

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	<i>Grundprinzip</i>	35
4.2	<i>Dimensionierung</i>	35
5	WAHL DER OPTIMALEN OBERBAUVARIANTE	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
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	<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
3.2	<i>Betonbeläge</i>	53
4	MASSNAHMEN ZUR ERHALTUNG BESTEHENDER FAHRBAHNEN	53
4.1	<i>Einführung</i>	53
4.2	<i>Massnahmen zur Erhaltung von Asphaltstrassen</i>	58
4.3	<i>Massnahmen zur Erhaltung von Betonstrassen</i>	65
4.4	<i>Massnahmen- und Strategieplanung</i>	74
5	LITERATURVERZEICHNIS	85
MODUL E: SCHICHTEN.....		89
INHALTSVERZEICHNIS		90
1	SCHICHTEN DES STRASSEN OBERBAUS.....	91
1.1	<i>Definitionen und Funktionen der Oberbauschichten</i>	92
1.2	<i>Schichtfunktionen</i>	93
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
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 Handbuches 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	Hauptsächlichliche Schadensarten	Hauptsächlichlich 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 hauptsächlichste 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.

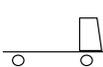
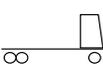
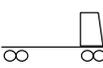
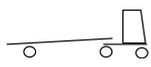
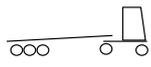
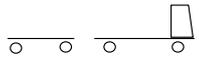
Fahrzeugklassen	Anzahl Fahrzeuge	Äquivalenzfaktor	Anzahl ESAL
	120	0.8	96
	136	1.5	204
	102	1.5	153
	82	0.5	41
	105	1.4	147
	131	2.2	288
	46	2.6	120
Total	722	-	1049

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):

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 + \dots + a_n D_n$$

- a_i Mass für die relative Tragfähigkeit einer Oberbauschicht bezogen auf den Basiswert Kiessand rund $a = 1.0$
- $a_i D_i$ 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.

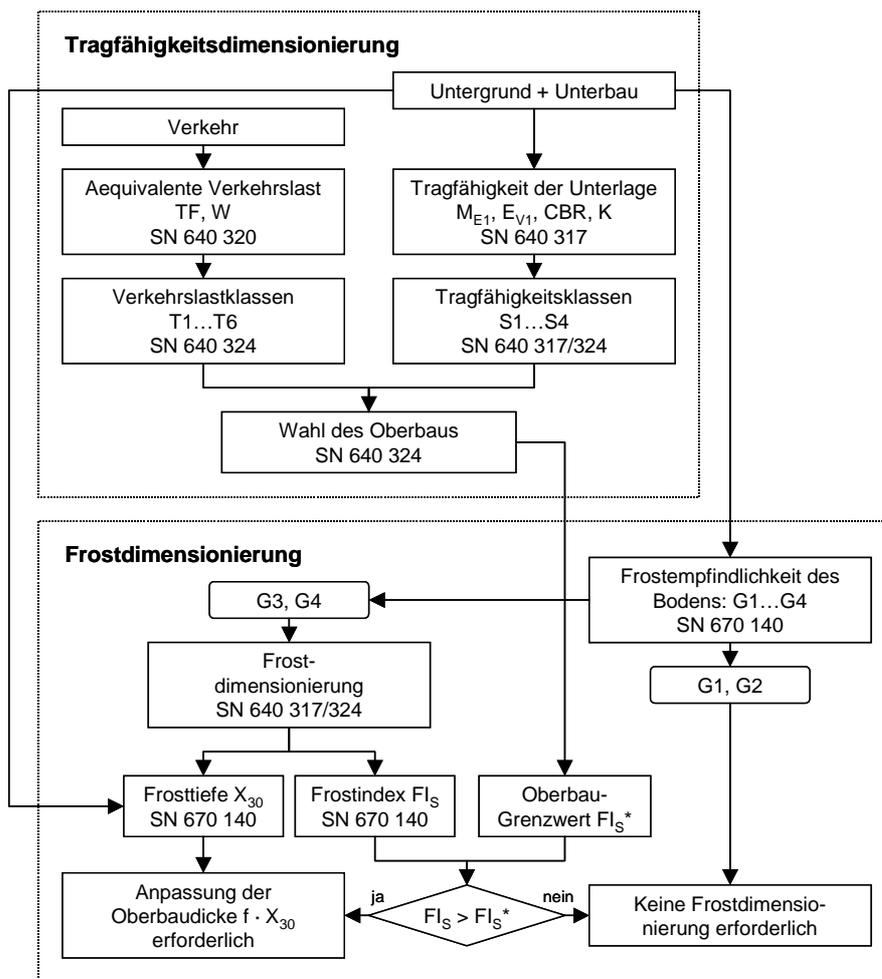


Abbildung 1: Funktionsschema der Dimensionierungsnormen

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.

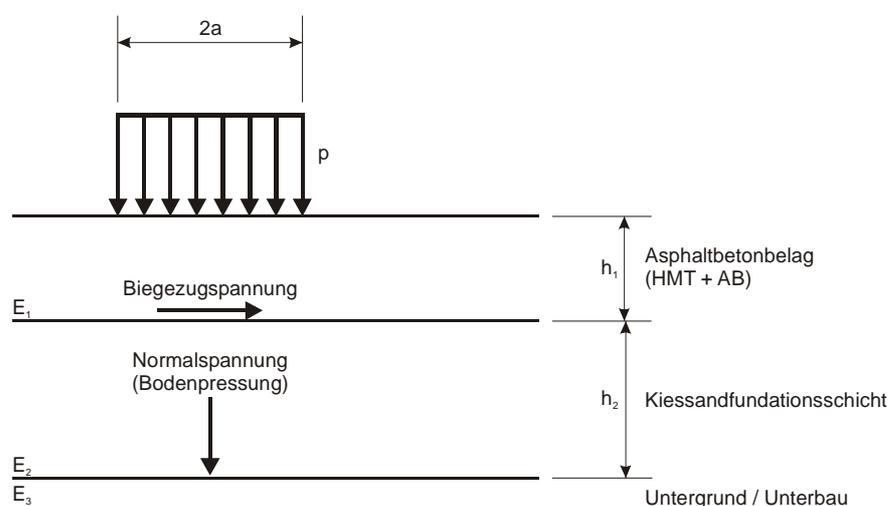


Abbildung 2: Spannungen im Zweischichtensystem [7]

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).

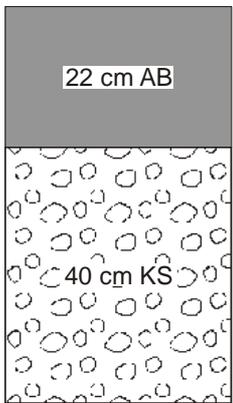
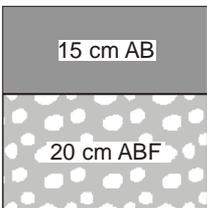
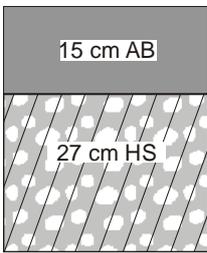
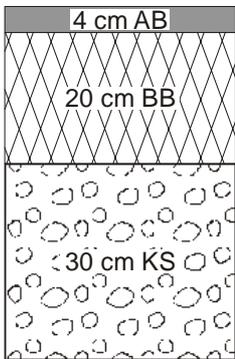
Oberbautypen gemäss SN 640 324			Kombinierter Oberbautyp
Oberbautyp 1	Oberbautyp 3	Oberbautyp 5	
 <p>Total : 62 cm</p>	 <p>Total : 35 cm</p>	 <p>Total : 42 cm</p>	 <p>Total : 54 cm</p>
AB Asphaltbelag BB Betonbelag KS Kiessand rund		HMF Asphaltfundationsschicht HS Hydraulische Stabilisierung	

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 Querrfugenbewegungen 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

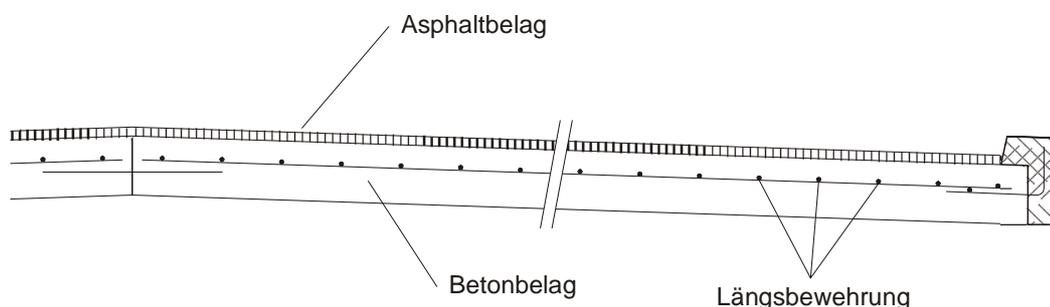


Abbildung 4: Prinzipskizze kombinierter Oberbau

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

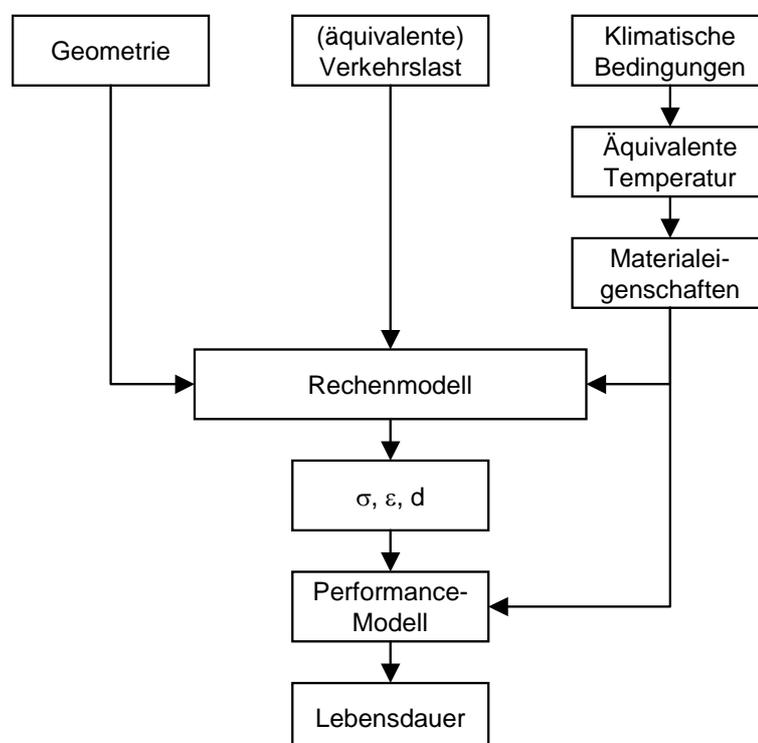


Abbildung 5: Berechnungsverfahren der meisten heute verwendeten mechanistisch empirischen Dimensionierungsmethoden gemäss COST 333

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 Schadenschwere 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		
		AB + HMT	<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	
			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 Heutige Verfahren / Problematik neuer Entwicklungen
	Bauteil	Baustoff	Erscheinung	Ursachen	Art	Bauzeit	Kosten	Erneuzyklen Jahre	
Oberbau	Beläge	Beton	<i>Belagsschäden:</i> Glätte, Fugendichtung spröde/fehlend, Kanten-/Oberfl. Abplatzungen, Abrieb, Schwindrisse	Polieren	Aufrauen, Fräsen von Rillen	○	○	5	Als örtliche Sofortmassnahme
					Fugenverfüllung.	○	↓	5	
					Örtliche Reparaturmassnahmen. Oberflächenbehandlung (bituminös oder Kunststoff),	←	↓	5	
					Belagsüberzug (bituminös) mit SAMI	○	○	5-10		Betonfugen schlagen durch
			<i>Strukturelle Schäden:</i> Blow-Up (Stufenbildung), Unebenheit, dilatierende Risse, zerstörte Platten (untere Schicht)	Hohlliegende Platten, Pumpen, Setzungen, Frosthebung	Hocheinbau:	○	○	15-20	Sofortmassnahme: Ausgleichen, Heben oder Platte ersetzen
					- Asphaltbelag ca. 12-15 cm mit SAMI auf vorhandenen ca. 20 cm dicken Beton					Nur ausführbar, falls Lichtraumhöhen ausreichend (Überführungen)
Fehlende Frostausalzbeständigkeit (Oberbeton BH 350 / Unterbeton BN 250 bei 1. Generation)	Materialtechnologie (Betonbeläge 1. und 2. Generation) überholt	Belagsersatz:	→	↑	30-40	Vorteil: Keine Erhöhung der Nivellette, wenig Anpassungsarbeiten.			
		- Abbrechen Betonbelag, neuer Asphaltbelag ca. 22 -27 cm auf verbleibende Fundations-schicht / oder							
Fundationsschicht mangelhaft oder verschmutzt	Fundationsschicht mangelhaft oder verschmutzt	- Abbruch oberer Teil Fundationsschicht ca. 15 cm, neue Zementstabilisierung, neuer Betonbelag 20 cm	→	↑	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
Instandsetzungsmassnahmen SN 640 732	Oberflächenbehandlung Kaltmikrobelag (Slurry Sealing)				
	Belagsüberzug (*)				
		Belagserneuerung			
Oberbauverstärkung 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
Charakteristische Schadenbilder	Normalfahrstreifen: Schwere Spurrinnenbildung Überholstreifen: Vorwiegend Belagsschäden (Materialverluste + wilde Risse)	Kriechstreifen: Schwere Spurrinnenbildung Normalfahrstreifen: Vorwiegend Belagsschäden (Materialverluste + 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 Überholstreifen: (je nach Analysenresultaten) - Erneuerung Deckschicht 40 mm mit Belag wie Normalfahrstreifen	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 Quertugen im Belagsüberzug durch Einfräsen und Verfüllen über dilatierenden Fugen im Betonbelag
Instandsetzungsintervall	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).

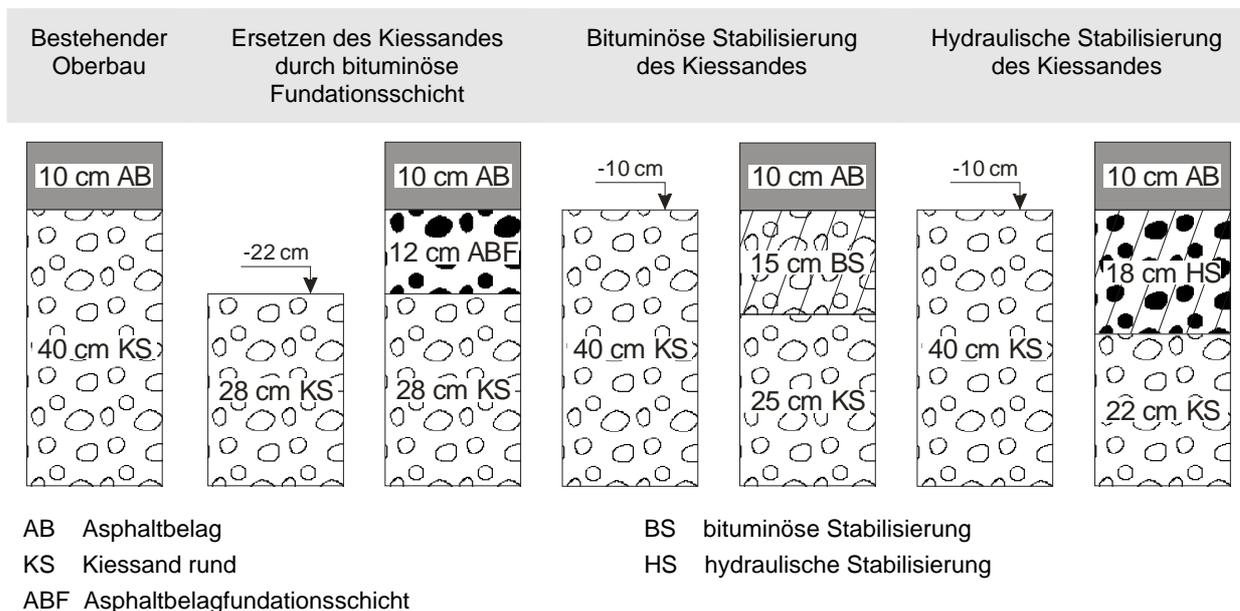


Abbildung 2: Verstärkungsvarianten durch teilweise Erneuerung für eine Strasse mit mittlerer Verkehrsbelastung



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- verbesserung [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.

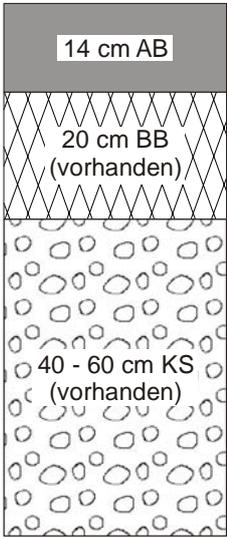
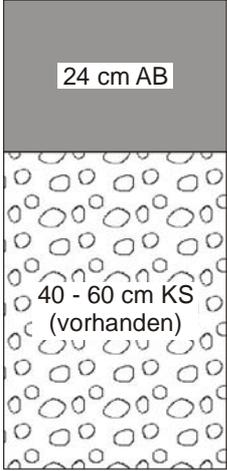
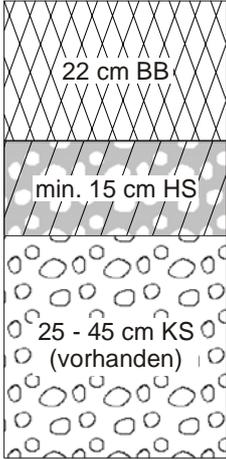
Variante 1: Oberbauverstärkung im Hocheinbau	Variante 2: Teilw. Oberbauerneuerung mit Asphaltbelag	Variante 3: Teilw. Oberbauerneuerung mit Betonbelag
		
AB Asphaltbelag BB Betonbelag		KS Kiessand rund HS Hydraulische Stabilisierung

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.

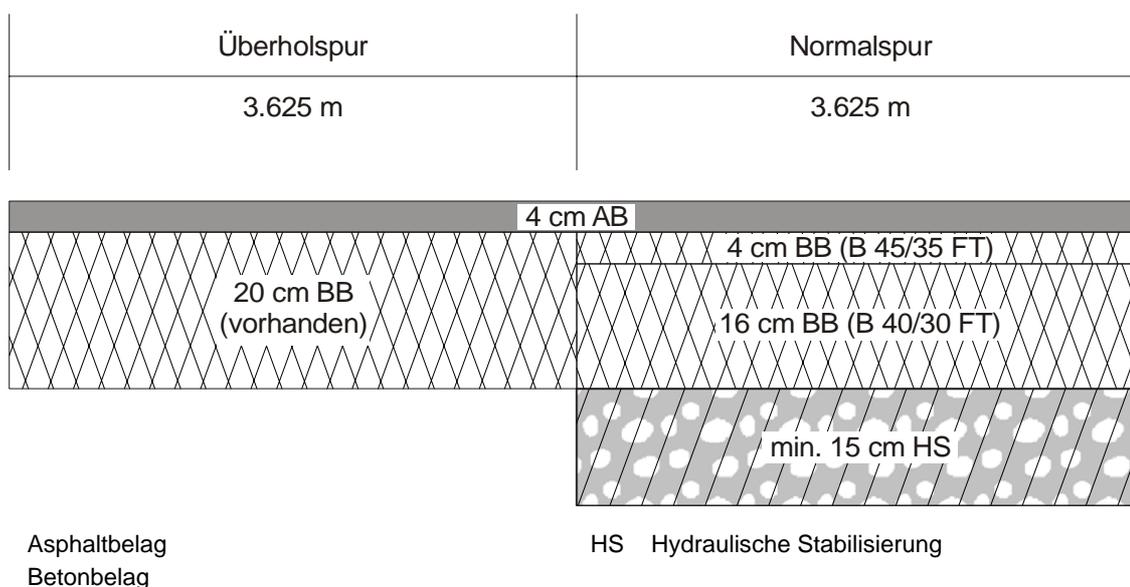


Abbildung 5: Aufbau Variante 4 – Partielle Oberbauerneuerung mit Betonbelag und Belagsüberzug

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.
- Verkehrserschwerissen 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 Brutto sozialprodukt-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 Foundationsschicht 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 AG ₃₀ = aktualisierte Gesamtkosten über Untersuchungszeitraum von 30 Jahren $AG_{30} = \sum V_t \times 1.03^{-(t-1)} + \sum I_t \times 1.03^{-(t-1)} + W$ 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							
Strassentyp:	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 Nacharbeit 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 Nacharbeit

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 Nacharbeit 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

MODUL D – Erhaltung bestehender Strassen

Schadenbild:								
Voraussetzungen:								
Strasstyp:				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).

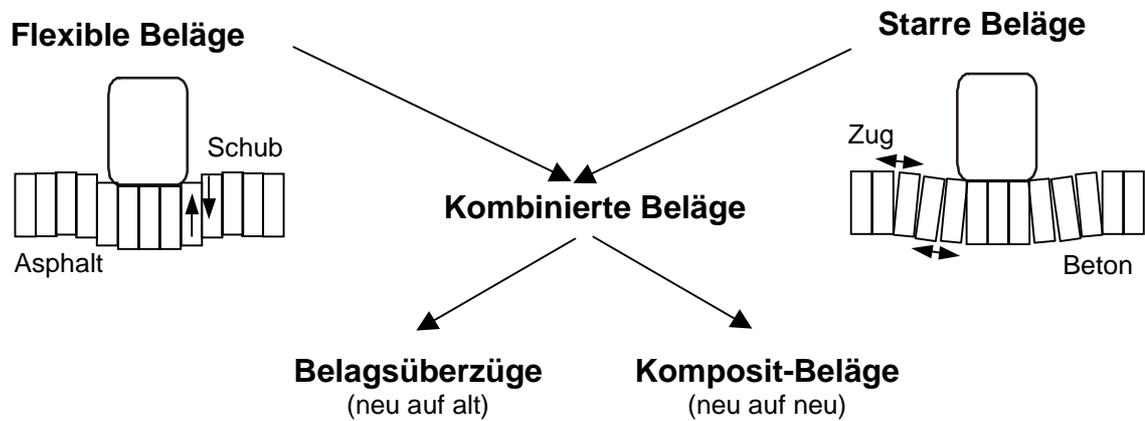


Abbildung 1: Bauweisen

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.

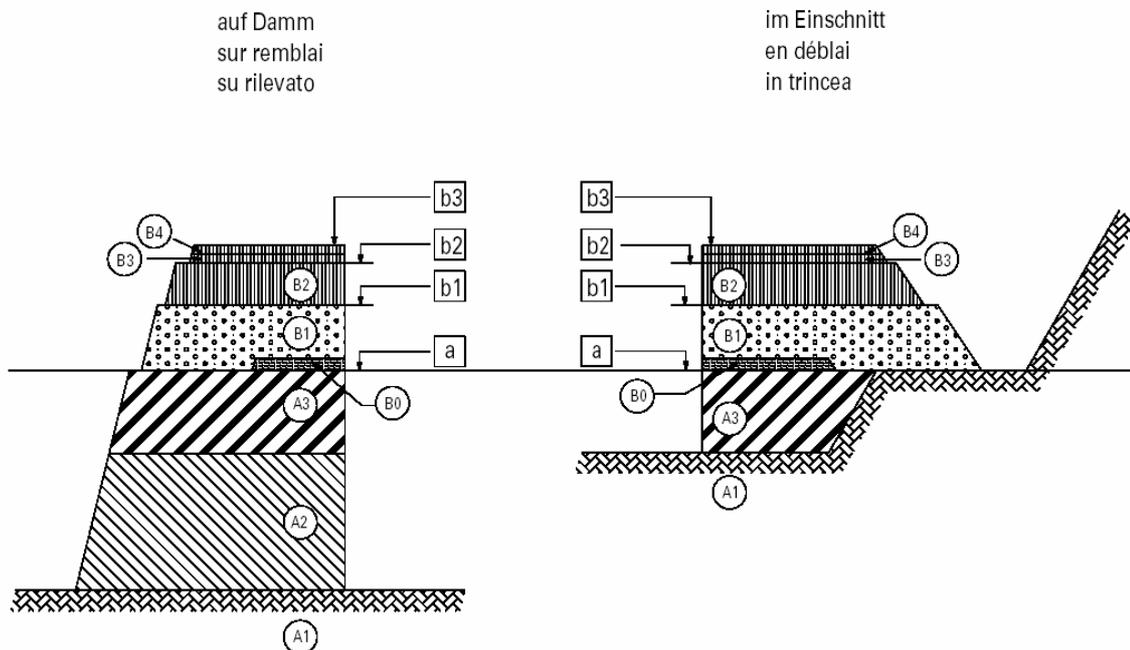


Abbildung 2: Schnitt eines Strassenoberbaus

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 Fundationsschichten (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 Fundations- 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 Nenngrosse 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(n))	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(n))	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(n))	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	TSRnass/TSRtrocken [%]	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.

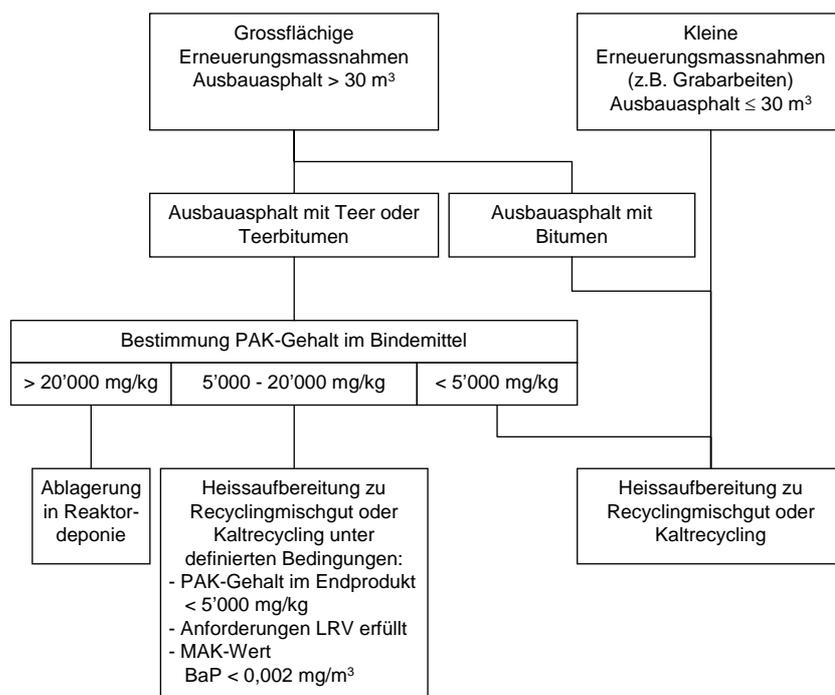


Abbildung 1: Bewertung der Umweltverträglichkeit des Ausbauasphalts

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 Viskositäts­erhöhung 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