessand I besteht aus gebrochenem natürlichen oder gemäss Norm SN 640 740 [2] wiederverwertetem Kies. Die Kornverteilung ist dabei sehr eng. Da ein natürlicher Kies diese Anforderung nicht erfüllen kann, ist der Kiessand I kein Primärprodukt. Wenn die Zusammensetzung die Anforderungen erfüllt, sind keine weiteren Qualitätsuntersuchungen nötig. Man unterscheidet den runden Kiessand I aus Schwemmmaterial vom gebrochenen Kiessand I aus Bruchgestein. Der rezyklierte Kiessand I muss dieselben Anforderungen erfüllen wie der natürliche Kiessand I.
- Kiessand II besteht aus natürlichen oder gemäss Norm SN 640 740 wiederverwerteten Materialien. Die mögliche Kornverteilung ist breiter als diejenige des Kiessands I. Zusätzliche Untersuchungen sind nötig für den Nachweis, dass die Anforderungen erfüllt werden. Wie beim Kiessand I unterscheidet man den runden vom gebrochenen Kiessand.

Materialwahl

Unter Berücksichtigung des Tragfähigkeitswerts a gemäss Modul C für die Berechnung der nötigen Schichtdicke (1.0 für runden Kiessand I und gebrochenen Kiessand II, 1.2 für runden Kiessand II und 0.8 für gebrochenen Kiessand I) bieten die verschiedenen Kiessand-Typen die gleichen Voraussetzung bezüglich Verhaltensentwicklung des Strassenkörpers über seine gesamte Lebensdauer. Die Wahl erfolgt also nach wirtschaftlichen Kriterien, wobei die Transportdistanz der Baustoffe eine entscheidende Rolle spielt.

1.1.2 Die stabilisierten Baustoffe

Baustoffe, welche die Anforderungen eines Kiessands I nicht erfüllen, können behandelt werden, um ihre Eigenschaften und Performance zu verbessern. Folgende Behandlungen werden unterschieden:

- Die Behandlung mit *Zement oder anderen hydraulischen Bindemitteln* erlaubt eine dauerhafte Verbesserung der ursprünglichen Materialeigenschaften. Sie kann bei wenig oder nicht plastischen Baustoffen angewendet werden, deren natürlicher Wasseranteil so hoch ist, dass dies keine qualitativ angemessene Aufschüttung zulässt. Diese Behandlung wird vor allem angewendet, um eine rasche und dauerhafte Erhöhung der mechanischen Widerstandsfähigkeit und der Stabilität gegenüber Wasser- und Frosteinflüssen zu erhalten. Die mit hydraulischen Bindemitteln stabilisierten Baustoffe werden in der Norm SN 640 509 [3] behandelt.
- Die *Behandlung mit kalten bitumenhaltigen Bindemitteln* beschreibt die Norm SN 640 506 [4]. Die Kaltmischfundationsschicht (KMF) ist ein im Strassenbau verwendeter behandelter Kiessand und wird häufig für Fundations- und Tragschichten eingesetzt. Die Aufgabe dieser Schichten ist die Verteilung der Verkehrslast auf den Untergrund. Die bitumenhaltige Kaltbehandlung verbessert die Widerstandsfähigkeit und die Stabilität der eingebauten Schicht gegenüber der Verkehrslast und den klimatischen und hydraulischen Einflüssen. Sie erlaubt auch die Verwendung von Böden oder rezyklierten Baustoffen, die ohne Behandlung unbrauchbar wären. Zudem erhöht sie die Wasser- und Frostresistenz der Fundationsschicht, schützt die tiefer liegenden Schichten und bietet den Belägen einen einheitlichen und flachen Untergrund.

- Die *Behandlung mit warmen bitumenhaltigen Bindemitteln* wird hauptsächlich für Fundamentalschichten (HMF) und zur Verstärkung des Oberbaus verwendet. Die Behandlung ist in der Norm SN 640 452 [5] geregelt. Bei Baustellenzufahrten, Feld- und Waldwege kann die HMF als kombinierte Fundamentals- und Tragschicht dienen. Sie bietet eine dauerhafte Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber der Verkehrslast, sowie der klimatischen und hydraulischen Einflüssen.

Materialwahl

Die Materialwahl hängt bei den Stabilisierungen vom Oberbautyp ab. Zwischen den beiden bitumenhaltigen Stabilisierungsmöglichkeiten entscheiden wirtschaftliche Kriterien, wobei meistens die Transportdistanz der zur Verfügung stehenden Baustoffe ausschlaggebend ist.

1.2 Die normierten bitumenhaltigen Belagsbaustoffe

1.2.1 Asphaltbeton mit kontinuierlicher Sieblinie (AB/HMT)

Die Norm SN 640 431 [6] behandelt diese Art von Asphaltbeton.

Die Deckschichten werden gemeinhin als AB bezeichnet, die Tragschichten als HMT. Die verschiedenen Belagssorten werden durch die maximale Dimension des Grösstkorns bestimmt. Man unterscheidet vier Belagsarten, definiert durch die Belastung:

- L: für eine leichte Beanspruchung
- N: für eine normale Beanspruchung
- S: für eine schwere Beanspruchung
- H: für eine sehr schwere Beanspruchung (sehr hohe Verformungsfestigkeit)

Dies sind die normalerweise im Strassenbau benutzten Baustoffe.

1.2.2 Asphaltbeton mit diskontinuierlicher Sieblinie (SMA)

Die Norm SN 640 432 [7] behandelt den Splittmastixasphalt.

Splittmastixasphalt besteht aus Mineralstoffen mit diskontinuierlicher Sieblinie, bitumenhaltigem Bindemittel (ev. modifiziert) und stabilisierenden Zusatzstoffen. Seine Zusammensetzung muss die dauerhafte Bindung des Granulats durch das Bindemittel garantieren. Aus diesem Grund ist die Standfestigkeit von besonderer Wichtigkeit. Das Mischgut eignet sich für besonders stark beanspruchte Deckschichten. Die kornreiche Zusammensetzung führt zu einer rauen Oberflächenstruktur, welche sich vorteilhaft auf das Drainageverhalten auswirkt. Der Bindemittelgehalt ist höher als bei Asphaltbeton des Typs AB, was das Verhalten gegenüber klimatischen Einflüssen merklich verbessert.

Durch die grosse Rauheit bietet dieser Asphaltbeton den Pneus weniger Kontaktfläche als die klassischen Beläge. Man sollte ihn deshalb nicht an stark durch Horizontalschub beanspruchten Stellen einbauen, wie z.B. Kreisverkehrsanlagen, Bremszonen, engen Kurven, etc. Falls der Kraftschluss bloss mittelmässig mobilisiert wird, sollte eine kleinere Nenngrösse gewählt werden.

1.2.3 Rauasphaltbeton (MR)

Diese Art Asphaltbeton wird von der Norm SN 640 435 [8] behandelt.

Der Rauasphaltbeton besteht aus Mineralstoffen mit ungleichmässiger Korngrössenverteilung, bitumenhaltigem, meist polymermodifiziertem Bindemittel und eventuell speziellen Zusatzstoffen. Der hohe Kornanteil führt zu einem stabilen Korngerüst, dessen Poren teilweise mit Bitumenmastix gefüllt sind. Eine Deckschicht dieser Art ist offener als eine aus herkömmlichem Asphaltbeton AB.

Dank dem guten Korngerüst bietet eine Deckschicht aus Rauasphalt eine gute Festigkeit gegenüber Spurrinnenbildung. Aus diesem Grund wird er mit Vorliebe auf stark beanspruchten Verkehrsflächen eingebaut. Der Gebrauch eines polymermodifizierten Bindemittels führt sowohl zu einer starken Ermüdungsbeständigkeit, als auch zu einem grossen Risswiderstand bei tiefen Temperaturen.

Wie der Splittmastixasphalt bietet dieser Baustoff den Fahrzeugreifen eine geringere Kontaktfläche als die herkömmlichen Mischgute. Er sollte daher nicht dort eingebaut werden, wo grosses Haftvermögen erforderlich ist (Kreisverkehrsanlagen, Bremszonen, enge Kurven, etc.). Dort wo eine mittelmässige Haftung gefordert wird, sollte ein kleinerer Nenn Durchmesser der Körnung gewählt werden.

1.2.4 Drainasphaltbeton (DRA)

Der Drainasphaltbeton wird in der Norm SN 640 433a [9] behandelt.

Drainasphaltbeton besteht aus fast filler- und sandlosem Granulat mit einem hohen Porenanteil, aus bitumenhaltigem meist polymermodifiziertem Bindemittel, sowie speziellen Zusatzstoffen. Die hohe Porosität erlaubt das rasche Abfliessen des Abwassers ins Innere des Belags, was das Aquaplaningrisiko praktisch eliminiert, den Sprühnebel hinter den Fahrzeugen vermindert und das Blenden durch die Spiegelung der Scheinwerfer bei Regen verringert.

Bei Geschwindigkeiten über 60 km/h ist das Haftvermögen einer solchen Deckschicht vergleichbar mit jenem herkömmlicher Beläge.

Die Drainasphaltdeckschicht vermindert zudem in den ersten Betriebsjahren den Lärmpegel. Der positive Effekt verringert sich allerdings mit zunehmendem Alter durch die Verschmutzung der Poren. Dieser wirkt das vom Verkehr hervorgerufene Pumpen entgegen, besonders bei stark befahrenen Strecken.

Wegen ihrer speziellen Zusammensetzung ist die mechanische Abnutzung von Drainasphaltdeckschichten ungleich intensiver, was starken Materialverlust nach sich zieht (Scheuern, Kornzertrümmerung). Auf schmutzgefährdeten Strecken (Landstrassen), deren Höchstgeschwindigkeit unter 60 km/h liegt, sowie bei Flächen mit starker tangentialer Beanspruchung (Kreisverkehrsanlagen, kurvenreiche Strassen, etc.), sollte auf den Einbau dieses Mischguts verzichtet werden. Dasselbe gilt für Strassen, auf denen häufig Schneeketten zur Anwendung kommen.

Der Winterdienst muss auf Strassen aus diesem Mischgut, besonders wenn sie über 500 m Höhe liegen, angepasst werden, indem häufiger präventiv eingegriffen wird.

1.3 Zu normierende bitumenhaltige Heissmischgute

1.3.1 Hochmodulmischgut (EME)

Das Hochmodulmischgut EME wurde in Frankreich entwickelt und ist in der Schweiz auch unter der Bezeichnung BBHM bekannt. Bis dieses in der Schweizer Norm aufgenommen wird, kann für die Konzeption die französische Norm NF P98-140 zu Rate gezogen werden.

Hochmodulmischgut unterscheidet sich durch einen höheren E-Modul von den in der Schweiz normierten HMT S und HMT H. Die am meisten verwendeten Korngrössenverteilungen sind 0/16 und 0/22.

Die Anwendung von Hochmodulmischgut für Tragschichten muss mit besonderer Vorsicht angegangen werden: Bezüglich Haftvermittler, Fugen und Einbautemperatur müssen spezielle Vorkehrungen getroffen werden. Durch die höhere Viskosität des Bindemittels ist die Einbautemperatur höher als bei herkömmlichem Mischgut.

Hochmodulmischgut eignet sich vor allem für sehr stark beanspruchte Verkehrsflächen (T5, T6, Kriechspuren, Bushaltestellen, etc.), oder dort, wo die Schichtdicken begrenzt bleiben sollen (z.B. bei einer Belagsverstärkung im städtischen Gebiet).

1.3.2 Dünnschichtasphalt (BBUM/DSA)

Dünnschichtasphalt ist ein Mischgut bestehend aus einer Mischung von bitumenhaltigem polymermodifiziertem Bindemittel, und geeignetem Granulat. Die Korngrößenverteilung ist stark uneinheitlich, die mittlere Einbaudicke liegt im Bereich des Grösstkorndurchmessers. Dies führt zu einer Dosierung von etwa 28 bis 35 kg/m².

Dieser Asphaltbetontyp wird auf ebenen Flächen mit sehr wenigen Verformungen (höchstens 0.5 cm unter dem 4 m-Balken), einer geringen Spurrinnenempfindlichkeit und wenig Rissbildung verwendet. Bei grösseren Verformungen muss eine Planierung durchgeführt werden).

Der Anwendung eines Dünnschichtasphalts geht ein Voranstrich von mindestens 300 g/m² Bitumen, oder eine andere die Haftung fördernde Massnahme, voraus.

1.3.3 Hot Rolled Asphalt (HRA)

Hot Rolled Asphalt wird in Grossbritannien sehr häufig eingebaut. Dazu wird ein sehr hartes, abriebfestes und vorumhülltes Granulat des Typs 11/16 oder 16/22 hinter einem Einbaufertiger in ein mörtelreiches Mischgut eingewalzt.

Bei diesem Verfahren ist die Griffigkeit klar getrennt von den anderen Eigenschaften der Deckschicht, wie Stabilität und Undurchlässigkeit. Das Mischgut erlaubt einen Belagseinbau auf leicht befahrenen Strassen mit kleiner tangentialer Beanspruchung (kaum Kurven, geringe Steigungen, keine Bremszonen). Es können dazu örtliche Materialien verwendet werden, welche die Anforderungen, speziell bezüglich Polierwiderstand, für einen AB nicht unbedingt erfüllen.

Der Erfolg dieses im Grunde einfachen Verfahrens ist abhängig von der Einhaltung einer Minimaltemperatur des Mischguts vor dem Aufbringen des Splitts (ungefähr 135°C für einen B 50/70 und 140°C für einen B 35/50), sowie vom gleichmässigen Auftragen des Splitts.

1.4 Neuartige Baustoffe

Dauernd werden von verschiedenen Hersteller neue Baustoffe entwickelt, welche speziellen Anforderungen entsprechen.

Natürlich ist die mangelnde Erfahrung mit diesen neuartigen Baustoffen nicht ausser Acht zu lassen. Solche Baustoffe sollten aber vor allem dort angewendet werden, wo ihre Eigenschaften besonders zu tragen kommen. Sämtliche Schritte, von der Konzeption bis zum Einbau, müssen genau überprüft werden. Ausserdem sollte eine Langzeitbeobachtung zum Sammeln von Erfahrungen durchgeführt werden.

1.5 Bitumenhaltige Kaltmischgute

1.5.1 Dünnschichtasphalt in Kaltbauweise DSA

Die in den USA als Slurry Sealing entwickelte dünne Belagsschicht in Kaltbauweise stellt eine sehr wirtschaftliche Lösung für die Erhaltung und Wiederherstellung von gewissen, leicht befahrenen Strassenkörpern dar.

Es handelt sich dabei um einen bitumenhaltigen Mikrobeton von sehr geringer Dicke, welcher als flüssige Masse aufgetragen wird. Er besteht aus einer Mischung von Sand (eventuell feinem Splitt) und einer speziellen Bitumenemulsion. Wie der HRA kommt der Dünnschichtasphalt vor allem bei schwach beanspruchten Verkehrsflächen mit kleiner tangentialer Beanspruchung (kaum Kurven, geringe Steigungen, keine Bremszonen) zur Anwendung. Zudem wird dieser Baustoff häufig als Haftschrift verwendet, was im städtischen Bereich Fleckenbildung verhindert. Unter einem Drainasphalt dient der Dünnschichtasphalt als wasserdichte Schutzschicht der Tragschicht.

1.5.2 Dichter Kaltbelag

Wie der Name andeutet, wird dieser Belag kalt mit einer Bitumenemulsion gemischt. Das verwendete Granulat entspricht demjenigen der Heissgemische und enthält einen gewissen Sand- und Feinanteil. Auch das Anwendungsgebiet ist dasselbe wie bei den Heissmischguten, der Verdichtungsgrad muss aber mindestens 90 % betragen. Der Einbau wird mit den herkömmlichen Hilfsmitteln vorgenommen. Der Kalteinbau vermeidet das Problem des Energieverlusts.

Wegen der Anpassung dieses flexiblen Belags an die Gegebenheiten des Untergrunds wird der Kaltbelag für Strassen mit schwacher oder mittelmässiger Verkehrsbelastung benutzt. Speziell an Stellen, an denen tiefe Temperaturen zu erwarten sind, verhindert ihre Dehnbarkeit die für klassische Heissmischgute bekannten Schäden.

Zuletzt muss auch noch die Energieersparnis und die damit verbundene tiefere Umweltbelastung erwähnt werden, da das Mischgut nicht erhitzt werden muss.

2 Anwendungsgebiet

Selbstverständlich hat jeder Baustoff sein eigenes Anwendungsgebiet. Die physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften müssen der Beanspruchung angepasst werden, welcher der Strassenkörper ausgesetzt ist, um eine angemessene Lebensdauer zu garantieren. Eine schlechte Materialwahl führt zu einem höheren Schadensrisiko.

Die folgenden Tabellen 1 und 2 zeigen die Eigenschaften und Anwendungsgebiete der einzelnen Mischgute für verschiedene Beanspruchungsfälle. Die Beurteilung stützt sich auf die grundsätzlichen Eigenschaften, die man von einer normgerechten Anwendung des jeweiligen Baustoffs erwarten darf, sowie auf Beobachtungen aus der Praxis.

	Deckschicht								Tragschicht			Betondecke	
	Heisseinbau				Kalteinbau				Heisseinbau				
In der Schweiz normierte Mischgutgruppen	AB	AB	SMA	DRA	MR	---	---	---	---	HMT	---	---	
In der Schweiz nicht normierte Mischgutgruppen	---	---	---	---	---	BBUM / DSB	HRA	Dünn-schicht-asphalt ECF	Asphalt-beton	---	EME 1 (BBHM)	EME 2	
Bindemittel	Bit. pur	PmB	PmB	PmB	PmB	PmB	Bit. pur	Emulsion	Emulsion	Bit. pur	B 20/30	B 10/20	---
max. Grösstkorn [mm]	6/11/16	6/11/16	8/11	8/11	8/11	4/8	8/11/16	4/8/11	6/11/16	11/16/22	16/22	16/22	---
Sieblinie	kontin.	kontin.	diskontin.	diskontin.	diskontin.	diskontin.	kontin.	kontin.	kontin.	kontin.	kontin.	kontin.	---
Ermüdungsfestigkeit	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	++	++
Spurrinnenfestigkeit	+	++	+	++	++	++	-	O	O	+	++	+	++
Verschleissfestigkeit	+	+	+	O	+	+	++	+	+	.	.	.	+
Stempeldurchdrückfestigkeit	+	++	O	O	O	O	-	O	+	.	.	.	++
Thermische Rissbildung	O	+	++	+	+	+	++	+	+	.	.	.	O
Rauheit (Makrotextur)	O	O	++	.	++	++	+	+	O	.	.	.	O
Haftvermögen (Mikrotextur)	++	++	O	O	O	+	+	+	+	.	.	.	+
Wasserdurchlässigkeit	.	.	.	++	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Wasserundurchlässigkeit	+	+	++	.	O	-	++	+	O	O	O	+	++
Lärm	0	0	+	++	+	+	-	+	0	.	.	.	-

Tabelle 1: Zusammenfassung der Eigenschaften von Belägen

	Deckschicht									Tragschicht			Beton- decke	
	Heisseinbau						Kalteinbau			Heisseinbau				
	AB	AB	SMA	DRA	MR	---	---	---	---	HMT	---	---		
Normierte Mischgutgruppen	AB	AB	SMA	DRA	MR	---	---	---	---	HMT	---	---		
Nicht normierte Mischgutgruppen	---	---	---	---	---	BBUM / DSB	HRA	ECF	Asphalt- beton	---	EME 1 (BBHM)	EME 2		
Liant	Bit. pur	PmB	PmB	PmB	PmB	PmB	Bit. pur	Emulsion	Emulsion	Bit. pur	B 20/30	B 10/20	---	
Anwendungsbereich	Autobahn, Ebene	+	+ /+++	++	++	++	++	+	+	O	++	++	+	+
	Autobahn, Kriechspur, starker Schwerverkehr	O	+	+	O/+	+	+	-	O/+	O	O	++	O	+
	Autobahn, Steigung	+	+ /+++	+ /+++	+ /+++	+	+	-	O	O	+	++	+	+
	Autobahn, Steigung, Kriechspur, starker Schwerverkehr	O	+ /+++	O	O	O	O	-	-/O	-	O	++	O	++
	Autobahnanschlüsse	+	++	O/+	-	O/+	O/+	-	-	-	+	+	+	O/+
	Strasse, Ebene, ausserorts, nicht kurvenreich	+	+	+	O/+	+ /+++	+ /+++	+	+	+	+	+	+	+
	Strasse, Ebene, ausserorts, kurvenreich	+	++	O/+	O/+	O/+	O/+	-	O/+	O/+	+	+	+	O/+
	Strasse, Berggebiet, ausserorts, nicht kurvenreich	+	+	+	-	+ /+++	+ /+++	-	+	+	+	+	+	+
	Strasse, Berggebiet, ausserorts, kurvenreich	+	++	O/+	-	O/+	O	-	O/+	O/+	+	+	+	O/+
	Strasse, Ebene, städtisch	+	+	+	O/+	+ /+++	+ /+++	-	O/+	-	+	+ /+++	+ /+++	-
	Strasse, Berggebiet, städtisch	+	+	+	-	+ /+++	+ /+++	-	O/+	-	+	+ /+++	+ /+++	-
	Kreuzungen, Kreisverkehrsanlagen	+	++	-	-	-	-	-	-	-	+	++	+	O/+
Busspuren, Bushaltestellen	O	+	+	-	+	+	-	-	-	O	++	O	++	

Tabelle 2: Zusammenfassung der Eignungen von Bitumenbelägen

2.1 Die Oberflächenbehandlung

Die Anforderungen sowie die Empfehlungen dieses Verfahrens regelt die Norm SN 640 415c [11].

Die Oberflächenbehandlung ist eine Instandhaltungsmassnahme, bei der Granulat und ein bitumenhaltiges Bindemittel auf der Strassenoberfläche verwendet werden.

Das Granulat muss Qualitätskriterien sowohl bezüglich Herkunftsgestein (mechanische Festigkeit) als auch bezüglich Herstellung (Korngrößenverteilung, Angularität, Form, Sauberkeit) erfüllen.

Das Bindemittel sollte genügend erhitzt (bei Mineralölverschnitt- oder Mineralölfluxbitumen), bzw. mit Wasser vermischt werden (Emulsion), um es angemessen anwenden zu können und eine gute Anfeuchtung zu erreichen.

Für das Gelingen der Oberflächenbehandlung ist das genaue Verständnis der Klebeverbindung zwischen Bindemittel und Zuschlagstoffen ausschlaggebend. Diejenigen Stoffe oder Mischungen, welche den Verbund an den Schnittstellen Zuschlagstoff – Bindemittel – Wasser verändern, werden Klebemittel oder Dope genannt. Sie fördern das Anfeuchten der Kornoberfläche durch das Bindemittel (aktives Verkleben) und verhindern das Bewegen des Bindemittels durch Wasser (passives Verkleben).

Folgende Verfahren werden unterschieden:

- Einschichtige Oberflächenbehandlung mit einfachem Splitten (E1)
(Auftragen des Bindemittels, Splitten)
- Einschichtige Oberflächenbehandlung mit doppeltem Splitten (E2)
(Auftragen des Bindemittels, doppeltes Splitten)
- Einschichtige Oberflächenbehandlung mit einfachem Splitten und Vorsplitten (E3)
(Splitten, Auftragen des Bindemittels, Splitten)
- Zweischichtige Oberflächenbehandlung (D1)
(Auftragen des Bindemittels, Splitten, Auftragen des Bindemittels, Splitten)
- Zweischichtige Oberflächenbehandlung mit Vorsplitten (D2)
(Splitten, Auftragen des Bindemittels, Splitten, Auftragen des Bindemittels, Splitten)

Die empfohlenen Anwendungsbereiche sind in Tabelle 3 zusammengefasst:

Unterbau	Verkehrslastklasse	
	T1 bis T3	T4
Stabilisierung	E1, E3, D1	---
Heissmischfundationsschicht HMF	E1, E2	D1
Heissmischtragschicht HMT	E3, D1	---
Bitumenbelag:	---	---
Mit Rissen, ausgemagert	E1, E2, D1	E1, E2
überdosiert	E3	---
Ungenügendes Haftvermögen	E1, E2	E1, E2
Betonbelag	E1, E2, D1	E1, E2, D1

Tabelle 3: Anwendungsbereiche der Oberflächenbehandlung

Eine Oberflächenbehandlung wird auf Belägen angewendet, welche keine oder wenig Spurrinnen, ein mangelndes Haftvermögen, oder Rissbildung zeigen. Ihre Anwendung in bewohnten Gebieten ist zu vermeiden, da sie eine grössere Lärmbelastung nach sich zieht als ein Asphaltbeton.

2.2 Die Zwischenmembran (SAMI)

Die Zwischenmembran dient hauptsächlich der Vermeidung des Risswachstums. Sie wird auch spannungsabsorbierende Zwischenschicht, oder SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) genannt und unter der Deckschicht eingebaut.

Die Zwischenmembran muss folgende Ziele erfüllen:

- Verzögern des Durchschlagens von Rissen der unteren Schichten
- Erhaltung der Wasserundurchlässigkeit des Strassenkörpers
- Begrenzung der Schadensbildung an der Schnittstelle zwischen Deck- und Tragschicht, durch Verminderung der Spannung bei den Rissen

Es gibt sechs Klassen von Zwischenmembranen, welche in der Folge vorgestellt werden:

2.2.1 Bitumenhaltiger Sand

Der Sand stammt üblicherweise aus Bruchgestein und hat eine Korngrössenverteilung von 0/2 oder 0/6. Das Bindemittel ist ein reiner oder eher ein modifizierter Bitumen und stellt einen Anteil von etwa 9.0 bis 12.5 %. Der Feinanteil liegt bei 10 bis 15 % bei einem Reichhaltigkeitsmodul von 5.5 bis 6. Einige Mischungen enthalten zudem mineralische oder organische Fasern, was die Anwendung eines reinen Bitumens erlaubt, ohne die Spurrinnenfestigkeit zu reduzieren. Die übliche Dicke beträgt 2 cm.

2.2.2 Bitumenhaltige Splittmembran

Sie besteht aus einer Schicht aus elastomerreichem, mit 2.0 bis 2.5 kg/m² dosiertem Bindemittel und einem 6/11-Splitt.

2.2.3 Bitumenhaltige Kaltmischmembran

Diese Membran wird mit einem sehr elastomerreichen, mit 2.0 bis 2.5 kg/m² dosiertem Bindemittel eingebaut und zuerst mit einer Schicht aus Kaltmischasphalt 0/4, danach mit einer Asphaltdeckschicht überzogen.

2.2.4 Imprägnierte Geotextilien

Der Voranstrich wird mit einem modifizierten Bindemittel, in der Form einer Emulsion oder wasserlos, im Heisseinbau realisiert. Die Dosierung des Bindemittelgehalts liegt zwischen 0.8 und 1.0 kg/m². Das Geotextil ist üblicherweise nicht gewebt oder geschweisst und besteht aus Polyethylen oder Polypropylen. Das Geotextil dient in dieser Anwendung auch als Bindemittelreservoir, seine Masse liegt zwischen 120 und 250 g/m².

2.2.5 Gespritzte Fasern

Das Verfahren ist dem vorangehenden sehr ähnlich. Das Geotextil wird sozusagen vor Ort hergestellt. Um den Einbau der Asphaltdeckschicht zu vereinfachen werden die Fasern mit 6/11 gesplittet und mit 7 bis 8 l/m² behandelt.

2.2.6 Faserbelag

Dieser Belag mit einer Korngrössenverteilung von 0/6 oder 0/11 wird mit reinem Bitumen hergestellt. Die zugegebenen Fasern sind meist organischen Ursprungs (Zellulose) und binden in der Regel eine grössere Menge Bindemittel, unter Erhaltung der Spurrinnenfestigkeit. Das Verfahren ähnelt demjenigen des überzogenen Sandes, aber liefert eine höhere Spurrinnenfestigkeit. Zudem trägt diese 3 bis 4 cm dicke Schicht zur strukturellen Verstärkung des Strassenkörpers bei. Der Bindemittelanteil liegt zwischen 6.8 und 7.0 Masse % mit einem Feinanteil von über 10 Masse %.

3 Literaturverzeichnis

- [1] SN 670 120 Kiessande für Fundationsschichten; Qualitätsanforderungen
- [2] SN 670 740 Geotextilien und geotextilverwandte Produkte; Allgemeine Prüfverfahren für die Bewertung nach Beständigkeitsprüfungen
- [3] SN 640 509 Stabilisierung; Stabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln
- [4] SN 640 506 Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln; Anforderungen, Ausführung
- [5] SN 640 452 Heissmischfundationsschichten HMF; Anforderungen, Ausführung
- [6] SN 640 431 Asphaltmischgut – Asphaltbeton; Mischgutanforderungen
- [7] SN 640 432 Splittmastixasphalt-Deckschichten; Konzeption, Anforderungen, Ausführung
- [8] SN 640 435 Rauhasphalt-Deckschichten; Konzeption, Anforderungen, Ausführung
- [9] SN 640 433 Drainasphalt-Deckschichten; Konzeption, Anforderungen, Ausführung
- [10] NF p98-140 Enrobés hydrocarbonés – Couches d’assises: enrobé à module élevé (EME) – Définition – Classification – Caractéristiques – Fabrication – Mise en œuvre
- [11] SN 640 415 Oberflächenbehandlungen; Tränkungen; Konzeption, Anforderungen, Ausführung
- [12] Conception et dimensionnement des structures des chaussées, Guide technique, décembre 1994, LCPC et SETRA
- [13] Enduits superficiels d’usure, Guide technique, mai 1995, LCPC et SETRA
- [14] "Le" Guide, Guide pratique de la construction routière, cahiers 1 à 55, RGRA

MODUL G: Laborversuche

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT.....	113
2	LABORVERSUCHE.....	114

1 Vorwort

Zur Charakterisierung und Bewertung der Einzelkomponenten sowie des Verdichteten und unverdichteten Mischgutes wurde und wird laufend eine Vielzahl von Prüfverfahren für die Anwendung im Labor und in situ entwickelt, die im Rahmen der kontinuierlichen Normierungsarbeit permanent revidiert und angepasst werden.

Die folgenden Tabellen der Laborprüfungen erheben somit nicht den Anspruch einer vollständigen Zusammenstellung, sondern vermitteln lediglich eine orientierende Übersicht über die wichtigsten bisher in der Schweiz üblichen Prüfverfahren einschliesslich ihres Anwendungszweckes, ihrer Aussage, der dabei gewonnenen Messgrössen und des Anwendungsbereich. Bezüglich aktuellster in der Schweiz verwendeter Prüfverfahren sei auf die Normenliste des VSS, bzw. auf die einschlägigen Europäischen und Amerikanischen Normen verwiesen.

2 Laborversuche

Test	Norm	Anwendungszweck C: Charakterisierung K: Klassifizierung R: Physikal. Kennzahl P: Performance Indicator Q: Verifizierung Qualität	Aussage/Resultat	Messgrösse	Anwendungsbereich
Alterung im Drucktopf (Pressure Aging Vessel)	AASHTO PP-1	C, K, Q	Mass für die Langzeitalterung (in Verbindung mit anderen Prüfmethode)	keine direkte Messgrösse	Bitumen, (Polymerbitumen)
Bildanalyse im Fluoreszenzmikroskop	-	C, P, Q	Homogenität und Veränderung der Mikrostruktur	Visuelle Beurteilung	Polymerbitumen
Bestimmung der Asche	SN 671 719	C, Q	Mass für unbrennbare Anteile	Masse [g, Masse-%],	Bitumen, Polymerbitumen
Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 1: RTFOT-Verfahren	SN EN 12607-1	C, K, Q	Mass für die Verhärtung bei der Herstellung und Verarbeitung (in Verbindung mit anderen Prüfmethode)	Masseänderung [Masse-%],	Bitumen
Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 3: RFT-Verfahren	SN EN 12607-2	C, K, Q	Mass für die Verhärtung bei der Herstellung und Verarbeitung (in Verbindung mit anderen Prüfmethode)	Masseänderung [Masse-%],	Bitumen, (Polymerbitumen)
Bestimmung der Duktilität	SN 670 546	C, Q	Mass für die Dehnbarkeit	Länge [mm]	Bitumen, Polymerbitumen
Bestimmung der Kriechsteifigkeit mit Biegebalken Rheometer (BBR)	AASHTO TP-1	C, P, Q	Mass für das Verhalten bei tiefen Temperaturen	Steifigkeit [MPa], zeitliche Änderung der Steifigkeit [%]	Bitumen, Polymerbitumen
Bestimmung des Alterungsverhaltens mittels Infrarot-Spektroskopie	-	C, Q	Alterungsindex	relativer Unterschied [%]	Bitumen, Polymerbitumen
Bestimmung des komplexen Moduls mit dem dynamischen Schubrheometer (DSR)	AASHTO TP-5	C, P, Q	Rheologisches Verhalten bei mittleren und hohen Temperaturen	Komplexer Modul [Pa], Phase [-]	Bitumen, Polymerbitumen
Bestimmung des relativen Polymergehaltes	-	C, Q	Polymerabbau	relativer Unterschied [%]	Polymerbitumen
Brechpunkt nach Fraass	SN EN 12593	C, K	Verhalten bei tiefen Temperaturen	Temperatur [°C]	Bitumen, Polymerbitumen
Bindemitteldichte bei 25°C	SN 671 713	C, R, Q	Volumetrische Kenngrösse	Dichte [t·m ⁻³]	Bitumen, Polymerbitumen
Dynamische Viskosität	SN EN 12596	C, K, R, Q	Mass für Zähigkeit (Fließwiderstand einer Flüssigkeit gegen Fließen unter der Wirkung der Scherkraft)	Verhältnis von Schubspannung zum Geschwindigkeitsgefälle. Viskosität [Pas]	Bitumen, Polymerbitumen
Kinematische Viskosität	SN EN 12595	C, K, R, Q	Mass für Zähigkeit (Fließwiderstand einer Flüssigkeit gegen Fließen unter	Verhältnis von dynamischer Viskosität	Bitumen, Polymerbitumen

Test	Norm	Anwendungszweck C: Charakterisierung K: Klassifizierung R: Physikal. Kennzahl P: Performance Indicator Q: Verifizierung Qualität	Aussage/Resultat	Messgrösse	Anwendungsbereich
			der Wirkung der Schwerkraft, bzw. Gravitation)	zur Dichte. Viskosität [mm ² /s]	
Elastische Rückstellung	SN 671 747, prEN 13398	C, K, P, Q	Elastizität von elastomermodifizierten Bitumen	relative Rückstellung [%]	Polymerbitumen
EN Bestimmung der Löslichkeit	SN EN 12592	C, Q	Anteil des Materials, das in einem bestimmten Lösemittel löslich ist.	Massenanteil der löslichen Bestandteile [Masse-%]	Bitumen
Erweichungspunkt Ring und Kugel	SN EN 1427	C, K	Mass für die Viskosität bei mittleren Temperaturen	Temperatur [°C]	Bitumen, Polymerbitumen
Gelpermeationschromatografie Polymerbestimmung	EMPA-METHODE	C, Q	Polymerschädigung, Anteil an Polymer im Bindemittel (Fingerprint)	meist qualitativ	Bitumen, Polymerbitumen
Haftvermögen von bituminösen Bindemitteln	SN 671 960	C, Q, P	Haftvermögen zwischen einem Bindemittel und Gestein	Umhüllungsgrad: Prozentsatz der Mineralstoffoberfläche, die mit Bindemittel bedeckt ist [%]	Bitumen, Polymerbitumen
Heisslagerstabilität von polymermodifizierten Bindemitteln	SN 671 750, prEN 13399	C	Bindemittel und Mineralstoffe	Temperaturdifferenz [°C]	Polymerbitumen
Koaxialer Schubtest Bindemittel KAST	EMPA-METHODE	C, P, Q	Rheologisches Verhalten bei mittleren und hohen Temperaturen	Komplexer Modul [Pa], Phase [-]	Bitumen, Polymerbitumen
Kraftduktilität	SN 670 548, prEN 13589	C, K	Mass für die Kohäsion	Dehnungsenergie [J]	Polymerbitumen, (Bitumen)
Mikroskopische Untersuchung von PmB (Polymerverteilung)	EMPA-METHODE	C	Polymerverteilung, Entmischung	Visuell, qualitativ	Polymerbitumen
Penetration bei 25°C	SN EN 1426	C, K	Mass für die Viskosität bei hohen Temperaturen	Eindringtiefe [mm]	Bitumen, Polymerbitumen
Penetrationsindex	SN EN 12591	C, K, Q	Temperaturverhalten	Penetrationsindex [-]	Bitumen
4 Punkt Biegung Ermüdung	PrEN 12697-24	C, Q	Dauerbelastbarkeit	Lebensdauer (Lastzyklen)	Belagsausschnitte
Abscherprüfung	SN 671 961	C, Q	Haftverhalten zwischen Schichten	Scherkraft [kN]	Bohrkerne
Koaxialer Schubtest Bindemittel KAST	EMPA-	C, Q, R	Viskoelastisches Verhalten im	Komplexer Modul [Pa],	bitumenh. Mischgut, Bohrkerne

Test	Norm	Anwendungszweck C: Charakterisierung K: Klassifizierung R: Physikal. Kennzahl P: Performance Indicator Q: Verifizierung Qualität	Aussage/Resultat	Messgrösse	Anwendungsbereich
	METHODE		Gebrauchszustand	Phase []	
Dichte	SN 671 965	C, Q	Volumetrische Kenngrösse	Dichte [t·m ⁻³]	bitumenh. Mischgut
Dichtigkeitsprüfung im Drucktopf	SIA 203	C, Q	Dichtigkeit, Durchlässigkeit	Dichtigkeit visuell	Dichtungsbeläge
Druck-Schwell-Versuch	dt. Prüfvorschrift	C, Q	Widerstand gegen bleibende Deformationen (Spurrinnen)	Verformung [mm]	bitumenh. Mischgut
Eindringtiefe mit eben. Stempel, dyn.	dt. Prüfvorschrift	C, Q	Verformungswiderstand Standfestigkeit	dyn. Eindringtiefe [mm]	Gussasphalt
Eindringtiefe mit eben. Stempel, stat.	SN 671 970	C, Q	Verformungswiderstand Standfestigkeit	Eindringtiefe [mm]	Gussasphalt
Gyrator	US Prüfvorschrift, SN 640 431	C, P, Q	Verdichtungsverhalten	Verdichtung [%]	bitumenh. Mischgut
Haftzugprüfung	dt. Prüfvorschrift	C, Q	Haftverhalten zwischen Schichten	Scherspannung [N/m ²]	Belagsausschnitte
Löslicher Bindemittelanteil	SN 671 955 SN EN 12697-1	C, Q	Zusammensetzung, Konsistenz	lösl. Bindemittelanteil [Masse-%]	bitumenh. Mischgut
Marshall	SN 671 969	C, Q	Stabilität und Fliesen	Stabilität [kN], Fliesen [mm]	bitumenh. Mischgut
Spurrinntest LCPC	frz. Norm, SN 640 431	C, Q	Verformungsverhalten	Spurrinntiefe [mm]	bitumenh. Mischgut, Belagsausschnitte
Rohdichte	SN 671 967	C, Q	Volumetrische Kenngrösse, (Hohlraum)	Rohdichte [t·m ⁻³]	bitumenh. Mischgut, Belagsausschnitte
Spaltzug	ASTM, EMPA- METHODE	C, Q	Spaltzugfestigkeit	Bruchkraft [kN]	bitumenh. Mischgut, Bohrkerne
Wasserempfindlichkeit	640 431, ASTM	C, Q	Wasserempfindlichkeit	TSR _{nass} /TSR _{trocken} [%]	bitumenh. Mischgut
Angularität des Splitts	SN 670 902-6 (EN 933-6)	C, Q	Innere Reibung des Splitts	Angularität	Mineralstoffe
Angularität des Sandes	SN 670 902-6 (EN 933-6)	C, Q	Innere Reibung des Sandes	Angularität	Mineralstoffe
Griffigkeitsmessungen SRT-Pendel pro Abschnitt	SN 13036-4	C, Q, P	Griffigkeit	Steighöhe Pendel	Mineralstoffe
Hohlraumgehalt nach Rigden	SN 670 840	C, P, Q	Volumetrische Kenngrösse für trockenem	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Mineralstoffe, Filler

Test	Norm	Anwendungszweck C: Charakterisierung K: Klassifizierung R: Physikal. Kennzahl P: Performance Indicator Q: Verifizierung Qualität	Aussage/Resultat	Messgrösse	Anwendungsbereich
			Filler		
Polierwiderstand der Mineralstoffe (PSV)	SN 670 130	C, K, P, Q	Griffigkeit der Mineralstoffe	Steighöhe Pendel, PSV Wert	Mineralstoffe
Ausflussmesser	SN 640 510	C, P, Q	Beurteilung der Makrotextur einer Fahrbahnoberfläche	Ausflusszeit [s]	Mischgut
Sedimentationsanalyse nach Andreasen/EMPA	SN 670 818	C, Q	Feinstkornverteilung der Mineralstoffe < 0.08mm	Kornverteilung,[Gew-%]	Mineralstoffe
Siebanalyse trocken	SN 670 810	C, P, Q	Volumetrische Kenngrösse	Siebrückstand [Masse-%]	Mineralstoffe
Versteifende Wirkung	SN 670 135	C, Q	Mass für die Viskosität Bitumen-Filler Gemisch bei mittleren Temperaturen	Temperatur [°C]	Mineralstoffe, Filler
Los Angeles	SN 670 835	C, Q	Widerstandsfähigkeit einer gleichzeitigen Beanspruchung auf Schlag und Abrieb	Relative Verfeinerung [Masse-%]	Mineralstoffe
Micro Deval	SN 670 903	C, Q	Verschleisswiderstand		Mineralstoffe

MODUL H: Recycling

Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE	121
2	ZIELVORSTELLUNGEN	121
3	BEWERTUNG DER UMWELTVERTRÄGLICHKEIT DES AUSBAUASPHALTS	122
3.1	<i>Ausbauasphalt</i>	122
4	RECYCLING VON ASPHALTGRANULAT DURCH HEISSAUFBEREITUNG	123
4.1	<i>Einführung</i>	123
4.1.1	Verhaltensorientierte Konzipierung des Recyclingmischgutes	124
4.2	<i>Recycling von Asphaltgranulat im Kaltverfahren (Kaltrecycling)</i>	125
4.2.1	Allgemeines	125
4.3	<i>Recycling von Strassenaufbruch</i>	126
4.3.1	Verwertung von Recycling-Kiessand	126
4.3.2	Verwertung von Stabgranulat	127
4.4	<i>Recycling von Betongranulat</i>	127
4.4.1	Umweltverträglichkeit	127
4.4.2	Verwendung der Betongranulate als Zuschlagstoff für Betonbeläge	127
4.4.3	Verwendung der Betongranulate als Zuschlagstoff für Asphalttrag- und Fundationsschichten	127
	LITERATURVERZEICHNIS	128

1 Allgemeine Grundsätze

Die Rückgewinnung der mineralischen Rohstoffe aus Bauabfällen und deren Wiederverwertung ist von grosser ökonomischer und ökologischer Bedeutung. Mit einem umfassenden Recycling lassen sich erhebliche Einsparungen an Rohstoffen erzielen, und es muss weniger Deponieraum beansprucht werden. Mit dem Ziel, den umweltgerechten und wirtschaftlichen Materialkreislauf zu optimieren, sind 1993 von der VSS in Zusammenarbeit mit dem SIA und dem BUWAL die folgenden Normen zum Recycling von Bauschutt herausgegeben und 1998 angepasst worden [1]:

- SN 670 062 Recycling; Allgemeines
- SN 670 141 Recycling; Ausbauasphalt
- SN 670 142 Recycling; Strassenaufbruch
- SN 670 143 Recycling; Betonabbruch
- SN 670 144 Recycling; Mischabbruch

In diesen Normen werden die umweltrelevanten und bautechnischen Anforderungen an die Sekundärbaustoffe und die damit hergestellten Schichten festgelegt.

Die nachstehenden Ausführungen beschränken sich auf die bei Erhaltungsmassnahmen (Belagserneuerung, teilweise Oberbauerneuerung) gewonnenen Sekundärbaustoffe und deren Verwertung für die Herstellung von Schichten des Strassenoberbaus (Tabelle 1).

Bauschuttfraktion	Ausbauasphalt	Strassenaufbruch	Betonabbruch
Sekundärbaustoff	Asphaltgranulat	Recycling-Kiessand	Betongranulat
Beläge	Asphaltbelag AB		Betonbelag BB
Tragschichten	Asphalttragschichten ABT		
Fundationsschichten	Asphaltfundationsschichten ABF		
	Bituminös stabilisierte Schichten KMF		
		Hydraulisch stabilisierte Schichten HS	
		Nicht gebundene Fundationsschichten KS	

Tabelle 1: Anwendungsbereiche der Sekundärbaustoffe im Strassenoberbau

2 Zielvorstellungen

Das Recycling von mineralischen Bauabfällen hat sich an den Grundsätzen der Nachhaltigkeit zu orientieren. Die Einsatzbereiche der Sekundärbaustoffe sind so festzulegen, dass allfällig ausgewaschene Schadstoffe Boden und Wasser nicht in unzulässigem Mass belasten, und dass eine mehrfache Wiederverwertung gewährleistet ist.

Es ist ein möglichst hochwertiger Einsatz der Sekundärbaustoffe anzustreben, bei dem die materialspezifischen Eigenschaften optimal genutzt werden.

Für Beläge, Tragschichten und Fundationsschichten, die unter Mitverwendung von Sekundärbaustoffen hergestellt werden, gelten die Anforderungen der einschlägigen SN-Normen uneingeschränkt. Deshalb ist die Eignung der Sekundärbaustoffe für den vorgesehenen Verwendungszweck nachzuweisen, und zur kontinuierlichen Überwachung der Qualität und der Gleichmässigkeit der hergestellten Sekundärbaustoffe sind Eigenkontrollen durchzuführen.

3 Bewertung der Umweltverträglichkeit des Ausbausphalts

3.1 Ausbausphalt

Für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Ausbausphalt bei der Zwischenlagerung, der Aufbereitung, der Verarbeitung und in der fertigen Schicht ist die Art des Bindemittels, insbesondere der Anteil an Teer, massgebend. Ausbausphalt mit Bitumen ist bei allen Arbeitsschritten und in der eingebauten Schicht als umweltverträglich einzustufen. Stark teerhaltiger Ausbausphalt hingegen enthält karzinogene Substanzen und darf aus arbeitshygienischen Gründen nicht heiss aufbereitet und aus Gewässerschutz- und Bodenschutzgründen nicht in nicht gebundenen Schichten verwendet werden.

Seit Anfang der 90er Jahre werden im Asphaltstrassenbau ausschliesslich Bindemittel auf Bitumenbasis ohne Teerzusatz verwendet, aber bei Massnahmen zur Erhaltung bestehender Strassen (Belagserneuerungen, Oberbauerneuerungen) sind nach wie vor alte teerhaltige Beläge (z.B. Teerasphaltbeton) auszubauen, die recycelt oder entsorgt werden müssen. Deren Teeranteil muss kontrolliert werden um festzustellen, ob sie wiederverwertet werden können.

Die Empfehlungen des BUWAL vom November 1999 [2] zur Bewertung der Umweltverträglichkeit des Ausbausphaltes und die vom Bindemittel abhängigen Anwendungsbereiche sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Danach darf teerhaltiger Ausbausphalt mit einem PAK-Gehalt von 5000 – 20'000 mg/kg Bindemittel unter folgenden Bedingungen zu Heissmischgut oder Kaltmischgut (Kaltrecycling) aufbereitet werden:

- Prozentuale Zumischung des teerhaltigen Asphaltgranulates derart, dass der Gesamtgehalt von 5000 mg/kg PAK im Endprodukt nicht überschritten wird.
- Anforderungen der Luftreinhaltung (LRV), insbesondere Emissionsbegrenzungen für Krebs erzeugende Stoffe erfüllt,
- MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration) für Benzo(a)pyren max. 0.002 mg/m³.

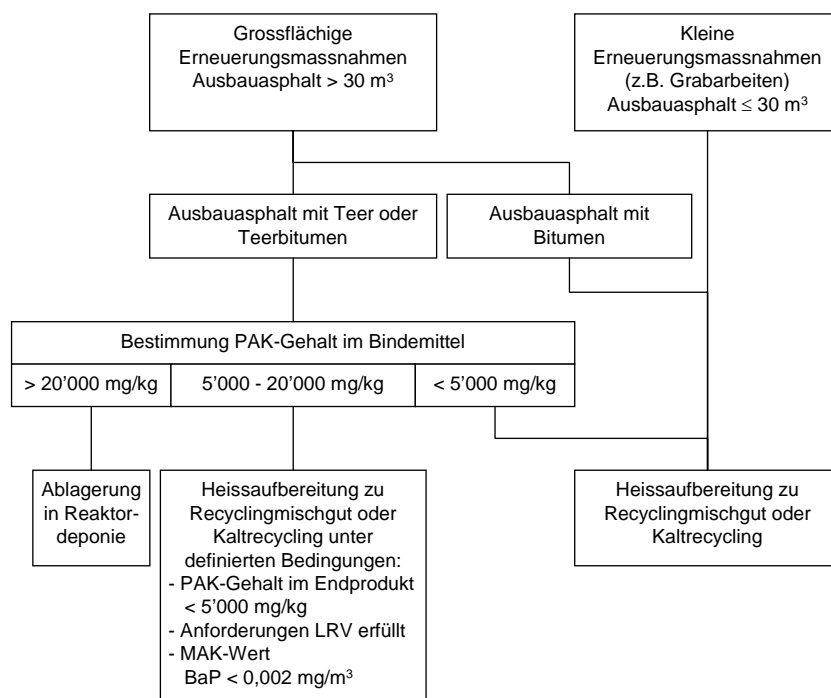


Abbildung 1: Bewertung der Umweltverträglichkeit des Ausbauasphalts

4 Recycling von Asphaltgranulat durch Heissaufbereitung

4.1 Einführung

Die Wiederverwertung des rückgewonnenen Ausbauasphaltes durch Heissaufbereitung in Asphaltmischanlagen ist volkswirtschaftlich am sinnvollsten, denn nur bei Heissaufbereitung wird das im Asphaltgranulat enthaltene Bindemittel reaktiviert, was nicht nur den Verbrauch an mineralischen Baustoffen, sondern auch den Bitumenbedarf erheblich reduziert.

Recycling von Asphaltgranulat wird seit Ende der 70er Jahre praktiziert und hat inzwischen einen hohen Stand der Technik und eine breite Anwendung erreicht. Qualität und Homogenität des Recyclingmischgutes sind in verschiedenen Forschungsarbeiten [4] [5] [6] untersucht worden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass Recyclingmischgut in asphalttechnologischer Hinsicht dem entsprechenden Mischgut aus ausschliesslich neuen Zuschlagsstoffen gleichwertig ist.

Ausbauasphalt ist der Oberbegriff für den durch schichtenweises Kaltfräsen eines aus Asphaltbelag gewonnenen Fräsasphalts und den beim Aufbrechen bituminöser Schichten anfallenden Aufbruchasphalt. Asphaltgranulate schwanken bezüglich Korngrössenverteilung und Bindemittelgehalt naturgemäss sehr stark und müssen bei Bedarf separat zwischengelagert und weiterverarbeitet werden.

Qualitätsanforderungen an Asphaltgranulat

Ausgangspunkt für die Rezeptierung des Recyclingmischgutes sind die folgenden Eigenschaften der Asphaltgranulate:

- Korngrössenverteilung der Mineralstoffe
- Brechkornanteil
- Bindemittelgehalt
- Eigenschaften der rückgewonnenen Bindemittel (Penetration, Erweichungspunkt R+K)

Zur Bestimmung der mittleren Zusammensetzung der Asphaltgranulate ist eine repräsentative Anzahl Proben des gelagerten Materials zu untersuchen. Sofern sich bei der laufenden Kontrolle der Materialzusammensetzung tendenziell Abweichungen der vorausgesetzten Mittelwerte der Korngrößenverteilung und des Bindemittelgehaltes ergeben, ist die Mischvorschrift allenfalls zu korrigieren [4].

Bei Verwendung der Asphaltgranulate für die Herstellung von Asphaltfundationsschichten sind keine weiteren Prüfungen der Mineralstoffe erforderlich. Bei Verwendung für Mischgut von Deck-, Binder- und Tragschichten vom Typ S und H muss gewährleistet sein, dass die Eigenschaften der Mineralstoffe (z.B. Los Angeles-Koeffizient, Polierwiderstand) den für diese Schichten erhöhten Anforderungen genügen. Sofern die Eigenschaften nicht schon vor ihrer primären Verwendung geprüft worden sind, ist ein zusätzlicher Eignungsnachweis der Mineralstoffe erforderlich [5].

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Qualität des Recyclingmischgutes ist die Gleichmässigkeit der eingesetzten Asphaltgranulate hinsichtlich Korngrößenverteilung und Bindemittelgehalt [6].

Tabelle 2 enthält die aufgrund dieser Untersuchungen modifizierten Richtwerte für die Zugabemengen von Asphaltgranulat.

Mischgutsorten	Anteil Asphaltgranulat bei...	
	... Kaltzugabe	... Warmzugabe
Deckschichten AB* [M-%]	10...15	20...30
Binderschichten ABB* [M-%]	15...20	30...40
Tragschichten ABT Typ H/S* [M-%]	15...20	30...40
Tragschichten ABT Typ N/L [M-%]	20...30	30...60
Fundationsschichten ABF [M-%]	20...30	50...80

* Asphaltgranulat, das durch Fräsen definierter Deck- und Binderschichten rückgewonnen worden ist

Tabelle 2: Empfohlene Richtwerte für die Zugabemengen von Asphaltgranulat

4.1.1 *Verhaltensorientierte Konzipierung des Recyclingmischgutes*

Bei der Konzipierung des Mischgutes sind vorerst Mischguttyp und –sorte in Funktion von erwarteter Beanspruchung (normale oder besondere Beanspruchung), Verkehrslastklasse und klimatischen Bedingungen gemäss Norm SN 640 431 [7] zu bestimmen.

Von besonderer Bedeutung auf das Verhalten der mit Recyclingmischgut hergestellten Beläge ist die Wahl des Ergänzungsbindemittels. Die Kennwerte der Viskositätseigenschaften (Penetration, Erweichungspunkt R+K) eines Bindemittelmischgutes werden nach folgender Formel berechnet:

$$c = a^x \cdot b^y$$

wobei

c = Kennwert Bindemittelgemisch

a = Kennwert Bindemittel 1; Anteil x

b = Kennwert Bindemittel 2; Anteil y

$$x + y = 1$$

Bei den für schwere Beanspruchung benutzten Beläge (Typen S und H) sollten die mechanischen Eigenschaften (Modul, Spurrinnen- und Ermüdungsfestigkeit) geprüft werden [7].

Bei den im Rahmen der Forschungsarbeiten 8/88 [5] und 16/96 [6] untersuchten Deckschichten aus Normalmischgut und analogem Recyclingmischgut hat man das Ergänzungsbindemittel so gewählt, dass die Ausgangsbindemittel beider Mischgutvarianten einem B 80/100 entsprochen haben und praktisch identische Bindemittelkennwerte aufwiesen (Beispiel Tabelle 3). Beim Vergleich der Kennwerte der 1989 aus dem Mischgut rückgewonnenen Bindemittel und der 1998 aus Bohrkernen rückgewonnenen Bindemittel zeigte sich, dass die mischprozessabhängige und die altersbedingte Viskositäts-erhöhung bei den Recyclingbelägen signifikant geringer war als bei den entsprechenden Normalbelägen. Aus den Ergebnissen hat man geschlossen, dass sich die geringere Bindemittelverhärtung im Recyclingmischgut eher negativ auf den Widerstand gegen bleibende Verformungen auswirken könnte, das Verhalten bei tiefen Temperaturen aber eher positiv beeinflussen würde.

Daher wird empfohlen, bei mässiger und normaler Beanspruchung (Typen L und N) ein weiches Bindemittel (z.B. B 130/150) als Ergänzungsbindemittel für das Recyclingmischgut zu verwenden. Im Falle einer schweren Beanspruchung (Typen S und H) ist als Ergänzungsbindemittel das gleiche Bindemittel wie beim entsprechenden Normalbelag zu wählen.

		Mischgutvariante			
		Penetration 25 °C [1/10 mm]	Erw.pt. R & K [°C]	Penetration 25 °C [1/10 mm]	Erw.pt. R & K [°C]
Bindemittel- kennwerte	Bindemittel aus Granulat			23	68.0
	Ergänzungsbindemittel B 130/150			123	44.0
	Ausgangsbindemittel 1989	86	48.5	87	48.0
	Bindemittel aus Mischgut 1989	44	56.2	53	53.0
	Bindemittel aus Bohrkernen 1998	32	58.8	50	54.0

Tabelle 3: Bindemittelkennwerte Deckschicht AB11 aus Normalmischgut und aus Recyclingmischgut mit Zugabe von 20 M-% Asphaltgranulat

4.2 Recycling von Asphaltgranulat im Kaltverfahren (Kaltrecycling)

4.2.1 Allgemeines

Bei der Erneuerung von Asphaltstrassen fallen in der Schweiz rund 2 Millionen Tonnen Asbauasphalt an. Wo es nicht möglich ist, allen anfallenden Ausbauasphalt durch Heissaufbereitung zu Recyclingmischgut zu verwerten, stellt das Recycling im Kaltverfahren eine ökologisch und ökonomisch interessante Alternative zur Wiederverwendung der Asphaltgranulate dar.

Im Gegensatz zur Heissaufbereitung kann für die Herstellung von Kaltmischgut 100 % Ausbauasphalt verwendet werden. Die Anforderungen an das Asphaltgranulat beschränken sich auf die Stückgrössenverteilung; Bindemittelgehalt und Bindemittelleigenschaften sind nicht relevant und müssen nicht geprüft werden, da beim Kaltverfahren keine Reaktivierung des Bindemittels erfolgt und das Granulat nur als Mineralstoff eingesetzt wird.

Da das Material nicht erhitzt wird, sind die Belastung der Luft mit organischen Kohlenwasserstoffen und die Arbeitsplatzkonzentration an Krebs erzeugenden Schadstoffen kleiner als bei einer Heissaufbereitung. Die Anforderungen der Luftreinhalteverordnung werden auch bei teerhaltigem Asbatauasphalt mit einem PAK-Gehalt von 5000 – 20'000 mg/kg Bindemittel erfüllt. Durch die Bindung der Asphaltgranulate mit einem bituminösen oder hydraulischen Bindemittel werden die Schadstoffe eingebunden und das Auswaschen verhindert.

Kaltemischgut wird ausschliesslich für Foundationsschichten eingesetzt und muss mit einem Asphaltbelag von verkehrslastabhängiger Mindestdicke überdeckt werden. In Rundlaufversuchen [8] hat man festgestellt, dass sich Heiss- und Kaltemischfundationsschichten aus recyceltem Ausbauasphalt gleich verhalten wie die analogen Schichten aus Primärbaustoffen. In der Dimensionierungsnorm SN 640 324 [9] werden die folgenden Tragfähigkeitswerte der Foundationsschichten angegeben:

- Asphaltfundationsschicht a = 3.2
- Stabilisierung mit bituminösen Bindemitteln a = 2.7
- Stabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln a = 2.4
- Kiessand rund a = 1.0

4.3 Recycling von Strassenaufbruch

4.3.1 Verwertung von Recycling-Kiessand

Als Recycling-Kiessand wird der durch Sortieren und/oder Brechen und Fraktionieren von Strassenaufbruch aus nicht gebundenen Foundationsschichten hergestellte Sekundärbaustoff bezeichnet.

Wenn der Recycling-Kiessand sortenrein gewonnen wird und aus mindestens 95 Masse-% Kiessand besteht, kann er wie der primär verwendete Kiessand uneingeschränkt in folgenden Bereichen eingesetzt werden (Tabelle 1):

- Nicht gebundene Foundationsschichten KS
- Hydraulisch stabilisierte Foundationsschichten HS
- Bituminös stabilisierte Foundationsschichten KMF
- Asphaltfundationsschichten ABF
- Asphalttragschichten ABT.

Die Qualitätsanforderungen an Recycling-Kiessande hängen von der vorgesehenen Verwendung ab und sind grundsätzlich dieselben, wie die Anforderungen an die Primärbaustoffe.

Beim Kaltrecycling und in einzelnen Fällen der teilweisen Oberbauerneuerung werden Asphaltbelag und oberster Teil der Kiessandfundationsschicht in einem einzigen Arbeitsgang bis auf Tiefe der vorgesehenen Erneuerung abgefräst. Der resultierende Sekundärbaustoff besteht dann aus Asphaltgranulat und Recycling-Kiessand und kann eingesetzt werden:

- zur Herstellung von Kaltemischgut (mit Aufbereitungsfertiger oder mobiler Mischanlage) für Kaltemischfundationsschichten, oder
- in nicht gebundenen Foundationsschichten, wobei der Anteil Asphaltgranulat aus umweltrelevanten und bautechnischen Gründen (Verdichtbarkeit) nicht grösser als 30 M-% sein sollte.

4.3.2 Verwertung von Stabigranulat

Als Stabigranulat wird der durch Brechen von Strassenaufbruch aus hydraulisch stabilisierten Foundationsschichten hergestellte Sekundärbaustoff bezeichnet.

Stabigranulate werden in folgenden Bereichen eingesetzt:

- Nicht gebundene Foundationsschichten KS
- Hydraulisch stabilisierte Foundationsschichten HS

4.4 Recycling von Betongranulat

4.4.1 Umweltverträglichkeit

Aus umweltrelevanter Sicht ist die Verwendung von Betongranulaten zur Herstellung von Betonbelägen, hydraulisch stabilisierten Schichten und für allgemeine Betonarbeiten optimal. Insbesondere Granulat von alten Betondecken eignet sich ausgezeichnet, da die materialspezifischen Eigenschaften bekannt sind und das Granulat eine hohe Gleichmässigkeit aufweist.

Da Betongranulate Schadstoffe enthalten können, die ausgewaschen werden könnten, ist ihr Einsatz in loser, ungebundener Form jedoch nicht überall möglich. In der Norm SN 640 743 sind die Einsatzbereiche der Betongranulate festgelegt.

In nicht gebundenen Foundationsschichten dürfen Betongranulate in loser Form eingesetzt werden, sofern sie mit einer undurchlässigen Schicht (z.B. Asphaltbelag, Betonbelag) überdeckt werden.

Betongranulate dürfen in der Regel nicht für bituminös gebundene Schichten verwendet werden. Objektbezogene Ausnahmen sind zulässig, wenn es sich um ökologisch und ökonomisch optimierte Lösungen handelt und eine spätere Wiederverwertung gewährleistet ist.

4.4.2 Verwendung der Betongranulate als Zuschlagstoff für Betonbeläge

Die Verwendung von Granulaten aus alten Betonbelägen für neue Betondecken ist die optimalste und sinnvollste Art der Wiederverwertung von Baustoffen. Die bautechnische Eignung wurde 1990/91 auf der Autobahn A13, Oberriet-Haag, geprüft und die Erkenntnisse sind in die Forschungsarbeit 12/91 [10] eingeflossen.

4.4.3 Verwendung der Betongranulate als Zuschlagstoff für Asphalttrag- und Foundationsschichten

Die bautechnische Eignung von Betonabbruch als Zuschlagstoff für die Herstellung von Asphaltbetontragschichten ist in den Forschungsarbeiten 18/91 [11] geprüft worden. Aus deren Ergebnissen können folgende praxisrelevanten Ergebnisse gewonnen werden:

- Mischgut mit grossem Anteil an Betongranulaten mit allseitigen Bruchflächen ist sperrig und schwer verdichtbar, was sich in einem grösseren Hohlraumgehalt der eingebauten Schicht auswirkt und eine raschere Alterung des Belages zur Folge haben könnte.
- Bei der Festlegung der Bindemitteldosierung ist zu beachten, dass Betongranulate im Vergleich zu natürlichen Mineralstoffen höhere Porosität und kapillare Saugfähigkeit aufweisen, was eine signifikant grössere Bindemitteldosierung bedingt.

Aus den Ergebnissen der Forschungsarbeiten 18/91 und weiteren seither ausgeführten Objekten geht hervor, dass sich Betongranulate als Zuschlagstoff für die Herstellung von qualitativ einwandfreiem Mischgut für Asphaltbetontragschichten und –foundationsschichten eignen. Aus wirtschaftlichen und bautechnischen Gründen ist eine Kombination mit Asphaltgranulat vorzuziehen, weil die Dosierung an neuem Bindemittel reduziert werden kann und die Verdichtungswilligkeit verbessert wird.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Blumer: Einführung in die Normen „Recycling von Bauschutt“, Strasse und Verkehr, Nr. 8/1994
- [2] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL): Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle (Ausbauasphalt, Strassenaufbruch, Betonabbruch, Mischabbruch). Juli 1997.
- [3] M. Kronig: Widerwendung von Ausbauasphalt im Kaltverfahren, Dokument der VESTRA-Tagung vom 16. Januar 2002 in Luzern
- [4] M. Blumer, Schweizerische Mischgutindustrie SMI: Wiederaufbereitung von Belagsmaterial, Forschungsarbeiten 11/82 auf Antrag der VSS, Februar 1985, Bericht 95
- [5] M. Blumer, Schweizerische Mischgutindustrie SMI: Asphaltbeton-Deckschichten mit Zugabe von Fräsgut, Forschungsarbeiten 8/88 auf Antrag der VSS, Oktober 1991, Bericht 227
- [6] A. Nellen, M. Blumer, B. Jenni, Schweizerische Mischgutindustrie SMI: Recyclingmischgut mit hohem Anteil Asphaltgranulat, Forschungsarbeiten 16/96 auf Antrag der VSS, Juli 1998, Bericht 412
- [7] SN 640 431 Asphaltbetonbeläge; Konzeption, Anforderungen, Ausführung
- [8] M. Beligni, M. Horat, Dr. M. Caprez: Heiss- und Kaltmischfundationsschichten aus recyceltem Ausbauasphalt (Rundlaufversuch Nr. 5), Forschungsarbeiten 14/91 auf Antrag der VSS, August 1995, Bericht 351
- [9] SN 640 324 Dimensionierung; Strassenoberbau
- [10] G. Tsohos, R. Werner, W. Wilk: Neue Betondecken aus Betonrecyclingmaterial, Forschungsarbeiten 12/91 auf Antrag der VSS, Dezember 1994, Bericht 326
- [11] M. Blumer, Schweizerische Mischgutindustrie SMI: Asphaltbeton- Tragschichten mit Verwendung von Betonabbruch, Forschungsarbeiten 18/91 auf Antrag der VSS, Juli 1994, Bericht 309

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

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

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

Manuel suisse de conception des chaussées

Schweizerisches Handbuch für die Konzeption des Strassenoberbaus

in deutscher Sprache erhältlich

**Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)
J.-C. Turtschy, Ing. dipl. EPF**

M. Blumer, Ing. dipl. EPF/SIA

**EMPA, Dübendorf
Dr. M. Partl, Ing. dipl. EPF/SIA**

E. Stahel, Ing. dipl. EPF/SIA

**Colas SA, Neuchâtel
T. Bühler, Ing. dipl. EPF/SIA**

**BEVBE, Bonstetten
R. Werner, Ing. dipl. ETS**

**ETHZ IGT, Zürich
M. Horat, Ing. dipl. EPF**

Mandat de recherche ASTRA 2000/412
sur demande de l'Association suisse des professionnels de la route
et des transports (VSS)

Avril 2005

RESUME

Le présent manuel de conception des chaussées s'adresse aux ingénieurs et aux techniciens oeuvrant dans le domaine de la construction et de l'entretien des chaussées en Suisse. L'ouvrage fournit les outils et conseils nécessaires au dimensionnement d'une chaussée, à la sélection de la structure offrant la solution économique optimale et à la sélection des techniques d'entretien et des matériaux adéquats, compte tenu du trafic, des conditions géométriques, topographiques et environnementales de l'ouvrage concerné. Il contient le savoir-faire d'experts de la construction et de l'entretien des chaussées en Suisse et fournit les informations utiles à la conception et à l'entretien des superstructures routières, qu'elles soient souples, semi-rigides ou en béton, mais ne comprend pas les ouvrages d'art. Il traite également des techniques et des matériaux innovants.

Le manuel se veut complémentaire aux normes suisses et aux publications helvétiques en matière de conception et d'entretien des chaussées. Les normes reprises dans ce recueil sont complétées par les considérations pratiques en matière de construction et de maintenance des chaussées, en particulier pour le choix des structures, des techniques d'entretien et des matériaux. Le manuel doit fournir au praticien la solution technique et économique la mieux adaptée compte tenu des conditions locales de l'ouvrage considéré.

ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende Handbuch für die Konzeption des Strassenoberbaus richtet sich an Ingenieure und Fachleute, die in der Schweiz im Bereich Strassenbau und -unterhalt tätig sind. Das Nachschlagewerk bietet die nötigen Hilfsmittel und Ratschläge für die Dimensionierung des Strassenoberbaus und die Auswahl sowohl des wirtschaftlich günstigsten Strukturaufbaus als auch von angemessenen Unterhaltstechniken und Baustoffen. Dies unter Einbezug der Verkehrsbelastung, sowie der geometrischen, topographischen und umweltrelevanten Aspekte des betroffenen Bauwerks. Das Handbuch enthält das Fachwissen verschiedener im schweizerischen Strassenbau und -unterhalt tätigen Spezialisten und bietet nützliche Informationen zu Konzeption und Unterhalt von Strassenoberbauten, sowohl für flexible, starre und gemischte Strukturaufbauten, allerdings ohne auf Kunstbauwerke einzugehen. Es enthält auch Informationen über innovative Techniken und Baustoffe.

Das Handbuch stellt eine Ergänzung zu den schweizerischen Normen und Publikationen im Bereich der Konzeption und des Unterhalts von Strassenoberbauten dar. Die zitierten Normen werden durch praktische Überlegungen ergänzt, speziell für die Auswahl des optimalen Strukturaufbaus, der Unterhaltstechniken und der Baustoffe. Das Handbuch muss den Fachleuten die technisch und wirtschaftlich angemessenste Lösung bieten, unter Einbezug der lokalen Bedingungen des betroffenen Bauwerks.

ABSTRACT

The present handbook for road superstructure design is intended for engineers and technicians in the field of road construction and maintenance in Switzerland. It provides the necessary tools and recommendations for the design of a road superstructure, the selection of the economically most advantageous structure and for the selection of the most adapted maintenance techniques and materials, taking into account traffic as well as geometric, topographic and environmental conditions of the particular project. It contains the expert know-how of different experts working in the field of road construction and maintenance in Switzerland and provides useful information for the design and maintenance of flexible, stiff and mixed road superstructures. The handbook also deals with innovative techniques and materials, but does not consider engineering structures.

The handbook is complementary to the Swiss standards and technical publications in the field of road design and maintenance. The cited standards are completed with practical considerations concerning construction and maintenance of road superstructures, especially regarding the choice of structures, maintenance techniques and materials. The handbook has to provide the experts with the technical and economical most adapted solution, considering local conditions of the particular road project.

Table générale des matières

MODULE A : INTRODUCTION	7
PRÉFACE	9
IN MEMORIAM	9
OBJECTIF	10
CONTENU	10
UTILITÉ.....	10
EMPLOI	11
MISE À JOUR	11
RÉFÉRENCES	11
MODULE B : LES SOLLICITATIONS	13
1 INTRODUCTION	15
2 SOLLICITATIONS MÉCANIQUES.....	15
2.1 <i>Trafic</i>	16
2.2 <i>Analyse quantitative selon les normes SN</i>	16
2.3 <i>Analyse qualitative : trafic pour cas particuliers</i>	18
2.4 <i>Exemples d'application</i>	18
3 SOLLICITATIONS CLIMATIQUES.....	21
3.1 <i>Sollicitations thermiques</i>	21
3.2 <i>Sollicitations hydrogéologiques</i>	22
4 SOLLICITATIONS CHIMIQUES.....	22
5 RÉFÉRENCES	23
MODULE C : LES CHAUSSÉES NEUVES	25
1 INTRODUCTION	27
1.1 <i>Bases</i>	27
1.2 <i>Facteurs d'influence</i>	27
2 DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL	28
2.1 <i>Procédure de dimensionnement</i>	28
2.2 <i>Dimensionnement à la portance</i>	29
2.3 <i>Dimensionnement au gel</i>	30
2.4 <i>Amélioration de l'infrastructure</i>	30
3 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES TYPES DE SUPERSTRUCTURE DE LA NORME SN 640 324.....	32
3.1 <i>Principes</i>	32
3.2 <i>Revêtement bitumineux sur grave (superstructure de type 1)</i>	32
3.3 <i>Revêtement bitumineux sur couche de fondation bitumineuse (Types 2/3)</i>	32
3.4 <i>Revêtement bitumineux sur couche stabilisée aux liants hydrauliques (Types 4/5)</i>	33
4 TYPES DE SUPERSTRUCTURE COMBINÉS, CHAUSSÉE COMPOSITE.....	33
4.1 <i>Principe</i>	33
4.2 <i>Dimensionnement</i>	33
5 EVALUATION DE VARIANTES, CHOIX DE LA SUPERSTRUCTURE OPTIMALE	34
5.1 <i>Approche</i>	34
5.2 <i>Cycle de vie</i>	34
5.3 <i>Critères pour la comparaison de variantes</i>	36
5.4 <i>Evaluation et pondération des critères</i>	36
5.5 <i>Exemple : Comparaison de variantes pour route à grand débit et trafic très lourd</i>	38
6 MÉTHODES ANALYTIQUES DE DIMENSIONNEMENT	40
7 RÉFÉRENCES	43

MODULE D : L'ENTRETIEN.....	45
1	INTRODUCTION 47
2	CONCEPTION DE LA MAINTENANCE D'UNE CHAUSSÉE EN FONCTION DE SON COMPORTEMENT 47
2.1	<i>Facteurs de comportement (aspects de dégradation)</i> 47
2.2	<i>Mécanismes de dégradation et exigences relatives au comportement</i> 47
3	AUSCULTATION DE LA CHAUSSÉE 48
3.1	<i>Revêtements bitumineux</i> 48
3.2	<i>Revêtements en béton</i> 52
4	MESURES D'ENTRETIEN DE CHAUSSÉES EXISTANTES 52
4.1	<i>Introduction</i> 52
4.2	<i>Mesures d'entretien pour les chaussées souples (revêtement bitumineux)</i> 57
4.3	<i>Mesures d'entretien pour les chaussées en béton</i> 64
4.4	<i>Planification de mesures et de stratégie</i> 73
5	RÉFÉRENCES 84
MODULE E : LES COUCHES.....	89
1	COUCHES DE LA SUPERSTRUCTURE ROUTIÈRE 91
1.1	<i>Définitions et fonctions des couches de superstructure</i> 92
1.2	<i>Fonction des couches</i> 93
1.3	<i>Comportement structural du revêtement</i> 95
1.4	<i>Liaison entre les couches</i> 95
1.5	<i>Contrôle</i> 95
1.6	<i>Exigences</i> 95
2	REVÊTEMENTS EN BÉTON BITUMINEUX : DÉFINITION DES COUCHES DU REVÊTEMENT 95
2.1	<i>Démarche</i> 96
2.2	<i>Exemple</i> 96
3	RÉFÉRENCES 97
MODULE F : LES MATÉRIAUX.....	99
1	MATÉRIAUX..... 101
1.1	<i>Matériaux de fondation</i> 101
1.2	<i>Matériaux bitumineux à chaud normalisés pour revêtements</i> 102
1.3	<i>Matériaux bitumineux à chaud en voie de normalisation</i> 103
1.4	<i>Matériaux nouveaux</i> 104
1.5	<i>Revêtements bitumineux à froid</i> 105
2	DOMAINES D'EMPLOI 105
2.1	<i>Enduits superficiels</i> 108
2.2	<i>Membranes d'interposition (SAMI)</i> 109
3	RÉFÉRENCES 110
MODULE G : LES ESSAIS	111
1	PRÉAMBULE..... 113
2	ESSAIS 114
MODULE H : LE RECYCLAGE.....	119
1	PRINCIPES GÉNÉRAUX..... 121
2	BUTS..... 121
3	ÉVALUATION DE L'INCIDENCE SUR L'ENVIRONNEMENT..... 122
3.1	<i>Matériau bitumineux de démolition</i> 122
4	RECYCLAGE À CHAUD DES GRANULATS BITUMINEUX 123
4.1	<i>Introduction</i> 123
4.2	<i>Recyclage à froid des granulats bitumineux</i> 125
4.3	<i>Recyclage du matériau de défonçage d'une route</i> 126
4.4	<i>Recyclage des granulats de béton</i> 127
5	RÉFÉRENCES 128

MODULE A : Introduction

Table des matières

PRÉFACE	9
IN MEMORIAM	9
OBJECTIF	10
CONTENU	10
UTILITÉ.....	10
EMPLOI	11
MISE À JOUR	11
RÉFÉRENCES	11

Préface

Cet ouvrage a été élaboré en équipe. Celle-ci a été constituée de façon à disposer des connaissances étendues d'experts suisses de la conception, de la construction et de la maintenance des chaussées.

Cette équipe provenant des divers horizons de la recherche, du bureau d'étude, de la pratique et du laboratoire d'essais a permis d'intégrer dans cet ouvrage tant les aspects théoriques que pratiques des connaissances nécessaires pour concevoir les chaussées.

Ont participé à l'élaboration de cet ouvrage :

- Matthias Blumer, Ing. dipl. EPF/SIA
- Dr. Manfred Partl, Ing. dipl. EPF/SIA, directeur Construction routière / Etanchéités EMPA
- Ernst Stahel, Ing. dipl. EPF/SIA
- Tony Bühler, Ing. dipl. EPF/SIA, directeur COLAS SA
- Rolf Werner, Ing. dipl. ETS, BEVBE
- Martin Horat, Ing. dipl. EPF, ETHZ-IGT

Le groupe remercie l'office fédéral des routes pour le financement des travaux ayant permis l'élaboration de ce manuel, ainsi que la VSS pour la publication et la diffusion de ce document.

Elle tient également à saluer l'énorme travail de traduction assurée en majeure partie par Daniel Baumann, ingénieur assistant au LAVOC.

J.-C. Turtzschy, Ing. dipl. EPF
Adjoint scientifique EPFL - LAVOC
Chargé de cours, Chef de projet

In Memoriam

Nous dédions ce manuel à Mathias Blumer qui s'est éteint, alors que cet ouvrage était pratiquement achevé. Nous ne soulignerons jamais assez à quel point ses connaissances ont été précieuses, tant pour l'élaboration de ce document que de façon générale pour la technologie routière en Suisse. A cela s'ajoute le fait que Mathias était extrêmement charmant, jovial et toujours prêt à rendre service.

Objectif

Le présent manuel de conception des chaussées s'adresse aux techniciens et aux ingénieurs oeuvrant dans le domaine de la construction et de l'entretien des chaussées en Suisse. L'ouvrage fournit les outils et conseils nécessaires au dimensionnement d'une chaussée, à la sélection de la structure offrant la solution économique optimale et à la sélection des techniques d'entretien et des matériaux adéquats, compte tenu du trafic, des conditions géométriques, topographiques et environnementales de l'ouvrage concerné.

Contenu

Le manuel de conception des chaussées contient le savoir-faire d'experts suisses de la construction et de l'entretien des chaussées.

L'ouvrage fournit les informations utiles à la conception et à l'entretien des superstructures routières, qu'elles soient souples, semi-rigides ou en béton, à l'exception des ouvrages d'art. Les techniques et les matériaux innovants sont également traités dans ce manuel.

Le présent manuel a été conçu sous forme de modules, afin d'en faciliter la mise à jour ultérieure. Chaque module contient en principe :

- une partie théorique succincte
- une partie pratique avec conseils, recommandations et généralement exemples de démarche, de calcul ou de sélection d'une structure, d'une technique ou d'un matériau

Utilité

Le manuel se veut complémentaire aux normes suisses et aux publications helvétiques en matière de conception et d'entretien des chaussées.

En effet, les normes servent à définir les règles, les directives et les exigences en matière de dimensionnement, construction, maintenance, auscultation des superstructures routières, de formulation des mélanges de production, de transport et de mise en oeuvre des matériaux.

Les traités de construction sont des ouvrages généraux qui traitent généralement de façon globale et théorique de la construction routière.

Il manque donc pour l'ingénieur et le technicien un recueil sur les considérations pratiques en matière de construction et de maintenance des chaussées, au sens large du terme, pour :

- la sélection des structures et des techniques d'entretien
- le choix des matériaux

de façon à fournir au praticien la solution technique et économique la mieux adaptée compte tenu des conditions locales de l'ouvrage considéré.

Emploi

Dans la conception modulaire, nous nous sommes efforcés de rendre les modules les plus autonomes possible, en évitant au maximum de devoir se référer dans un processus à des informations contenues dans d'autres modules, ce qui devrait faciliter son utilisation. Le manuel contient 7 modules, en plus du module A d'introduction, à savoir :

- MODULE B "LES SOLLICITATIONS"
- MODULE C "LES CHAUSSEES NEUVES"
- MODULE D "L'ENTRETIEN"
- MODULE E "LES COUCHES"
- MODULE F "LES MATERIAUX"
- MODULE G "LES ESSAIS"
- MODULE H "LE RECYCLAGE"

L'utilisateur se référera donc au(x) module(s) de son choix pour y puiser l'information nécessaire.

Mise à jour

Pour faciliter l'utilisation du manuel pour le praticien, les désignations courantes jusqu'ici pour les produits, et en particulier les mélanges bitumineux ont été conservées. Cette option se justifiait également par le fait que les nouvelles désignations ont connu des modifications durant l'élaboration du manuel. Lors de la prochaine révision du manuel, il faudra toutefois introduire les nouvelles désignations des produits. En l'état actuel, se basera sur les correspondances suivantes entre nouvelles et anciennes désignations (données entre parenthèses) :

AC	béton bitumineux (AB, HMT, HMF)
ACVTL	béton bitumineux pour couches très minces (---)
SMA	béton bitumineux grenu à forte teneur en mastic (SMA)
PA	Béton bitumineux drainant (Drainasphalt DRA)
MA	Gussasphalt (GA)
HRA	Hot Rolled Asphalt (Hot Rolled Asphalt)
KMF	enrobé à froid pour couches de fondation (KMT)
AC MR	béton bitumineux macrorugueux (MR)
OB	enrobé à froid ECF (Slurry)
EME	enrobé à module élevé (EME, BBHM)
C	béton (---)

Comme mentionné précédemment, le concept de modules a été choisi pour permettre une mise à jour simplifiée, donc plus aisée, du manuel. Chaque module sera remis à jour au gré des besoins. La prochaine mise à jour se fera avec l'introduction des Euronormes dans le domaine des enrobés et autres matériaux routiers, prévue en 2005.

Références

Les références spécifiques à chacun des modules figurent en annexe de chaque module concerné.

.

MODULE B : Les sollicitations

Table des matières

1	INTRODUCTION	15
2	SOLLICITATIONS MECANIQUES.....	15
2.1	<i>Trafic</i>	16
2.2	<i>Analyse quantitative selon les normes SN</i>	16
2.2.1	Calcul de trafic équivalent pour des trafics lourds ayant une limite de charge inférieure à 28t.....	16
2.2.2	Calcul de trafic équivalent pour des trafics lourds ayant une limite de charge supérieure à 28t.....	17
2.2.3	Calcul du trafic pondéral équivalent pour des trafics composés de bus	17
2.2.4	Taux d'augmentation annuel du trafic	18
2.3	<i>Analyse qualitative : trafic pour cas particuliers</i>	18
2.4	<i>Exemples d'application</i>	18
3	SOLLICITATIONS CLIMATIQUES	21
3.1	<i>Sollicitations thermiques</i>	21
3.2	<i>Sollicitations hydrogéologiques</i>	22
4	SOLLICITATIONS CHIMIQUES	22
5	REFERENCES	23

1 Introduction

Les sollicitations peuvent avoir trois origines distinctes:

- mécanique
- climatique
- chimique

Généralement, les sollicitations d'une chaussée résultent d'une combinaison des trois composants ci-dessus. Cela signifie que la conception d'une structure de chaussée ou d'une solution d'entretien devrait donc résulter de la prise en compte de ces trois facteurs. Il n'existe pas actuellement de méthode confirmée qui mette en relation ces trois types de sollicitations et permette d'obtenir un résultat exprimant et quantifiant leur effet combiné. Par conséquent, elles doivent être traitées séparément (Tableau 1).

Sollicitations	Cause	Méthode d'analyse	Incidence
Mécaniques	Trafic	Quantitatif: trafic équivalent	Épaisseur des couches de surface et de base
		Qualitatif: types de charges	Formulation des revêtements
	Sol de fondation	Portance	Épaisseur des couches de fondation ou traitement du sol support
	Topologie	Altitude, ensoleillement, géométrie, etc.	Type d'enrobé Nature du liant
Climatique	Gel	Cycles gel/dégel	Dimensionnement au gel
	Précipitation	Conditions hydrauliques	Drainage
	Variation de température	Gradient de température dans les couches	Choix du liant
	Choc thermique	Qualité du liant à basse température	Choix du liant
Chimique	Vieillessement	Comportement du liant	Choix du liant

Tableau 1: Types de sollicitations

2 Sollicitations mécaniques

Les sollicitations mécaniques sur le revêtement bitumineux peuvent être induites par:

- le trafic
- les mouvements du sol de fondation

2.1 Trafic

Le trafic est indéniablement le plus important des facteurs engendrant des sollicitations dans les chaussées routières. Son analyse doit être menée de façon quantitative et qualitative. Dans la plupart des méthodes de dimensionnement, l'analyse quantitative du trafic se fait par l'intermédiaire de la notion de trafic équivalent qui permet de quantifier l'ensemble du trafic sous forme d'un nombre de charges d'une intensité définie. La norme SN 640 324 [1] décrit la méthode à utiliser pour quantifier le trafic. La quantification du trafic décrite dans la norme dépend uniquement des charges par essieu et du volume global de trafic lourd. Elle est utilisée essentiellement pour la détermination de l'épaisseur des couches et des types de matériaux de la structure routière. Cette quantification ne donne en revanche aucune information sur le mode d'application des sollicitations sur les chaussées: charges statiques ou en mouvement, vitesse dans le cas des charges en mouvement, éventuelles charges horizontales. Pour y remédier, il convient de procéder à une analyse qualitative du trafic. Cette analyse aboutit à des informations utiles pour la sélection et la formulation des matériaux bitumineux choisis.

Trafic	Facteurs prépondérants	Principaux types de dégradation	Principales situations concernées
Quantitatif	Charge par axe Volume global de trafic	Fissuration par fatigue Déformations permanentes Perte d'adhérence Arrachement des granulats	Toutes zones circulées
Qualitatif	Température d'application de la charge Durée d'application (vitesse) Intensité et configuration de la charge	Déformation permanentes des couches bitumineuses	Zones de circulation à faible vitesse Arrêts de bus Places de parc Giratoires Zones à trafic lourd canalisé (Voies bus, voies lentes)

Tableau 2: Analyse du trafic

2.2 Analyse quantitative selon les normes SN

Les normes SN pour le dimensionnement ou le renforcement des chaussées utilisent le trafic sous forme de trafic équivalent et font référence aux normes AASHTO. La description du calcul du trafic équivalent est donnée dans la norme SN 640 320 [2]. Le trafic équivalent revient à exprimer les charges de trafic sous la forme d'un nombre d'essieux dit "équivalents" (ESAL: Equivalent Standard Axle Load) par le biais de coefficients d'équivalence. L'essieu équivalent utilisé en Suisse est de 8.16t. La répartition en classes de trafic se fait selon des échelles logarithmiques à partir des moyennes journalières exprimées en ESAL. Le trafic pris en compte dans la norme SN 640 320 est uniquement le trafic dit lourd, intégrant les véhicules présentant une charge totale supérieure à 3.5t.

Les données nécessaires pour le calcul du trafic équivalent concernent l'intensité des charges, le volume global de trafic et la composition du trafic (type de véhicules ou d'essieux). Les meilleures informations sont fournies par les pesages automatiques de type WIM (Weigh in Motion) au sujet desquels on trouvera de la documentation dans [3] et [4].

2.2.1 Calcul de trafic équivalent pour des trafics lourds ayant une limite de charge inférieure à 28t.

La norme SN 640 320 prévoit quatre démarches en fonction de la qualité des informations à disposition pour la répartition des charges par essieux.

La première est basée sur des coefficients d'équivalence par essieu et nécessite de disposer de données de pesages détaillées concernant les charges par essieu et le type d'essieu auxquelles elles correspondent. Cette démarche est appelée procédure de base car elle est à l'origine des trois autres présentées ci-dessous. L'exemple 1 ci-après illustre l'application de cette démarche.

La seconde est basée sur des coefficients d'équivalence par classe de véhicules lourds. Les classes de véhicules lourds sont définies par des silhouettes de véhicules, ce qui permet d'avoir recours à des relevés visuels de trafic. Il convient alors de connaître la répartition entre les diverses classes de véhicules pour le calcul du trafic équivalent. L'exemple 2 illustre l'application de cette démarche.

La troisième est basée sur des coefficients d'équivalence par catégorie de PL. Les catégories de PL correspondent à celles utilisées lors des recensements de trafic, ce qui permet d'utiliser des données statistiques de trafic. Il convient alors de connaître la répartition entre les diverses catégories de PL pour le calcul du trafic équivalent. L'exemple 3 illustre l'application de cette démarche.

La quatrième est basée sur des coefficients d'équivalence définis pour divers types de route et pour l'ensemble du trafic lourd. Les coefficients d'équivalence sont différenciés pour les autoroutes de transit, les autoroutes, les routes principales et les routes de liaison. Il convient alors de connaître le volume global de trafic lourd pour le calcul du trafic équivalent. L'exemple illustre l'application de cette démarche.

Les deuxièmes, troisièmes et quatrièmes démarches sont basées sur des pesages ponctuels effectués en 2000 et aboutissent par conséquent à des estimations. Avant de les utiliser, il convient de s'assurer que comptages utilisés sont représentatifs des conditions réelles du projet étudié.

2.2.2 Calcul de trafic équivalent pour des trafics lourds ayant une limite de charge supérieure à 28t.

La norme SN 640 320a est basée sur des pesages WIM d'un trafic limité à 28t. Elle ne permet par conséquent pas d'estimer le trafic équivalent en présence de véhicules présentant une charge supérieure à 28t à partir de coefficients globaux (démarches 2, 3 et 4). Il convient alors d'appliquer la première démarche décrite dans la norme SN 640 320 qui fournit les coefficients d'équivalence par essieu en fonction de la charge. Il est alors nécessaire de disposer de pesage détaillé (charge par essieu et type d'essieu) correspondant à un trafic ayant une limite similaire à celle que l'on doit étudier. Ces données de pesage pourraient être obtenues dans des pays ayant une limite de charge supérieure. Dans l'ensemble, il faut s'attendre à une augmentation conséquente des coefficients d'équivalence par véhicule tels que donnés dans les deuxième et troisième démarches de la norme 640 320.

2.2.3 Calcul du trafic pondéral équivalent pour des trafics composés de bus

Dans ce cas de figure, il convient également d'appliquer la première démarche décrite dans la norme SN 640 320 qui fournit des coefficients d'équivalence par essieu. Pour déterminer le trafic équivalent généré par les bus, on effectuera des pesages des différents véhicules composant le parc des bus utilisés sur la section de route concernée. Il conviendra d'effectuer ces pesages avec des taux de chargement variable, puis d'estimer les proportions des divers chargements. Cette démarche permettra d'établir le nombre d'essieux équivalents circulant sur la section concernée. Les arrêts, les zones de stationnement ou les zones de ralentissement à proximité des feux de circulation devront faire l'objet d'études particulières. Dans ces zones, il convient de compléter l'analyse quantitative par une analyse qualitative.

2.2.4 Taux d'augmentation annuel du trafic

Le dimensionnement d'une route se fait toujours pour une durée d'utilisation bien déterminée. Un tel dimensionnement nécessite de connaître les charges appelées à solliciter la chaussée sur l'ensemble de la période d'utilisation. Pour le faire, il convient de déterminer le taux de d'augmentation du trafic, puis d'appliquer la formule suivante figurant au chiffre 22 de la norme SN 640 320 :

$$TF_n = \frac{(1 + r)^n - 1}{r \cdot n} \cdot TF_0$$

2.3 Analyse qualitative : trafic pour cas particuliers

Quel que soit le projet, il est nécessaire d'effectuer une analyse qualitative du trafic pour le choix du mélange bitumineux. Cette analyse doit être entreprise de manière plus approfondie lorsque les risques de dégradation dépendent principalement des charges. C'est notamment le cas pour :

- les zones à faible vitesse (à proximité des carrefours) ou de manœuvre
- les voies et arrêts de bus
- les parkings
- les giratoires
- les voies lentes

Toutes ces situations ont un point commun: les charges de trafic y sont appliquées à faible vitesse, voir de façon statique. Ce type de chargement est particulièrement néfaste pour les matériaux bitumineux en raison de leur comportement viscoplastique: une application lente ou constante des charges favorise les phénomènes de déformations permanentes. La viscosité des matériaux augmentant avec la température, les charges deviennent encore plus néfastes à haute température. Les facteurs déterminants pour l'analyse quantitative du trafic sont dans l'ordre d'importance:

- la température du revêtement lors de l'application des charges
- la durée du chargement
- l'intensité du chargement

Dans les situations où les charges sont appliquées longtemps sur des matériaux bitumineux ayant une température élevée, il n'est pas rare d'observer d'importantes déformations permanentes même pour des charges de faible intensité. Dans ce genre de situation, il convient de s'assurer que le mélange bitumineux choisi offre une bonne résistance vis-à-vis des déformations permanentes, ce qui peut être fait par des essais en laboratoire.

Dans le cas des giratoires ou des zones de manœuvre, il faut être conscient que les véhicules munis d'essieux doubles ou triples peuvent induire des efforts horizontaux importants si le rayon de giration est faible. Ces efforts, s'ils sont combinés avec une température élevée, peuvent entraîner des dégradations brutales et importantes de la couche de roulement.

2.4 Exemples d'application

Exemple 1 (application de la procédure de base selon chiffre 18 de la norme SN 640 320):

Des pesages ont été effectués sur trois types de bus appelés à circuler sur une section de route à reconstruire. Les bus ont été pesés pour des taux de chargement variables en fonction de leur remplissage (vide, moyen, plein. Les bus présentent les caractéristiques suivantes:

- Bus 1, deux essieux simples

- Bus 2, essieu avant simple, essieu arrière tandem (ou double)
- Bus 3, articulé, trois essieux simples

Sur la section de route concernée, il est admis que le 15 % des bus circulent à vide, 55 % avec une charge moyenne et 30 % à pleine charge chaque jour pendant 18 heures. La répartition entre les différents types de bus est de 7 bus I, 3 bus II et 8 bus III dans une seule direction.

La détermination du trafic pondéral équivalent journalier donne les résultats suivants (Tableau 3). Pour chacun des bus, le tableau contient les résultats des pesages et les coefficients d'équivalence correspondant aux charges mesurées par essieux. Nous y avons également ajouté les valeurs totales pour chaque type de bus.

Bus I	Bus à vide		Bus moyen		Bus à plein	
Essieu simple avant	5 t	0,15	6 t	0,29	7 t	0,53
Essieu simple arrière	7 t	0,53	9 t	1,52	11 t	3,66
Total Bus I	12 t	0,68	15 t	1,81	18 t	4,19

Bus II	Bus à vide		Bus moyen		Bus à plein	
Essieu simple avant	6 t	0,29	7 t	0,53	8 t	1,00
Essieu double arrière	9 t	0,14	13 t	0,54	17 t	1,63
Total Bus II	15 t	0,43	20 t	1,07	25 t	2,63

Bus III	Bus à vide		Bus moyen		Bus à plein	
Essieu simple avant	6 t	0,29	7 t	0,53	8 t	1,00
Essieu simple arrière	7 t	0,53	8 t	1,00	9 t	1,52
Essieu simple remorque	5 t	0,15	7 t	0,53	8 t	1,00
Total Bus III	18 t	0,97	23 t	2,06	25 t	3,52

Tableau 3: Résultats de pesage et coefficients d'équivalence du trafic

En tenant compte de la répartition entre des véhicules en fonction de leur taux d'occupation, il est possible de calculer un coefficient d'équivalence moyen pour chaque bus:

- Bus I: $0,15 \times 0,68 + 0,55 \times 1,81 + 0,30 \times 4,19 = 2,35$
- Bus II: $0,15 \times 0,43 + 0,55 \times 1,07 + 0,30 \times 2,63 = 1,44$
- Bus III: $0,15 \times 0,97 + 0,55 \times 2,06 + 0,30 \times 3,52 = 2,33$

Le nombre d'essieux équivalent journalier (ESAL) pour la section de route s'obtient alors en sommant l'effet de chacun des bus sur une période de 18 heures:

$$TF_0 = 18 \times (7 \times 2,35 + 3 \times 1,44 + 8 \times 2,33) = 710 \text{ ESAL}$$

Exemple 2 (application de la première méthode d'estimation selon chiffre 19 de la norme SN 640 320):

Des relevés visuels sur une route d'accès à une zone industrielle ont été effectués pour un projet de renforcement de la chaussée. Les relevés fournissent le nombre moyen journalier de véhicules pour chaque classe selon le tableau 3 de la norme SN 640 320a. Ils tiennent compte de l'ensemble des véhicules dans les deux sens de marche et la route a une voie de circulation dans chaque direction. Suite au développement de la zone industrielle, il est prévu un accroissement régulier du trafic de 3 %. Il convient de déterminer le trafic pondéral équivalent journalier moyen de cette section de route pour les 10 prochaines années.

Les relevés visuels ont donné les résultats suivants (**Tableau 4**). Chacune des classes de véhicules contient en plus les coefficients d'équivalence tirés du tableau 3 de la norme SN 640 320. Il y a été ajouté le nombre d'ESAL chaque classe de véhicule ainsi qu'une ligne contenant le nombre total des véhicules et des ESAL.



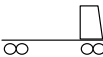
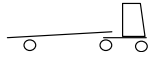
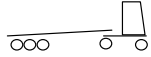
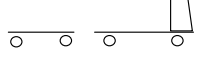
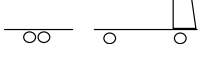
Classes de véhicules lourds	Nombre de véhicules	Facteur d'équivalence	Nombre d'ESAL
	120	0.8	96
	136	1.5	204
	102	1.5	153
	82	0.5	41
	105	1.4	147
	131	2.2	288
	46	2.6	120
Total	722	-	1049

Tableau 4: Résultats d'évaluation du trafic par relevé visuel et coefficients d'équivalence

En appliquant la clé de répartition du trafic pondéral total de la route en fonction du nombre de voies, on obtient le TF actuel de la section de route:

$$TF_0 = 0,50 \times 1049 = 525 \text{ ESAL}$$

En tenant compte du taux d'accroissement annuel constant de 3 %, le trafic pondéral équivalent journalier moyen sur 10 ans, TF_{10} se calcule comme suit:

$$TF_{10} = \frac{(1 + 0,03)^{10} - 1}{0,03 \cdot 10} \cdot TF_0 = 602 \text{ ESAL}$$

Exemple 3 (application de la deuxième méthode d'estimation selon chiffre 20 de la norme SN 640 320):

Afin de procéder au renforcement d'un tronçon autoroutier à quatre voies, il est nécessaire d'estimer le trafic pondéral équivalent journalier moyen circulant actuellement sur cette chaussée. Pour le faire, on dispose des résultats de comptage de circulation obtenu auprès de l'OFROU donnant la répartition des véhicules lourds en trois catégories, conformément à la norme SN 640 002 [8]. Pour une période de 60 jours, les comptages ont fourni les données recensées dans le tableau. Ces comptages prennent en compte l'ensemble des véhicules dans les deux directions. Il a été ajouté dans le **Tableau 5** les facteurs d'équivalence, le calcul du nombre d'ESAL ainsi que les nombres totaux de véhicules et d'ESAL.

Catégorie	Nombre de véhicule	Facteur d'équivalence	ESAL
Camion	20'628	1,0	20'628
Camion remorque	7'448	2,2	16'386
Semi-remorque	14'426	1,4	20'196
Total	42'502	-	57'210

Tableau 5: Résultats de comptage du trafic et coefficients d'équivalence

Partant des résultats du tableau ci-dessus et compte tenu de la clé de répartition, le trafic pondéral équivalent moyen pour une section de route s'obtient de la manière suivante:

$$TF_0 = 0,45 \times \frac{57'210}{60} = 429 \text{ ESAL}$$

Exemple 4 (application de la troisième méthode d'estimation selon chiffre 21 de la norme SN 640 320):

Partant des mêmes données que pour l'exemple 3, on suppose qu'on ne connaît pas la répartition entre les divers types de véhicules lourds mais uniquement le nombre total, soit 42'502. Sachant que l'autoroute est considérée comme une route à grand débit, le trafic pondéral équivalent moyen pour une section de route s'obtient de la manière suivante:

$$TF_0 = 0,45 \times \frac{42'502 \times 1,3}{60} = 414 \text{ ESAL}$$

3 Sollicitations climatiques

Les sollicitations climatiques sur une superstructure routière comprennent :

- les sollicitations thermiques
- les sollicitations hydrauliques
- les sollicitations hydrogéologiques

Dans ce chapitre, nous aborderons les sollicitations affectant la conception d'une chaussée, à savoir les conditions thermiques et hydrogéologiques.

3.1 Sollicitations thermiques

Les sollicitations thermiques sont le résultat de variations rapides et non uniformes de la température dans les couches bitumineuses. La répartition des températures dans les couches bitumineuses dépend du climat qui est fonction de la topographie du lieu. En général, des sollicitations thermiques importantes conduisent à l'apparition de fissures dans les couches de surface où ont lieu les diminutions de température les plus importantes et les plus brusques. On parle alors de fissuration thermique.

Les facteurs climatiques essentiels sont la température de l'air, mais également l'ensoleillement. Il convient de préciser également que le traitement hivernal, soit l'application de produits de déverglage a une action thermique importante sur le revêtement d'une chaussée.

On choisira le type de liant en fonction des conditions climatiques et topographiques du tronçon de chaussée concerné [9].

Lorsque la chaussée concernée se trouve dans un lieu où des variations de température importantes et rapides sont observées, entraînant un risque accru de fissuration thermique, il y a lieu de porter une attention particulière au choix du mélange de la couche de roulement et surtout de son liant. On veillera en effet à choisir un mélange assez riche en liant, et on sélectionnera un bitume de faible susceptibilité thermique (indice de pénétration IP positif), ou mieux encore un liant modifié.

3.2 Sollicitations hydrogéologiques

Si le trafic est le principal responsable des dégradations des chaussées routières, son effet est fonction de la portance du sol de fondation. La méthode de dimensionnement prend en compte la qualité du sol de fondation en définissant des classes de portance (SN 640 317) [5] pour le choix des superstructures. La norme SN 640 317 préconise également les mesures à prendre pour l'amélioration de la portance du sol de fondation. La mauvaise qualité du sol conduit en général à une augmentation de l'épaisseur de la fondation, mais n'a pas d'influence sur l'épaisseur des revêtements qui dépendent essentiellement du volume de trafic (cf. ci-dessus).

Toutefois, il peut arriver qu'en cours d'exploitation la modification des conditions climatiques et hydrauliques introduise des variations de la portance du sol de fondation. Celles-ci se traduisent en général par des tassements et des fissures des couches bitumineuses. Les paramètres susceptibles de faire varier la portance sont principalement:

- l'effet des cycles gel/dégel
- les variations des conditions hydrauliques

On se prémunit des effets des cycles gel/dégel en effectuant un dimensionnement au gel selon la norme SN 640 317. Les principaux dégâts dus au gel sont définis dans la norme SN 670 140 [6].

Concernant les conditions hydrauliques, il convient de s'assurer qu'elles demeurent aussi constantes que possible sous la route et que la présence de la nappe phréatique ne réduit pas de façon sensible la portance du sol de fondation. La norme SN 640 355 [7] consacrée au drainage donne les instructions nécessaires pour y parvenir.

4 Sollicitations chimiques

En général, les sollicitations chimiques sont de 2 ordres :

- Les sollicitations chimiques dues au traitement hivernal. Celles-ci occasionnent essentiellement des sollicitations thermiques importantes par l'abaissement brutal de la température en surface de la chaussée.
- Les sollicitations chimiques dues au déversement accidentel de produits sur la chaussée. Certains produits peuvent aggraver le revêtement (hydrocarbures, acides). Lorsque l'on peut s'attendre à des risques de déversement de produits agressifs pour le revêtement bitumineux en petites quantités, il est généralement économiquement intéressant de se prémunir des effets néfastes pour le revêtement bitumineux. A titre d'exemple, on veillera à appliquer un coulis anti-hydrocarbures sur les zones de parcage de véhicules.

5 Références

- [1] SN 640 324 Dimensionnement; Superstructure des routes
- [2] SN 640 320 Dimensionnement; Trafic pondéral équivalent
- [3] COST 323 Pesage en marche des véhicules routiers, 2^e conférence européenne Lisbonne, 14/16 septembre 1998, Actes finaux
- [4] Cebon D. Handbook of vehicle-Road interaction, University of Cambridge, 1999
- [5] SN 640 317 Dimensionnement; Terrain et infrastructure
- [6] SN 670 140 Gel
- [7] SN 640 355 Drainage; Etude des projets
- [8] SN 640 002 Recensement dans les transports; Comptage
- [9] SN 640 431 Mélanges bitumineux – Béton bitumineux; Spécifications sur le matériau
- [10] Conception des voies de circulation, octobre 2000, A.-G. Dumont, LAVOC-EPFL

MODULE C : Les chaussées neuves

Table des matières

1	INTRODUCTION	27
1.1	<i>Bases</i>	27
1.2	<i>Facteurs d'influence</i>	27
2	DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL	28
2.1	<i>Procédure de dimensionnement</i>	28
2.2	<i>Dimensionnement à la portance</i>	29
2.3	<i>Dimensionnement au gel</i>	30
2.4	<i>Amélioration de l'infrastructure</i>	30
2.4.1	<i>Stabilisation</i>	31
2.4.2	<i>Géomembranes (géotextiles et géogrilles)</i>	31
2.4.3	<i>Armature en géogridde</i>	31
3	PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES TYPES DE SUPERSTRUCTURE DE LA NORME SN 640 324.....	32
3.1	<i>Principes</i>	32
3.2	<i>Revêtement bitumineux sur grave (superstructure de type 1)</i>	32
3.3	<i>Revêtement bitumineux sur couche de fondation bitumineuse (Types 2/3)</i>	32
3.4	<i>Revêtement bitumineux sur couche stabilisée aux liants hydrauliques (Types 4/5)</i>	33
4	TYPES DE SUPERSTRUCTURE COMBINES, CHAUSSEE COMPOSITE.....	33
4.1	<i>Principe</i>	33
4.2	<i>Dimensionnement</i>	33
5	EVALUATION DE VARIANTES, CHOIX DE LA SUPERSTRUCTURE OPTIMALE	34
5.1	<i>Approche</i>	34
5.2	<i>Cycle de vie</i>	34
5.3	<i>Critères pour la comparaison de variantes</i>	36
5.4	<i>Evaluation et pondération des critères</i>	36
5.5	<i>Exemple : Comparaison de variantes pour route à grand débit et trafic très lourd</i>	38
5.5.1	<i>Interprétation des résultats :</i>	38
6	METHODES ANALYTIQUES DE DIMENSIONNEMENT	40
7	RÉFÉRENCES	43

1 Introduction

Une conception des chaussées basée sur la performance de la superstructure englobe le dimensionnement structurel et le choix de matériaux conformes aux sollicitations. Elle a pour but d'assurer un bon comportement au service (performance) de la chaussée pendant sa durée de vie prévue.

1.1 Bases

La méthode de dimensionnement des chaussées bitumineuses figurant dans les normes suisses [1] s'appuie sur la méthode de dimensionnement AASHTO développée dans les années 60. Selon le AASHTO Guide for Design [2], la portance d'une chaussée bitumineuse est exprimée à l'aide de la valeur de structure SN (Structural Number). Cette dernière est définie comme étant la somme des épaisseurs D [cm] de chacune des couches de la superstructure multipliées par les coefficients de portance a_i spécifique à chaque type de matériau constituant la superstructure (Tab. 5 SN 640 324) :

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 + \dots + a_nD_n$$

- a_i : coefficient de la portance relative d'une couche de superstructure par rapport à une valeur de base d'une grave arrondie $a = 1.0$
- a_iD_i : Valeur de portance d'une couche d'épaisseur D

La valeur de structure nécessaire $SN_{néc}$ dépend de la classe de trafic T_i et de la classe de portance S_i . Les valeurs nécessaires pour les différentes classes de trafic et de portance du sol sont données dans la norme [3]

La valeur de structure nécessaire $SN_{néc}$ constitue la base pour :

- le dimensionnement d'une nouvelle chaussée bitumineuse selon SN 640 324
- le dimensionnement d'un renforcement par rechargement ou par renouvellement partiel selon SN 640 324 (module D, chap. 4.2)
- le dimensionnement d'un renforcement par rechargement d'un revêtement bitumineux d'une chaussée en béton selon SN 640 736 [4] (module D, chap. 4.3)

Les coefficients de portance a_i donnés dans le tableau 5 de la norme SN 640 324 sont valables pour les matériaux normalisés. Des nouveaux matériaux peuvent être pris en compte à condition que leur valeur de portance soit connue.

1.2 Facteurs d'influence

Les facteurs suivants sont à prendre en compte dans le dimensionnement :

- sollicitations du trafic
- caractéristiques du terrain naturel et de l'infrastructure
- conditions locales (climat, conditions hydrologiques)

La charge de trafic est déterminée selon la norme SN 640 320 [5] et elle est exprimée en trafic pondéral équivalent journalier TF ou en trafic pondéral équivalent total W (voir module B).

Le trafic déterminé permet de sélectionner la classe de trafic T_i correspondante à prendre en compte pour le dimensionnement.

Les propriétés prépondérantes du terrain naturel et de l'infrastructure sont la portance et la sensibilité au gel (Figure 1). Pour le dimensionnement selon la norme SN 640 324, seules les classes de portance S1 à S4 sont prises en compte, les sols de classe S0 nécessitent une amélioration préalable de la portance ou un dimensionnement selon des études spécifiques.

Les conditions locales (profondeur moyenne de gel X_{30} , conditions hydrogéologiques) qui nécessitent des mesures pour empêcher de dégâts dus au gel/dégel sont définies dans la norme SN 640 317 [6].

2 Dimensionnement structurel

2.1 Procédure de dimensionnement

Le dimensionnement structurel englobe un dimensionnement à la portance et, lors de conditions défavorables, une vérification au gel.

La procédure de dimensionnement définie dans les normes SN est schématisée dans la figure 1.

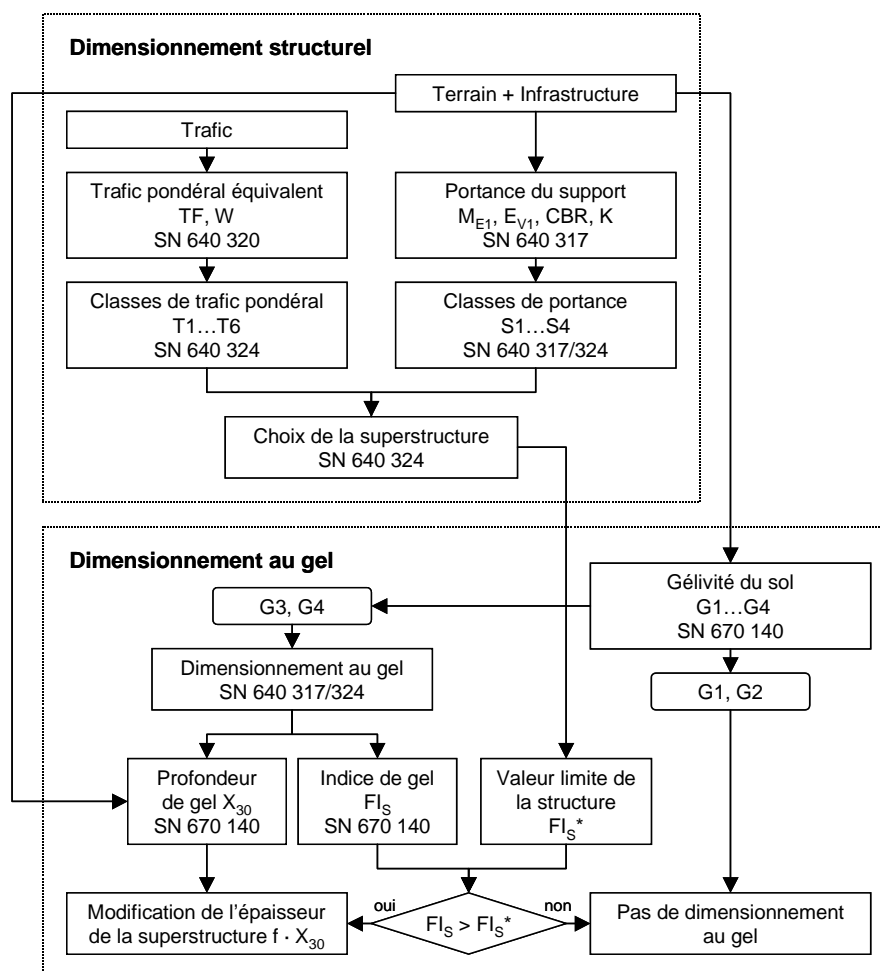


Figure 1 : Schéma de la procédure de dimensionnement selon normes SN

2.2 Dimensionnement à la portance

L'approche théorique du dimensionnement à la portance considère la superstructure comme étant un système de deux couches. L'une est constituée des couches liées du revêtement, l'autre est constituée des couches peu ou non liées de la fondation. Les contraintes qui peuvent apparaître dans ce système bicouche sont représentées à la Figure 2. Afin de pouvoir assurer un bon comportement de la chaussée, les deux exigences suivantes doivent être respectées:

- La portance de la superstructure doit être suffisante (effet de répartition de la charge), afin d'éviter un dépassement de la contrainte normale admissible à la hauteur de l'interface fondation/infrastructure et d'empêcher une déformation démesurée (orniérage structurel).
- La contrainte de traction par flexion en bas du revêtement bitumineux ne doit pas être plus élevée que la résistance à la flexion par traction pour éviter l'apparition de fissures de fatigue (fissuration structurelle).

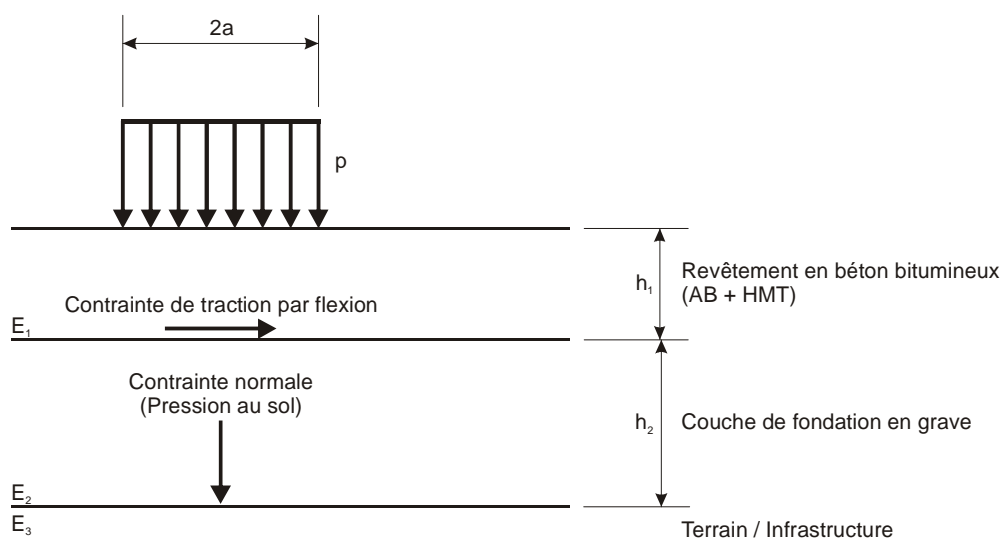


Figure 2 : Contraintes dans un système bicouche [7]

Les épaisseurs des couches de la superstructure que l'on veut concevoir doivent être calculées de sorte que la valeur de structure résultante SN_{dim} soit au moins égale à la valeur de structure nécessaire $SN_{néc}$. L'exigence à une portance suffisante est donc réalisée si

$$SN_{dim} \geq SN_{néc}$$

Afin d'exclure un dépassement de la contrainte de traction par flexion en bas du revêtement bitumineux et de minimiser le risque de fissures de réflexion (spécialement dans le cas des types de superstructure 4 et 5), les épaisseurs minimales de revêtement selon la classe de trafic et le type de route doivent être respectées (Tableau 1).

Classe de trafic T_i	T1	T2	T3	T4	T5	T6
sur grave Types de superstructure 1/6 min. cm	7	10	13	17	22	27
sur couche liée (HMF, stabil. bit. et hydr.) Types de superstructure 2 / 3 / 4 / 5	4	4	10	12	15	18

Tableau 1 : Epaisseurs minimales du revêtement bitumineux. Valeurs extraites du catalogue de structures, norme SN 640 324.

2.3 Dimensionnement au gel

Une chaussée doit être dimensionnée de façon à ce qu'elle résiste aux soulèvements lors de la période de gel et à la perte de portance lors de la période de dégel sans subir de dégradations résiduelles.

Une vérification au gel doit être effectuée et au besoin, des mesures constructives de protection contre les effets de gel et de dégel doivent être prises lorsque l'on rencontre les conditions suivantes :

- sols sensibles au gel du type G3 et G4 (SN 670 140) [8]
- pénétration moyenne du gel X_{30} (SN 670 140) supérieure à l'épaisseur de superstructure d_s
- les conditions hydrogéologiques sont défavorables (chaussée en tranchée, nappe phréatique à moins de 1,4 m de profondeur sous la surface de la route ou au-dessus de la profondeur de gel X_{30} , présence d'eau interstitielle sous pression)

Dans le cas de chaussées s'appuyant sur des sols sensibles au gel du type G3 et G4, un dimensionnement au gel doit prouver que la condition suivante est vérifiée :

$$d_s \geq f \cdot X_{30}$$

où:

d_s épaisseur de la superstructure

f facteur de dimensionnement au gel

X_{30} profondeur de gel moyenne des trois hivers les plus froids des 30 dernières années

Le facteur f dépend :

- du degré de gélivité du sol (G3 ou G4)
- du type de superstructure
- de la classe de trafic (Pour des routes de trafic faible ou moyen des risques de gel plus grands peuvent être pris)
- de l'indice de gel FI_s de la surface de la chaussée

Si la condition n'est pas respectée, des mesures constructives doivent être prises. Parmi les mesures constructives envisageables, les plus courantes sont :

- la surépaisseur d'une couche de la superstructure (en général la fondation)
- la stabilisation du sol à l'aide d'un liant
- le remplacement du sol par un matériau non gélif ou une isolation thermique du dispositif de drainage

2.4 Amélioration de l'infrastructure

Dans le cas d'une portance de l'infrastructure médiocre (S0, S1) ou de conditions hydrogéologiques défavorables, les mesures d'amélioration suivantes peuvent être prises:

2.4.1 Stabilisation

La stabilisation des sols constitue une des mesures les plus efficaces pour diminuer les risques de dégâts dans le cas d'une portance de l'infrastructure médiocre (S0 et S1). Par ce procédé, on atteint les résultats suivants:

- diminution permanente de la sensibilité du sol aux effets de l'eau et du gel
- consolidation du sol, et par conséquent augmentation de sa portance. L'amélioration peut aboutir à une augmentation d'une, voir deux classes, ce qui permet de sélectionner une superstructure plus réduite
- amélioration de l'homogénéité du sol. Un sol stabilisé est nettement plus homogène qu'un sol naturel
- fonction de séparation entre le terrain naturel et la couche de fondation

Ces divers avantages joints à la possibilité d'exécuter des stabilisations économiques grâce aux matériels modernes ont accéléré l'introduction de ce procédé sur une grande échelle.

La norme SN 640 500 [9] donne les fuseaux granulométriques des sols stabilisables. Il s'ensuit que les sols très limoneux et argileux seront stabilisés à la chaux aérienne alors que ceux qui sont légèrement limoneux et argileux (indice de plasticité jusqu'à 20% environ) seront quant à eux stabilisés avec des liants hydrauliques.

2.4.2 Géomembranes (géotextiles et géogrilles)

Lors de la mise en œuvre et du compactage d'une couche de fondation sur un sol à portance faible (sols fins) et sensible à l'humidité et au gel, des problèmes peuvent apparaître, qui sont nuisibles au comportement au service : Les déformations de la plate-forme et la contamination de la couche de fondation par pompage de particules fines du terrain augmentent le risque de dégâts de portance et de gel [10]. Une solution appropriée pour des sols de classe de portance S1 à S2 est l'utilisation d'un géotextile avec une fonction de séparation et de filtre entre le terrain naturel, resp. l'infrastructure, et la couche de fondation. Pour des sols de classe de portance S3 et S4, un géotextile n'est en principe pas nécessaire.

La norme SN 640 242 [11] contient des exigences minimales concernant les propriétés mécaniques (résistance à la traction, allongement sous traction max., résistance à la perforation) et hydrauliques (ouverture caractéristique, perméabilité) des géotextiles avec fonction de séparation. Si la filtration est aussi importante que la séparation, les exigences hydrauliques sévères pour des géotextiles avec fonction de filtration doivent être vérifiées. Des recommandations pour le choix et l'utilisation correcte de géotextiles se trouvent dans.

2.4.3 Armature en géogrille

Des géogrilles en polymère (p.ex. polypropylène) avec des mailles de plus de 10 mm et dont les nervures longitudinales et transversales ont des nœuds rigides peuvent améliorer l'effet de répartition de la charge de la superstructure et ainsi réduire la pression sur le terrain. L'amélioration de la portance pour une superstructure de type 1 (revêtement bitumineux sur grave) avec l'emploi d'une géogrille peut être exprimée par la multiplication de la valeur de portance de la grave avec le facteur α :

$$SN = a_1 D_1 + \alpha \cdot a_2 D_2$$

Le facteur α dépend du type de géogrille et de la portance du sol. Par exemple, avec l'emploi d'un géotextile non-tissé avec fonction de séparation et cinq couches de géogrille avec nœuds rigides sur des sols de classe de portance S1 et S2, une valeur de $\alpha = 1.5$ a été déterminée [13]. Ceci a pour effet que l'épaisseur de la couche de grave peut être réduite d'un tiers.

3 Principales caractéristiques des types de superstructure de la norme SN 640 324

3.1 Principes

La norme SN 640 324 contient un catalogue de types de superstructure. Ce document permet, pour une portance de la plate-forme et une charge de trafic données, de choisir parmi différents types de superstructure équivalents. Les variantes choisies sont équivalentes en terme de portance (valeur de structure SN), mais se distinguent en sensibilité à la dégradation et en cycle de vie, comme l'ont montré des études sur le comportement à long terme [14][15] (voir aussi Tableau 2).

La Figure 3 montre un exemple de variantes de superstructure équivalentes pour un trafic très lourd (classe de trafic T5) sur un sol de portance moyenne (classe de portance S2).

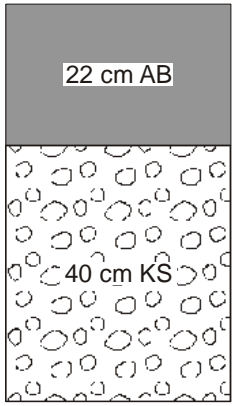
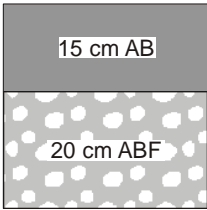
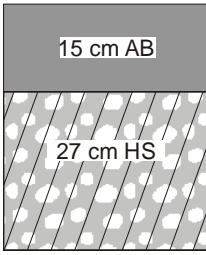
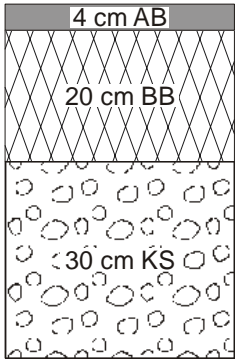
Types de superstructure selon SN 640 324			Type de superstructure composite
Type 1	Type 3	Type 5	
 <p>Total : 62 cm</p>	 <p>Total : 35 cm</p>	 <p>Total : 42 cm</p>	 <p>Total : 54 cm</p>
<p>AB Revêtement bitumineux BB Revêtement en béton KS Grave ronde</p>		<p>HMF Couche de fondation bitumineuse HS Stabilisation hydraulique</p>	

Figure 3 : Exemple de superstructure routière – classe de trafic T5 / classe de portance S2

3.2 Revêtement bitumineux sur grave (superstructure de type 1)

Il s'agit de la superstructure standard. L'absence d'utilisation de matériau stabilisé rend l'épaisseur de fondation importante. Les autres types de superstructures sont des alternatives qui permettent de diminuer l'épaisseur de matériau de fondation ou les risques de dégâts dus au gel.

3.3 Revêtement bitumineux sur couche de fondation bitumineuse (Types 2/3)

Dans ce cas, tout ou partie du matériau de fondation est remplacé par un matériau stabilisé avec un liant bitumineux, en général un bitume ou une émulsion de bitume. Grâce à l'effet de dalle des couches liées et à une résistance thermique plus grande, le risque d'apparition de fissures par fatigue et de soulèvements différentiels dus au gel est plus petit que pour une superstructure de type 1.

3.4 Revêtement bitumineux sur couche stabilisée aux liants hydrauliques (Types 4/5)

Dans le cas d'une superstructure de type 4, la fondation est constituée d'un matériau stabilisé aux liants hydrauliques, en général du ciment Portland.

Dans le cas d'une superstructure de type 5, la portance du sol est améliorée par stabilisation aux liants hydrauliques. On emploiera la chaux en présence de sols fins (chaux hydratée ou chaux vive, ou, quand il s'agit de sols avec peu d'éléments argileux, chaux hydraulique). Une stabilisation au ciment est indiquée en présence de sols limoneux ou argileux avec peu d'éléments fins

Pour améliorer la liaison entre la stabilisation et le revêtement bitumineux et pour éviter, ou au moins ralentir, la formation de fissures de réflexion, un SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) devrait être envisagé (cf. module E).

4 Types de superstructure combinés, chaussée composite

4.1 Principe

Une chaussée composite est une structure dont certaine(s) couche(s) sont en béton hydraulique et d'autre(s) en enrobé bitumineux.

Chaussée composite en béton armé continu (BAC):

Le revêtement d'une chaussée composite BAC est composé d'une couche de roulement en béton bitumineux sur béton hydraulique, où la couche en béton est une dalle armée en continu [16]. Le taux d'armature de ce ruban en béton est calculé pour générer une répartition des fissures transversales fines tous les un à trois mètres. Avec ce type de structure en béton, on évite les joints de dilatations et les problèmes qui leur sont afférents. Le revêtement en béton bitumineux est destiné à fournir un excellent confort de roulement. La couche de roulement en béton bitumineux permet une maintenance simple et peu onéreuse des caractéristiques de surface.

4.2 Dimensionnement

Les calculs de l'épaisseur du revêtement en béton et du taux d'armature continue nécessaire sont en voie d'élaboration [17]. Les résultats seront introduits dans la norme de dimensionnement SN 640 324 en temps voulu.

En attendant, le type de superstructure 12, soit revêtement en béton sur une couche de portance à chaud HMT, est choisi en tant que base de calcul et le revêtement bitumineux, qui n'a qu'un effet négligeable sur la portance de la chaussée dépendra du type d'enrobé et de son diamètre nominal.

Selon les expériences actuelles la période d'utilisation d'une chaussée composite dimensionnée selon les principes ci-dessus est d'au moins 30 ans.

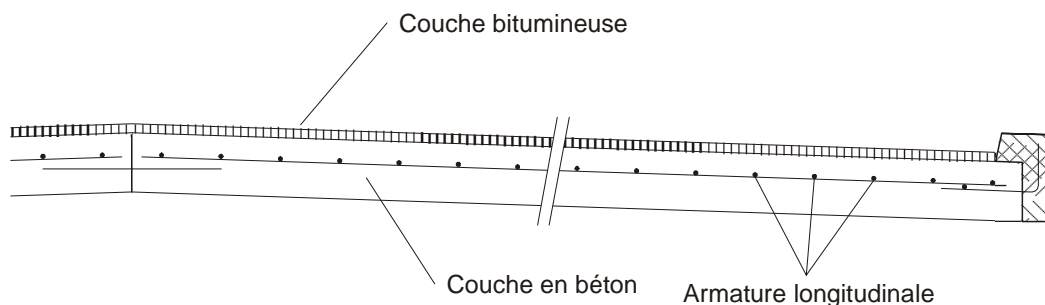


Figure 4 : Croquis d'une superstructure composite BAC

5 Evaluation de variantes, choix de la superstructure optimale

5.1 Approche

En principe, pour une portance du sol et une charge de trafic données, tous les types de structures qui y répondent offrent une durée de vie équivalente, soit 20 ans. Par durée de vie, ou durée d'utilisation d'une chaussée, on entend le temps s'écoulant entre la mise sous trafic et le moment où les conditions de circulation deviennent si mauvaises qu'elles nécessitent la rénovation ou le renforcement de la chaussée. L'observation de tronçons sur le long terme a cependant montré que le mode de dégradation et la durée de vie mesurée en perte de capital n'étaient pas équivalents selon le type de superstructure.

Le choix du type de structure dépendra donc de la stratégie d'entretien que l'on se sera fixée (fréquent, minimal, etc.) et des caractéristiques finales de la route que l'on désire.

Pour comparer le coût de différentes variantes de superstructure il faut tenir compte, en plus des coûts de la construction, des coûts d'entretien et de remise en état qui peuvent être nécessaires durant la période d'observation choisie. Afin de pouvoir calculer ces coûts il faut être capable d'estimer à quel moment quelles mesures d'entretien et de remise en état devront être prises.

5.2 Cycle de vie

Les durées de vie mentionnées au Tableau 2, qui dépendent du type de superstructure, se basent sur les résultats d'une recherche sur le comportement à long terme de revêtements [15]. Les cycles de durée de vie peuvent changer selon la sollicitation : pour un trafic de type lourd à extrêmement lourd et pour des sollicitations extraordinaires la dégradation principale est l'orniérage suite à une déformation permanente et les intervalles de remise en état peuvent se trouver entre 15 et 18 ans dans le cas le plus défavorable. En présence de fissuration superficielle et de perte de matériaux l'intervalle de remise en état peut, pour une sollicitation normale, monter jusqu'à 30 ans.

	Types de superstructure selon SN 640 324						Superstructure composite	
	Type de superstructure 1		Type de superstructure 3		Type de superstructure 5			
Sollicitations	Normales	Exceptionnelles*	Normales	Exceptionnelles	Normales	Exceptionnelles	Normales	Exceptionnelles
Trafic pondéral	Classes de trafic T 4 ... T 6 (trafic lourd à extrêmement lourd)							
Intervalle estimé de remise en état années	20 ... 23	15 ... 18	22 ... 25	18 ... 20	15 ... 18	15 ... 18	22 ... 25	22 ... 25
Mesures d'entretien	Renouvellement du revêtement		Renouvellement du revêtement		Renouvellement du revêtement		Renouvellement de la couche de roulement	
Epaisseur de renforcement cm	8 ... 10	10 ... 12	6 ... 8	8 ... 10	min. 15		4	

	Classes de trafic T 1 ... T 3 (trafic très léger à moyen)							
	Intervalle estimé de remise en état années	25 ... 28	18 ... 20	28 ... 30	20 ... 23	20 ... 23	20 ... 23	28 ... 30	28 ... 30
Mesures d'entretien	Renouvellement du revêtement		Renouvellement du revêtement		Renouvellement du revêtement		Renouvellement de la couche de roulement	
Epaisseur de renforcement cm	3 ... 4	8 ... 10	3 ... 4	6 ... 8	min. 10		3 ... 4	

* *définition souhaitable*

Tableau 2 : Cycles de durée de vie en fonction des variantes de superstructure

5.3 Critères pour la comparaison de variantes

Pour une évaluation réaliste, il est souhaitable de prendre en compte pour la comparaison de variantes non seulement les coûts de construction et de maintenance, mais également des critères relatifs au projet, à la mise en œuvre et à l'environnement (p.ex. la disponibilité des matériaux).

Les critères qu'il convient de prendre en compte sont :

- Critères économiques
 - ↗ Coûts de construction
 - ↗ Coûts actualisés de maintenance. Pour la comparaison de variantes, les coûts de la maintenance doivent être actualisés, c'est-à-dire être projetés au début du projet. En prenant un taux de remise p , les coûts de la maintenance de l'année t valent [18] :

$$\text{Coûts actualisés de la maintenance} = I_t \cdot \left(\frac{3}{100} \right)^{-(t-1)}$$

- ↗ Perte de capital
- ↗ Coûts externes
 - Coûts à l'usager
 - Sécurité
 - Atteinte à l'environnement (bruit, pollution)
- Critères relatifs à la mise en œuvre
 - ↗ Durée de construction
 - ↗ Déroulement de la construction
 - ↗ Savoir-faire de l'entreprise
 - ↗ Demande en installations et outils
 - ↗ Disponibilité de matériaux (p.ex. granulats)
 - ↗ Incidence sur le trafic (gêne à l'usager)
- Critères écologiques relatifs au développement durable
 - ↗ Nuisances pendant la construction
 - ↗ Quantités à transporter et distances
 - ↗ Possibilité de l'utilisation de matériaux de construction secondaires
 - ↗ Demande en énergie
 - ↗ Utilisation de ressources (p.ex. granulats)

5.4 Evaluation et pondération des critères

Une matrice pour l'évaluation et la pondération des critères choisis est proposée dans le Tableau 3. Selon leur importance, les critères économiques sont dotés d'un poids de 50 ÷ 60 % (0.5 ÷ 0.6) et les critères relatifs à la mise en œuvre et à l'environnement, non quantifiables, sont ainsi évalués avec un poids de 40 ÷ 50 % (0.4 – 0.5).

10 points sont attribués à la variante la moins chère en terme de coûts de la construction et de la maintenance. Pour les autres variantes, les points attribués sont inversement proportionnels au coût de la variante la moins chère. Ceci est aussi applicable à d'autres critères qui sont quantifiables (par ex. durée de construction, quantités à transporter).

Pour les critères non quantifiables relatifs à la mise en œuvre et à l'environnement, l'évaluation est effectuée de manière empirique entre 10 (bon, positif, avantageux) et 1 (mauvais, négatif, désavantageux).

Critères	Poids G	Variante 1 Superstructure :		Variante 2 Superstructure :		Variante 3 Superstructure :		Variante 4 Superstructure :	
		Evaluation P	G·P	Evaluation P	G·P	Evaluation P	G·P	Evaluation P	G·P
Total	1.00								

Poids : G total = 1.00

Evaluation : Points entre 1 (mauvais, négatif, désavantageux) et 10 (bon, positif, avantageux)

Tableau 3 : Matrice pour l'évaluation des variantes de superstructure

5.5 Exemple : Comparaison de variantes pour route à grand débit et trafic très lourd

Une comparaison de variantes pour une route à grand débit avec un trafic très lourd (classe de trafic T5) sur un sol de portance moyenne (classe de portance S2) est présentée dans le Tableau 4. Les données déterminantes pour le calcul des coûts actualisés de la maintenance (intervalle estimé de remise en état, mesures de remise en état) sont tirées du Tableau 2.

5.5.1 *Interprétation des résultats :*

Le type de superstructure 3 (enrobé bitumineux sur couche de fondation bitumineuse) présente le meilleur bilan pour une sollicitation normale et extraordinaire, même si les coûts de construction sont supérieurs à ceux des types 1 et 5. Mais les grands intervalles de remise en état, les coûts réduits de maintenance, la mise en œuvre aisée avec une courte durée de construction, ainsi que des nuisances limitées à l'environnement réduisent les coûts globaux de façon importante.

Le type de superstructure 1 (superstructure standard avec enrobé bitumineux sur grave) se retrouve à la deuxième place. Comparé au type 3, les risques de détérioration sont estimés plus élevés. La couche de fondation en grave a un effet bénéfique sur la perte de capital, mais le volume de matériaux à transporter est important.

Le type de superstructure 5 (enrobé bitumineux sur couche stabilisée aux liants hydrauliques) est jugé meilleur pour une sollicitation normale et équivalente pour une utilisation extraordinaire en comparaison avec la superstructure type 1. Les coûts de la construction sont inférieurs à ceux des autres variantes, mais comme l'apparition de fissures de réflexion (dus au retrait de la couche stabilisée) ne peut être exclue, l'intervalle de remise en état risque d'être court et les coûts de la maintenance sont élevés.

Le comportement à long terme de la structure de type composite (enrobé bitumineux sur béton) peut être jugé bon, et le risque d'orniérage et de fissuration est limité. Les coûts de la maintenance sont donc réduits. La remise en état est peu onéreuse, car limitée au renouvellement de la couche de roulement d'une épaisseur de 3 ÷ 4 cm. Toutefois, les coûts de la construction sont très élevés et la mise en œuvre demeure complexe. A l'évaluation globale, ce type de superstructure se trouve à la dernière place. Malgré cela, il peut offrir une solution avantageuse pour des chaussées où la maintenance et la remise en état sont très difficiles (routes urbaines à fort trafic, voies pour poids lourds, terminaux de bus par ex.).

Critères		Type de superstructure selon SN 640 324												Type de superstructure combiné				
		Type de superstructure 1				Type de superstructure 3				Type de superstructure 5								
Sollicitations		Normale		Exceptionnelles		Normale		Exceptionnelles		Normale		Exceptionnelles		Normale		Exceptionnelles		
		Poids	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	Points	
		G	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P	P	G·P
Coûts de la construction		0.4	9	3,6	9	3,6	8	3,2	8	3,2	10	4,0	10	4,0	6	2,4	6	2,4
Coûts actualisés de la maintenance		0.2	5	.0	4	0,8	6	1,2	5	1,0	3	0,6	3	0,6	10	2,0	10	2,0
Intervalle de remise en état		0.1	9	0,9	7	0,7	10	1,0	8	0,8	7	0,7	7	0,7	10	1,0	10	1,0
Durée de construction		0.1	8	0,8	8	0,8	10	1,0	10	1,0	8	0,8	8	0,8	6	0,6	6	0,6
Mise en oeuvre : Déroulement		0.1	10	1,0	10	1,0	10	1,0	10	1,0	6	0,6	6	0,6	4	0,4	4	0,4
Installations / outils, savoir faire de l'entreprise																		
Nuisances à l'environnement / volume à transporter		0.1	5	0,5	5	0,5	10	1,0	10	1,0	8	0,8	8	0,8	6	0,6	6	0,6
Total		1.0	7,8		7,4		8,4		8,0		7,5		7,5		7,0		7,0	

Poids : G total = 1.0

Evaluation : Points entre 1(très mauvais) et 10 (très bien)

Tableau 4 : Exemple de comparaison de variantes : RGD avec un trafic très lourd (voir aussi Figure 3)

6 Méthodes analytiques de dimensionnement

Le dimensionnement des infrastructures de transport en Suisse obéit aujourd'hui encore uniquement à des règles empiriques basées sur des observations de dégradation de chaussées in situ. Les développements dans le domaine de la connaissance des matériaux et dans celui de la modélisation permettent cependant aujourd'hui d'envisager une approche du comportement des infrastructures routières par des méthodes basées sur des modélisations incluant le comportement mécanique des chaussées. Toutefois, la variété des paramètres, tant en ce qui concerne les sollicitations des matériaux (charge) que leur comportement (influence des conditions climatiques et du vieillissement sur les propriétés des matériaux), peut rendre ces modélisations délicates. D'autre part, les analyses mécaniques ne permettent pas d'évaluer directement le comportement in situ des chaussées et il est nécessaire d'avoir recours à des données expérimentales pour le faire. L'exercice du dimensionnement des chaussées consiste donc en grande partie à interpréter et à concilier des informations provenant de résultats obtenus par des modélisations numériques basées sur le comportement mécanique des matériaux et des données empiriques obtenues par l'observation in situ de chaussées réelles, par des essais en vraie grandeur ou par des essais de laboratoire. Les méthodes de dimensionnement utilisant cette démarche sont généralement qualifiées de mécaniques empiriques (parfois également appelées analytiques empiriques).

Ces méthodes suivent une démarche en deux étapes. La première consiste à déterminer par calcul la répartition des efforts de sollicitation (contraintes et déformations) au sein de la superstructure sous l'effet des charges de trafic, alors que la seconde étape doit mettre ces sollicitations en relation avec la dégradation de la structure. Les résultats obtenus lors de la première étape sont souvent désignés par le terme de "réponse" (en anglais: response) alors que la détérioration est qualifiée par le terme de "dommage" (en anglais: distress).

Cette décomposition en deux étapes permet de distinguer les deux types de modèles auxquels elle a recours qui sont illustrés sur la Figure 5:

- les modèles de réponse
- les modèles de performance

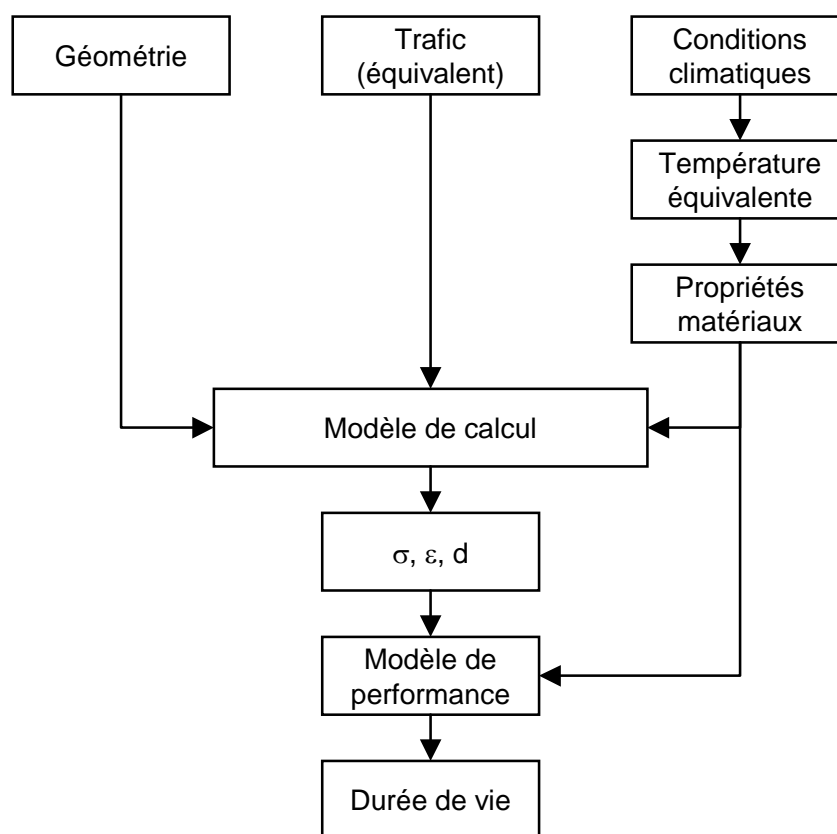


Figure 5 : Procédure de calcul pour la majorité des méthodes actuelles de dimensionnement mécanique empiriques selon COST 333

Les modèles de réponse sont utilisés pour obtenir des réponses immédiates, généralement en termes de contraintes et de déformations, sous l'effet d'une charge et dans des conditions bien définies. Ces modèles purement analytiques, nécessitent la définition de nombreux paramètres servant à décrire la structure et ses conditions de chargement. Ils fournissent alors des résultats théoriques correspondant aux hypothèses retenues pour la modélisation. Dans la plupart des cas, ces modèles se basent sur le modèle multicouche de Burmister dont les principales hypothèses sont:

- une charge introduite par une pression uniforme sur une surface circulaire
- des couches homogènes, isotropes, considérées comme des solides élastiques linéaires, définies par leur épaisseur (dernière couche d'épaisseur infinie), leur module élastique et leur coefficient de poisson
- des couches infinies en plan
- des interfaces entre les couches collées, partiellement collées ou libres

Quant aux seconds modèles, ils sont en général le résultat de la combinaison d'essais en laboratoire sur les matériaux de la chaussée avec le comportement réel observé de chaussées et permettent de définir la durée de vie prévisible de la chaussée.

Les charges de trafic sont généralement introduites dans ces méthodes par l'intermédiaire d'un essieu de référence servant au calcul des contraintes et des déformations dans la chaussée, puis le volume global de trafic est exprimé en nombre d'essieux équivalents de référence par des coefficients d'équivalence. Les modèles de performance déterminent ensuite un nombre d'essieux équivalents pouvant être supporté par la structure. Cette façon de procéder vise à limiter à un le nombre de calculs nécessaires pour effectuer le dimensionnement d'une chaussée. La tendance actuelle est cependant d'effectuer des calculs pour différentes conditions de chargement (essentiellement concernant l'intensité de la charge et le type de pneumatique) puis de combiner l'effet de chacune des charges par l'application de la loi Miner.

Généralement, deux mécanismes de dégradation sont pris en compte dans les méthodes mécaniques empiriques de dimensionnement, soit:

- une fissuration par fatigue des couches liées (aux liants bitumineux ou hydrauliques) soumises à la traction engendrée par les charges de trafic. Ce type de fissuration est censé se développer par le bas des couches et se propager vers le haut
- une déformation permanente trop importante des couches de fondation (orniérage structurel)

Afin de se prémunir contre ces dégradations, on définit des valeurs admissibles minimales de déformations ou de contraintes en fonction du nombre de charges appliquées.

Par rapport à la méthode de dimensionnement empirique AASHTO retenue dans la norme SN de dimensionnement des chaussées, les méthodes analytiques offrent l'avantage de pouvoir prendre en compte les caractéristiques intrinsèques des matériaux employés. Cela est particulièrement utile lorsque l'on désire intégrer un nouveau matériau non normalisé dans une superstructure.

7 Références

- [1] SN 640 324 Dimensionnement; Superstructure des routes
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington D.C. 1986
- [3] M. Blumer, L. B. Fetz: Dimensionierung, Ausarbeiten des Katalogs der Oberbautypen, Forschungsarbeit 3/84 auf Antrag der VSS, Januar 1988, Bericht 147
- [4] SN 640 736 Entretien des revêtements en béton; Remise en état et renforcement
- [5] SN 640 320 Dimensionnement; Trafic pondéral équivalent
- [6] SN 640 317 Dimensionnement; Terrain et infrastructure
- [7] M. Blumer: SMI Schweizerische Mischgut Industrie, Heft Strassenbau und Strassenerhaltung mit Asphaltmischgut, 1989
- [8] SN 670 140 Gel
- [9] SN 640 500 Stabilisations; Généralités
- [10] M. Blumer: La construction routière, Baufachverlag SA Zurich, 1985
- [11] SN 670 242 Géotextiles et produits apparentés; Identification sur site
- [12] Schweizerischer Verband für Geokunststoffe: Bauen mit Geokunststoffen – Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender, St. Gallen (2003)
- [13] B. Funyo, H. R. von Känel: Unter- und Oberbaubewehrung mit Geogittern, Schweizer Ingenieur und Architekt, SI+A, Mai 1999
- [14] Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT, ETHZ, I. Scazziga: Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte, Forschungsarbeit 29/81 auf Antrag der VSS, Januar 1996, Bericht 365
- [15] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, E. Stahel und M. Blumer: Langzeitverhalten von erneuerten Strassenbelägen, Forschungsarbeit 10/97 auf Antrag der VSS; Juli 1999, Bericht 435
- [16] R. Werner: Kombinierte Beläge, Strasse und Verkehr, Nr. 5/2001
- [17] Forschungsauftrag VSS 2001/501 Kombinierte Beläge, in Bearbeitung
- [18] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, M. Blumer und E. Stahel: Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell Asphaltstrassen, Forschungsarbeit 15/93 im Auftrag des EVED; Februar 1996, Bericht 357

MODULE D : L'entretien

Table des matières

1	INTRODUCTION	47
2	CONCEPTION DE LA MAINTENANCE D'UNE CHAUSSEE EN FONCTION DE SON COMPORTEMENT	47
2.1	<i>Facteurs de comportement (aspects de dégradation)</i>	47
2.2	<i>Mécanismes de dégradation et exigences relatives au comportement</i>	47
3	AUSCULTATION DE LA CHAUSSEE	48
3.1	<i>Revêtements bitumineux.....</i>	48
3.1.1	Démarche	48
3.1.2	Relevé visuel de l'état de surface de la chaussée	48
3.1.3	Mesure de la planéité longitudinale.....	51
3.1.4	Mesure de la planéité transversale.....	51
3.1.5	Portance	51
3.1.6	Investigations complémentaires au niveau du réseau routier	51
3.1.7	Investigations complémentaires au niveau du projet d'entretien	52
3.2	<i>Revêtements en béton.....</i>	52
3.2.1	Démarche	52
3.2.2	Relevé visuel de l'état de surface de la chaussée	52
3.2.3	Evaluation des mesures de renforcement et de remise en état appropriées	52
4	MESURES D'ENTRETIEN DE CHAUSSEES EXISTANTES	52
4.1	<i>Introduction</i>	52
4.2	<i>Mesures d'entretien pour les chaussées souples (revêtement bitumineux)</i>	57
4.2.1	Critères de base pour le choix des mesures	57
4.2.2	Mesures d'urgence	58
4.2.3	Réparations locales	58
4.2.4	Mesures d'entretien de surface à court et moyen terme	59
4.2.5	Mesures d'entretien à long terme	59
4.2.6	Mesures de renforcement	62
4.2.7	Choix des matériaux du revêtement	64
4.3	<i>Mesures d'entretien pour les chaussées en béton</i>	64
4.3.1	Critères de base pour le choix des mesures	64
4.3.2	Mesures d'urgence	65
4.3.3	Réparations locales	66
4.3.4	Mesures de remise en état à court et moyen terme.....	67
4.3.5	Mesures de remise en état à long terme.....	67
4.3.6	Renouvellement partiel du revêtement.....	68
4.3.7	Mesures de renforcement	68
4.3.8	Renouvellement de la superstructure	69
4.3.9	Exemple : renouvellement du revêtement A2 Uri [15].....	70
4.4	<i>Planification de mesures et de stratégie</i>	73
4.4.1	Critères de comparaison pour des mesures et des stratégies alternatives	73
4.4.2	Modèles de stratégie.....	74
4.4.3	Comparaison des coûts.....	74
4.4.4	Evaluation de mesures d'entretien	82
5	REFERENCES	84

1 Introduction

Le terme "entretien des chaussées" comprend toutes les mesures constructives qui visent à conserver le patrimoine routier et maintenir ou améliorer la sécurité routière et la valeur d'usage. Les normes suisses correspondantes distinguent les mesures d'entretien suivantes :

- les réparations (locales)
- les mesures de remise en état (p.ex. renouvellement du revêtement)
- les renforcements de la superstructure par rechargement ou par renouvellement partiel

Il est d'importance primordiale de bien choisir le moment d'intervention et la méthode d'entretien adéquate. Des solutions optimales ne sont pourtant pas toujours possibles : Des budgets trop restreints obligent parfois à des mesures à court ou moyen terme afin de préserver le capital routier et surtout garantir la sécurité de l'usager avant un entretien adéquat. La planification des mesures d'entretien (chapitre 4) permet de comparer différentes variantes possibles et d'optimiser l'utilisation des fonds à disposition.

2 Conception de la maintenance d'une chaussée en fonction de son comportement

2.1 Facteurs de comportement (aspects de dégradation)

Les facteurs de comportement permettent de décrire l'état d'usage et de développer des modèles de comportement. On peut citer les facteurs de comportement suivants pour décrire le comportement d'une chaussée :

- planéité longitudinale
- planéité transversale (ornières)
- fissuration de surface
- fissuration structurelle
- portance
- dégradations de surface
- qualité antidérapante

2.2 Mécanismes de dégradation et exigences relatives au comportement

La connaissance des mécanismes de dégradation permet de définir les mesures à prendre pour pouvoir rétablir un état acceptable d'une chaussée et offrir un bon comportement de celle-ci dans le temps en évitant l'apparition de dégradations prématurées. Le Tableau 1 donne quelques exemples de mécanismes de dégradation et de mesures à prendre. Ces exemples sont issus des normes SN [1][2][3]:

Mécanismes de dégradations	Exigences relatives au comportement
Dégradations structurelles	Dimensionnement structurel
Déformations excessives dans les ornières (orniérage structurel). Elles partent de déformations dans l'infrastructure / le terrain et sont dues au dépassement de la traction / dilatation normale admissible sur la plate-forme.	Limitation de la traction / dilatation normale admissible sur la plate-forme par une portance suffisante de la superstructure par rapport à la charge de trafic et la portance du terrain naturel (Valeur de structure $SN_{dim} \geq SN_{néc}$).
Dégradations du revêtement	Conception des revêtements bitumineux
Orniérage causé par la déformation permanente des couches de roulement et de liaison, respectivement de la couche de support supérieure de chaussées et zones fortement sollicitées par le trafic et les conditions climatiques et locales.	Choix d'un enrobé à haute résistance aux déformations permanentes et stabilité élevée (types d'enrobé S ou H) pour des couches de roulement, de liaison et de support fortement ou très fortement sollicitées.

Tableau 1 : Exemples de mécanismes de dégradation et exigences relatives aux couches de superstructure afin de garantir un bon comportement

3 Auscultation de la chaussée

3.1 Revêtements bitumineux

3.1.1 Démarche

En général, l'auscultation d'un réseau routier se fait en 2 phases. 1^{ère} phase : auscultation sommaire qui consiste en la détermination rapide et économique des endroits dans le réseau routier où des mesures de remise en état sont ou seront nécessaires. En même temps, elle donne la base pour une première estimation des besoins financiers.

2^{ème} phase : des auscultations plus détaillées des dégradations sont effectuées sur les tronçons qui nécessitent des mesures d'entretien. Elles sont complétées par des investigations complémentaires pour déterminer les caractéristiques de la structure et des matériaux qui la constituent pour définir les mesures d'entretien adéquates.

La démarche est décrite dans la norme SN 640 925 [4] et appliquée dans le rapport de recherche « Développement d'un modèle de travaux, stratégies et frais ». [5]

3.1.2 Relevé visuel de l'état de surface de la chaussée

Le relevé visuel consiste en l'observation et l'appréciation de l'état de la route à l'œil nu ou à l'aide d'outils photographiques ou vidéo montés sur un véhicule.

Les dégradations se décrivent usuellement selon leur gravité et leur étendue sur la base du catalogue de dégradations SN 640 925 qui fournit des photos ou des indications de référence pour l'appréciation des dégradations. Quelques extraits sont présentés dans la Figure 1. Un exemplaire vierge du formulaire pour le relevé visuel de l'état de surface de la chaussée figure en annexe au module.

Le Tableau 2 montre un résultat de relevé visuel détaillé de l'état de la chaussée.



Orniéage et bourrelets suite à des déformations permanentes du revêtement bitumineux



Perte de matériaux (désenrobage, perte de gravillons, pelades) et fissures diverses dues à un vieillissement avancé du liant

Figure 1 : Quelques aspects de dégradation caractéristiques (issu du catalogue des dégradations de la norme SN 640 925)

Route : K112		Type de route : Rte. Cantonale			Référence		
Section de : km 4.200		Classe de trafic :			Longueur : 1'850 m		
Tronçon de : km 4.560		à : km 6.050			Longueur : 160 m		
Chaussée :		à : km 4.720			Voie :		
Date du relevé : 23.10.01				Inspecteur : A. Peyer			
Dégradations de la chaussée	Gravité			Etendue			Remarques
	légère	moyenne	lourde	<10%	10..50%	>50%	
	S1	S2	S3	A1	A2	A3	
Dégradations du revêtement							
Polissage							
Ressuage							
Usure							
Désenrobage, sablage		X				X	
Perte de gravillons	X					X	
Pelades							
Nids de poule							
Fissures de joint							
Fissures diverses							
Fissures de réflexion							
Déformations du revêtement							
Ornières							
Bourrelets							
Tôle ondulée							
Déformations de poussée							
Dégradations structurelles							
Affaissements, flaches		X			X		
Affaissements des bords							
Faiénçage		X		X			côté vallée
Soulèvements dus au gel		X		X			côté montagne
Fissures dues au gel	X			X			
Dégradations dues au drainage							
Drainage de la chaussée			X	X			dans le virage
Drainage latéral							
Description des dégradations							
Dégradations structurelles légères à moyennes : Défaut d'uni suite à des affaissements et tassements Faiénçage, soulèvements dus au gel, quelques fissures dus au gel, drainage insuffisant à l'intérieur du virage							
Mesures in situ supplémentaires nécessaires :							
Mesures de déflexion							

Tableau 2 : Exemple de relevé détaillé de l'état de surface d'une chaussée

3.1.3 Mesure de la planéité longitudinale

Au niveau du réseau routier, la planéité longitudinale est relevée avec des appareils à grand rendement (ARAN, APL, etc). Ces appareils combinent parfois le relevé de plusieurs paramètres, comme la planéité transversale. Au niveau du projet, la norme SN 640 520 [6] prescrit l'emploi du goniographe pour le relevé du profil en long de la chaussée. Pour des chantiers relativement importants cependant (plusieurs kilomètres), l'emploi d'un appareil à plus grand rendement est souhaitable.

3.1.4 Mesure de la planéité transversale

A l'échelle du réseau routier, le relevé du profil en travers se fera de préférence avec un appareil à grand rendement (ARAN, APL, etc). A l'échelle du projet, l'ornièrre d'une chaussée se relèvera soit à la règle, soit avec un transverso-profilographe selon les recommandations de la norme SN 640 520. Comme dans le cas de la planéité longitudinale, l'emploi d'un appareil à grand rendement pour des chantiers relativement importants peut s'avérer plus judicieux.

3.1.5 Portance

La mesure de la portance de la chaussée à l'échelle d'un réseau routier se fera avec un appareil à grand rendement (Déflectographe Lacroix, déflectographe à boulet FWD, etc.). Il convient toutefois de mentionner que ces appareils se déplacent à faible vitesse ou effectuent les mesures en mode stationnaire, ce qui nécessite des mesures de signalisation particulières pour garantir la sécurité (du trafic et des opérateurs). Au niveau du projet d'entretien, peut s'ajouter à la gamme de ces appareils, l'emploi de la poutre Benkelmann. Les prescriptions en matière de mesure de portance sont contenues dans la norme SN 640 733.

3.1.6 Investigations complémentaires au niveau du réseau routier

Relevé des épaisseurs des couches par géoradar

La méthode du géoradar, est une méthode non destructive et sans contact avec la route qui permet de relever les épaisseurs des couches d'une chaussée, en particulier celle de son revêtement. Les résultats obtenus par géoradar sont utiles pour définir les changements de structure et les défauts structurels locaux et pour l'exploitation des résultats au déflectographe FWD.

Relevé de discontinuités dans la structure à l'aide d'une thermographie à infrarouge

Ce procédé non destructif permet de visualiser les températures à la surface sur une grande étendue à l'aide d'enregistrements en couleur. La mesure des températures à la surface est effectuée en prenant l'hypothèse que les zones non homogènes à l'intérieur du revêtement se reflètent dans la répartition des températures [7].

Dans le cadre des analyses des dégradations ce procédé se prête au relevé de bulles invisibles (p.ex. dans l'asphalte coulé) et au suivi non destructif de l'évolution des dégradations.

3.1.7 Investigations complémentaires au niveau du projet d'entretien

Caractéristiques du revêtement

La constitution du revêtement, les épaisseurs des couches qui la composent et les propriétés des matériaux du revêtement en place et du liant extrait peuvent être déterminées au laboratoire sur des échantillons prélevés in situ par sondage, carottage ou sciage. Les résultats d'analyses (SN 640 431 [8]) permettent d'avoir une meilleure appréciation de l'origine (cause) des dégradations de la chaussée constatées en surface, et de définir quelles seront les couches du revêtement qu'il conviendra d'éliminer pour éviter une dégradation prématurée de la chaussée.

Caractéristiques de la couche de fondation et du sol

La constitution de la fondation et de l'infrastructure, les épaisseurs des couches qui les composent, les propriétés des matériaux en place et les conditions hydrologiques sont autant d'éléments importants pour juger des qualités structurelles de la chaussée de façon à pouvoir prescrire les mesures correctives éventuelles qui s'imposent (renforcement de la fondation, stabilisation, drainage, etc.)

3.2 Revêtements en béton

3.2.1 Démarche

Comme pour les chaussées souples, les prescriptions régissant l'auscultation d'une chaussée en béton (rigide) figurent dans la norme SN 640 925.

3.2.2 Relevé visuel de l'état de surface de la chaussée

Le relevé visuel se fait de manière similaire à celui des chaussées souples selon les principes de la norme SN 640 925.

3.2.3 Evaluation des mesures de renforcement et de remise en état appropriées

Pour estimer correctement les besoins en entretien d'une chaussée en béton, il convient de se référer à la procédure décrite dans le Guide pratique des routes en béton [9].

4 Mesures d'entretien de chaussées existantes

4.1 Introduction

Une chaussée est généralement dimensionnée pour une durée de vie de 20 ans. Par durée de vie, on entend la période qui s'étend entre la construction ou la reconstruction et le moment où un renforcement de la chaussée s'avère nécessaire pour continuer à offrir à l'utilisateur le confort et la sécurité qu'il est en droit d'attendre. Cette durée de vie est étendue si des travaux d'entretien sont effectués. Si ces travaux sont effectués de manière convenable, on peut raisonnablement attendre que la durée de vie s'étende à 40 ans, voir plus.

Les relations entre les dégradations constatées, les mesures d'entretien préconisées et leur durée de vie sont présentées au Tableau 3 (pages suivantes).

Domaine	Zone critique		Dégradations		Procédé de renouvellement (mesure de construction)			Commentaire	
	Partie	Matériau	Dégradation	Causes	Type	Durée de construct.	Coûts		Cycles de renouv.
Infra-structure	Chaussée	Sol, remblai	Affaissements, fissures dans la superstructure (revêtement)	Portance insuffisante, propriétés du terrain et conditions hydrologiques défavorables	- Renouvellement complet : renforcement de la superstructure, amélioration du terrain, p.ex. rempl. Stabilisation, géotextile, drainage	→	↑	Années 30-40	Év. allègement de l'infrastructure par un remplacement avec des matériaux légers, p.ex. couches inférieures en, mousse de verre (FOAMGLAS)
					- Reprofilage de la superstructure	○	○	20-30	
Super-structure	Couches de fondation	Grave	Fissures du revêtement	Sollicitations trop élevées, compactage insuffisant	Remplacement, renforcement de la superstructure	→	↑	30-40	Sur les routes nationales, ces problèmes ne sont observés qu'en présence de sols problématiques ou sur bandes d'arrêt d'urgence utilisées lors de travaux d'entretien. Souvent en relation avec des problèmes de drainage
			Soulèvements pendant la période de gel	Pollution, épaisseur insuffisante de matériaux, manque de résistance au gel	Remplacement partiel, géotextile de filtre et séparation (armature), renforcement de la superstructure	→	↑	30-40	
		Stabilisations	Fissures, éclats	Mauvaise formulation, manque de résistance aux sels de la stabilisation, compactage insuffisant	Remplacement partiel Réparations locales en enrobé, p.ex. pour fissures transv de retrait, renf. superstructure	→	↑	30-40		Problème de la stabilisation au ciment : Fissures transversales de retrait tous les 8-10 m

Suite p. 48

Le tableau 3 donne un aperçu des zones critiques et des cycles de renouvellement de la chaussée d'une route à grand débit. Sont montrés et classés selon les critères de la durée de construction, les coûts et la durée de service les procédés de construction appliqués selon les techniques actuelles. Enfin, des remarques sont formulées concernant les expériences faites avec ces procédés et les solutions techniques récentes. Une comparaison entre des renouvellements effectués avec différents procédés a montré que les indications détaillées sur les coûts, la durée de construction, etc. des différentes mesures varient fortement d'un objet à l'autre. L'appréciation des critères de durée de construction et des coûts est faite selon la légende ci-dessous :

Durée de construction		Coûts	
longue	→	élevés	↑
moyenne	○	moyens	○
courte	←	bas	↓

Domaine	Zone critique		Dégradations		Procédé de renouvellement (mesure de construction)				Commentaire
	Partie	Matériau	Dégradation	Causes	Type	Durée de construct.	Coûts	Cycles de renouv.	
Super-structure	Revêtement	Enrobé Couche de roulement AB	<i>Dégradations du revêtement :</i>					Années	En cas de surface glissante des mesures d'urgence sont nécessaires (sécurité routière)
			Adhérence, désenrobage, usure, petites fissures	Polissage Vieillessement, durcissement du liant, usure, adjuvants	Colmatage des fissures Traitement de surface, revêtement en couche mince Couche supplémentaire ou fraisage et rechargement	← ← ○	↓ ↓ ○	5 5-10 10-15	
		Revêtement souple AB + HMT	<i>Déformations du revêtement :</i>						Amélioration globale de la qualité de surface
			Ornières déformations de poussée	Stabilité insuffisante de la couche de roulement, liant trop mou pour les conditions de sollicitation	- Réparations locales par fraisage et reprofilage avec AB - Couche supplémentaire - Renouvellement de la couche de roulement ou thermorégénération	← ← ○	↓ ○ ○	5-10 5-10 10-15	
				Stabilité insuffisante des couches de base	Revêtements de surface spéciaux avec liants modifiés : - Splittmastixasphalt (SMA), - Macrorugueux (MR), etc. Revêtements multifonctionnels : - Enrobé drainant (DRA), - Couche supplémentaire ou thermorégénération	○ ○ ○	↑ ↑ ↑	15 15 10	Avantageux pour le drainage, avec fonction isolante et phonique Uniquement pour mesure provisoire
					Renouvellement des couches de roulement et de base (HMT) *) Renouvellement de la couche de roulement après 20 ans	→	↑	30-40*	Variante : Thermorégénération de la couche de base et mise en œuvre de revêtements AB neufs Nouveaux tests : ornièreur LCPC

Domaine	Zone critique		Dégradations		Procédé de renouvellement (mesure de construction)				Commentaire
	Partie	Matériau	Dégradation	Causes	Type	Durée de construct.	Coûts	Cycles de renouv.	
Super-structure	Revêtement	Enrobé AB + HMT	<p><i>Dégradations structurelles :</i></p> <p>Affaissements, fissures, affaissement des bords, fissures longitudinales aux bandes d'arrêt d'urgence</p>	<p>Vieillessement, durcissement du liant</p> <p>Sollicitations trop élevées par rapport aux paramètres de dimensionnement.</p> <p>Défaillance de la stabilisation au ciment (fissures dues au retrait). Portance insuffisante aux bords de chaussée (accotement non stabilisés, drainage)</p>	Renforcement par rechargement :	○	○	Années	<p>Entraîne une élévation du niveau fini</p> <p>Sans ou avec élévation du niveau fini</p> <p>Les chaussées des routes nationales suisses sont suffisamment dimensionnées au départ.</p> <p>Des problèmes de portance ne se présentent que sous un trafic extrême. Les normes de dimensionnement VSS tiennent désormais compte de la nouvelle classe de trafic T6 (TF > 3000...10000).</p> <p>Tendance générale vers une augmentation de la stabilité et une prolongation de la durée de service</p>
					- Mise en œuvre de couches AB ou HMT / AB supplémentaires			15-25	
					Renforcement par renouvellement partiel de la superstructure	→	↑	30-40*	
					- Remplacement de quelques couches de la superstructure par des couches avec un module plus élevé				
				Renouvellement complet de la superstructure	→	↑	30-40*		
				- Nouveau T6 : jusqu'à 27 cm d'asphalte (jusqu'ici T5 : jusqu'à 22 cm d'asphalte sur fondation en grave)					
				Couches de base spéciales avec des liants modifiés ou durs : norme VSS (en révision), > nouveau type d'enrobé H	○	○	30-40		

Suite p. 50

Domaine	Zone critique		Dégradations		Procédé de renouvellement (mesure de construction)				Commentaire
	Partie	Matériau	Dégradation	Causes	Type	Durée construct.	Coûts	Cycles renouv.	
Super-structure	Revêtement	Béton	<i>Dégradations du revêtement :</i>					Années	Mesures d'urgence locales
			Adhérence, étanchéité des joints fragiles / manquants, écaillage des bords ou en surface, usure, fissures dues au retrait	Polissage	Sablage, fraisage de surface, rabotage, fraisage des rainures	○	○	5	
				Usure, technologie des matériaux (1 ^{ère} et 2 ^{ème} génération) obsolète	Obturation des joints	○	↓	5	
					Mesures de réparation locales : Enduit superficiel (bitumineux ou synthétique)	←	↓	5	
					Revêtements minces SMA, MR, DRA	○	○	5-10	Le SAMI retarde la remontée des fissures aux joints
					Couche supplémentaire (bitumineuse) avec SAMI	○	○	5-10	Le SAMI retarde la remontée des fissures aux joints
			<i>Dégradations structurelles :</i>						
			Faulting (formation de marches d'escalier), défaut d'uni, fissures dilatantes, dalles fissurées (couche inférieure)	Cavités sous dalle, pompage, affaiss., soulèvements dus au gel	Rechargement :				Mesure d'urgence ; équilibrer, soulever ou remplacer les dalles
				Absence de résistance aux sels de déverglaçage (béton sup. BH 350 / béton inférieur BN 250 de la 1 ^{ère} génération)	- Revêtement bit. env. 12-15 cm avec SAMI sur env. 20 cm de béton en place	○	○	15-20	Uniquement possible, si le gabarit est suffisant (passages supérieurs)
				Technologie des matériaux obsolète (revêtements de 1 ^{ère} ou 2 ^{ème} génération)	Remplacement du revêtement :				
				Couche de fondation insuffisante ou polluée	- Déconstruction du revêtement en béton, nouveau revêtement bitumineux d'env. 22 - 27 cm sur couche de fondation résiduelle	→	↑	30-40	Avantage : pas d'augmentation du niveau fini, peu de travaux d'adaptation
					- Déconstruction partie sup. fondation d'env. 15 cm, nouvelle stabi. ciment, nouv. revêtement en béton d'env. 20 cm	→	↑	30-40	Si l'augmentation du niveau fini est impossible

Tableau 3 : Relations entre dégradations / mesures / durée de vie

4.2 Mesures d'entretien pour les chaussées souples (revêtement bitumineux)

4.2.1 Critères de base pour le choix des mesures

Il existe différentes procédures pour l'entretien des chaussées. Celles-ci vont de la mesure d'urgence dans le cadre de la maintenance de service jusqu'à la reconstruction partielle ou totale de la superstructure. L'impact sur le comportement futur et l'évolution de l'état de la chaussée et respectivement sur les intervalles d'entretien, est différent selon la mesure d'entretien choisie.

Les critères de choix des mesures et les procédures appropriées pour l'entretien des chaussées souples sont discutés de manière détaillée dans les travaux de recherche « Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen- Strategie- und Kostenmodell Asphaltstrassen » [5]. Un aperçu des mesures constructives d'entretien pour des routes bitumineuses est présenté dans le Tableau 4.

Relevé visuel de l'état	Dégradations du revêtement			Dégradations structurelles	
Aspect de dégradation	Surface glissante suite au ressuage ou au polissage	Perte de matériaux (désenrobage, sablage, perte de gravillons, etc.) ainsi que fissuration superficielle (fissures diverses) Fissures de réflexion	Déformations du revêtement (ornières), gonflement, déformation en tôle ondulée ou de poussée)	Défaut d'uni suite à des tassements et affaissements Fissuration structurelle (faïençage)	Défaut d'uni suite au gonflement dû au gel Fissures isolées dues au gel
Mesures de réparation SN 640 731	Fraisage Epanchage de sable ou de gravillons	Enduit superficiel local Réparation de fissures et de joints ouverts	Fraisage des gonflements et des bourrelets. Reflachage des ornières à l'aide d'enrobé	Reflachage avec de l'enrobé bitumineux	Réparation des fissures (colmatage)
Mesures d'entretien SN 640 732	Enduit superficiel Enrobé coulé à froid ECF (Slurry Sealing)				
	Couche supplémentaire (*)				
		Renouvellement du revêtement			
Renforcement de superstructure SN 640 324 SN 640 733				Renforcement par rechargement *	
				Renforcement par rechargement (*), combiné avec un renouvellement partiel de la superstructure aux endroits très dégradés	
				Renouvellement partiel de la superstructure avec : - Couche de fondation bitumineuse - Stabilisation bitumineuse - Stabilisation hydraulique	

(*) Si une augmentation du niveau du fini est possible sans des grands travaux d'adaptation

Tableau 4 : Aperçu des mesures d'entretien constructives pour des routes bitumineuses

4.2.2 Mesures d'urgence

Des mesures d'urgence sont nécessaires dès que la sécurité routière n'est plus garantie ou si une grande perte de substance doit être attendue en ne faisant rien. Les mesures d'urgence sont prises à court terme soit sur une partie, soit sur l'ensemble de la surface. En appliquant des mesures d'urgence, les mesures d'entretien ou de renforcement d'un tronçon complet peuvent souvent être retardées de plusieurs années. Le Tableau 5 montre les mesures d'urgence envisageables.

Aspect de dégradation	Surface glissante	Ornières, bourrelets	Affaissements, flaches, affaissement des bords	Drainage insuffisant
Etat critique	Adhérence insuffisante	Profondeur d'ornière ou de l'eau non admise	Confort insuffisant	Aquaplaning (Chaussée glissante)
Réparations locales d'urgence	Rabotage (p.ex. fraisage léger) Epanchage de sable concassé ou des gravillons pré-enrobés	Fraisage des bourrelets et des vagues Reflachage des ornières avec de l'enrobé	Reflachage avec de l'enrobé bitumineux	Fraisage des endroits critiques pour améliorer le drainage
Mesures d'urgence à grande échelle	Pose d'un enduit superficiel (p.ex. coulis à froid) Couche supplémentaire	Renouvellement du revêtement	Une ou plusieurs couche(s) supplémentaire(s)	Reprofilage pour augmenter le dévers (p.ex. dans un changement de dévers) Couche de roulement en enrobé drainant

Tableau 5 : Exemples de mesures d'urgence

4.2.3 Réparations locales

Les réparations locales sont en général effectuées dans la cadre de la maintenance de routine sur des dégradations limitées, pour éviter des dégradations supplémentaires.

Pose localisée d'un enduit superficiel

Réparations locales par la pose d'un enduit superficiel bitumineux. C'est une mesure appropriée pour protéger de manière préventive des revêtements poreux contre le développement de la perte de matériau ou reprofiler localement la chaussée, pour autant que la déformation soit de faible amplitude. Cette mesure d'entretien augmente en même temps la qualité d'adhérence.

Réparation locale de l'orniérage

Réparation d'ornières à l'aide d'un coulis à froid ou d'un enrobé avec ou sans fraisage préalable de la zone orniérée (fraisage local).

Cette mesure sert à l'amélioration de l'uni transversal en tant que mesure d'urgence lorsqu'il en va de la sécurité du trafic (cyclistes, aquaplanage) ou au reprofilage avant la pose d'une couche supplémentaire.

Réparation de fissures

Réparation de fissures et de joints ouverts par remplissage avec une masse à couler.

La mesure sert à la réparation définitive, mais temporairement limitée, de fissures isolées ou au colmatage de fissures dans le revêtement avant la pose d'une couche supplémentaire.

La réparation empêche l'évolution des dégradations liées à l'infiltration de l'eau dans la structure par les fissures. Le colmatage retarde la remontée des fissures dans la nouvelle couche posée.

4.2.4 Mesures d'entretien de surface à court et moyen terme

Les mesures d'entretien à court et moyen terme sont appliquées là où une mesure constructive à long terme n'est pas prise en considération pour des raisons économiques, financières ou politiques. Elle vise à améliorer les caractéristiques de surface pour une durée précise mais réduite.

Amélioration de la surface

Une amélioration de la surface est adaptée aux revêtements qui présentent des dégradations mineures sur une grande étendue ou qui manquent de qualité d'adhérence. Le revêtement doit être stable et la structure doit avoir une portance suffisante. L'amélioration est généralement réalisée par l'application d'une nouvelle couche (enduit, enrobé coulé à froid ECF, enrobé) qui n'a pas de fonction de portance et qui ne peut pas corriger des défauts d'uni de la chaussée.

Enduit superficiel

La durée de service d'un enduit superficiel gravillonnage simple, double ou inverse avec liant modifié est d'environ 4 à 6 ans.

Enrobé coulé à froid ECF (Slurry Sealing)

Selon les composants appliqués et le processus mécanique contrôlé et en mettant 10 à 30 kg/m², une durée de service de 5 à 7 ans peut être attendue.

4.2.5 Mesures d'entretien à long terme

Les mesures d'entretien à long terme ont pour but d'approcher ou même égaliser la valeur de service et la durée de vie d'une chaussée neuve.

Les mesures d'entretien de surface consistent en l'application d'une couche d'enrobé là où la portance de la chaussée est suffisante pour le trafic actuel et où un renforcement de la structure entière n'est pas envisagé.

Nouvelle couche de roulement en enrobé

La pose d'une nouvelle couche en enrobé s'applique à des chaussées présentant des dégradations légères ou moyennes, un orniérage faible, une qualité antidérapante insuffisante ou lorsqu'il y a besoin de réduire le bruit.

Le reprofilage entraîne une élévation du niveau fini de la chaussée, dépendant de l'épaisseur de la couche, dont il faut tenir compte (drainage, trottoirs et gabarit). L'épaisseur du reprofilage dépend des exigences, du type de revêtement et du diamètre nominal des granulats selon la norme SN 640 431.

Les couches supplémentaires peuvent aussi être appliquées à l'entretien de revêtements en béton qui présentent des dégradations de bord, des écaillages et des faibles marches d'escalier. La couche supplémentaire, combinée avec un SAMI (voir MODULE F : Les matériaux) ou un enduit superficiel, doit avoir une épaisseur d'au moins 40 mm et les dalles qui manifestent du pompage ou qui sont cassées doivent être stabilisées ou reconstruites préalablement. Un exemple du réseau des routes nationales est présenté au Tableau 6.

Selon les sollicitations et l'épaisseur de la couche supplémentaire, une durée de vie de 8 à 12 ans pour des routes à grand débit, de 12 à 16 ans pour des routes principales et de 15 à 20 ans pour des routes de liaison peut être atteinte. Dans le cas des enrobés drainants, la durée de vie est différente, selon que l'on considère le facteur "réduction du bruit" ou le facteur "état de surface". Dans le premier cas, on peut espérer une efficacité de la couche à réduire le bruit de 5 à 10 ans, lorsque l'élimination du colmatage est assurée par un nettoyage adéquat. Dans le deuxième cas, la durée de vie est sensiblement égale à celle des enrobés classiques (jusqu'à 15 ans).

Renouvellement du revêtement (remplacement du revêtement)

Pour renouveler un revêtement, les couches dégradées sont fraisées et remplacées par une ou plusieurs couches d'enrobé neuf, l'épaisseur totale demeurant inchangée. La profondeur du fraisage est fonction des dégradations (évaluées par des sondages, des carottages et l'analyse des matériaux).

Ce mode d'entretien est adapté aux chaussées présentant des dégradations sévères ou des déformations du revêtement moyennes à fortes.

Pour appliquer une telle solution de réfection, il faut une structure avec une portance suffisante, sans dégradation structurelle importante dans la partie qui reste en place.

Le renouvellement du revêtement peut être limité à une seule voie, p.ex. dans le cas d'une autoroute avec un orniérage significatif sur la voie normale seulement. Il faut prendre note des restrictions éventuelles lorsque l'on emploie des enrobés drainants, car le drainage latéral doit être assuré en tous points.

Au cas où la portance et la stabilité de l'infrastructure sont suffisantes, mais que des fissures diverses, des fissures de réflexion ou des joints ouverts se présentent, la mise en œuvre d'une membrane absorbant les contraintes SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) est conseillée.

Des enquêtes récentes effectuées dans le cadre d'un travail de recherche [10][14] ont montré que la durée de vie d'une remise en état par remplacement des couches est largement supérieure aux périodes prises en compte pour ce type de maintenance. Ainsi, sur notre réseau routier national et pour les classes de trafic T5/T6, des durées de vie de 20-25 ans ont été observées pour des conditions topologiques normales. Pour des conditions particulières (fortes rampes, forte exposition aux radiations solaires), des périodes d'au moins 15-20 ans ont été observées. Dans le Tableau 6 figurent les dégradations caractéristiques à attendre pour divers types de superstructures, ainsi que les mesures d'entretien et de remise en état à prévoir et leurs durées de vie escomptées.

MODULE D – L'entretien

Superstructure	Type 1 : 20 – 22 cm revêtement en béton bitumineux (BB) sur grave	Type 5 : 12 cm revêtement BB sur stabilisation hydraulique	Type 11 : 20 – 22 cm revêtement en béton (2 ^{ème} gén.) sur grave
Classe de trafic Sollicitation	T5 ... T6 normale	T5 ... T6 extraordinaire	T5 ... T6 normale
Conditions climatiques	Plateau	Ensoleillement extrême	Plateau
Aspects de dégradation caractéristiques	Voie normale : ornierage important Voie de dépassement : essentiellement dégradations du revêtement (perte de matériaux et fissures diverses)	Voie lente : ornierage important Voie normale : essentiellement dégradations du revêtement (perte de matériaux et fissures diverses), ornierage faible	Toute la chaussée : dégradations sévères du revêtement (perte de matériaux et fissures diverses) et fissures de réflexion. Par endroits, stabilisation détruite par l'eau d'infiltration
Réparations locales précédant la remise en état complète			Enlever les couches stabilisées détruites et les remplacer par un HMF ou un HMT
Mesures de remise en état	Toutes les voies : - fraisage de 100 mm de profondeur - remplacement du revêtement : 60 (70) mm HMT 22 S/H* + 40 mm AB 11 S/H* (avec PmB) ou 30 mm** SMA 11 ou 30 mm** MR 11 Variante voie de dépassement (selon les résultats des analyses) : - renouvellement couche de roulement 40 mm avec revêtement comme voie normale	Toutes les voies : - fraisage de 120 mm de profondeur - remplacement du revêtement : 90 mm HMT 22 H + 30 mm** SMA 11 ou 30 mm** MR 11	Toutes les voies : - fraisage de profondeur 40 mm - géotextile non tissé d'épaisseur 80 mm sur HMT en place - remplacement du revêtement : 50 mm HMT 16 S + 30 mm** SMA 11 ou 30 mm** MR 11 Variante : - fraisage de profondeur 150 mm - géotextile non tissé sur stabilisation - remplacement du revêtement : 120 mm HMT 22 S + 30 mm** SMA 11 ou 30 mm** MR 11
Intervalle de remise en état	20 – 25 ans	15 – 20 ans	20 – 25 ans
* T5 = Type S T6 = Type H ** dans la pratique			

Tableau 6 : Mesures de remise en état pour les routes nationales

4.2.6 Mesures de renforcement

Les mesures de renforcement sont à prévoir quand la portance de la structure est insuffisante ou quand des sollicitations plus élevées sont prévues.

Dimensionnement du renforcement de la superstructure

Les méthodes de dimensionnement sont décrites en détail dans le chapitre 2 du module C.

Base : Structural Number SN (SN 640 324)

Le dimensionnement est basé sur les résultats du AASHTO Guide for Design, ce qui permet de déterminer une valeur SN en fonction de la classe de trafic T_i et la classe de portance des différents matériaux S_i . La valeur SN nécessaire est composée de la somme du produit de l'épaisseur D de chaque couche par sa valeur de portance. Pour les couches en place que l'on désire conserver, la valeur assignée aux couches résiduelles est fonction des dégradations. Pour les déterminer, des auscultations et sondages sont donc nécessaires.

Les valeurs a des vieilles couches de superstructure données par la norme sont des valeurs indicatives empiriques. Des analyses récentes montrent que l'on tend à sous-estimer les dégradations des couches inférieures [11].

Base : mesure de déflexion (SN 640 733)

Le calcul du renforcement nécessaire se base sur la détermination de la portance effective de la structure en place par la mesure de la déflexion élastique avec la poutre de Benkelmann, ou le deflectographe Lacroix. L'épaisseur du renforcement nécessaire se fonde sur la déflexion de dimensionnement et le trafic de dimensionnement à l'aide des diagrammes de la norme [2]. Cette méthode, dérivée d'un programme AASHTO, donne des résultats fiables et les mesures de déflexion doivent être complétées par un relevé d'état de surface, par des carottages, des sondages, des prélèvements et l'analyse des matériaux pour connaître l'état de la superstructure [12].

Les zones où les valeurs de déflexion sont nettement plus grandes qu'aux points avoisinants doivent être traitées de façon spécifique.

Démarche

Le renouvellement complet de la superstructure, à savoir le remplacement de toutes les couches de la superstructure est considéré comme étant une construction neuve selon SN 640 324 et n'est pas traité dans ce chapitre.

Lors d'un renforcement, certaines couches de la superstructure, parfois toutes, restent en place et sont recouvertes par des nouvelles couches. Si le renforcement est effectué avec des couches nouvelles sans remplacement d'autres couches, il en résulte une élévation du niveau du fini en surface du revêtement. Cette élévation est évitée si des couches sont remplacées par des couches avec des propriétés mécaniques supérieures.

Ce chapitre traite de mesures de renforcement, pour lesquelles la qualité des couches résiduelles n'est pas qualitativement modifiée.

Pour le choix des couches et de leur épaisseur, ainsi que pour le choix des types et sortes d'enrobé, la norme SN 640 430 [13] fait foi.

Renforcement par rechargement

Lors d'un renforcement par rechargement, une ou plusieurs couches de renforcement sont placées sur le revêtement en place. Les défauts d'uni de la chaussée sont en général corrigés par la première couche de renforcement ; des déformations importantes dans le profil en travers doivent préalablement être corrigées.

Un collage adéquat de la couche de renforcement avec l'ancien revêtement nettoyé est d'une importance primordiale. Type et dosage de la couche d'accrochage doivent être adaptés à l'état de surface de la chaussée existante.

Les renforcements par rechargement sont exécutés sur des revêtements présentant des dégradations légères ou moyennes. Ces mesures d'entretien ne sont pas applicables sur des structures qui présentent une stabilité insuffisante ou une faible résistance au gel. Comme le niveau du fini est augmenté, le renforcement doit être appliqué sur toute la largeur de la chaussée et les surfaces adjacentes (bande d'arrêt d'urgence, jonctions) doivent être prises en compte. Les installations annexes (égouts, etc.) doivent également être adaptées.

Renouvellement partiel de la superstructure

Le renforcement par renouvellement partiel de la superstructure consiste à éliminer une ou plusieurs couches de la superstructure et à les remplacer par des matériaux de meilleure qualité et de portance plus élevée. On enlève en général le revêtement et parfois une partie de la couche de fondation. Pour le dimensionnement, la portance totale de la structure renforcée est composée de la portance des couches conservées et celle des nouvelles couches.

En principe, le renouvellement partiel de la superstructure n'entraîne pas une augmentation du niveau du fini; il peut donc être appliqué sur une seule voie (p.ex. la voie normale d'une autoroute) ou localement sur une partie isolée.

La Figure 2 montre, à titre d'exemple, différentes variantes de renouvellement partiel de la superstructure pour une route avec un trafic moyen. La portance et le niveau du fini de la surface de roulement sont les mêmes pour toutes les variantes. Le choix de la variante se fera en principe sur une évaluation économique et sur les moyens à disposition, notamment lorsqu'une variante fait appel à des techniques ou des équipements spéciaux (Figure 3).

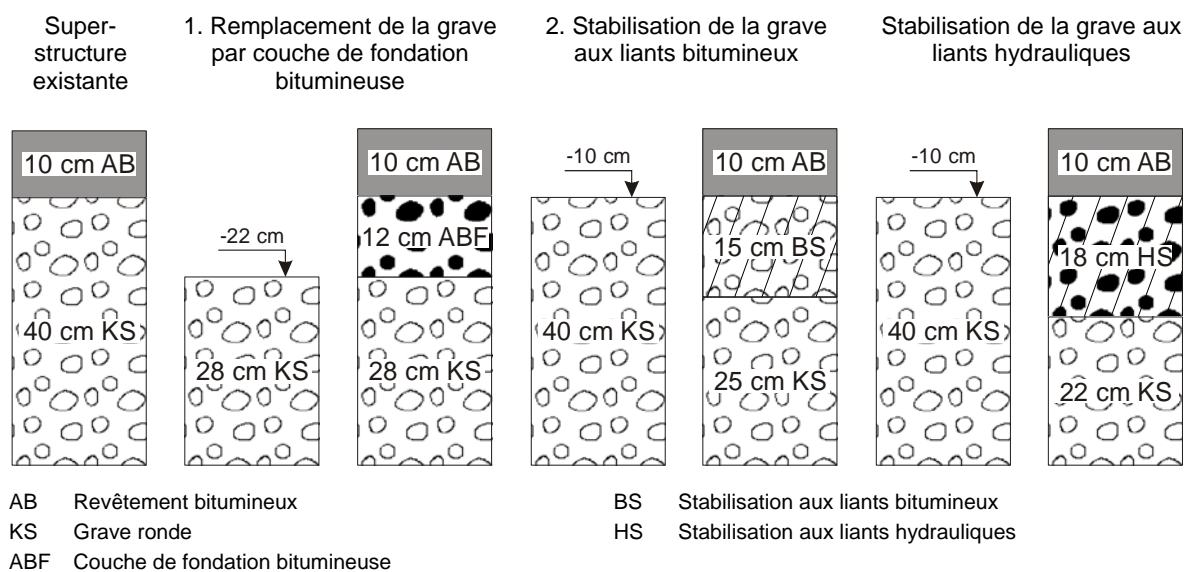


Figure 2 : Variantes d'un renforcement par renouvellement partiel de la superstructure pour une route à trafic moyen



Figure 3 : Machine pour le recyclage à froid : fraiser, malaxer et poser en une étape, permet une réutilisation à 100 % des matériaux de la superstructure

Combinaison rechargement/renouvellement partiel

Souvent, une combinaison des deux cas décrits plus hauts s'avère être la solution optimale : Dans une première étape les parties les plus dégradées sont partiellement renouvelées et ensuite, dans la deuxième étape, un revêtement bitumineux (AB) mono- ou bicouche est posé sur la surface entière en tant que renforcement. L'augmentation du niveau du fini du tronçon de la route peut ainsi être limitée à une valeur acceptable.

4.2.7 Choix des matériaux du revêtement

Une fois l'épaisseur totale de nouveaux matériaux déterminée, leur choix se fait de la même façon que pour une chaussée neuve, surtout en ce qui concerne les couches de roulement.

La distribution des couches, et la définition des épaisseurs sont réglées par la norme SN 640 431. Le choix des types et des sortes d'enrobé dépend de la sollicitation par le trafic et des conditions climatiques.

Les règles pour le choix des matériaux sont présentées dans le module E.

4.3 Mesures d'entretien pour les chaussées en béton

4.3.1 Critères de base pour le choix des mesures

Plusieurs techniques et procédures sont à disposition pour l'entretien d'une chaussée en béton. Ces mesures vont des mesures d'urgence locales dans le cadre de l'entretien de service jusqu'aux remises en état complètes à grande échelle, planifiées à long terme. Selon les mesures choisies, différents effets sont observés sur le comportement futur, l'évolution de l'état et les intervalles d'entretien.

	Dégradations du revêtement		Dégradations structurelles		
Relevé visuel de l'état, aspect de dégradation	Surface glissante, polissage	Dégradations des bords, écaillage, pelades, usure, fissures de retrait	Blow-up, légère formation de marches d'escalier sans pompage, fissures singulières	Affaissements et / ou soulèvements, cavités sous dalles, fissures dilatantes	Forte formation de marches d'escalier, dalles cassées, pompage
Mesures de réparation SN 640 735	Rabotage, p.ex. par jet d'eau en pression ou par projection de billes	Réparation locale provisoire avec de l'enrobé; réparation définitive avec mortier de ciment ou modifié par matière plastique		Amélioration locale du profil avec de l'enrobé, équilibrage des dalles, colmatage des fissures	Équilibrage des marches d'escalier par fraisage, remplacement provisoire de dalles avec de l'enrobé, rempl. définitif de dalles avec béton
Mesures de remise en état SN 640 736	Enduit superficiel, enrobé coulé à froid ECF				
	Couche supplémentaire (ABDS, SMA, PA) avec SAMI				
			Couche supplémentaire combinée avec renouvellement partiel de la superstructure aux endroits fortement dégradés		
Mesures de renforcement SN 640 736				Renforcement par rechargement *) avec revêtement bitumineux sur béton non détendu	
				Renforcement par rechargement *) avec revêtement bitumineux sur béton détendu	
				Renouvellement de la superstructure avec enrobé bitumineux ou en béton	

*) si augmentation du niveau de fini possible sans travaux d'adaptation complexes

Tableau 7 : Aperçu des mesures constructives pour l'entretien des routes en béton

Les critères de choix pour les mesures et procédures appropriées pour l'entretien de chaussées en béton ont été discutés en détail dans les travaux de recherche « Systèmes de gestion de l'entretien (SGE), développement d'un modèle de travaux et stratégies pour des routes en béton » [14].

Le lien entre les différents aspects de dégradation et les mesures d'entretien correspondantes est présenté dans le Tableau 7.

4.3.2 Mesures d'urgence

Des mesures d'urgence s'avèrent nécessaires si la sécurité du trafic n'est plus assurée ou si une perte importante de substance est à craindre à court terme. Les mesures d'urgence sont effectuées à court terme. Par ces mesures d'urgence le moment d'exécution d'un renouvellement complet d'un tronçon routier peut souvent être renvoyé de plusieurs années. Le Tableau 8 présente diverses mesures envisageables.

Aspect de dégradation	Surface glissante	Ecaillage Dégradation des bords	Dalles fissurées Dalles cassées Blow-up	Dalles instables et / ou avec cavités Marches d'escalier	Evacuation des eaux insuffisante
Etat critique	Manque d'adhérence	Confort insuffisant	Confort insuffisant	Confort insuffisant	Aquaplaning (Danger de glissement)
Réparations locales	Rabotage par : - jet de billes - jet d'eau sous pression - fraisage de surface - rainurage	Remplissage avec : - enrobé bitumineux - béton fin ou mortier de réparation	Colmatage des fissures Remplacement de dalles - avec de l'enrobé - avec du béton	- Fraisage des marches - Stabilisation / équilibrage des dalles	Rainurage transversal aux endroits critiques pour améliorer l'évacuation des eaux
Mesures de remise en état (toute la surface)	- Amélioration de la surface (p.ex. enduit superficiel, enrobé à froid ECF) - Enduit superficiel bitumineux ou en résine - Couche supplémentaire	Remplissage avec béton fin ou mortier de réparation Enduit superficiel Couche supplémentaire	Remplacement de dalles - au ciment	- Equilibrage des dalles - Stabiliser / détendre les dalles - Couche supplémentaire	Augmentation du dévers dans les virages

Tableau 8 : Mesures d'urgence

4.3.3 Réparations locales

Les réparations locales sont des mesures constructives d'étendue limitée et des mesures d'urgence pour réparer des dégradations de la chaussée (p.ex. surface glissante, blow-up, écaillages) et pour éviter des dégradations supplémentaires.

Surface glissante

Des petites surfaces peuvent être piquées, les grandes doivent être grenillées.

Ecaillage, dégradation des bords

Réparation de la surface endommagée avec un enrobé bitumineux ou un béton fin. Les dégradations des bords d'un revêtement intact au niveau structurel (la répartition des contraintes par les joints fonctionne) doivent toujours être réparées à l'aide de béton/mortier.

Dalles cassées, blow-up

Les dalles cassées, en particulier après un blow-up, peuvent être remplacées provisoirement par un revêtement bitumineux.

Pour les dalles avec une fissure longitudinale ou transversale, le colmatage de la fissure à l'aide d'une masse à couler est suffisant.

Dalles instables, cavités sous dalles, formation de marches d'escalier

Les dalles instables et celles avec des cavités dessous doivent être stabilisées par injection avec des mortiers en ciment, modifiés aux matières plastiques, et des résines artificielles.

Si l'épaisseur de la dalle est suffisante, les zones des bords qui dépassent peuvent être fraisées. Selon la hauteur de la marche, la largeur de dalle à fraiser le long du joint est de 30 à 70 cm.

Pour les revêtements dont l'épaisseur des dalles ne permet pas le fraisage pour des raisons de sollicitation par le trafic, la mise à niveau des dalles doit être fait par déplacement vertical ou par application d'un mortier de reprofilage.

4.3.4 Mesures de remise en état à court et moyen terme

Les mesures de remise en état à court et moyen terme sont appliquées lorsqu'une mesure constructive à long terme n'est pas envisageable pour des raisons économiques ou en relation avec le projet.

Avant une remise en état par enduit superficiel ou par application d'une couche supplémentaire, toutes les dégradations qui ne sont pas touchées par la mesure choisie doivent être réparées préalablement. La remise en état s'effectue généralement par application d'une nouvelle couche de roulement (enduit superficiel ou enrobé).

4.3.5 Mesures de remise en état à long terme

Renouvellement de l'étanchéité des joints

Les joints doivent être maintenus étanches par un entretien périodique. L'ancienne masse à couler doit être enlevée complètement et les flancs de joint doivent être retaillés.

Les masses à couler ont une durée de vie d'environ 12 à 15 ans. Les masses d'étanchéité et les profils en ont une de jusqu'à 20 ans.

Nouvelle couche de roulement en enrobé

Champ d'application :

Pour la remise en état de revêtements en béton présentant des dégradations moyennes ou graves (dégradations des bords, écaillages, fissures de retrait), à condition que le revêtement en béton soit stable et qu'il n'y ait pas de marches d'escalier ou des fissures.

La stabilité des dalles en béton (pompage) peut être contrôlée de manière visuelle. Si la chaussée est soumise à un trafic intensif il est conseillé d'analyser la répartition des contraintes entre les dalles, ainsi que les conditions d'appui au niveau des joints (cavités sous le revêtement en béton) à l'aide de mesures de déflexion. Les dalles présentant du pompage doivent être stabilisées par injection ou être remplacées.

Lors de ruptures de bords aux droits des joints, on examinera la partie inférieure de la dalle par forage. Si le béton est de mauvaise qualité, les dalles doivent être démolies, entièrement ou en partie, et remplacées avant que la nouvelle couche d'enrobé ne soit posée.

L'écaillage à la surface du béton peut être réparé avec de l'asphalte coulé ou avec un enrobé bitumineux. Comme un revêtement monocouche ne suffit pas pour corriger des défauts d'uni importants, les marches d'escalier doivent être corrigées par fraisage des bords de dalles ou par la pose d'un mortier ou d'un enrobé bitumineux.

Traitement des joints de dalle :

Pour éviter l'apparition de toute dégradation en surface de la couche de roulement en enrobé, la meilleure technique consiste à scier le revêtement au droit des joints après sa pose et à étancher la gorge créée avec une masse à couler.

Pour recouvrir les fissures et les joints, mais également pour protéger le revêtement en béton des eaux d'infiltration il est conseillé d'appliquer une SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer).

Les enrobés spéciaux suivants sont généralement utilisés pour le renouvellement de couche d'usure sur chaussées en béton :

- splittmastixasphalt SMA 11
- béton bitumineux AB 11 S

- enrobé macrorugueux MR 11
- enrobé drainant DRA

Des enquêtes effectuées dans le cadre d'un travail de recherche [5] montrent que la durée de service de mesures de remise en état (intervalle de remise en état) est de 20 à 25 ans, même pour des routes nationales très chargées.

4.3.6 Renouvellement partiel du revêtement

Si des dégradations moyennes à graves (dégradations des bords, écaillages, pelades, fissures de retrait) apparaissent aux revêtements de ponts liés au tablier, la remise en état peut être effectuée en fraisant la partie supérieure du revêtement en béton et la remplaçant par un nouveau revêtement en béton. La durée de service d'une telle mesure de remise en état est d'environ 20 à 25 ans.

4.3.7 Mesures de renforcement

Un renforcement du revêtement sur place est nécessaire:

- lorsque le revêtement en béton présente des dégradations structurelles graves (marches d'escalier, fissures, dalles cassées) et que la remise en état par une nouvelle couche supplémentaire est insuffisante pour assurer un bon comportement à long terme.
- lorsque le revêtement en béton est sous-dimensionné et que la portance doit être ajustée aux charges de trafic pour la durée de service souhaitée.

Le renforcement par rechargement avec un enrobé bitumineux sur béton détendu ou non détendu peut convenir, pour autant que l'étendue et l'importance des dégradations soient acceptable pour cette technique (voir ci-après).

Les expériences montrent que les mesures de renforcement décrites ci-dessous prolongent la durée de service de 20 à 25 ans environ.

Dimensionnement

On se référera à la norme SN 640 324 pour le dimensionnement du renforcement de chaussées en béton.

La valeur de structure nécessaire $SN_{néc}$ découle de la classe de trafic T_i et la classe de portance S_i .

Pour le renforcement par rechargement avec un revêtement bitumineux, la formule suivante est applicable :

$$SN_{renf} = SN_{néc} - SN_{exist} \quad (2)$$

où:

- SN_{renf} Valeur de structure de la couche de renforcement
- $SN_{néc}$ Valeur de structure nécessaire pour une durée de service d'au moins 20 ans en fonction de la classe de trafic T_i et la classe de portance S_i
- SN_{exist} Valeur de structure de la superstructure en place

Démarche :

On déterminera en premier la valeur de structure nécessaire $SN_{néc}$ en fonction des classes de trafic T_i et de portance S_i de la couche de fondation sous le revêtement en béton. La portance du revêtement en béton en place (év. détendu) est ensuite déterminée en fonction de l'aspect de dégradation à l'aide des valeurs de portance (valeurs a_2) du Tableau 9.

L'épaisseur de la couche de renforcement D_{renf} calculée à l'aide de la formule (3) :

$$D_{renf} = \frac{SN_{néc} - SN_{béton}}{4,0} \quad (3)$$

Aspect de dégradation (dégradations structurelles)	Valeur a_2
Revêtement en béton stable et sans fissures, pas de pompage	6,5
Revêtement en béton stable, quelques marches d'escalier, quelques fissures, pas de pompage	5,2
Formation légère à moyenne de marches d'escalier, légère fissuration, quelques dalles cassées	4,0
Forte formation de marches d'escalier, forte fissuration, plusieurs dalles cassées, pompage	3,0
Forte formation de marches d'escalier, forte fissuration, plusieurs dalles cassées, affaissements/soulèvements, pompage	2,2
Revêtement en béton détendu	2,0

Tableau 9 : Valeurs de portance (valeurs a_2) du revêtement en béton en place en fonction de l'aspect de dégradation par rapport à la valeur de base de la grave ronde de $a = 1,0$ (Revêtement bitumineux $a_1 = 4,0$)

Renforcement par rechargement en enrobé

On utilisera en règle générale les enrobés pour couches de support et de roulement figurant dans la norme SN 640 431. Afin de réduire le risque d'apparition de fissures de réflexion il est conseillé d'appliquer préalablement un anti-fissure (SAMI ou autre).

Les dégradations du revêtement doivent être réparées avant le renforcement : les fissures sont colmatées et les dalles cassées ou instables sont remplacées. Les défauts d'uni et les marches d'escalier, par contre, peuvent être corrigés par un revêtement bicouche.

Le sciage du renforcement au droit des joints transversaux du revêtement en béton est nécessaire lorsque des déplacements horizontaux sont à craindre.

En l'absence de fissures, un SAMI n'est pas nécessaire; la dispersion d'une émulsion est suffisante comme couche d'accrochage.

4.3.8 Renouvellement de la superstructure

Si le revêtement en béton présente des fortes dégradations structurelles et/ou s'il est sous dimensionné et qu'un renforcement par rechargement n'est pas possible, un renouvellement partiel de la superstructure est nécessaire.

Renouvellement partiel de la superstructure (1)

Pour le renouvellement partiel (1) le revêtement en béton en place et, si nécessaire, une partie de la couche de fondation sont enlevés et remplacés par un nouveau revêtement en béton ou un revêtement bitumineux. Si la couche de fondation en grave en place a une portance trop faible ou si elle est composée de matériaux non appropriés (p.ex. gélifs), la qualité du matériau peut être améliorée par une stabilisation in-situ.

La norme SN 640 324 fait foi pour le dimensionnement.

Renouvellement partiel de la superstructure (2)

Le renouvellement partiel de la superstructure (2) est une solution combinant un renouvellement partiel de la superstructure (1) (voir ci-dessus) aux endroits fortement dégradés avec une couche supplémentaire sur toute la surface :

- où le revêtement en béton est stable, avec une fissuration très faible et un peu de formation de marches d'escalier, sans pompage, un revêtement spécial de 35 à 40 mm d'épaisseur peut être appliqué directement.
- où le revêtement en béton présente des dégradations structurelles moyennes à graves, il doit être démolé et renouvelé, avant la pose du nouveau revêtement.

Comme le montre l'exemple suivant, le renouvellement partiel de la superstructure (2) avec un revêtement en béton et une couche supplémentaire est particulièrement approprié si la voie de dépassement est en bon état et si les dégradations structurelles se limitent à quelques tronçons continus de la voie normale.

4.3.9 Exemple : renouvellement du revêtement A2 Uri [15]

Le Tableau 10 montre les caractéristiques des voies de circulation de la A2 analysée:

Voie	Voie de dépassement	Voie normale	
Longueur	26250 m = 100 %	19970 m = 76 %	6280 m = 24 %
Uni longitudinal, valeur moyenne S_w	2.140 ‰	2.327 ‰	2.590 ‰
Etat structurel	Bon	Moyen à bon	Critique
Aspect de dégradation	Légères dégradations des bords, quelques réparations, légère formation de marches d'escalier par endroit, revêtement en béton stable	Légères dégradations des bords, nombreuses réparations locales, légère formation de marches d'escalier et pompage par endroit, revêtement en béton stable grâce à des injections	Légères dégradations des bords, nombreuses réparations, forte formation de marches d'escalier, pompage et dalles instables, quelques fissures dilatantes, défauts d'uni notables
Valeur de portance a_2 du revêtement en béton en place	5,2	4,6	2,2
Mesures d'entretien nécessaires	Couche supplémentaire de 4 cm pour améliorer l'uni longitudinal	Renforcement par rechargement de 14 cm	

Tableau 10 : Caractéristiques des voies de circulation

Trois variantes ont été initialement proposées pour la remise en état de la A2. Elles sont illustrées à la Figure 4.

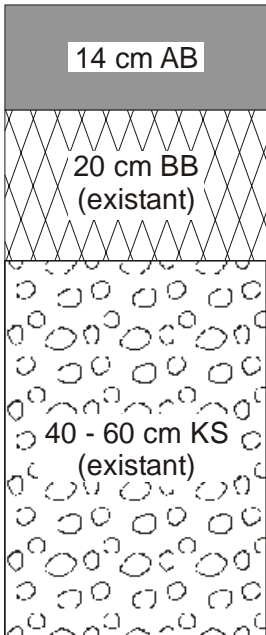
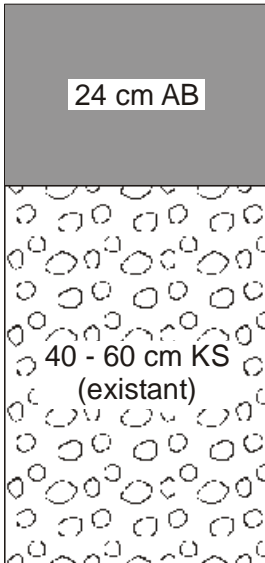
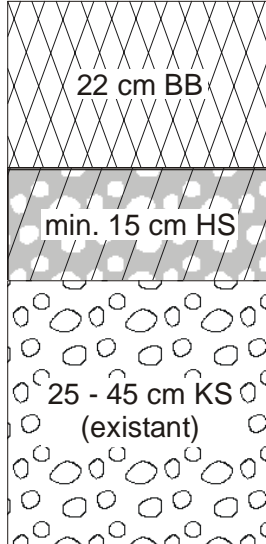
Variante 1 : Renforcement de la superstructure par rechargement	Variante 2 : Renouvellement partiel de la superstructure avec enrobé bitumineux	Variante 3 : Renouvellement partiel de la superstructure avec du béton
		
AB Revêtement bitumineux BB Revêtement en béton		KS Grave ronde HS Stabilisation aux liants hydrauliques

Figure 4 : Structure des variantes proposées pour le renouvellement de la chaussée

La comparaison des coûts des différentes variantes a montré que la variante 4, une combinaison entre un remplacement partiel de dalles et une couche supplémentaire (Figure 5) ne coûtait que la moitié d'un renouvellement complet du revêtement en béton et que deux tiers d'un renforcement par rechargement avec 14 cm de revêtement bitumineux.

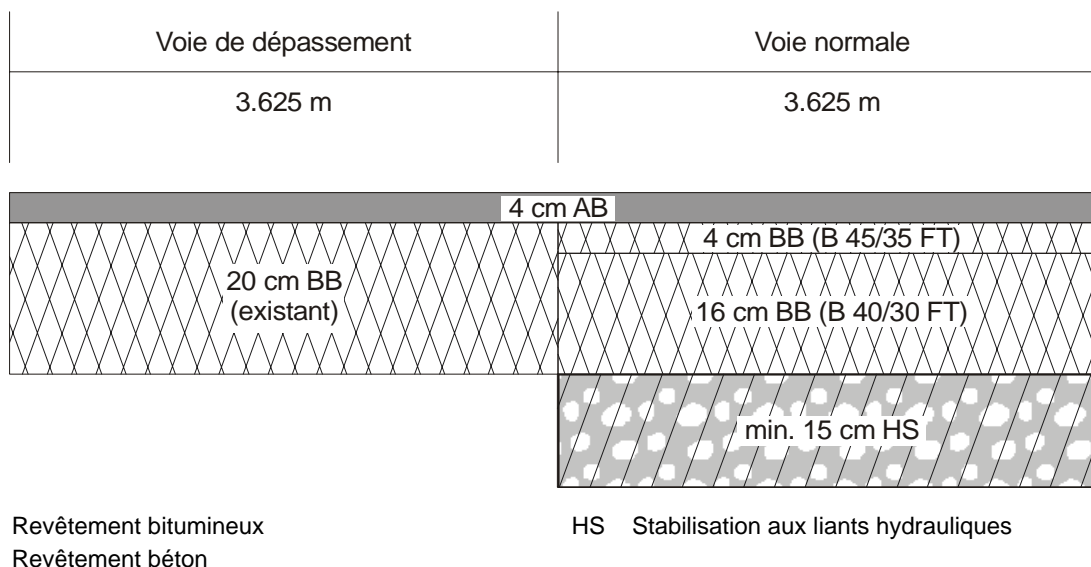


Figure 5 : Structure variante 4 – renouvellement partiel avec revêtement en béton et couche supplémentaire

Critères	Poids	Variante 1 : Renforcement de la superstructure par rechargement		Variante 2 : Renouvellement partiel de la superstructure par un revêtement bitumineux		Variante 3 : Renouvellement partiel de la superstructure par un revêtement en béton		Variante 4 : Renouvellement partiel de la superstructure par un revêtement en béton et couche supplémentaire	
		Points	Points pondérés	Points	Points pondérés	Points	Points pondérés	Points	Points pondérés
Coûts du renouvellement	0.35	6.8	2.38	5.1	1.78	5.3	1.86	10.0	3.50
Coûts d'entretien actualisés pendant une période de service de 30 ans	0.15	6.6	0.99	6.6	0.99	10.0	1.50	9.6	1.44
Durée de chantier renouvellement	0.15	10.0	1.50	6.0	0.90	5.0	0.75	7.5	1.12
Durée des chantiers d'entretien	0.10	5.0	0.50	5.0	0.50	5.7	0.57	10.0	1.00
Possibilité d'exécution en étapes	0.10	10.0	1.00	6.0	0.60	6.0	0.60	10.0	1.00
Atteintes à l'environnement (transports, bruit)	0.10	10.0	1.00	7.0	0.70	5.0	0.50	8.0	0.80
Risques lors d'une croissance du trafic	0.05	4.0	0.20	4.0	0.20	10.0	0.50	8.0	0.40
Total	1.00		7.57		5.67		6.28		9.26

Tableau 11 : Matrice d'évaluation des variantes de renouvellement du revêtement en béton

4.4 Planification de mesures et de stratégie

4.4.1 Critères de comparaison pour des mesures et des stratégies alternatives

Les critères pour le choix de la variante optimale de superstructure d'une chaussée neuve sont présentés dans le chap. 5 du module C. La démarche est identique pour les renouvellements.

Les stratégies d'entretien englobent, pour une période définie :

- le moment d'exécution d'une mesure constructive
- les types de mesure constructive à exécuter pendant cette période
- l'intervalle de temps entre les mesures prévues

L'état en un instant donné et l'aspect des dégradations d'une chaussée constituent le point de départ pour le développement de stratégies d'entretien en tenant compte de mesures constructives alternatives. La prévision de l'évolution de l'état sur une durée déterminée, suite à des mesures constructives, se base sur des pronostics de comportement, comme celles qui ont été développés [5][15] et vérifiés [10][14].

Mesures constructives

Le choix de la mesure constructive dépend de :

- l'envergure/étendue des travaux de remise en état
- la disponibilité des machines spéciales et des centrales d'enrobage
- les conditions constructives locales, p.ex. joints, drainages, carrefours en ou hors localité, etc.
- la gêne au trafic pendant le renouvellement ou pendant des interventions ultérieures nécessaires

Moment d'exécution

Des mesures d'urgence sont nécessaires dès que la sécurité routière n'est plus garantie (p.ex. qualité d'adhérence de la chaussée insuffisante, aquaplaning). Elles s'avèrent également nécessaires quand un sursis des mesures causerait une perte de substance.

Dans tous les autres cas, des travaux de maintenance sont nécessaires quand un certain indice de viabilité (une valeur seuil) est atteint ou dépassé qui dépend du type de la route et de la fonction de la surface de roulement.

Coûts

Si tous les moyens financiers pour l'entretien d'une route ne sont pas disponibles ou insuffisants à un moment donné, on est contraint de reporter le moment de l'exécution d'une mesure de qualité à long terme et de se contenter de réparations et de mesures à court terme. Les conséquences d'une telle stratégie peuvent être suivies qualitativement et quantitativement pendant une durée d'observation de 30 ans, par exemple.

Durée de vie

En principe, les mesures de qualité nécessitent des investissements initiaux pour l'entretien plus élevés, mais elles assurent une durée de service plus longue avec un minimum d'interventions intermédiaires. Elles devraient être appliquées si les moyens financiers sont disponibles et si des intervalles de remise en état sans interventions intermédiaires sont visés. Les mesures d'entretien à court terme répartissent mieux les coûts, mais des interventions sont nécessaires après des périodes plus courtes.

4.4.2 Modèles de stratégie

L'évolution de l'état d'une chaussée (paramètre d'état) dépend du type de superstructure et des sollicitations générées par le trafic et le climat.

D'après l'expérience, l'évolution des dégradations (fissures, ornières, etc) présente 2 phases :

- 1^{ère} phase : initiation de la dégradation
- 2^{ème} phase : propagation

Plusieurs travaux de recherche ont eu pour objectif de vérifier des hypothèses empiriques et de déterminer des modèles de comportement sur la base d'observations à long terme de sections définies (planches d'essai) ou par des essais accélérés en vraie grandeur [10][14][17]. Les résultats montrent que le comportement dépend fortement de la structure de la chaussée. Par exemple, les revêtements bitumineux posés sur des revêtements en béton ou des fondations stabilisées au ciment sont moins susceptibles aux déformations mais ils présentent par contre un risque accru à la fissuration.

Dans l'exemple qui suit, une durée de service est estimée pour chaque mesure constructive, ce qui permet une comparaison des mesures et des stratégies sur la base des coûts. Pour effectuer une comparaison des coûts de diverses mesures d'entretien, une durée d'observation de 30 ans a été choisie.

Un exemple de formulaire type pour la comparaison de mesures ou de stratégies est présenté en annexe.

Un pronostic de l'état sur 20 ou 30 ans comporte certains aléas, puisque les exigences futures relatives au trafic et aux conditions locales ne peuvent être estimées que dans les grandes lignes. Cependant il fournit des informations sur les coûts globaux de l'entretien pendant cette période observée et il montre les conséquences des variantes d'entretien choisies et exécutées à des moments différents.

Dans les exemples qui suivent, on part du principe que toutes les variantes sont touchées de la même manière d'éventuelles erreurs d'évaluation des sollicitations futures lors de la comparaison des variantes.

4.4.3 Comparaison des coûts

Les coûts globaux sont composés des coûts d'installation, de service et de remise en état (coûts du maître d'ouvrage) ainsi que des coûts aux usagers. Seuls les coûts du maître d'ouvrage pour les mesures de maintenance pendant la période considérée sont traités dans ce présent chapitre.

Pour comparer des stratégies d'entretien alternatives, les coûts de réparation, de remise en état et de renforcement nécessaires pendant la période observée doivent être actualisés. Il existe différentes théories pour la détermination du taux d'actualisation à utiliser. Dans les exemples suivants, un taux de $p = 3.0$ pour cent a été choisi, selon des règlements allemands [18].

Concernant l'augmentation des coûts, il a été admis que le renchérissement annuel des mesures constructives correspond à l'indice du produit intérieur brut [19].

L'exécution de la dernière mesure d'entretien ne correspond pas toujours à la fin de la période observée. Pour une comparaison de stratégies alternatives, la perte de valeur depuis la dernière mesure jusqu'à la fin de la période observée doit être quantifiée. Pour le calcul de cette perte de valeur, les coûts de la dernière mesure d'entretien sont amortis proportionnellement et de façon linéaire sur la période d'observation précédente. Si lors la dernière mesure d'entretien plusieurs couches de revêtement ont été posées et renouvelées, seule la perte de valeur des couches qui doivent être renouvelées après l'intervalle d'entretien préconisé est prise en compte pour le calcul.

Dans les exemples qui suivent, les coûts globaux comprennent les coûts réels des mesures de réparation et de l'entretien pendant la période observée, ainsi que les coûts d'une mesure fictive à la fin de la période observée, afin de combler la perte de valeur de la dernière intervention.

Pour un taux d'intérêt de 3 % et une période d'observation de 30 ans les coûts globaux actualisés se calculent comme suit :

$$CA_{30} = \sum R_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum V_t \times 1.03^{-(t-1)} + W_{30} \times 1.03^{-29}$$

avec CA_{30} coûts globaux actualisés pendant la période d'observation

R_t coûts de la mesure de réparation à l'année t

I_t coûts de la mesure de remise en état à l'année t

V_t coûts de la mesure de renforcement à l'année t

W_{30} perte de valeur de la dernière mesure d'entretien à la fin de la période d'observation

Les coûts de construction qui servent de base dans l'exemple suivant sont des prix indicatifs pour des conditions normales du Plateau suisse. Ces coûts peuvent varier fortement selon des fluctuations régionales et économiques ou par le renchérissement. Ils doivent être déterminés de manière individuelle pour des objets concrets et la planification d'un budget.

Exemple 1 : renforcement d'une route cantonale (voir Tableau 12)

Aspect de dégradation : une route avec une structure conventionnelle en enrobé, supportant un volume de trafic de classe T3, avec 10 cm de revêtement sur fondation en grave de 40 cm d'épaisseur, présente des dégradations structurelles qui témoignent d'une portance insuffisante de la superstructure pour les sollicitations considérées.

Problème : suite à la dégradation avancée du revêtement, un report des travaux n'est pas envisageable, la superstructure doit être immédiatement renforcée. Compte tenu des conditions locales, le niveau de fini doit être maintenu, c'est-à-dire qu'un rechargement n'est pas possible.

Solution : deux stratégies de renforcement sont comparées :

- stratégie 1 / O (O = moment optimal d'exécution)
 - ↳ Année 1 : fraisage/démontage du revêtement bitumineux. Enlèvement d'une partie de la couche de fondation. Pose de deux couches de revêtement bitumineux (couches de base et de roulement) au niveau de la route actuelle
 - ↳ Année 26 : pose d'une nouvelle couche de roulement
- stratégie 2 / O (O = moment optimal d'exécution)
 - ↳ Année 1 : fraisage/démontage du revêtement bitumineux. Stabilisation en place d'une partie de la couche de fondation avec des liants hydrauliques. Réglage en gravier concassé. Pose d'un nouveau revêtement bitumineux
 - ↳ Année 22 : pose d'une nouvelle couche de roulement

Evaluation : les deux stratégies se basent sur une démarche d'un moment optimal d'exécution.

Le calcul des coûts avec un dimensionnement préalable des épaisseurs des couches nécessaires montre que les deux stratégies provoquent les mêmes coûts initiaux et les mêmes coûts globaux (sur la période d'observation de 30 ans). La solution légèrement plus chère (variante 1) génère une période un peu plus longue avant l'intervention suivante. Plus décisifs pour le choix de la mesure sont l'étendue du tronçon, la disponibilité de machines spéciales (stabilisation), la protection de l'environnement (matériaux emmenés/transportés ; stabilisation) et les moyens financiers à disposition.

Aspect de dégradation : Défaut d'uni suite à des tassements et des déformations, év. gonflement dû au gel, faïençage, év. fissures isolées → portance insuffisante de la superstructure						
Conditions : Structure : 10 cm revêtement bitumineux sur 40 cm couche de fondation en grave						
Type de route : Route cantonale						
Trafic : Classe de trafic : T3 Sollicitation : normale						
Variante / Moment d'exécution		1 / O		2 / O		
Mesures d'entretien	Année	Mesure	frs./m ²	Mesure	frs./m ²	
<p>Stratégie 1 :</p> <p>Remplacement partiel de la fondation par un HMF et pose d'un nouveau revêtement</p> <p>- 1^{ère} année :</p> <p>V₁ : Démolition et évacuation de 10 cm de revêtement bitumineux et 12 cm couche de fondation en grave. Pose de 12 cm HMF et 10 cm de revêtement bitumineux</p> <p>- 26^{ème} année :</p> <p>I₁ : Rechargement 30 mm AB 11</p> <p>Stratégie 2 :</p> <p>Stabilisation de la fondation aux liants hydrauliques (sur place) et pose d'un nouveau revêtement</p> <p>- 1^{ère} année :</p> <p>V₂ : Démolition et évacuation de 10 cm de revêtement bitumineux. Stabilisation sur place de la couche de fondation en grave aux liants hydrauliques sur une profondeur de 18 cm (p.ex. Coldmix). Pose de 10 cm de revêtement bitumineux</p> <p>- 22^{ème} année :</p> <p>I₁ : Rechargement 30 mm AB 11</p>	1	V ₁	74.00	V ₂	67.00	
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					
	21					
	22				I ₁	8.60
	23					
	24					
	25					
	26		I ₁	7.60		
	27					
	28					
	29					
	30		W	1.50	W	3.40
Coûts globaux actualisés	AG ₃₀	83.10		79.00		
Remarques :						
<p>Moment d'exécution : O = Optimal</p> <p>AG₃₀ = coûts globaux actualisés sur la période d'observation de 30 ans</p> <p>AG₃₀ = $\sum V_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ W = Perte de la valeur Durée d'utilisation : I₁ = 20 ans</p>						

Tableau 12 : Comparaison de mesures alternatives pour le renforcement d'une route cantonale

Exemple 2 : Réparation d'ornières d'une route nationale (Tableau 13)

Aspect de dégradation : Fortes déformations causées par le trafic lourd surtout sur la voie normale, atteignant parfois la couche de support.

Le dimensionnement de la superstructure avec 22 cm d'enrobé est conforme à la norme et suffisant pour une classe de trafic T5 ; pourtant, les couches supérieures sont âgées et usées et doivent être remplacées le plus vite possible.

Problème : Suite aux fortes déformations, un risque de sécurité (aquaplaning) existe sur la voie normale, ce qui rend absolument nécessaire une mesure d'urgence. Celle-ci peut être évitée, si un renouvellement complet à grande échelle, de toute façon nécessaire à court terme, est effectué.

Solution : Trois stratégies sont étudiées pour le renouvellement :

- stratégie 1 / O (O = moment optimal d'exécution)
 - ↳ 1^{ère} année : Les deux voies sont renouvelées. Fraisage et transport des couches endommagées à une profondeur de 10 cm, pose de nouvelles couches de support et de roulement sur toute la largeur.
 - ↳ 21^{ème} année : Fraisage et pose d'une nouvelle couche de roulement sur toute la largeur.
- stratégie 2 / O (O = moment optimal d'exécution)
 - ↳ 1^{ère} année : Les deux voies sont renouvelées, mais uniquement la couche de roulement de la voie de dépassement. Fraisage et transport des couches à une profondeur de 10 cm (voie normale) et de 4 cm (voie de dépassement), remplacement de la couche de support de la voie normale et pose de la couche de roulement sur toute la largeur.
 - ↳ 21^{ème} année : Fraisage et nouvelle couche de roulement sur toute la largeur.
- stratégie 3 / V/S (V/S = moment d'exécution reporté avec mesure d'urgence)
 - ↳ 1^{ère} année : Réparation des ornières de la voie normale en tant que mesure d'urgence.
 - ↳ 6^{ème} année : Procéder comme pour la stratégie 1, 1^{ère} année.
 - ↳ 26^{ème} année : procéder comme pour la stratégie 1, 21^{ème} année.

Evaluation : Selon des moyens financiers disponibles au moment donné ou d'autres conditions liées à l'objet, la stratégie 1, 2 ou même 3 est mise en action. Les deux premières stratégies ont l'avantage de ne nécessiter que deux interventions pendant la période d'observation, contrairement à la stratégie 3 qui en nécessite 3. La stratégie 2 paraît la plus économique, mais elle n'est possible que si la couche de support de la voie de dépassement n'est pas déformée et qu'elle peut être laissée inchangée pendant la durée d'observation considérée.

Aspect de dégradation :		Voie normale : Orniéragé très prononcé						
		Voie de dépassement : Dégradations du revêtement (Perte de matériaux et fissuration)						
Conditions :		Déformations aussi dans l'HMT de la voie normale						
		Structure : 22 cm revêtement bitumineux sur couche de fondation en grave						
Type de route :	RGD ; autoroute à 2x2 voies			Largeur de la chaussée : 8.00 m				
Trafic :	Classe de trafic : T5			Sollicitation : normale				
Stratégie / Moment d'exécution		1 / O		2 / O		3 / V/S		
Mesures d'entretien		Année	Mesure	frs./m ²	Mesure	frs./m ²	Mesure	frs./m ²
Stratégie 1 :		1	I ₁	48.00	I ₃	29.00	R ₁	4.50
- 1 ^{ère} année :		2						
I ₁ : Fraisage 100 mm des deux voies /		3						
renouvellement revêtement HMT 22 S/H		4						
60 mm + AB 11 S/H 40 mm		5						
		6				I ₁	41.40	
		7						
- 21 ^{ème} année :		8						
I ₂ : Fraisage 40 mm des deux voies /		9						
renouvellement du revêtement AB 11 S/H		10						
40 mm		11						
		12						
Stratégie 2 :		13						
- 1 ^{ère} année :		14						
I ₃ : Fraisage 100 mm voie normale, 40 mm voie		15						
de dépassement / renouvellement revêtement		16						
voie normale HMT 22 S/H 60 mm et		17						
AB 11 S/H 40 mm sur toute la largeur		18						
		19						
- 21 ^{ème} année :		20						
I ₂ : comme stratégie 1		21	I ₂	13.80	I ₂	13.80		
		22						
Stratégie 3 :		23						
- 1 ^{ère} année :		24						
R ₁ : Réparation ornières voie normale (50 % FI)		25						
		26						
- 6 ^{ème} année :		27				I ₂	11.90	
I ₁ : comme stratégie 1, 1 ^{ère} année		28						
		29						
- 26 ^{ème} année :		30	W	6.20	W	6.20	W	
I ₂ : comme stratégies 1,2, 21 ^{ème} année							2.40	
Coûts globaux actualisés		AG ₃₀	68.00		49.00		60.20	
Remarques :								
Variantes couche de roulement : AB 11 S/H (avec PmB) / SMA 11 / MR 11								
Stratégie 2/O uniquement réaliste, si couche de support de la voie de dépassement pas déformée								
Moment d'exécution O = Optimal / S = Mesure d'urgence / V = Reporté								
AG ₃₀ = coûts globaux actualisés sur la période d'observation de 30 ans								
AG ₃₀ = $\sum R_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ W = Perte de la valeur Période d'utilisation I ₂ = 20 ans								

Tableau 13 : Comparaison de stratégies alternatives pour la réparation d'ornières d'une route nationale

Exemple 3: Entretien d'une route en béton (Tableau 14)

Aspect de dégradation : La chaussée en béton présente des dégradations mineures ou moyennes en surface et aux bords, quelques marches d'escalier. Les dégradations sont typiques pour un revêtement en béton de 2^{ème} génération, âgé de 20 ans. L'épaisseur de 18 cm est suffisante et conforme aux normes pour la sollicitation donnée (classe de trafic T4).

Problème : Dans les années à venir, des mesures d'entretien seront nécessaires pour des raisons de sécurité et de confort. Des réparations locales du revêtement en béton sont possibles et peuvent renvoyer des mesures à grande échelle à plus tard, mais elles nécessitent beaucoup de main d'œuvre et sont ainsi gourmandes en temps et coûteuses. En plus, elles gênent la circulation.

Des mesures avec un effet à long terme sont souhaitées. Une comparaison des coûts pour une période d'observation de 30 ans doit montrer, quelle stratégie est la plus économique à long terme.

Solution :

- stratégie 1 / O (O = Moment optimal d'exécution) :
 - ↳ 5^{ème} année : Rechargement avec revêtement bitumineux 40 mm, sur SAMI pour éviter la remontée des joints du revêtement en béton en surface
 - ↳ 25^{ème} année : Fraisage partiel du revêtement bitumineux et rechargement 40 mm
- stratégie 2 / V (V = Moment d'exécution reporté) :
 - ↳ 4^{ème} année : Réparations locales des dégradations de surface et des bords
 - ↳ 10^{ème} année : Réparations locales et équilibrage ponctuel de dalles, renouvellement des joints
 - ↳ 15^{ème} année : Réparations locales et remplacement de quelques dalles
 - ↳ 20^{ème} année : Renouvellement partiel de la superstructure avec démolition complet du revêtement en béton et pose d'un revêtement bitumineux de 180 mm sur couche de fondation existante

Evaluation : L'exécution au moment optimal, c'est-à-dire avant que le revêtement en béton ne soit trop dégradé, permet de réparer la chaussée et de la maintenir en un état acceptable avec des mesures relativement simples et peu coûteuses. Renvoyer des mesures à grande échelle provoque des travaux de réparation gênants et chers et nécessite un renouvellement complet dans un futur pas trop loin. Les coûts globaux sont très élevés malgré le fait que la chaussée demeure dans un mauvais état avec un confort limité pendant une longue période.

Aspect de dégradation : Dégradations légères à moyennes en surface (dégradations des bords, écaillages, pelades) et légère formation de marches d'escalier							
Conditions : Structure : Revêtement en béton de 2 ^{ème} génération sur couche de fondation en grave, longueur des dalles 6 m, épaisseur 18 cm, âge 20 ans							
Type de route : Route cantonale en localité		Largeur de la chaussée : 7 m					
Trafic : Classe de trafic : T4		Sollicitation : normale					
Variante / Moment d'exécution			1 / O		2 / V		
Mesures d'entretien			Année	Mesure	frs./m ²		
Stratégie 1 : - 5 ^{ème} année : I ₁ : Rechargement SMA 11 40 mm avec géotextile non tissé (SAMI) - 25 ^{ème} année : I ₂ : Fraisage du revêtement 10 – 20 mm, rechargement SMA 11 40 mm Stratégie 2 : - 4 ^{ème} année : R ₁ : Réparation des dégradations de surface et des bords - 10 ^{ème} année : R ₂ : Réparation des dégradations de surface et des bords, réparation des fissures, équilibrage des marches d'escalier et soulèvement de dalles - 15 ^{ème} année : F ₁ : Renouvellement de l'étanchéité des joints - 20 ^{ème} année : V ₁ ** : Renouvellement partiel de la superstructure : Démolition complète du revêtement en béton, pose d'un enrobé bitumineux 180 mm			1				
			2				
			3				
			4			R ₁	1.10
			5	I ₁	24.00		
			6				
			7				
			8				
			9				
			10			R ₂	6.80
			11				
			12				
			13				
			14				
			15			R ₃	8.00
			16				
			17				
			18				
			19				
			20			V ₁	42.00
			21				
			22				
			23				
			24				
			25	I ₂	13.30		
			26				
			27				
			28				
			29				
			30	W	2.90	W	5.80
Coûts globaux actualisés			AG ₃₀	40.20	63.70		
Remarques : ** Renforcement par rechargement pas possible à cause de travaux annexes trop coûteux Moment d'exécution O = Optimal / V = Reporté AG ₃₀ = coûts globaux actualisés sur la période d'observation de 30 ans $AG_{30} = \sum R_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum F_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ W = Perte de la valeur							

Tableau 14 : Comparaison de stratégies alternatives pour une route cantonale en béton

4.4.4 Evaluation de mesures d'entretien

Les exemples dans ce chapitre montrent que d'autres aspects que les coûts doivent être pris en compte pour une planification complète de mesures et de stratégies. Le lecteur peut également se référer au chapitre 5.2 du module C.

Selon l'emplacement et l'utilisation de l'objet, les critères suivants ont un poids plus ou moins important dans l'évaluation de mesures d'entretien :

Critères relatifs à la technique de construction

Disponibilité/Applicabilité d'installations mécaniques, outils et matériaux de construction, ainsi que du savoir-faire de l'entreprise impliquée, réalisation en étapes selon les besoins de la circulation (dimension des lots et des étapes), assurance qualité sur le chantier (p.ex. lors de travaux de nuit, ou en général si travail à la cadence trois-huit).

Critères relatifs au trafic

Maintien de la disponibilité et de la capacité de la route pendant le chantier, éviter des coûts socio-économiques de l'usager suite à des temps d'attente dans des bouchons ou lors de déviations du trafic, mesures pour raccourcir la période de chantier ou pour prolonger l'intervalle d'intervention.

Critères relatifs à la sécurité routière

Minimiser les risques d'accident du personnel du chantier et de service, ainsi que des usagers de la route pendant le chantier et juste après l'achèvement des travaux (p.ex. éviter la projection de granulats). Réduire les dangers lors de travaux de nuit.

Critères relatifs à la protection de l'environnement

Minimiser les atteintes à l'environnement tels que le bruit, la pollution de l'air ou des tremblements pendant le chantier. Minimiser le transport des matériaux (recyclage). Préserver les matières premières.

Ces critères non exhaustifs sont partiellement liés entre eux ou dépendent l'un de l'autre. Ainsi, la réduction de la durée de chantier en effectuant des travaux de nuit a des effets positifs pour le trafic (moins d'heures de bouchon), mais des effets négatifs sur la sécurité et sur la technique de construction (risque d'accident plus élevé, risque au niveau de la qualité de l'ouvrage).

Pour la comparaison des coûts de mesures et stratégies alternatives pour un tronçon routier donné, en tenant compte des critères mentionnés ci-dessus, il est conseillé d'évaluer les différentes variantes (système de points 1 à 10) et de donner un poids aux critères supplémentaires relatif à l'objet (Poids total de tous les critères = 1.0).

Selon l'évaluation des différents critères, les meilleures notes peuvent être différentes, ce qui peut influencer le choix de la variante, surtout pour des mesures de recyclage à grande échelle.

Dans la Figure 2, trois procédures différentes sont illustrées pour le renforcement d'une chaussée par rechargement. Elles se distinguent clairement au niveau du besoin en matériaux et des quantités à transporter, ce qui est confirmé par le Tableau 15 qui montre le bilan des matériaux et des transports de ce même exemple : Pour les variantes de stabilisation, l'utilisation de matériaux d'apport et les quantités à transporter diminuent de 40 – 50 % par rapport à la variante avec la couche de fondation bitumineuse. Ceci favorise l'utilisation de procédures de recyclage lorsqu'elles sont applicables et indépendamment des coûts de construction, pour des raisons de protection de l'environnement et des ressources.

MODULE D – L'entretien

Variante	1. Remplacement de la grave par des couches de fondation bitumineuses	2. Stabilisation aux liants bitumineux	3. Stabilisation aux liants hydrauliques
Récupération de matériaux pour recyclage :			
- Granulats bitumineux	240 t	240 t	240 t
- Graves	<u>180 t</u>	<u>-----</u>	<u>-----</u>
- Total récupération mat.	420 t	240 t	240 t
Besoin en minéraux	500 t	230 t	230 t
Dont granulats bitumineux	<u>220 t</u>	<u>70 t</u>	<u>70 t</u>
Matériaux primaires	280 t	160 t	160 t
Quantités à transporter :			
- Emmené pour recyclage	420 t	240 t	240 t
- Enrobé approvisionné	<u>530 t</u>	<u>240 t</u>	<u>240 t</u>
- Total transports	950 t	480 t	480 t

Quantités en tonnes par 1000 m² de renouvellement

Tableau 15 : Bilan des quantités en matériaux et en transports pour les variantes présentées à la Figure 2

5 Références

- [1] SN 640 324 Dimensionnement; Superstructure des routes
- [2] SN 640 733 Entretien des chaussées; Renforcement de superstructures de chaussées avec revêtement bitumineux à l'aide de mesures de déflexion
- [3] SN 640 736 Entretien des revêtements en béton; Remise en état et renforcement
- [4] SN 640 925 Gestion de l'entretien des chaussées (GEC); Relevé d'état et appréciation en valeur d'indice
- [5] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, M. Blumer und E. Stahel: Management der Strassen-erhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell Asphaltstrassen, Forschungsarbeiten 15/93 im Auftrag des EVED; Februar 1996, Bericht 357
- [6] SN 640 520 Planéité; Contrôle de la géométrie
- [7] EMPA, Ch. Raab und Dr. M. Partl, Anwendung der Thermographiemessung im Strassenbau, Bitumen 2/1996
- [8] SN 640 431 Mélanges bitumineux – béton bitumineux; Spécifications sur le matériau
- [9] M. Keller, R. Werner: Guide pratique des routes en béton, publication de Holcim (Suisse) SA, 2004
- [10] Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT, ETHZ, I. Scazziga: Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte, Forschungsarbeit 29/81 auf Antrag der VSS; Januar 1996, Bericht 365
- [11] H. Reuter, Tiefbauamt des Kantons Zürich: Tragfähigkeitswert a gealterter bituminöser Beläge, Strasse und Verkehr Nr. 10, Oktober 1998
- [12] R. Hirt, Forstliches Ingenieurwesen ETHZ: Verstärkung von Strassen, Technik des Recycling-in-place, Schweizer Baublatt Nr. 54, Juli 1996
- [13] SN 640 430 Enrobés bitumineux compactés; Conception, exécution, exigences pour les couches en place
- [14] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, E. Stahel, M. Blumer: Langzeitverhalten von erneuerten Fahrbahnbelägen, Forschungsarbeit 10/97 auf Antrag der VSS; Juli 1999, Bericht 435
- [15] Expertenteam Strassenerhaltung ESTE, M. Blumer, E. Stahel; TFB, R. Werner: Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen- und Strategiemodell Betonstrassen, Forschungsarbeiten 13/96 auf Antrag der VSS, März 1999, Bericht 434
- [16] M. Blumer: SMI Schweiz. Mischgut-Industrie, Heft Strassenbau und Strassenerhaltung mit Asphaltmischgut, 1989
- [17] M. Kronig und B. Kuhn: Untersuchung von Risses Schäden an Asphaltbetonbelägen im Kanton Zürich, Strasse und Verkehr Nr. 10, Oktober 1990
- [18] Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Richtlinien für die Anlage von Strassen (RAL), Teil Wirtschaftsuntersuchungen, Köln, 1986
- [19] A. Schmuck: Strassenerhaltung mit System, Grundlagen des Managements, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1987

Annexes

Route :	Type de route :	Référence :					
Section de :	Classe de trafic :						
Tronçon de :	à :	Longueur : m					
	à :	Longueur m					
Chaussée :	Voie :						
Date du relevé :		Inspecteur :					
Dégradations de la chaussée	Gravité			Etendue			Remarques
	légère	moyenne	lourde	<10%	10..50%	>50%	
	S1	S2	S3	A1	A2	A3	
Dégradations du revêtement							
Polissage							
Ressuage							
Usure							
Désenrobage, sablage							
Perte de gravillons							
Pelades							
Nids de poule							
Fissures de joint							
Fissures diverses							
Fissures de réflexion							
Déformations du revêtement							
Ornières							
Bourrelets							
Tôle ondulée							
Déformations de poussée							
Dégradations structurelles							
Affaissements, flaches							
Affaissements des bords							
Faiçonnage							
Soulèvements dus au gel							
Fissures dues au gel							
Dégradations dues au drainage							
Drainage de la chaussée							
Drainage latéral							
Description des dégradations :							
Mesures in situ supplémentaires nécessaires :							

Aspect de dégradation :								
Conditions :								
Type de route :				Largeur de chaussée : m				
Trafic :		Classe de trafic :		Sollicitation :				
Stratégie / Moment d'exécution		/		/		/		
Mesures d'entretien		Année	Mesure	frs./m ²	Mesure	frs./m ²	mesure	frs./m ²
Stratégie 1:		1						
		2						
		3						
		4						
		5						
Stratégie 2:		6						
		7						
		8						
		9						
		10						
Stratégie 3:		11						
		12						
		13						
		14						
		15						
		16						
		17						
		18						
		19						
		20						
		21						
		22						
		23						
		24						
		25						
		26						
		27						
		28						
		29						
		30	W		W		W	
Coûts globaux actualisés		CA ₃₀						
Remarques :								
<p>Moment d'exécution : O = Optimal / S = Mesure d'urgence / V = Reporté CA₃₀ = coûts globaux actualisés sur la période d'observation de 30 ans $CA_{30} = \sum R_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ W = Perte de la valeur</p>								

MODULE E : Les couches

Table des matières

1	COUCHES DE LA SUPERSTRUCTURE ROUTIERE	91
1.1	<i>Définitions et fonctions des couches de superstructure</i>	92
1.2	<i>Fonction des couches</i>	93
1.2.1	Couches de surface.....	93
1.2.2	Couche de support.....	93
1.2.3	Couches de fondation.....	93
1.3	<i>Comportement structurel du revêtement</i>	95
1.4	<i>Liaison entre les couches</i>	95
1.5	<i>Contrôle</i>	95
1.6	<i>Exigences</i>	95
2	REVETEMENTS EN BETON BITUMINEUX : DEFINITION DES COUCHES DU REVETEMENT	95
2.1	<i>Démarche</i>	96
2.2	<i>Exemple</i>	96
3	RÉFÉRENCES	97

1 Couches de la superstructure routière

La superstructure routière est composée de plusieurs couches qui doivent répondre à diverses exigences selon leur fonction. Celle-ci est déterminée par la conception de base de la superstructure routière, à savoir structure souple (revêtement bitumineux), rigide (revêtement en béton) ou mixte (combinaison enrobé/béton) (Figure 1).

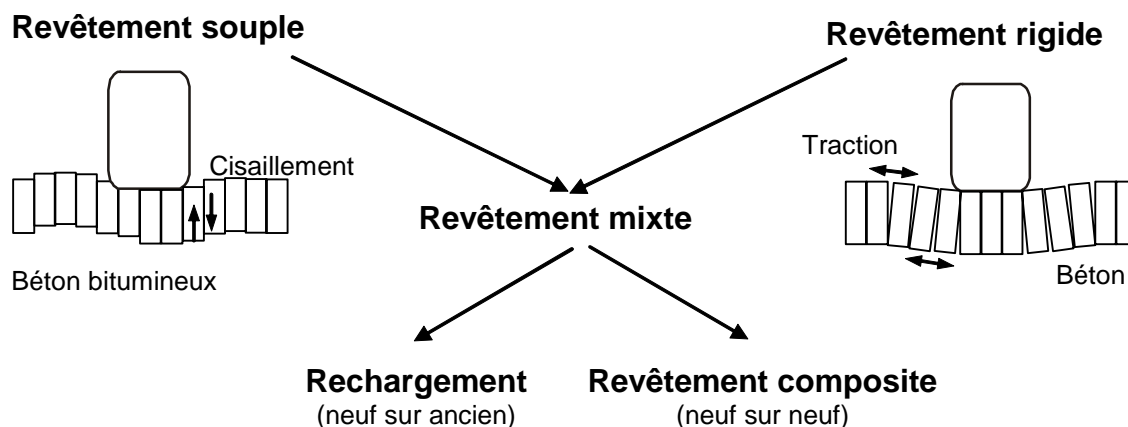


Figure 1 : Type de structure

Les avantages des chaussées souples sont la remise en état facile, le recyclage aisé et la mise en circulation rapide après la mise en œuvre. A contrario, la susceptibilité aux variations de température et aux déformations permanentes du matériau bitumineux, les qualités optiques, la durabilité, les désagréments liés à l'hygiène de pose et la demande élevée en énergie pour la fabrication à chaud en sont les désavantages.

Les avantages de la structure rigide sont principalement la durabilité, la portance, les qualités optiques, la faible susceptibilité aux températures (y compris la résistance au chaud), ainsi que la mise en œuvre à froid. Les inconvénients sont la remise en état et le recyclage laborieux, ainsi que la fissuration (retrait), le bruit de roulement et le polissage en surface du revêtement.

Avec les structures mixtes on cherche à utiliser de manière optimale les avantages des deux matériaux, soit la durabilité, la stabilité et la faible épaisseur d'une structure en béton armé continu et la facilité remise en état d'une couche de roulement en enrobé (comme élément d'usure).

Dans la suite, seules sont présentées les couches d'une chaussée souple. Pour les chaussées rigides, il convient de se référer au "Guide pratique des routes en béton" [1].

1.1 Définitions et fonctions des couches de superstructure

Les définitions sont reprises des normes SN 640 302 [2], SN 640 430 [3] et SN 640 450 [4]. La Figure 2 donne un aperçu de la structure des couches et des groupes d'enrobés traditionnellement utilisés.

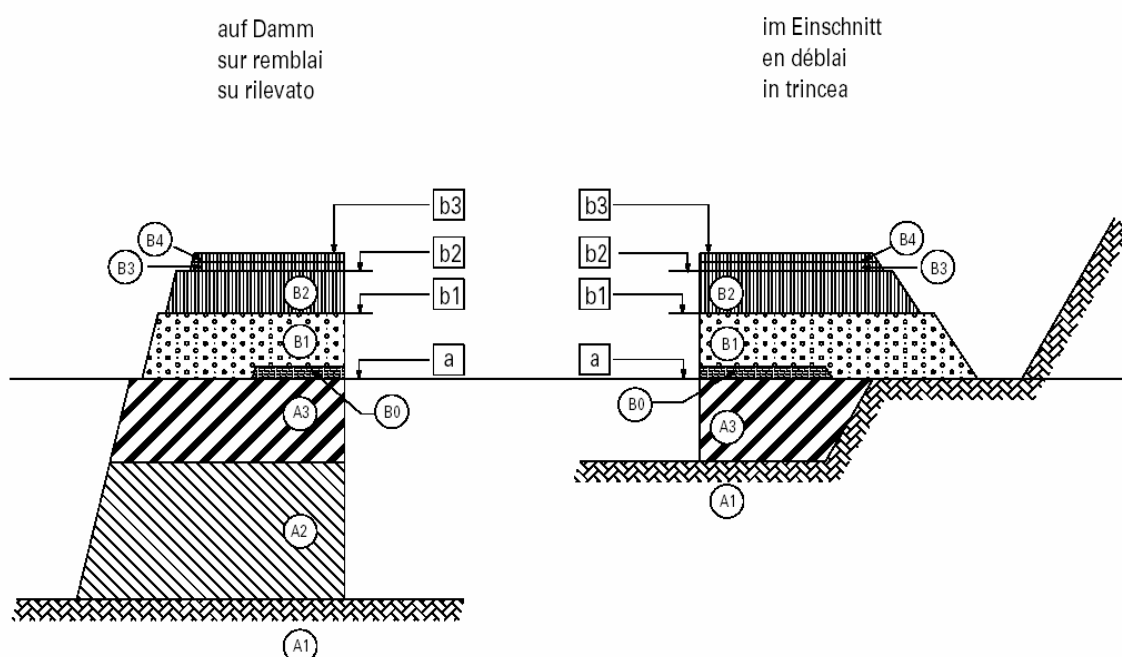


Figure 2: Coupe-type d'une superstructure routière

- **couche de roulement** : Couche bitumineuse en contact direct avec les pneumatiques des véhicules
- **couche de liaison** : Couche de surface entre la couche de base et la couche de roulement assurant le lien entre celles-ci
- **couche de support** : Couche située sous la couche de surface et destinée à répartir les efforts dus aux charges
- **couche de fondation** : Couche située sous la couche de base et destinée à répartir les efforts dus aux charges sur le sol de fondation
- **couche de transition** : Terme générique désignant les couches avec fonction de séparation et/ou de drainage etc. en tant que protection de la couche de fondation

couche intermédiaire : Elle se trouve entre les différentes couches et peut servir en tant que frein de fissuration, protection, étanchéité, couche d'accrochage, couche de séparation, etc. Nous pouvons citer entre autres :

- Stress Absorbing Membrane Interlayer (SAMI, contre les fissures de réflexion)
- géotextile non tissé (pontage de fissure)
- grilles (armature anti-fissure)
- enduit superficiel (protection temporaire lors de chantier)
- couche de séparation pour revêtements de pont (empêche la liaison entre le tablier et l'étanchéité)

Particularités

Les couches de support et de roulement sont des revêtements monocouches qui assurent à la fois le rôle de couche de support et de roulement.

Couche drainante : Couche bitumineuse à teneur en vides élevée qui présente une grande perméabilité à l'eau et qui permet l'écoulement des eaux de drainage à travers cette couche.

Couche de protection : Revêtement monocouche d'un enrobé pour pont posé directement sur l'étanchéité. Elle empêche une sollicitation mécanique directe et constitue une couche de transition.

Couche de nivellement : Couche bitumineuse servant à niveler la surface tout en conservant le profil en travers. Cette couche est posée entre la couche de protection et la couche de roulement. Elle constitue une couche de transition.

Changement de rôle

Les couches peuvent changer de rôle. Une couche de roulement, par exemple, peut devenir une couche de liaison après un renforcement de la superstructure ou après la pose d'une nouvelle couche de roulement.

La Figure 2 donne un aperçu de la structure des couches et des groupes d'enrobé traditionnellement utilisés.

1.2 Fonction des couches

Selon leur position dans la structure, les couches assurent des fonctions différentes (Tableau 1) et doivent présenter une résistance durable envers les différents risques de dégradation (voir module D) provenant des:

- déformations permanentes (orniérage et poussée) :
- abrasion et usure des couches de surface (Perte de matériaux)
- déformation plastique dans la couche

déformations verticales par manque de portance le terrain (fissuration):

- fissuration de fatigue thermique
- fissuration de fatigue mécanique
- fissuration de réflexion initiée par une fissure existante dans une couche sous-jacente.

1.2.1 Couches de surface

Ces couches ont pour fonctions principales de garantir la sécurité du trafic (qualités d'adhérence, propriétés optiques) et de protéger les couches inférieures des agressions diverses (trafic, infiltration d'eau, etc.). Elles peuvent avoir également des fonctions spécifiques comme la diminution du bruit.

Les couches de roulement doivent faire appel à des matériaux adaptés aux sollicitations auxquelles elles sont exposés et offrir une bonne résistance aux déformations, à l'abrasion, aux sollicitations climatiques, ainsi qu'une bonne conservation des propriétés d'adhérence.

1.2.2 Couche de support

Ces couches servent principalement à supporter et répartir les sollicitations générées par le trafic. Elles nécessitent donc des matériaux offrant une résistance aux déformations plastiques et à la fatigue adaptée aux conditions de sollicitation (trafic pour l'essentiel). Selon le type de superstructure, elles doivent également présenter une résistance à la fissuration de réflexion et au gel.

1.2.3 Couches de fondation

Ces couches sont les couches les moins sollicitées de la superstructure. Malgré cela, elles sont très importantes pour assurer la durabilité et la résistance aux déformations permanentes et au gel, car une défaillance de ces couches entraîne souvent la ruine prématurée des couches supérieures et par conséquent des coûts de maintenance très élevés [9].

Couche		Couche de roulement	Couche de support	Couche de fondation
Fonction		Sécurité du trafic, confort, réduction du bruit, répartition des charges, protection des couches inférieures de l'infiltration d'eau (exception enrobé drainant), répartition des forces de poussée horizontale (freinage) sur les couches inférieures	Fonction de portance, répartition des charges	Répartition des charges sur le terrain, nivellement
Propriétés de la surface		Sécurité du trafic et confort : qualité adhérente, uni, propriétés optiques, réduction de la projection d'eau; résistance aux attaques chimiques (sels de déverglaçage), abrasion et usure		
Risques de dégradation	Fissures	Fissures de retrait		
		Fatigue thermique		
		Fissures à la surface dues au trafic	Fissures de réflexion	
	Déformations permanentes	Ornières suite à des déformations plastiques dans la couche. Changements successifs de l'épaisseur de la couche		Ornières résultant d'une portance insuffisante de l'infrastructure
Dégradations dues à l'eau	Résistance à l'eau	Gel		
Caractéristiques typiques des matériaux		Enrobé fermé et dense (exception enrobé drainant), bitume de qualité souvent modifié, minéraux résistants au polissage et au gel, texture macro- et microscopique pour une adhérence optimale	Enrobé fermé et dense, liant en principe non modifié, fuseau granulométrique grossier	matériau mi fermé non stabilisé (grave) ou stabilisé à chaud (bitume pur) ou à froid (émulsion, liant hydraulique) fuseau granulométrique grossier, taille maximale de grain élevée

Tableau 1 : Fonctions des couches

1.3 Comportement structurel du revêtement

Le comportement structurel des revêtements bitumineux est influencé par les sollicitations générées par le trafic et le climat, par le type de revêtement (succession et épaisseur des couches) et par les propriétés des enrobés des différentes couches. La liaison entre les couches, ainsi que le comportement des couches sous-jacentes et de l'infrastructure (particulièrement sous l'action du gel) sont également déterminants pour le comportement du revêtement.

Selon l'épaisseur du revêtement, différents mécanismes sont déterminants pour la portance structurelle:

- pour les revêtements minces sur une infrastructure flexible c'est avant tout la flexion qui est déterminante pour la portance, car ce genre de revêtement fonctionne comme une poutre simple. Leur portance est donc supposée être influencée par les déformations et les allongements.
- pour les revêtements épais sur une infrastructure relativement rigide, ce n'est pas la flexion, mais plutôt la rigidité resp. la résistance au déplacement ou le décalage des matériaux qui est déterminante. Leur portance est donc supposée être influencée par les charges resp. les contraintes.

1.4 Liaison entre les couches

Une bonne liaison entre les couches du revêtement est essentielle pour éviter des dégradations prématurées, en particulier une fissuration suite à une défaillance par fatigue [11, 12, 13].

On veillera donc à appliquer une couche d'accrochage aux interfaces des couches du revêtement dont la qualité et le dosage tiendront compte des facteurs qui peuvent influencer la liaison entre les couches. Parmi les facteurs, on mentionnera :

- les caractéristiques de surface de la couche sous-jacente (poussières, défauts, surface fraisée, couche d'accrochage)
- la combinaison des matériaux aux interfaces (enrobé/enrobé, enrobé/béton)
- l'application ou non de couches intermédiaires (SAMI, géomembrane)
- les conditions locales de la chaussée (déclivité, virages)
- les sollicitations (trafic, climat)

1.5 Contrôle

On contrôlera la liaison entre les couches du revêtement selon la procédure décrite dans la norme SN 671 961 [5].

1.6 Exigences

Il n'y a pas à ce jour de norme en vigueur en Suisse qui spécifie les exigences en matière de liaison entre couches de revêtement. Toutefois, on peut se référer à la norme SN 641 601-1 [6].

2 Revêtements en béton bitumineux : définition des couches du revêtement

Au stade du projet de construction d'une chaussée, après avoir choisi un type de structure (module C), comme au stade du projet de renforcement ou de reconstruction partielle, après avoir défini les épaisseurs de matériaux nouveaux à mettre en oeuvre, il convient de définir les couches du revêtement ou du renforcement appliqué. Leur nombre dépend de la sorte et du type d'enrobé choisi. Ce choix s'effectue en fonction des sollicitations, mais également en fonction de l'épaisseur de revêtement neuf ou de renforcement à mettre en oeuvre.

2.1 Démarche

On sélectionnera en premier lieu le type d'enrobé en se référant au tableaux 2 et 3 de la norme SN 640 431 [7]. Le type à choisir dépend du trafic, des conditions climatiques et des conditions particulières.

Ensuite, on s'attachera à définir la sorte d'enrobé qui convient pour la couche de surface, compte tenu des conditions topologiques et particulières (module F).

Pour les couches de support, on privilégiera un diamètre nominal du grain important pour des trafics élevés, car ces enrobés offrent généralement une meilleure résistance à l'orniérage que des matériaux plus fins.

Pour terminer, on fera coïncider épaisseur de revêtement ou de renforcement - épaisseur des couches en conformité aux exigences de la norme - nombre de couches. Au besoin, on adaptera le diamètre nominal de l'enrobé d'une ou plusieurs couches.

2.2 Exemple

Chaussée neuve, superstructure type 1, trafic T5, route principale hors localité, sinuosités et déclivités moyennes, altitude entre 500 et 700 m.

- Selon la norme SN 640 324 [8], pour une superstructure type 1 et un trafic T5, l'épaisseur du revêtement doit être de 22 cm.
- selon les conditions locales décrites ci-dessus, les matériaux pour couche de surface qui conviennent (tableau du module F) sont :
- AB 11
- MR, mais avec faible diamètre nominal (MR 6, év. 11)

pour les couches de support, le choix se portera sur l'HMT 22 S.

En choisissant un AB 11 S pour la couche de surface, les épaisseurs minimales et maximales imposées par la norme SN 640 431 pour les matériaux concernés sont les suivantes (Tableau 2) :

Matériau	Min (cm)	Max (cm)	Cumul		Choix
			Min (cm)	Max (cm)	
AB 11 S	3.5	5.0	3.5	5.0	4
HMT 22 S	6.5	10.0	10.0	15.0	9
HMT 22 S	6.5	10.0	16.5	25.0	9
				Total:	22 cm

Tableau 2: Epaisseurs minimales et maximales imposées par la norme SN 640 431 pour les matériaux concernés

3 Références

- [1] M. Keller, R. Werner: Guide pratique des routes en béton. Publication Holcim (Suisse) SA, 2004
- [2] SN 640 302 Route et voie ferrée; Terminologie
- [3] SN 640 430 Enrobés bitumineux compactés; Conception, exécution, exigences pour les couches en place
- [4] SN 640 450 Systèmes d'étanchéité et couches bitumineuses sur ponts en béton – Systèmes, exigences, exécution
- [5] SN 671 961 Enrobés bitumineux; Détermination de la liaison entre les couches (selon Leutner)
- [6] SN 641 601-1 Programme des essais pour la pose de couches bitumineuses (Revêtements bitumineux)
- [7] SN 640 431 Mélanges bitumineux – béton bitumineux; Spécifications sur le matériau
- [8] SN 640 324 Dimensionnement; Superstructure des routes
- [9] M.N. Partl, H.W. Fritz: Heissmischfundationsschichten HMF. Erläuterungen und Stellungnahme zur neuen SN 640 452c. Strasse und Verkehr, Nr. 2, Februar, pp 68-72, 1999
- [10] C. Raab, M.N. Partl: Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen. ASTRA-Projekt FA 12/94, Bericht Nr. 442, 1999
- [11] U. Stöckert: Schichtenverbund – Prüfung und Bewertungshintergrund, Strasse + Autobahn, 11/2001
- [12] C. Raab: *Schichtenverbund von Asphaltbelägen. Normung der Prüfung.* Strasse und Verkehr, Nr. 6, pp 225-234, Juni, 2000
- [13] C. Raab, M.N. Partl: *Besondere Aspekte des Schichtenverbundes von Belägen,* Strasse und Verkehr, Nr. 4, April, pp 141-145, 2002

MODULE F : Les matériaux

Table des matières

1	MATÉRIAUX.....	101
1.1	<i>Matériaux de fondation</i>	101
1.1.1	Graves de fondation	101
1.1.2	Matériaux stabilisés.....	101
1.2	<i>Matériaux bitumineux à chaud normalisés pour revêtements</i>	102
1.2.1	Bétons bitumineux denses, à granulométrie continue (AB/HMT)	102
1.2.2	Béton bitumineux dense à granulométrie discontinue Splittmastixasphalt (SMA)	102
1.2.3	Béton bitumineux macrorugueux (MR)	103
1.2.4	Béton bitumineux drainant (DRA)	103
1.3	<i>Matériaux bitumineux à chaud en voie de normalisation</i>	103
1.3.1	Enrobé à module élevé (EME)	103
1.3.2	Béton bitumineux ultra mince (BBUM/DSB)	104
1.3.3	Hot Rolled Asphalt (HRA).....	104
1.4	<i>Matériaux nouveaux</i>	104
1.5	<i>Revêtements bitumineux à froid</i>	105
1.5.1	Enrobé coulé à froid ECF.....	105
1.5.2	Enrobé dense à froid	105
2	DOMAINES D'EMPLOI	105
2.1	<i>Enduits superficiels</i>	108
2.2	<i>Membranes d'interposition (SAMI)</i>	109
2.2.1	Sables enrobés:.....	109
2.2.2	Membranes bitumineuses gravillonnées:	109
2.2.3	Membranes bitumineuses avec enrobés coulés à froid:.....	109
2.2.4	Géotextile imprégnés:	109
2.2.5	Fils projetés:.....	109
2.2.6	Enrobés fibres:	110
3	RÉFÉRENCES	110

1 Matériaux

1.1 Matériaux de fondation

1.1.1 Graves de fondation

La norme SN 670 120 [1] régit les exigences concernant les graves de fondation. Il en existe deux sortes distinctes :

- la grave I qui est constituée de matériau naturel concassé ou recyclé selon la norme SN 670 740 [2]. La composition granulométrique doit s'inscrire dans un fuseau étroit. Une grave naturelle ne peut pas satisfaire à cette exigence. Par conséquent, une grave I est de facto une grave reconstituée. Si la composition respecte cette exigence, aucun autre essai de qualification n'est nécessaire. On distingue la grave I roulée issue de dépôts alluvionnaires et la grave I concassée issue de l'exploitation de la roche. La grave I recyclée doit répondre aux mêmes spécifications que la grave I naturelle.
- la grave II qui est constituée de matériau naturel ou recyclé selon la norme SN 670 740. Le fuseau granulométrique dans lequel doit s'inscrire la courbe granulométrique est plus large que dans le cas de la grave I. Des essais complémentaires sont cependant nécessaires et doivent démontrer que les exigences de qualité sont atteintes. Comme pour la grave I on distingue la grave roulée et la grave concassée.

Choix du matériau

En tenant compte de leur coefficient α (voir module C) pour le calcul de l'épaisseur nécessaire (1,0 pour la grave I roulée et grave II concassée, 1,2 pour la grave II roulée et 0,8 pour la grave I concassée, les différents types de grave offrent les mêmes garanties de comportement de la structure durant le cycle de vie pris en considération pour le dimensionnement. Le choix sera donc basé sur le critère économique. L'usage de matériau disponible à proximité est généralement le choix le plus économique.

1.1.2 Matériaux stabilisés

Les matériaux qui ne satisfont pas aux exigences d'une grave I peuvent être traités pour en améliorer leurs propriétés et leur performance. On distingue les traitements suivants :

- le traitement des matériaux *au ciment ou aux autres liants hydrauliques*, qui permet d'améliorer les caractéristiques initiales et à long terme des matériaux. Il peut s'appliquer à certains matériaux peu ou pas plastiques dont les teneurs en eau naturelle trop élevées ne permettent pas de réaliser des remblais dans de bonnes conditions et avec des garanties suffisantes de qualité. Il est surtout utilisé dans le but d'obtenir un développement rapide et durable des résistances mécaniques et des stabilités à l'eau et au gel. Les matériaux stabilisés aux liants hydrauliques sont traités dans la norme SN 640 509 [3].
- les matériaux stabilisés *aux liants hydrocarbonés à froid* sont traités dans la norme SN 640 506 [4]. La grave émulsion (ou KMF) est l'une des graves traitées utilisées en industrie routière pour la confection des couches de fondation et des couches de base. A ce titre, elle a pour but de reporter sur le sol les efforts dus au trafic, en réduisant leur valeur par unité de surface. La stabilisation aux liants hydrocarbonés à froid augmente la résistance et la stabilité de la couche posée aux sollicitations du trafic ainsi qu'aux influences climatiques et hydrologiques. Elle permet l'emploi de sols et de matériaux de récupération qui, sous forme non liée, seraient inutilisables. Elle augmente la résistance à l'eau et au gel de la couche de fondation, protège les couches sous-jacentes et constitue un support régulier et plat pour les revêtements.

- les matériaux stabilisés *aux liants hydrocarbonés à chaud* pour couches de fondation (ou HMF) sont traités dans la norme SN 640 452 [5]. L'enrobé à chaud HMF est utilisé en couche de fondation et pour renforcer la superstructure. Il est utilisé également pour les pistes de chantier, les chemins d'amélioration foncière et les chemins forestiers en tant que couche de fondation et couche de support combinées. Il permet une augmentation durable de la résistance aux sollicitations dues au trafic et aux effets climatiques et hydrologiques.

Choix des matériaux

Le choix des matériaux stabilisés est dicté par le choix du type de superstructure. Pour les matériaux stabilisés aux liants hydrocarbonés, le choix entre un matériau stabilisé à chaud ou à froid est basé sur le critère économique, où la proximité de matériau disponible est généralement déterminante.

1.2 Matériaux bitumineux à chaud normalisés pour revêtements

1.2.1 Bétons bitumineux denses, à granulométrie continue (AB/HMT)

Ces bétons bitumineux font l'objet de la norme SN 640 431 [6].

Les couches de roulement sont abrégées AB et les couches de support HMT. Les différentes sortes d'enrobés sont désignées par la dimension nominale supérieure de la classe granulaire la plus grossière. On distingue quatre types d'enrobés pour des sollicitations légères et très sévères :

- L : pour des sollicitations légères
- N : pour des sollicitations normales
- S : pour des sollicitations sévères
- H : pour des sollicitations très sévères (très haute résistance aux déformations)

Ce sont les matériaux classiques appliqués usuellement sur les chaussées.

1.2.2 Béton bitumineux dense à granulométrie discontinue Splittmastixasphalt (SMA)

La norme SN 640 432 [7] traite du Splittmastixasphalt.

L'enrobé SMA se compose de granulats minéraux de granularité discontinue, de liant bitumineux (modifié ou non) et d'additifs stabilisants. Sa composition est telle que c'est le mortier bitumineux qui assure de façon durable la liaison du squelette granulaire. Pour cette raison, sa rigidité est importante. L'enrobé convient aux surfaces de roulement soumises à des sollicitations particulièrement élevées. Grâce à sa forte teneur en gravillons, cet enrobé présente en surface une forte macrorugosité source d'une bonne drainabilité des eaux de ruissellement. Sa teneur en liant, nettement plus élevée que celles des bétons bitumineux denses de type AB, lui confère un très bon comportement dans temps face aux agressions climatiques.

De par sa forte macrorugosité, ce matériau offre une surface de contact aux pneus plus faible que les enrobés classiques. On évitera donc de l'appliquer dans des endroits où l'adhérence est fortement sollicitée (giratoires, zones de freinage, sinuosité, etc.). Dans le cas où l'adhérence est moyennement sollicitée, on privilégiera un diamètre nominal plus faible.

1.2.3 Béton bitumineux macrorugueux (MR)

Ce type de béton bitumineux fait l'objet de la norme SN 640 435 [8].

Le MR se compose de granulats minéraux de granularité discontinue, de liant bitumineux en principe modifié par des polymères et éventuellement d'additifs spéciaux. Le pourcentage élevé de gravillons forme un squelette granulaire stable, dont les vides sont en partie remplis de mastic bitumineux. Ce type de couche de roulement présente une teneur en vides un peu plus élevée que celle des couches de roulement en béton bitumineux classiques AB.

Grâce à leur squelette granulaire bien calé, les couches de roulement en enrobé macrorugueux présentent une résistance élevée à l'orniérage. C'est pourquoi elles conviennent aux surfaces de roulement soumises à des sollicitations élevées. L'utilisation d'un bitume modifié par des polymères se manifeste par une résistance à la fatigue élevée et par une résistance accrue à la fissuration thermique.

Comme le SMA, le MR offre une surface de contact aux pneus plus faible que les enrobés classiques. On évitera donc de l'appliquer dans des endroits où l'adhérence est fortement sollicitée (giratoires, zones de freinage, sinuosité, etc.). Dans le cas où l'adhérence est moyennement sollicitée, on privilégiera un diamètre nominal plus faible.

1.2.4 Béton bitumineux drainant (DRA)

La norme SN 640 433a [9] traite des bétons bitumineux drainants.

- Le DRA est composé d'un mélange granulaire pauvre en filler et en sable, avec une teneur en vides très élevée, d'un liant bitumineux en principe modifié avec des polymères et éventuellement d'additifs spéciaux. La teneur en vides de ce type de matériau est très élevée. Cette forte porosité permet de drainer les eaux de ruissellement à l'intérieur de la couche d'enrobé drainant, ce qui a pour avantage de supprimer le risque d'hydroplanage (aquaplaning), les projections d'eau derrière les véhicules et de réduire la réflexion de la lumière des phares sur chaussée mouillée.

Pour des vitesses supérieures à environ 60 km/h, l'adhérence des couches de roulement en enrobé drainant est comparable à celles de couches de roulement conventionnelles.

La couche de roulement en enrobé drainant permet de diminuer le niveau de bruit, notamment au jeune âge. Cette performance s'atténue au court du temps par le colmatage des pores de l'enrobé. Le colmatage est néanmoins atténué par l'effet de pumping dû au trafic. Cet effet est d'autant plus important que la vitesse du trafic est élevée.

En raison de leur composition spéciale, les couches de roulement en enrobé drainant ont une résistance mécanique à l'usure réduite et sont davantage sujets à la perte de matériaux (abrasion, fragmentation des grains). On évitera de poser ce matériau sur des chaussées pouvant être salies (routes de campagne), lorsque la vitesse est inférieure à 60 km/h et dans les endroits à fortes sollicitations tangentielles (giratoires, routes sinueuses, etc.). Pour des chaussées fréquemment empruntées par des véhicules équipés de chaînes à neige ou de pneus à clous, on renoncera également à l'utilisation d'un tel enrobé en couche de roulement.

La maintenance hivernale sur ce type d'enrobé peut faire l'objet de procédures particulières (entretien préventif accru), notamment lorsque la chaussée se trouve au-dessus de 500 m d'altitude.

1.3 Matériaux bitumineux à chaud en voie de normalisation

1.3.1 Enrobé à module élevé (EME)

Les enrobés EME, appelés également BBHM en Suisse, sont issus de la technologie développée en France. En attendant une norme suisse, on se référera à la norme française NF P98-140 [10] pour la conception de ces matériaux.

Les bétons bitumineux à module élevé sont des enrobés se caractérisant par un module de rigidité E plus élevé que celui des HMT S ou des HMT H normalisés en Suisse. Les granulométries les plus utilisées sont des 0/16 et 0/22.

L'application des bétons bitumineux à module élevé en couche de base demande des précautions particulières, que ce soit en matière de couche d'accrochage, de traitement des joints et de température d'application, plus élevée que celle des enrobés classiques, en raison de la viscosité du liant plus élevée.

Ce type de matériau s'applique usuellement sur des chaussées fortement sollicitées (T5, T6, voies lentes, arrête de bus, etc.) ou lorsque l'on veut réduire l'épaisseur de matériau (renforcement en zone urbaine par exemple).

1.3.2 Béton bitumineux ultra mince (BBUM/DSB)

Les bétons bitumineux ultra-minces sont des enrobés préparés à partir d'un mélange constitué d'un liant hydrocarboné modifié par des polymères et de granulats appropriés. La composition granulométrique est fortement discontinue. L'épaisseur moyenne de mise en œuvre avoisine la dimension du grain nominal, ce qui représente un dosage en enrobé sur chaussée de l'ordre de 28 à 35 kg/m².

Les bétons bitumineux ultra-minces sont utilisés sur des supports présentant de faibles déformations (inférieures ou égales à 0.5 cm sous la règle de 4 m), une faible susceptibilité à l'orniérage, peu de fissuration et aucun faïençage. Pour des amplitudes de déformation supérieures, un reprofilage préalable s'avère nécessaire.

L'application d'un béton bitumineux ultra-mince est précédée d'une couche d'accrochage d'au moins 300 g/m² de bitume résiduel ou de tout autre dispositif assurant le collage des couches.

1.3.3 Hot Rolled Asphalt (HRA)

Cette technique, très pratiquée en Grande-Bretagne sous le nom de "Hot Rolled Asphalt", consiste à enchâsser derrière un finisseur des granulats 11/16 ou 16/22 très durs, peu polissables et pré-enrobés, dans un enrobés chaud riche en mortier.

Dans ce produit, la fonction d'adhérence est nettement dissociée des autres fonctions de la couche de roulement (stabilité, imperméabilité). Elle permet la réalisation de tapis sur des routes à faible trafic et à faibles sollicitations tangentielles (faible sinuosité, faible déclivité, pas de zone de freinage) en partant de matériaux locaux qui ne satisfont pas nécessairement aux exigences pour les AB, notamment dans le domaine de la résistance au polissage.

La réussite de cette technique, simple dans son principe, est toujours liée au respect d'une température minimale des enrobés avant cloutage (environ 135 °C pour un B 50/70 et 140 °C pour un B 35/50) ainsi qu'à la régularité de répandage des granulats de cloutage.

1.4 Matériaux nouveaux

De nombreux matériaux sont développés par diverses entreprises dans le but de répondre à des besoins spécifiques, mais aussi de façon à accroître leur capacité concurrentielle.

La faible expérience offerte par les techniques innovantes n'est cependant pas à sous-estimer. Il convient par conséquent d'appliquer ces matériaux nouveaux là où ils offrent les meilleures conditions d'emploi et de porter une attention particulière à tous les stades de la conception à la mise en œuvre. Un suivi à long terme pour tirer un enseignement de l'expérience devrait être indispensable.

1.5 Revêtements bitumineux à froid

1.5.1 Enrobé coulé à froid ECF

Mis au point aux Etats-Unis, sous le nom de Slurry Seal, les enrobés coulés à froid constituent une technique particulièrement économique pour l'entretien et la régénération de certains types de chaussées à faible trafic.

Il s'agit d'un microbéton bitumineux de très faible épaisseur répandu à froid sous forme de coulis fluide. Ce coulis est constitué d'un mélange de sable (éventuellement de gravillons) et d'une émulsion spéciale de bitume. Comme pour les HRA, ce type de matériau s'applique usuellement sur des chaussées faiblement sollicitées (faible sinuosité, faible déclivité, pas de zone de freinage) ou lorsque l'on veut réduire l'épaisseur de matériau (entretien en zone urbaine par exemple). Ce matériau est également appliqué couramment comme couche d'accrochage. En zone urbaine, cela évite les salissures. Sous la couche d'enrobé drainant, l'ECF imperméabilise le revêtement de support.

1.5.2 Enrobé dense à froid

Comme son nom l'indique, ce type d'enrobé est fabriqué à froid à l'émulsion de bitume. Le squelette minéral est sensiblement identique à celui des enrobés denses à chaud et en particulier il présente une certaine quantité de sable et de fines. L'analogie avec ces derniers ne s'arrête pas là, et pour mériter le qualificatif de dense, puisque le domaine d'application est le même que celui des enrobés à chaud, leur compacité doit être supérieure à 90 %. Leur mise en œuvre doit être effectuée en continu avec les moyens traditionnels. Le fait que la technique soit à froid évite les inconvénients des enrobés à chaud liés aux pertes calorifiques.

En raison de l'adaptation de ces enrobés très souples à la qualité du support (pouvant être très déformable), ils conviennent à la réfection de nombreuses chaussées à trafic moyen ou faible. En particulier, pour les sites où l'on peut craindre de basses températures de service, leur souplesse évite les dégradations bien connues des enrobés à chaud classiques.

Enfin, il ne faut pas oublier l'économie d'énergie et l'absence d'impact sur l'environnement obtenues par l'absence de chauffage des granulats et du liant.

2 Domaines d'emploi

Il va de soit que chaque matériau routier a des domaines d'emploi qui lui sont propres. Leurs propriétés physiques, mécaniques et chimiques doivent être en adéquation avec les sollicitations que la chaussée va devoir supporter, afin de garantir une longévité acceptable de la chaussée. D'un mauvais choix résulte un risque accru de dégradation rapide de la route.

Les Tableau 1 et Tableau 2 ci-après fournissent les propriétés et les domaines d'emploi des enrobés compte tenu de divers cas de sollicitation. Les appréciations sont basées sur les propriétés standard que l'on est en droit d'attendre des matériaux lorsque ceux-ci répondent aux exigences des normes (qu'elles soient suisses ou étrangères), ainsi que sur les observations tirées de la pratique.

Produits normalisés en Suisse	Couche de roulement								Couche de support			Revêtement en béton de ciment	
	à chaud				à froid				à chaud				
	AB	AB	SMA	DRA	MR	---	---	---	---	HMT	---		---
Produits non normalisés en Suisse	---	---	---	---	---	BBUM / DSB	HRA	Enrobé coulé à froid ECF	Enrobé dense	---	EME 1 (BBHM)	EME 2	
Liant	Bit. pur	Liant PmB	Liant PmB	Liant PmB	Liant PmB	Liant PmB	Bit. pur	Emulsion	Emulsion	Bit. pur	B 20/30	B 10/20	---
Diamètre nominal max. [mm]	6/11/16	6/11/16	8/11	8/11	8/11	4/8	8/11/16	4/8/11	6/11/16	11/16/22	16/22	16/22	---
Granulométrie	continue	continue	discontinue	discontinue	discontinue	discontinue	continue	continue	continue	continue	continue	continue	---
Résistance à la fatigue	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	++	++
Résistance à l'orniérage	+	++	+	++	++	++	-	O	O	+	++	+	++
Résistance à l'usure	+	+	+	O	+	+	++	+	+	.	.	.	+
Résistance au poinçonnement	+	++	O	O	O	O	-	O	+	.	.	.	++
Fissuration thermique	O	+	++	+	+	+	++	+	+	.	.	.	O
Drainabilité superficielle (macrotecture)	O	O	++	.	++	++	+	+	O	.	.	.	O
Adhérence (microtexture)	++	++	O	O	O	+	+	+	+	.	.	.	+
Porosité	.	.	.	++	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Imperméabilité	+	+	++	.	O	-	++	+	O	O	O	+	++
Bruit	0	0	+	++	+	+	-	+	0	.	.	.	-

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des propriétés des revêtements bitumineux

	Couche de roulement									Couche de support			Revêtement en béton de ciment		
	à chaud						à froid			à chaud					
	AB	AB	SMA	DRA	MR	---	---	---	---	HMT	---	---			
Produits normalisés	AB	AB	SMA	DRA	MR	---	---	---	---	HMT	---	---			
Produits non normalisés	---	---	---	---	---	BBUM / DSB	HRA	ECF	Enrobé dense	---	EME 1 (BBHM)	EME 2			
Liant	Bit. pur	Liant PmB	Liant PmB	Liant PmB	Liant PmB	Liant PmB	Bit. pur	Emulsion	Emulsion	Bit. pur	B 20/30	B 10/20	---		
Site	Autoroute, plaine	+	+ /+++	++	++	++	++	+	+	O	++	++	+	+	
	Autoroute, voie lente, fort trafic de PL	O	+	+	O/+	+	+	-	O/+	O	O	++	O	+	
	Autoroute, déclivité	+	+ /+++	+ /+++	+ /+++	+	+	-	O	O	+	++	+	+	
	Autoroute, déclivité, voie lente, fort trafic PL	O	+ /+++	O	O	O	O	-	-/O	-	O	++	O	++	
	Entrée, sortie d'autoroute	+	++	O/+	-	O/+	O/+	-	-	-	+	+	+	O/+	
	Route, plaine, extra urbaine, sans grandes sinuosités	+	+	+	O/+	+ /+++	+ /+++	+	+	+	+	+	+	+	+
	Route, plaine, extra urbaine, avec sinuosités	+	++	O/+	O/+	O/+	O/+	-	O/+	O/+	+	+	+	+	O/+
	Route, montagne, extra urbaine, sans grandes sinuosités	+	+	+	-	+ /+++	+ /+++	-	+	+	+	+	+	+	+
	Route, montagne, extra urbaine avec sinuosités	+	++	O/+	-	O/+	O	-	O/+	O/+	+	+	+	+	O/+
	Route, plaine, urbaine et périurbaine	+	+	+	O/+	+ /+++	+ /+++	-	O/+	-	+	+ /+++	+ /+++	-	-
	Route, montagne, urbaine et périurbaine	+	+	+	-	+ /+++	+ /+++	-	O/+	-	+	+ /+++	+ /+++	-	-
	Carrefours, rond points	+	++	-	-	-	-	-	-	-	+	++	+	O/+	
	Voies bus, arrêts bus	O	+	+	-	+	+	-	-	-	O	++	O	++	

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des domaines d'emploi des revêtements bitumineux

2.1 Enduits superficiels

Les exigences et recommandations relatives aux enduits superficiels figurent dans la norme SN 640 415c [11].

L'enduit superficiel est une technique d'entretien qui associe, à la surface de la chaussée, des granulats et un liant hydrocarboné.

Les qualités auxquelles doivent répondre les granulats sont de deux ordres : celles qui tiennent à la nature de la roche (résistance mécanique) et celles qui résultent des conditions de fabrication (granularité, angularité, forme, propreté).

Pour mettre en œuvre convenablement le liant et avoir un bon pouvoir mouillant, il convient de le chauffer à une température suffisante (bitumes fluidifiés ou fluxés) ou de disperser le liant dur dans de l'eau (émulsions)

La connaissance des conditions de liaison entre le liant et les granulats, donc l'adhésivité, est essentielle pour la réussite de l'enduit superficiel. On appelle agents d'adhésivités ou dopes des substances ou des formulations de produits qui modifient les conditions d'équilibre aux interfaces granulats – liant – eau et qui en conséquence favorisent le mouillage par le liant des surfaces minérales humides (adhésivité active) et s'opposent au déplacement du liant par l'eau (adhésivité passive).

On distingue des structures différentes :

- enduit monocouche à simple gravillonnage (E1)
(épandage du liant, gravillonnage)
- enduit monocouche à double gravillonnage (E2)
(épandage du liant, gravillonnage double)
- enduit monocouche à simple gravillonnage avec pré-gravillonnage (E3)
(gravillonnage, épandage du liant, gravillonnage)
- enduit bicouche (D1)
(épandage du liant, gravillonnage, épandage du liant, gravillonnage)
- enduit bicouche avec pré-gravillonnage (D2)
(gravillonnage, épandage du liant, gravillonnage, épandage du liant, gravillonnage)

Les domaines d'applications recommandés sont résumés dans le Tableau 3 suivant :

Support	Classe de trafic	
	T1 à T3	T4
Stabilisations	E1, E3, D1	---
Couche de fondation à chaud HMF	E1, E2	D1
Couche de support à chaud HMT	E3, D1	---
Revêtement bitumineux :	---	---
Fissurés, amaigris	E1, E2, D1	E1, E2
Surdosés	E3	---
Qualité antidérapante insuffisante	E1, E2	E1, E2
Revêtement en béton	E1, E2, D1	E1, E2, D1

Tableau 3 : domaines d'application

Les enduits superficiels s'appliquent sur des revêtements peu ou pas orniérés et qui présentent un défaut d'adhérence ou de la fissuration. Les enduits superficiels sont nettement plus bruyants que les bétons bitumineux. Par conséquent, on limitera leur utilisation dans les zones non-habitées.

2.2 Membranes d'interposition (SAMI)

Les membranes ont pour rôle essentiel de retarder la remontée des fissures. Elles sont généralement placées à l'interface sous la couche de roulement et sont désignées par le terme de membranes d'interposition ou SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer).

Les membranes d'interposition doivent répondre aux objectifs suivants :

- retarder la remontée des fissures des couches sous-jacentes
- conserver l'étanchéité de la chaussée
- limiter les dégradations à l'interface couche de surface – couche de support, en réduisant les sollicitations au droit des fissures

Les membranes d'interposition sont classées en six familles décrites ci-dessous :

2.2.1 Sables enrobés:

- Ils ont une granularité de 0/2 à 0/6 mm et sont fabriqués en général avec des granulats durs issus du concassage de roche massive. La teneur en liant, bitume pur ou plus généralement modifié, est de l'ordre de 9.0 à 12.5% et la teneur en fines de 10 à 15% pour un module de richesse de 5.5 à 6. Certaines formules contiennent des fibres, minérales ou organiques, ce qui permet d'utiliser des bitumes purs tout en gardant une bonne stabilité du mélange vis-à-vis de l'orniérage. L'épaisseur nominale de mise en œuvre est de 2 cm.

2.2.2 Membranes bitumineuses gravillonnées:

- Elles sont composées d'une couche de liant riche en élastomère, dosée entre 2.0 et 2.5 kg/m² recouverte d'un gravillonnage 6/11 pour assurer la mise en œuvre de la couche de roulement en enrobé.

2.2.3 Membranes bitumineuses avec enrobés coulés à froid:

- Cette membrane, dosée entre 2.0 et 2.5 kg/m², est réalisée avec un liant à fort dosage en élastomère et recouverte par un enrobé coulé à froid généralement de granularité 0/4 mm avant la pose d'une couche de roulement en enrobé.

2.2.4 Géotextile imprégnés:

- La couche d'accrochage est réalisée avec un liant modifié, soit sous forme d'émulsion, soit plus couramment sous forme d'un liant anhydre répandu à chaud. Le dosage est de 0.8 à 1.0 kg/m² de liant résiduel. Le géotextile est généralement un non-tissé aiguilleté ou thermo-soudé en polyéthylène ou polypropylène. Le géotextile utilisé pour cette technique a pour objectif de permettre d'augmenter le dosage en liant; sa masse surfacique est comprise entre 120 et 250 g/m².

2.2.5 Fils projetés:

- Le procédé se rapproche du précédent ; le géotextile étant, en quelque sorte reconstitué en place. Pour faciliter la mise en place de la couche de roulement en enrobé, les fibres sont gravillonnées généralement avec un 6/11 à raison de 7 à 8 l/m².

2.2.6 Enrobés fibres:

- Ces enrobés de granularité 0/6 ou 0/11 mm sont au bitume pur. L'ajout de fibres généralement organiques (cellulose) permet de fixer une quantité plus importante de liant, tout en assurant une bonne tenue à l'orniérage. Cette technique se rapproche de celle des sables enrobés avec une meilleure tenue à l'orniérage due à l'ossature granulaire. Cette technique d'interposition, de 3 à 4 cm d'épaisseur, participe également à l'amélioration structurelle de la chaussée. Les dosages en liant visés sont de l'ordre de 6.8 à 7.0% avec des teneurs en fines supérieures à 10%.

3 Références

- [1] SN 670 120 Graves pour couches de fondation; Exigences de qualité
- [2] SN 670 740 Géotextiles et produits apparentés; Essais généraux pour l'évaluation après les essais de durabilité
- [3] SN 640 509 Stabilisation; Stabilisation aux liants hydrauliques
- [4] SN 640 506 Stabilisation aux liants bitumineux; Spécifications, exécution
- [5] SN 640 452 Couches de fondation à chaud HMF; Exigences, exécution
- [6] SN 640 431 Mélanges bitumineux – béton bitumineux; Spécifications sur le matériau
- [7] SN 640 432, Couches de roulement en Splittmastixasphalt; Conception, exigences, exécution
- [8] SN 640 435, Couches de roulement en enrobé macrorugueux; Conception, exigences, exécution
- [9] SN 640 433, Couches en enrobé drainant; Conception, exigences, exécution
- [10] NF p98-140 Enrobés hydrocarbonés – Couches d'assises: enrobé à module élevé (EME) – Définition – Classification – Caractéristiques – Fabrication – Mise en œuvre
- [11] SN 640 415 Enduits superficiels; Pénétrations; Conception, Exigences, exécution
- [12] Conception et dimensionnement des structures des chaussées, Guide technique, décembre 1994, LCPC et SETRA
- [13] Enduits superficiels d'usure, Guide technique, mai 1995, LCPC et SETRA
- [14] "Le" Guide, Guide pratique de la construction routière, cahiers 1 à 55, RGRA

MODULE G : Les essais

Table des matières

1	PRÉAMBULE.....	113
2	ESSAIS	114

1 Préambule

Une multiplicité d'essais existe pour caractériser et évaluer les caractéristiques et les propriétés in situ et en laboratoire des composants individuels comme des mélanges. Ces essais font l'objet d'une révision permanente adaptée au travail continu de normalisation.

Par conséquent, les tableaux ci-après ne sont pas une compilation de l'ensemble des essais existants, mais servent à donner une vue générale des méthodes d'essais les plus importantes. Figurent également les buts d'application, les résultats obtenus et les grandeurs mesurées. Ces essais qui sont les plus couramment utilisés en Suisse se réfèrent à la liste VSS des essais normalisés et aux essais européens et américains dignes d'être appliqués.

2 Essais

Domaine d'application	Essai	Norme	But d'application C: Caractérisation K: Classification R: Propriétés physiques P: Indicateur de performance Q: Vérification de la qualité	Résultat	Grandeur mesurée
Bitumes, (bitumes polymères)	Vieillessement dans le « Pressure Aging Vessel »	AASHTO PP-1	C, K, Q	Mesure du vieillissement à long terme (en relation avec d'autres essais)	---
Bitumes polymères	Analyse d'image au microscope à fluorescence			Homogénéité et l'évolution de la microstructure	
Bitumes polymères	Détermination des cendres	SN 671 719	C, Q	Mesure de la part non inflammable	Masse [g, % de masse]
Bitumes, (bitumes polymères)	Détermination de la résistance au durcissement sous l'effet de la chaleur et de l'air - Partie 1 : Méthode RTFOT	SN 670 516 (EN 12607-1)	C, K, Q	Mesure du durcissement lors de la fabrication et du traitement (en relation avec d'autres essais)	Modification de la masse [% de masse]
Bitumes, (bitumes polymères)	Détermination de la résistance au durcissement sous l'effet de la chaleur et de l'air - Partie 3 : Méthode RFT	SN 670 518 (EN 12607-2)	C, K, Q	Mesure du durcissement lors de la fabrication et du traitement (en relation avec d'autres essais)	Modification de la masse [% de masse]
Bitumes, bitumes polymères	Détermination de la ductilité	SN 670 546	C, Q	Mesure de l'extensibilité / élasticité	Longueur [mm]
Bitumes, bitumes polymères	Détermination de la résistance au fluage par BBR	AASHTO TP-1	C, P, Q	Mesure du comportement à basse température	Rigidité [MPa], modification de la rigidité dans le temps [-]
Bitumes, bitumes polymères	Détermination du comportement au vieillissement par spectroscopie infrarouge	-	C, Q	Index de vieillissement	Différence relative [%]
Bitumes, bitumes polymères	Détermination du module complexe par DSR	AASHTO TP-5	C, P, Q	Comportement rhéologique à températures moyennes et élevées	Module complexe [Pa], Phase [-]
Bitumes polymères	Détermination de la teneur relative en polymères	-	C, Q	Réduction des polymères	Différence relative [%]
Bitumes, bitumes polymères	Point de fragilité Fraass	SN 670 500-2 (EN 12593)	C, K	Comportement à basse température	Température [°C]
Bitumes, bitumes polymères	Masse volumique à 25°C	SN 671 713	C, R, Q	Paramètre volumétrique	Masse volumique [t.m ⁻³]

Domaine d'application	Essai	Norme	But d'application C: Caractérisation K: Classification R: Propriétés physiques P: Indicateur de performance Q: Vérification de la qualité	Résultat	Grandeur mesurée
Bitumes, bitumes polymères	Viscosité dynamique	SN EN 12596	C, K, R, Q	Mesure de la viscosité (résistance d'un fluide à l'écoulement uniforme et sans turbulences)	Rapport entre tension de cisaillement et le gradient de la vitesse, viscosité [Pas]
Bitumes, bitumes polymères	Viscosité cinématique	SN EN 12595	C, K, R, Q	Mesure de la viscosité (Résistance d'un fluide à l'écoulement uniforme et sans turbulences)	Rapport entre viscosité dynamique et la masse volumique, viscosité [mm^2/s]
Bitumes polymères	Recouvrance élastique	SN 671747 (prEN 13398)	C, K, P, Q	Elasticité des bitumes modifiés avec des élastomères	Recouvrance relative [%]
Bitumes, bitumes polymères	Détermination de la viscosité dynamique avec des capillaires sous vide	SN 670 500-5 (EN 12596)	C, K, R, Q	Mesure de la viscosité (Résistance d'un fluide à l'écoulement uniforme et sans turbulences)	Rapport entre tension de cisaillement et le gradient de la vitesse, viscosité [Pas]
Bitumes, bitumes polymères	Détermination de la viscosité cinématique	SN 670 500-4 (EN 12595)	C, K, R, Q	Résistance d'un fluide à l'écoulement sous l'effet de la gravité	Viscosité dyn. / masse vol. [m^2/s]
Bitumes	Détermination de la solubilité	SN EN 12592	C, Q	Part du matériau qui est soluble dans un certain solvant.	Part de la masse des composants solubles [% de masse]
Bitumes, bitumes polymères	Point de ramollissement bille et anneau	SN 670 500-8 (EN 1427)	C, K	Mesure de la viscosité à des températures moyennes	Température [°C]
Bitumes, bitumes polymères	Détermination des polymères par chromatographie sur gel perméable	Méthode EMPA	C, Q	Endommagement des polymères, Teneur en polymères dans le liant	Mesure qualitative
Bitumes, bitumes polymères	Adhésivité des liants bitumineux	SN 671960	C, Q, P	Adhésivité entre un liant bitumineux et des granulats minéraux	Taux d'enrobage : Pourcentage de la surface des granulats recouvert par du liant
Bitumes polymères	Stabilité au stockage des bitumes modifiés avec des polymères	SN 671 750 (prEN 13399)	C	Homogénéité à travers l'essai Anneau et Bille	Différence de température [°C]
Bitumes, bitumes polymères	Essai de cisaillement coaxial du liant KAST	Méthode EMPA	C, P, Q	Comportement rhéologique à températures moyennes et élevées	Module complexe [Pa], Phase [-]
Bitumes polymères, (bitumes)	Force-ductilité	SN 670'548 (prEN 13589)	C, K	Mesure de la cohésion	Energie d'allongement [J]

Domaine d'application	Essai	Norme	But d'application C: Caractérisation K: Classification R: Propriétés physiques P: Indicateur de performance Q: Vérification de la qualité	Résultat	Grandeur mesurée
Bitumes polymères	Analyse microscopique des BMP (Distribution de polymères)	Méthode EMPA	C	Distribution de polymères, ségrégation	Mesure visuelle, qualitative
Bitumes, bitumes polymères	Pénétrabilité à 25°C	SN 670 500-7 EN 1426	C, K	Mesure de la viscosité à haute température	Profondeur de pénétration [mm]
Bitumes	Indice de pénétration	SN EN 12591	C, K, Q	Comportement à la température	Indice de pénétration [-]
Plaques de revêtement	Fatigue en flexion 4 points	PrEN 12697-24	C, Q	Résistance à long terme	Durée de vie [cycles de charge]
Carottes	Essai de cisaillement	SN 671 961	C, Q	Liaison entre les couches	Force de cisaillement [kN]
Enrobé bitumineux, carottes	Essai de cisaillement coaxial du liant KAST	Méthode EMPA	C, Q, R	Comportement viscoélastique en service	Module de cisaillement complexe, décalage de phase
Enrobé bitumineux	Masse volumique	SN 671 965 a	C, Q	Paramètre volumétrique	Masse volumique [$t \cdot m^{-3}$]
Revêtement d'étanchéité	Essai avec l'enceinte à pression	SIA 203	C, Q	Etanchéité, Pénétrabilité	Etanchéité visuelle
Enrobé bitumineux	Essai de fluage dynamique	Instruction allemande	C, Q	Résistance aux déformations permanentes (ornières)	Déformation [mm]
Asphalte coulé	Enfoncement d'un poinçon à section plane, essai dynamique	Instruction allemande	C, Q	Résistance aux déformations, stabilité	Enfoncement dynamique [mm]
Asphalte coulé	Enfoncement d'un poinçon à section plane, essai statique	SN 671 970	C, Q	Résistance aux déformations, stabilité	Enfoncement [mm]
Enrobé bitumineux	Presse à cisaillement giratoire	Instruction US SN 640431	C, P, Q	Comportement au compactage	Compacité [%]
Plaques de revêtement	Résistance à la traction	Instruction allemande	C, Q	Comportement d'adhésion entre couches	Contrainte de cisaillement [N/m^2]
Enrobé bitumineux	Part de liant soluble	SN 671 955	C, Q	Composition, consistance	Teneur en liant soluble [% de masse]
Enrobé bitumineux	Marshall	SN 671 969c	C, Q	Stabilité et fluage	Stabilité [kN], fluage [mm]
Enrobé bitumineux, plaques de revêtement	Orniéreur	Norme française, SN 640431	C, Q	Comportement aux déformations	Profondeur des ornières [mm]
Enrobé bitumineux, plaques de revêtement	Masse volumique apparente	SN 671 967 a	C, Q	Paramètre volumétrique, (teneur en vide)	Masse volumique apparente [$t \cdot m^{-3}$]

Domaine d'application	Essai	Norme	But d'application C: Caractérisation K: Classification R: Propriétés physiques P: Indicateur de performance Q: Vérification de la qualité	Résultat	Grandeur mesurée
Enrobé bitumineux, carottes	Essai brésilien	ASTM, Méthode EMPA	C, Q	Résistance à la traction	Force de rupture [kN]
Enrobé bitumineux	Sensibilité à l'eau	640 431, ASTM	C, Q	Sensibilité à l'eau	TSRmouillé/TSRsec [%]
Granulats minéraux	Angulomètre à gravillons	SN 670 902-6 (EN 933-6)	C, Q	Angularité des gravillons	Angularité
Granulats minéraux	Angulomètre à sable	SN 670 902-6 (EN 933-6)	C, Q	Angularité des gravillons	Angularité
Granulats minéraux	Qualité antidérapante avec pendule SRT	SN 13036-4	C, Q, P	Qualité antidérapante	Valeur SRT [-]
Granulats minéraux, filler	Teneur en vides selon Rigden	SN 670 840	C, P, Q	Paramètre volumétrique pour filler sec	Teneur en vides [% du volume]
Granulats minéraux	Polissage accéléré sur gravillons (PSV)	SN 670 130	C, K, P, Q	Rugosité du béton bitumineux	Valeur PSV [-]
Enrobé	Drainomètre	SN 640 510	C, P, Q	Evaluation de la macrotecture d'une chaussée	Temps d'écoulement [s]
Granulats minéraux	Analyse par sédimentation selon Andreasen/EMPA	SN 670 818	C, Q	Composition de la fraction fine	Refus au tamisage [% de masse]
Granulats minéraux	Analyse par tamisage à sec	SN 670 810	C, P, Q	Paramètre volumétrique	Refus au tamisage [% de masse]
Granulats minéraux, filler	Action rigidifiante	SN 670 135	C, Q	Mesure de la viscosité d'un mélange bitume-filler à température moyenne	Température [°C]
Granulats minéraux	Los Angeles	SN 670 835	C, Q	Résistance simultanée au choc et à l'abrasion	Raffinage relatif [% de masse]
Granulats minéraux	Micro Deval	SN 670 903	C, Q	Résistance à l'usure	Valeur MD [-]

MODULE H : Le recyclage

Table des matières

1	PRINCIPES GÉNÉRAUX.....	121
2	BUTS.....	121
3	EVALUATION DE L'INCIDENCE SUR L'ENVIRONNEMENT.....	122
3.1	<i>Matériau bitumineux de démolition</i>	122
4	RECYCLAGE A CHAUD DES GRANULATS BITUMINEUX	123
4.1	<i>Introduction</i>	123
4.1.1	Conception orientée performance de l'enrobé recyclé	124
4.2	<i>Recyclage à froid des granulats bitumineux</i>	125
4.2.1	Généralités	125
4.3	<i>Recyclage du matériau de défonçage d'une route</i>	126
4.3.1	Réutilisation d'une grave de recyclage.....	126
4.3.2	Utilisation de granulats de stabilisation	127
4.4	<i>Recyclage des granulats de béton</i>	127
4.4.1	Protection de l'environnement	127
4.4.2	Utilisation du granulats de béton comme agrégat pour revêtements en béton	127
4.4.3	Utilisation du granulats de béton comme agrégat pour couches bitumineuses de support et de fondation (HMT, HMF).....	127
5	RÉFÉRENCES	128

1 Principes généraux

La récupération des matières premières minérales des déchets de construction et de leur revalorisation s'inscrit dans le concept de développement durable (sustainability) dans le domaine de la construction et de l'entretien des chaussées. En 1993, les normes suivantes ont été publiées par la VSS, en coopération avec la SIA (Société des ingénieurs et architectes) et l'OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage), dans le but de favoriser l'emploi de matériaux recyclés dans la construction et la maintenance des routes [1] :

- SN 640 740 Matériaux de démolition, généralités
- SN 640 741 Matériaux bitumineux de démolition
- SN 640 742 Matériaux non bitumineux de démolition
- SN 640 743 Béton de démolition
- SN 640 744 Matériaux non triés de démolition

Ces normes définissent les exigences relatives à l'écologie et à la technique de construction applicables aux matériaux secondaires (recyclés) et aux couches qui les contiennent.

Les propos suivants se limitent aux matériaux secondaires récupérés pendant des mesures de l'entretien (renouvellement du revêtement, renouvellement partiel de la superstructure) et à leur recyclage pour la fabrication des couches d'une chaussée (Tableau 1).

Fraction de débris	Matériau bitumineux de démolition	Matériau non bitumineux de démolition	Béton de démolition
Matériaux secondaires	Granulat de bitume	Grave de recyclage	Granulat de béton
Revêtements	Revêtement bitumineux AB		Revêtement en béton BB
Couches de support	Couches de support bitumineuses HMT		
Couches de fondation	Couches de fondation bitumineuses HMF		
	Couches stabilisées au bitume KMF		
		Couches stabilisées au liant hydraulique HS	
		Couches de fondation non liées KS	

Tableau 1 : Champs d'application des matériaux secondaires dans une chaussée

2 Buts

Le recyclage des déchets de construction minéraux doit s'orienter vers les principes du développement durable. Les champs d'application des matériaux secondaires doivent être définis de façon à ce que le sol et l'eau ne puissent être chargés dans une quantité inadmissible de polluants contenus dans ces matériaux et qu'un recyclage multiple soit assuré.

Il convient de définir l'application la plus judicieuse des matériaux secondaires, pour laquelle les propriétés des matériaux sont utilisées de façon optimale.

Les exigences des normes SN relatives aux revêtements, et aux couches de fondation sont applicables sans restriction aux produits contenant des matériaux secondaires. Par conséquent, l'aptitude des matériaux secondaires doit être démontrée pour l'utilisation prévue. De plus, on s'assurera de la régularité de la qualité de ces matériaux.

3 Evaluation de l'incidence sur l'environnement

3.1 Matériau bitumineux de démolition

Pour ce type de matériau, l'élément principal à déterminer est la nature du liant et en particulier la présence ou non de goudron. L'enrobé fabriqué avec du matériau bitumineux de démolition est inoffensif sur l'environnement, sauf si le matériau bitumineux de démolition contient une teneur en goudron, et par conséquent en substances cancérigènes, élevée. Dans ce cas, le matériau de récupération ne doit ni être recyclé à chaud pour des raisons de l'hygiène de travail, ni utilisé dans les couches non liées pour des raisons de protection des eaux et du sol.

Avant le début des années 90, des liants bitumineux avec ajout de goudron étaient couramment utilisés dans certaines régions de Suisse pour la construction de chaussées souples. Lors de l'entretien de routes existantes (renouvellement du revêtement, renouvellement de la superstructure) ces vieux revêtements contenant du goudron doivent faire l'objet d'analyse de leur teneur en goudron pour déterminer s'ils sont recyclables ou non.

Les recommandations de l'OFEFP de novembre 1999 [2] pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement du enrobé de démolition et ses champs d'application dépendants du liant sont représentées schématiquement dans la Figure 1. Ainsi, le enrobé de démolition contenant du goudron avec une teneur en HAP de 5000 - 20'000 mg/kg de liant peut être recyclé à chaud ou à froid dans les conditions suivantes :

- Adjonction du granulats de bitume contenant du goudron de telle manière que la teneur totale de 5000 mg/kg HAP dans le produit final ne soit pas dépassée.
- Les exigences de la protection de l'air (OPair), en particulier les limitations d'émission pour les produits cancérigènes, doivent être respectées.
- La concentration maximale admissible sur le lieu de travail pour les Benzopyrènes, de 0.002 mg/m³ max. doit également être respectée.

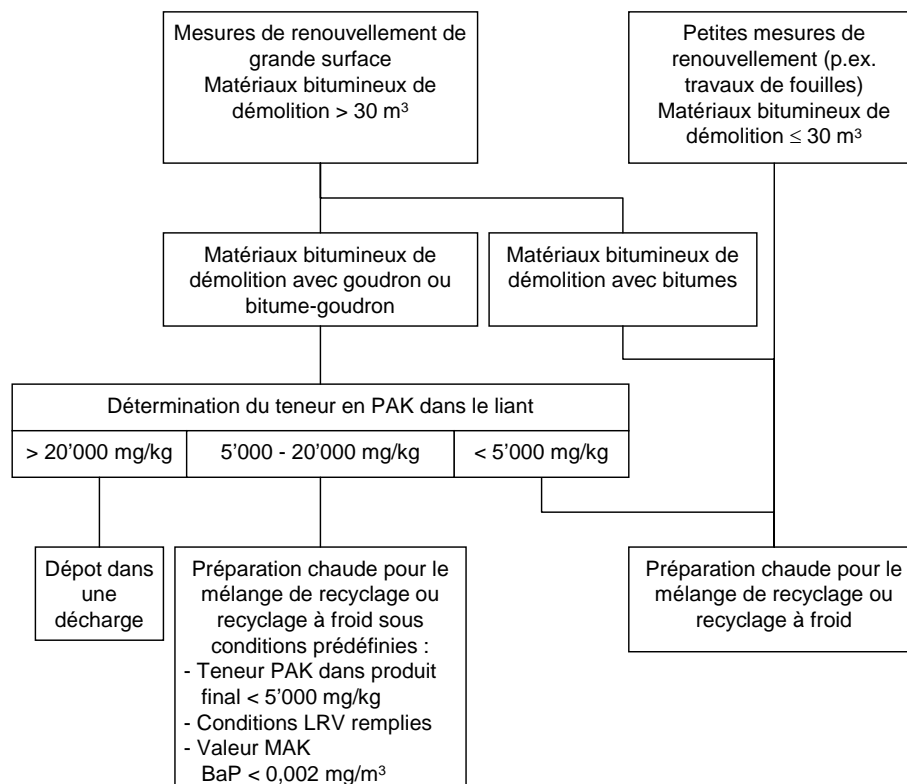


Figure 1 : Evaluation de l'impact sur l'environnement de l'enrobé de démolition

4 Recyclage à chaud des granulats bitumineux

4.1 Introduction

Le recyclage de l'enrobé de démolition récupéré sous forme de granulat bitumineux par un recyclage à chaud dans une centrale d'enrobage est le procédé le plus courant.

Le recyclage de granulat bitumineux est pratiqué depuis la fin des années 70 et a depuis atteint un savoir-faire élevé et une large application. La qualité et l'homogénéité de l'enrobé recyclé ont été examinées dans différents travaux de recherche [4][5][6]. Les résultats ont montré que la qualité de l'enrobé recyclé est généralement équivalente à celle de l'enrobé contenant des matières premières non recyclées.

Enrobé de démolition est le terme général pour le granulat bitumineux gagné soit par le fraisage à froid d'un revêtement bitumineux soit par le défonçage et le concassage de couches bitumineuses. La composition granulométrique et la teneur en liant des granulats bitumineux peuvent être variables. La régularité doit, par conséquent, être contrôlée et si besoin est, le matériau doit être trié entreposé séparément.

Exigences de qualité pour les granulats de recyclage

Les propriétés suivantes des granulats bitumineux doivent faire l'objet d'un examen lorsque ceux-ci sont utilisés pour fabriquer de l'enrobé recyclé :

- granulométrie des minéraux
- teneur en granulat concassé
- teneur en liant
- caractéristiques des liants récupérés (pénétration, point de ramollissement A + B)

Pour la détermination de la composition moyenne des granulats bitumineux un nombre représentatif d'échantillons des matériaux stockés doit être examiné. Si lors du contrôle continu de la composition des matériaux des déviations des moyennes supposées de la granulométrie et de la teneur en liant ressortent, la formulation de l'enrobé doit être corrigée [4].

Lors de l'utilisation des granulats bitumineux dans des mélanges pour couches de fondation bitumineuses (HMF), aucun examen supplémentaire des granulats bitumineux n'est nécessaire. Lors de l'utilisation pour la fabrication d'enrobé pour couches de roulement, de liaison et de support de types S ou H, les propriétés des granulats bitumineux (p.ex. coefficient Los Angeles, résistance au polissage) doivent être équivalentes à celles des granulats non recyclés et satisfaire aux exigences fixées dans la norme [5].

L'homogénéité et la constance de la qualité des granulats bitumineux utilisés sont d'une importance décisive pour la qualité de l'enrobé recyclé [6].

Le Tableau 2 contient les pourcentages indicatifs de granulats bitumineux à introduire dans un mélange bitumineux.

Sortes d'enrobé	Teneur en granulat bitumineux	
	addition à froid	addition à chaud
Couches de roulement AB* [% masse]	10...15	20...30
Couches de liaison HMT* [% masse]	15...20	30...40
Couches de support HMT Type H/S* [% masse]	15...20	30...40
Couches de support HMT Type N/L [% masse]	20...30	30...60
Couches de fondation HMF [% masse]	20...30	50...80

* Granulat bitumineux récupéré de couches bien définies de roulement et de liaison

Tableau 2 : Valeurs indicatives pour l'addition de granulats bitumineux

4.1.1 Conception orientée performance de l'enrobé recyclé

Lors de la conception (formulation) d'enrobé recyclé, les résultats de tests préliminaires sur le granulat bitumineux (granulométrie moyenne, teneur en liant moyenne, propriétés de viscosité du liant) doivent être pris en considération en vue des proportions d'addition des composants. La composition du mélange doit répondre aux valeurs prescrites par la norme SN 640 431 [7].

Le choix du liant est d'une importance particulière pour le comportement des revêtements fabriqués avec du granulat bitumineux. Les propriétés de viscosité (pénétration, point de ramollissement A + B) d'un enrobé sont calculées à l'aide de la formule suivante :

$$c = a^x \cdot b^y$$

avec

- c = Propriété mélange de liant
- a = Propriété liant 1; teneur x
- b = Propriété liant 2; teneur y
- x + y = 1

Pour les enrobés pour trafic élevé (enrobés types S et H), il convient de vérifier leurs propriétés mécaniques (module, résistance à l'orniérage, résistance à la fatigue) [7].

Lors des travaux de recherche 8/88 [5] et 16/96 [6], le comportement d'une couche de roulement fabriquée avec du granulat bitumineux a été comparé avec le comportement d'un AB11 (B 80/100). Le liant d'apport de l'enrobé de recyclage a été choisi de manière à ce qu'il en résulte des propriétés de viscosité du liant identiques dans les deux matériaux bitumineux (voir Tableau 3). La comparaison des liants récupérés sur des carottes prélevées en 1989 et respectivement en 1998 montre que tant l'élévation de la viscosité lors du processus de fabrication et de la mise en œuvre que le vieillissement du liant de 1989 à 1998 sont distinctement moins prononcés dans le cas de l'enrobé de recyclage. Il en découle de ces résultats que la résistance aux déformations permanentes de l'enrobé recyclé est inférieure à celle de l'enrobé sans matériau de recyclage (si les propriétés de viscosité des liants de base sont identiques), tandis que la moindre élévation de la viscosité de l'enrobé de recyclage est favorable en ce qui concerne le comportement du revêtement à basse température.

En conséquence, il est recommandé de choisir un liant mou (p. ex. un B 130/150) comme liant d'apport pour l'enrobé de recyclage dans le cas de sollicitations légères à normales (types d'enrobé L et N). Dans le cas de sollicitations sévères à très sévères (types d'enrobé S et H), on utilisera par contre un liant identique à celui que l'on sélectionnerait pour un enrobé sans granulat bitumineux (neuf).

		Variante d'enrobé			
		Pénétration 25°C [1/10 mm]	Pt ramoll. A & B [°C]	Pénétration 25°C [1/10 mm]	Pt ramoll. A & B [°C]
Propriétés du liant	Liant récupéré sur granulat			23	68.0
	Liant d'apport B 130/150			123	44.0
	Liant de base 1989	86	48.5	87	48.0
	Liant récupéré 1989	44	56.2	53	53.0
	Liant récupéré 1998	32	58.8	50	54.0

Tableau 3: Propriétés du liant récupéré d'un revêtement normal (sans granulats bitumineux) AB11N (B80/100) et d'un enrobé de recyclage AB11N avec 20% de granulat bitumineux

4.2 Recyclage à froid des granulats bitumineux

4.2.1 Généralités

Environ 2 millions de tonnes d'enrobé de démolition ont été récupérées en Suisse en 2000 lors de l'entretien de chaussées souples. Lorsqu'il n'est pas possible de réutiliser tout l'enrobé de démolition à chaud, le recyclage à froid représente une alternative écologiquement et économiquement intéressante.

Contrairement au recyclage à chaud, on peut utiliser 100 % de enrobé de démolition pour la fabrication de l'enrobé à froid. Les exigences en matière du granulat bitumineux se limitent à la composition granulométrique. La teneur en liant et les propriétés du liant ne sont pas prépondérantes et ne doivent pas être examinées, puisque avec le procédé à froid aucune réactivation du liant n'a lieu et le granulat n'est utilisé que comme granulat minéral.

Puisque les matériaux ne sont pas chauffés, la pollution de l'air avec des hydrocarbures organiques et la concentration des produits cancérigènes au lieu de travail sont plus faibles que lors du recyclage à chaud. Les exigences de l'ordonnance sur la protection de l'air sont également remplies avec un enrobé de démolition contenant du goudron avec une teneur en PAK de 5000 - 20'000 mg/kg de liant. Par la liaison du granulat bitumineux avec un liant bitumineux ou hydraulique les polluants sont enfermés et leur délavage est empêché.

L'enrobé à froid est utilisé exclusivement pour des couches de fondation et doit être recouvert d'un revêtement bitumineux d'une épaisseur minimale dépendant du trafic. Dans le cadre d'essais en manège [8] les couches de fondation de recyclage fabriquées à froid ou à chaud se sont comportées de la même manière que les couches analogues sans matériaux recyclés. Pour mémoire, la norme de dimensionnement SN 640 324 [9] donne les coefficients de dimensionnement a suivants:

- couche de fondation bitumineuse: $a = 3.2$
- stabilisation au liant bitumineux: $a = 2.7$
- stabilisation au liant hydraulique: $a = 2.4$
- grave ronde: $a = 1.0$

4.3 Recyclage du matériau de défonçage d'une route

4.3.1 Réutilisation d'une grave de recyclage

Par grave de recyclage, on entend le matériau secondaire fabriqué par un tri et/ou concassage et fractionnement du matériau de défonçage des couches de fondation non liées d'une route.

Si la grave de recyclage récupéré est de qualité homogène et si elle est composée d'au moins 95 % de grave, elle peut être utilisée sans restriction comme du grave primaire dans les secteurs suivants (Tableau 1) :

- couches de fondation non liées
- couches de fondation stabilisées aux liants hydrauliques
- couches de fondation stabilisées aux liants bitumineux
- couches de fondation bitumineuses
- couches de support bitumineuses

Les exigences de qualité pour les graves de recyclage dépendent de l'utilisation prévue et sont les mêmes que pour les matériaux premiers (non issus du recyclage).

Dans certains cas, le défonçage de la chaussée est effectué sans tri entre matériaux liés et non liés. Le matériau secondaire ainsi créé consiste en granulat bitumineux et grave de recyclage et peut être utilisé :

- A la production d'un enrobé à froid (avec mélangeur mobile de recyclage ou malaxeur mobile) pour couche de fondation, ou
- dans des couches de fondation non liées, sous condition que la teneur en granulat bitumineux ne dépasse pas les 30 % masse pour des raisons constructives (capacité de compactage) et de protection de l'environnement.

4.3.2 Utilisation de granulats de stabilisation

Sous le terme granulats de stabilisation on entend un matériau secondaire obtenu par le concassage d'un matériau issu de défonçage d'une couche de fondation stabilisée.

Les granulats de stabilisation sont utilisés dans les cas suivants :

- couches de fondation non liées
- couches de fondation stabilisées aux liants hydrauliques

4.4 Recyclage des granulats de béton

4.4.1 Protection de l'environnement

L'utilisation de granulats de béton pour la production de revêtements en béton, des couches stabilisées ou d'autres ouvrages en béton est optimale en ce qui concerne la protection de l'environnement. Le granulats recyclés de vieilles dalles en béton est tout particulièrement apprécié, car les propriétés du matériau sont connues et le granulats est très homogène.

Comme le granulats de béton peut contenir des polluants qui pourraient être délavés, son utilisation sous forme non liée n'est pas possible partout. La norme SN 640 743 fixe les champs d'application du granulats de béton.

Dans des couches de fondation non liées le granulats de béton peut être utilisé s'il est recouvert par une couche imperméable (p.ex. revêtement bitumineux ou en béton).

Le granulats de béton ne doit en général pas être utilisé pour des couches bitumineuses liées. Des exceptions sont tolérées s'il s'agit d'une solution écologique et économique et si un recyclage ultérieur est assuré.

4.4.2 Utilisation du granulats de béton comme agrégat pour revêtements en béton

L'utilisation de granulats de béton extrait pour des nouvelles dalles de chaussée est la façon optimale et logique de recycler ce matériau de construction. L'application pratique et technique a été examinée sur l'autoroute A13, Oberriet-Haag, et les enseignements tirés ont alimenté le travail de recherche 12/91 [10]

4.4.3 Utilisation du granulats de béton comme agrégat pour couches bitumineuses de support et de fondation (HMT, HMF)

L'aptitude technique du béton de démolition comme agrégat pour la fabrication de couches de support en béton bitumineux a été examiné lors du travail de recherche 18/91 [11]. Les enseignements suivants relatifs à la pratique peuvent être tirés des résultats des travaux de recherche :

- Un enrobé avec une grande teneur en granulats de béton concassé (par opposition à arrondi) est difficile à compacter. Toutefois, le frottement interne des granulats de béton concassés favorise la résistance aux déformations permanentes de l'enrobé.
- Une porosité et une absorption capillaire du granulats de béton plus élevée que les minéraux naturels entraîne un dosage en liant plus élevé.

Des résultats des travaux de recherche 18/91 et d'autres constructions réalisées depuis confirment que le granulats de béton peut être utilisé pour la fabrication d'enrobés pour couches bitumineuses de support et de fondation. Pour des raisons économiques et techniques, l'usage des granulats bitumineux est préférable, car le dosage en liant nouveau peut être limité et le degré de compacité est augmenté.

5 Références

- [1] M. Blumer: Einführung in die Normen "Recycling von Bauschutt", Strasse und Verkehr, Nr. 8/1994
- [2] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP): Déchets, directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux, juillet 1997
- [3] M. Kronig: Widerwendung von Ausbauasphalt im Kaltverfahren, Dokument der VESTRA-Tagung vom 16. Januar 2002 in Luzern
- [4] M. Blumer, Schweizerische Mischgutindustrie SMI: Wiederaufbereitung von Belagsmaterial, Forschungsarbeiten 11/82 auf Antrag der VSS, Februar 1985, Bericht 95
- [5] M. Blumer, Schweizerische Mischgutindustrie SMI: Asphaltbeton-Deckschichten mit Zugabe von Fräsgut, Forschungsarbeiten 8/88 auf Antrag der VSS, Oktober 1991, Bericht 227
- [6] A. Nellen, M. Blumer, B. Jenni, Schweizerische Mischgutindustrie SMI: Recyclingmischgut mit hohem Anteil Asphaltgranulat, Forschungsarbeiten 16/96 auf Antrag der VSS, Juli 1998, Bericht 412
- [7] SN 640 431 Revêtements en béton bitumineux; Conception, exigences, exécution
- [8] M. Beligni, M. Horat, Dr. M. Caprez: Heiss- und Kaltmischfundationsschichten aus recyceltem Ausbauasphalt (Rundlaufversuch Nr. 5), Forschungsarbeiten 14/91 auf Antrag der VSS, August 1995, Bericht 351
- [9] SN 640 324 Dimensionnement; Superstructure des routes
- [10] G. Tsohos, R. Werner, W. Wilk: Neue Betondecken aus Betonrecyclingmaterial, Forschungsarbeiten 12/91 auf Antrag der VSS, Dezember 1994, Bericht 326
- [11] M. Blumer, Schweizerische Mischgutindustrie SMI: Asphaltbeton- Tragschichten mit Verwendung von Betonabbruch, Forschungsarbeiten 18/91 auf Antrag der VSS, Juli 1994, Bericht 309