



DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Vergleich zwischen Kaltrecycling in situ und konventionellem Erneuerungsverfahren in Asphaltbauweise an der Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“ in Bulgarien

Comparison between cold recycling in situ and conventional methods of asphalt road repair on the road I-7 „Shumen – Veliki Preslav“ in Bulgaria

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

O.Univ.Prof. DI Dr.techn. Dr.hc. Hans Georg Jodl

und als verantwortlich mitwirkender Assistent

Univ.Ass. DI Arthur Schönwälder

am

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Svetoslav Porozhanov

1029210

WV „Obelia“, Str. №14, 1387 Sofia

Sofia, am 20.03.2014

.....

Svetoslav Porozhanov

Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit wurde am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement der Technischen Universität Wien, im Rahmen eines Doppel-Degree Studiums zwischen der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia und der Technischen Universität Wien erstellt. Mit dieser Diplomarbeit schließe ich mein Masterstudium in der Ausbildungsrichtung „Verkehrsbauwesen“ ab.

Ich möchte mich besonders bei Univ. Prof. DI Dr. techn. Hans Georg Jodl für die Möglichkeit meine Diplomarbeit am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement zu entwickeln sowie bei Univ. Ass. DI Arthur Schönwälder für seine Betreuung und hilfreiche Unterstützung beim Ausarbeiten meiner Diplomarbeit bedanken.

Großer Dank gebührt auch Univ. Prof. DI Dr. techn. Petar Stefanov für seine Betreuung bei der Fertigung des Projektes, auf dem die vorliegende Diplomarbeit basiert, und Univ. Ass. Dipl. Ing. Marin Donchev, der zur Zeit im Bereich der Kaltrecycling in situ in Bulgarien tätig ist, für die Bereitstellung von hilfreichen Fachliteraturquellen.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie für die finanzielle Unterstützung ohne die mein Aufenthalt in Wien unmöglich gewesen wäre.

Kurzfassung

Kernpunkt dieser Diplomarbeit ist der Vergleich zwischen dem konventionellen Erneuerungsverfahren im Hocheinbau in Asphaltbauweise und dem Kaltrecycling in situ unter den bulgarischen Randbedingungen. Beschrieben sind die gültigen Regelwerke in Deutschland und Bulgarien. Die Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der beiden Verfahren sind angeführt.

Kaltrecycling in situ bietet viele Vorteile im Vergleich zu der konventionellen Methode. Darunter fallen z. B. Umweltfreundlichkeit (Einsparung von Baustoffen, Deponieraum sowie Transportaufwand und den damit verbundenen Schadstoff- und Lärmemissionen), kürzere Bauzeiten, höhere Sicherheit an der Baustelle und Substanzerhaltung.

Ein besonders wichtiger Punkt zur Abschätzung der Anwendungsmöglichkeit ist der Kostenvergleich der beiden Verfahren in Bulgarien. Anhand eines gewählten Abschnittes der Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“ wird festgestellt, dass das Einsparungspotenzial des Recyclingverfahrens ca. 30% beträgt. Ähnliche Ergebnisse sind auch in anderen Ländern aus Erfahrung bekannt. Im Unterschied zu westeuropäischen Ländern hat Kaltrecycling in Bulgarien eine größere Bedeutung, weil viele Straßen im sehr schlechten Zustand sind und der Staat über stark begrenzte Finanzressourcen für Straßenreparatur verfügt.

Mit dieser Diplomarbeit wird die Möglichkeit geschaffen, die eingesparten Finanzmittel infolge des Einsatzes dieser Technologie in Bulgarien grob abzuschätzen.

Abstract

The main issue in this Master Thesis is the comparison between conventional methods of asphalt road repair and cold recycling in situ under Bulgarian conditions. The valid standards in Germany and Bulgaria are described and the advantages and possibilities for use of the two methods are given.

Cold recycling in situ offers many advantages compared to the conventional method, e. g. environmental acceptability (saving of construction materials, waste disposal place, transport distance as well as the associated emissions of pollutant gases and noise), shorter construction times, higher security on the construction place and the retaining of the existing road pavement.

A very important issue for the assessment of the possibilities for use is the price comparison between the two methods in Bulgaria. One chosen section of the road I-7 "Shumen – Veliki Preslav" shows potential savings using the recycling method of approximately 30%. Similar results are known from experience of other countries. In contrast to western European countries cold recycling in Bulgaria has higher importance because many roads are in very poor condition and the government has reduced its funds for road rehabilitation.

This Master Thesis creates the possibility to assess roughly the economised funds from the implementation of this technology in Bulgaria.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
abg.	Abgebrochen
ASI	Agentur „Straßeninfrastruktur“
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Diff.	Differenz
DIN	Deutsches Institut für Normung
d. s.	das heißt
durchschn.	durchschnittlich
e. g.	for example
E-Modul	Elastizitätsmodul
evtl.	eventuell
FDVK	Flächendeckende Verdichtungskontrolle
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FWD	Falling Weight Deflektometer
ggf.	gegebenfalls
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HGT	hydraulisch gebundene Tragschichten
i. d. R.	in der Regel
KRC-Gemisch	Kaltrecycling-Gemisch
KRC-Schicht	Kaltrecycling-Schicht
Lab	Labor
Lkw	Lastkraftwagen
lv.	leva (bulgarische Währung)
M.-%	Massenprozent
max.	maximal
Mio.	Million
M KRC	Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau
Nr.	Nummer
o. A.	oder Ähnliches
Pos.	Position
RAP Stra	Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau
RBA	Richtlinien für Bemessung von Asphaltbefestigungen

RDO Asphalt	Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaues von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht
RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen
RuVA-StB	Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau
RS TP	Rehabilitation von Straßen, Technologische Projekte
S.	Seite
Tab.	Tabelle
TL Asphalt-StB	Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen
TL Gestein-StB	Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau
ToB	Tragschicht ohne Bindemittel
TP Eben BM	Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührende Messungen
TP Beton-StB	Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton
TS	Technische Spezifikation
usw.	und so weiter
Verbr.	Verbreiterung
verd.	verdichtet
vgl.	vergleiche
Vol. %	Volumenprozent
vorg.	vorgesehen
vorh.	vorhanden
W KRC-Hb	Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch
z. B.	zum Beispiel
ZISTNENR	Zentrales Institut der Straßentechnologien, nationale und europäische Normen und Richtlinien
ZSBL	Zentrales Straßen- und Brückenlabor
ZTV Asphalt-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt
ZTV BEA-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen - Asphaltbauweisen

ZTV BEB-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Betonbauweisen
ZTV T-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau
zw.	zwischen

Begriffsbestimmungen

➤ **Brechen der Bitumenemulsion**

„Es besteht aus dem Brechen (Zerfallen) in Emulsionswasser und Bitumen, Ausbilden eines zusammenhängenden Bitumenfilms durch Zusammenfließen einzelner Tröpfchen mit der Haftung am Gestein sowie dem Verdunsten des Emulsionswassers.“¹

➤ **Elastizitätsmodul**

„Materialkennwert, Quotient aus Spannung und gleichgerichteter elastischer Dehnung.“²

➤ **Ergänzungsstoffe**

„Gesteinskörnungen und/oder Granulate zur Verbesserung der Korn-/Stückgrößenverteilung.“³

➤ **Ermüdungsrisse**

„Unterliegt die Straße zudem kontinuierlichen Achsübergängen durch Schwerverkehr, hat dies einen kumulativen Effekt, der zu einer Addition der bleibenden Verformungen und/oder zum Entstehen von Ermüdungsrisse führt.“⁴

➤ **Fräsrecycler**

„Arbeitsgerät zum Fräsen und/oder Zerkleinern von gebundenen und/oder ungebundenen Schichten des Straßenoberbaues mit Vorrichtungen zur dosierten Zugabe und zum Einarbeiten von Bindemittel(n), gegebenenfalls auch mit Einrichtung zum Verteilen und Einbauen des Kaltrecycling-Gemisches.“⁵

¹ VELSKE, Siegfried: *Strassenbau, Strassenbautechnik*, 2009, S. 86.

² Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaues von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht*, FGSV 498, 2009, S. 9.

³ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, 2005, S. 5.

⁴ Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2006, S. 20.

⁵ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, 2005, S. 5.

➤ **Kalteinbau**

„Einbau von Mischgut, das durch die Art der verwendeten bitumenhaltigen und/oder hydraulischen Bindemittel kalt gemischt werden kann.“⁶

➤ **Kaltrecycling-Gemisch**

„Mischgranulat nach Einarbeitung von Bindemittel(n), Wasser und gegebenenfalls weiteren Ergänzungsstoffen.“⁷

➤ **Kaltrecycling in situ**

„Verwertung gebundener und/oder ungebundener Straßenbaustoffe auf der Baustelle im Kalteinbau, bei dem das Arbeitsgerät entweder auf der zu bearbeitenden oder auf einer vorgelegten bzw. bereits vorhandenen Schicht fährt, mit folgenden Prozessphasen:

- Fräsen/Granulieren
- Eventuell Zugabe von Ergänzungsstoffen
- Zugabe von Bindemittel(n) und Wasser
- Mischen
- Verteilen, Einbauen und Verdichten“⁸

➤ **Kaltrecycling-Schicht**

„Eingebautes und verdichtetes Kaltrecycling-Gemisch.“⁹

➤ **Mischgranulat**

„Durch Fräsen oder Zerkleinerung gewonnenes Granulat aus ungebundenen und/oder gebundenen Schichten des Straßenoberbaues, gegebenenfalls mit Zugabe von Ergänzungsstoffen.“¹⁰

⁶ Ebenda, S. 6.

⁷ Vgl. ebenda.

⁸ Vgl. ebenda.

⁹ Vgl. ebenda.

¹⁰ Vgl. ebenda.

➤ **Mixpaver**

„Arbeitsgerät mit Vorrichtungen

- zur Aufnahme von Mischgranulat
- zur dosierten Zugabe von Bindemittel(n)
- zum homogenen Mischen mit Zwangsmischer
- zum Verteilen und Einbauen des Kaltrecycling-Gemisches“¹¹

➤ **Tragfähigkeit**

„Die Tragfähigkeit ist der Widerstand gegen kurzzeitige Verformungen und wird durch die Reaktion (Einsenkung, Deflexion) einer Straßenbefestigung auf eine aufgebrachte Kraft (quasi-statisch bzw. dynamisch) (...) ermittelt.“¹²

¹¹ Vgl. ebenda.

¹² STRAUBE, Edeltraud; KRASS, Klaus: *Straßenbau und Straßenerhaltung*, 2009, S. 313.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	2
KURZFASSUNG	3
ABSTRACT	4
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	5
BEGRIFFSBESTIMMUNGEN	8
INHALTSVERZEICHNIS	11
1 EINLEITUNG	15
2 HISTORISCHER ÜBERBLICK	16
3 ERNEUERUNG (KONVENTIONELLES VERFAHREN)	17
3.1 ERNEUERUNG IN DEUTSCHLAND GEMÄß ZTV BEA-STB, ABSCHNITT 3.5	17
3.1.1 <i>Allgemeines</i>	17
3.1.2 <i>Oberbaudimensionierung</i>	17
3.1.2.1 Standardisierte Bemessung gemäß <i>RStO</i>	17
3.1.2.2 Rechnerische Bemessung gemäß <i>RDO Asphalt</i>	20
3.1.3 <i>Baustoffgemische</i>	21
3.1.4 <i>Ausführung</i>	22
3.2 ERNEUERUNG IN BULGARIEN	23
3.2.1 <i>Oberbaudimensionierung</i>	23
3.2.2 <i>Erstellung des technologischen Projektes gemäß RS TP</i>	24
3.2.3 <i>Baustoffe, Ausführung</i>	25
4 KALTRECYCLING IN SITU	26
4.1 BESCHREIBUNG DER TECHNOLOGIE	26
4.2 ANWENDUNGSBEREICH	28
4.3 PLANUNG UND AUSFÜHRUNG DER KRC-BAUMAßNAHME GEMÄß <i>W KRC-HB, KAPITEL 6</i>	30
4.3.1 <i>Allgemeines</i>	30
4.3.2 <i>Die Planung des Recyclingvorhabens</i>	31
4.3.2.1 Gerätschaften	31
4.3.2.1.1 <i>Recycler</i>	31
4.3.2.1.2 <i>Verdichtungsgeräte</i>	31
4.3.2.1.3 <i>Tankfahrzeuge</i>	31
4.3.2.1.4 <i>Geräte für die Zementzugabe</i>	31
4.3.2.2 <i>Produktionsziel</i>	32
4.3.2.3 <i>Behinderungen</i>	32

4.3.2.4	Geometrie	32
4.3.2.4.1	Längsnähte	32
4.3.2.4.2	Längsnähte auf schmalen Straßen.....	32
4.3.2.5	Verkehrsregelung	33
4.3.2.6	Logistik	33
4.3.2.7	Anforderungen an die fertige Schicht.....	33
4.3.2.8	Notwendige Schritte vor dem Recycling.....	33
4.3.2.9	Spezielle Anforderungen vor der Verkehrsfreigabe.....	33
4.3.2.10	Baublaufplan	34
4.3.3	<i>Vorbereitende Arbeiten.....</i>	34
4.3.3.1	Beseitigung von Hindernissen	34
4.3.3.2	Vorprofilieren	34
4.3.3.3	Material aufbringen.....	34
4.3.3.4	Abfräsen.....	35
4.3.3.5	Granulieren (Vorfräsen).....	35
4.3.4	<i>Der Recyclingvorgang.....</i>	36
4.3.4.1	Einrichten des Recyclingzuges.....	36
4.3.4.2	Probefeld.....	37
4.3.4.3	Recycling.....	37
4.3.4.4	Quernähte.....	38
4.3.4.5	Profilgerechte Lage	38
4.3.4.6	Verdichtung.....	39
4.3.4.7	Verdichtungsanforderungen.....	39
4.3.4.8	Weitere Einflüsse auf den Verdichtungsgrad.....	39
4.3.5	<i>Nachbehandlung.....</i>	40
4.3.6	<i>Qualitätskontrolle.....</i>	40
4.4	KALTRECYCLING IN DEUTSCHLAND GEMÄß <i>M KRC</i>.....	40
4.4.1	<i>Baustoffe, Baustoffgemische.....</i>	41
4.4.1.1	Allgemeines	41
4.4.1.2	Mischgranulat	41
4.4.1.3	Bindemittel	42
4.4.1.3.1	Bitumenhaltige Bindemittel	42
4.4.1.3.1.1	Bitumenemulsionen.....	42
4.4.1.3.1.2	Schaumbitumen.....	42
4.4.1.3.2	Hydraulische Bindemittel	44
4.4.1.3.3	KRC-Gemisch.....	44
4.4.2	<i>Projektentwurf.....</i>	44
4.4.2.1	Möglichkeit zur Ausführung	44
4.4.2.2	Bestandserfassung.....	44
4.4.2.3	Oberbaudimensionierung	45
4.4.2.4	Rezeptentwurf	47
4.4.2.5	Wahl der Bauverfahrenstechnik.....	48

4.4.3	<i>Bauausführung</i>	48
4.4.4	<i>Anforderungen</i>	50
4.4.5	<i>Prüfungen</i>	51
4.4.5.1	<i>Eignungsprüfungen</i>	51
4.4.5.1.1	<i>Allgemeines</i>	51
4.4.5.1.2	<i>Untersuchungen am Mischgranulat</i>	51
4.4.5.1.3	<i>Untersuchungen am KRC-Gemisch</i>	52
4.4.5.1.4	<i>Herstellung und Lagerung der Probekörper</i>	53
4.4.5.1.5	<i>Prüfung der Probekörper</i>	54
4.4.5.1.6	<i>Auswertung und Beurteilung der Untersuchungsergebnisse</i>	54
4.4.5.2	<i>Eigenüberwachungsprüfung</i>	54
4.4.5.3	<i>Kontrollprüfungen</i>	55
4.5	KALTRECYCLING IN BULGARIEN	56
4.5.1	<i>Oberbaudimensionierung</i>	56
4.5.2	<i>Ausführung</i>	56
5	PRÜFVERFAHRENSSAMMLUNG	57
5.1	PRÜFVERFAHREN IN DEUTSCHLAND, KONVENTIONELLES VERFAHREN	57
5.1.1	<i>Benkelman-Balken</i>	57
5.1.2	<i>Falling Weight Deflektometer</i>	58
5.2	PRÜFVERFAHREN IN BULGARIEN, KONVENTIONELLES VERFAHREN	59
5.2.1	<i>Lacroix Deflektograph</i>	59
5.2.2	<i>Ebenheitsmessungen mit dem APL 25</i>	59
5.3	PRÜFVERFAHREN IN DEUTSCHLAND, KALTRECYCLING IN SITU	60
5.3.1	<i>Plattendruckversuch gemäß DIN 18134</i>	60
5.3.2	<i>Dynamischer Plattendruckversuch mit leichtem Fallgewicht</i>	60
5.3.3	<i>Stückgrößenverteilung gemäß DIN 52098</i>	61
5.3.4	<i>Bindemittelgehalt gemäß DIN EN 12697-1</i>	61
5.3.5	<i>Bindemittelgehalt gemäß DIN EN 12697-39</i>	62
5.3.6	<i>Korngrößenverteilung gemäß DIN 1996-14</i>	62
5.3.7	<i>Korngrößenverteilung gemäß DIN EN 933-1</i>	63
5.3.8	<i>Korngrößenverteilung gemäß DIN EN 12697-2</i>	63
5.3.9	<i>Proctorversuch gemäß DIN EN 13286-2</i>	63
5.3.10	<i>Wassergehalt gemäß DIN EN 1097-5</i>	63
5.3.11	<i>Rohdichte gemäß DIN 52102</i>	63
5.3.12	<i>Verträglichkeit der Bitumenemulsion mit den verwendeten Baustoffen gemäß M KRC, Anhang 364</i>	
5.3.13	<i>Ausflusszeit gemäß DIN EN 12846-1</i>	64
5.3.14	<i>Optimierung der Schaumeigenschaften gemäß M KRC, Anhang 8</i>	65

5.3.15	<i>Herstellung der Probekörper gemäß M KRC, Anhang 6</i>	67
5.3.16	<i>Bestimmung von Spaltzugfestigkeit, Querdehnung und E-Modul gemäß M KRC, Anhang 7 und DIN 1048-5</i>	70
5.3.17	<i>Dichtenachweis am Bohrkern gemäß DIN 18125-2</i>	72
5.3.18	<i>Wassergehalt gemäß DIN 18121-2</i>	73
5.3.19	<i>Frostprüfung gemäß TP Beton-StB</i>	73
5.3.20	<i>Verdichtungsgrad</i>	73
5.3.21	<i>Profilgerechte Lage</i>	74
5.3.22	<i>Ebenheit</i>	74
6	VERGLEICH ZWISCHEN KALTRECYCLING IN SITU UND KONVENTIONELLEM ERNEUERUNGSVERFAHREN	75
6.1	VERGLEICH.....	75
6.2	KOSTENVERGLEICH ZWISCHEN KALTRECYCLING IN SITU UND KONVENTIONELLEM ERNEUERUNGSVERFAHREN AN DER STRASSE I-7 „SHUMEN – VELIKI PRES LAV“ IN BULGARIEN.....	77
7	ZUSAMMENFASSUNG	82
8	ANHÄNGE	83
8.1	ANHANG 1: KONVENTIONELLES VERFAHREN.....	83
8.1.1	<i>Bemessung der Verstärkung an der Straße I-7 “Shumen – Veliki Preslav” von km 131+700 bis zum km 132+700</i>	83
8.1.2	<i>Bemessung der lokalen Reparatur an der Straße I-7 “Shumen – Veliki Preslav” von km 131+700 bis zum km 132+700</i>	92
8.2	ANHANG 2: KALTRECYCLING IN SITU.....	117
8.2.1	<i>Bemessung der Konstruktion für Kaltrecycling in situ an der Straße I-7 “Shumen – Veliki Preslav” von km 131+700 bis zum km 132+700</i>	117
8.3	ANHANG 3: KALTRECYCLING MIT PROJEKT NACH DEM KONVENTIONELLEN VERFAHREN.....	139
8.3.1	<i>Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der KRC-Baumaßnahme mit Projekt nach dem konventionellen Verfahren</i>	139
9	VERZEICHNISSE	142
9.1	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	142
9.2	TABELLENVERZEICHNIS.....	143
9.3	QUELLENVERZEICHNIS.....	144

1 Einleitung

Das Thema Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau ist heutzutage sehr relevant, weil somit die europäischen Abfallwirtschaftsziele für Schonung von Ressourcen, Energie und Deponievolumen erfüllt werden. Als Mitglied der Europäischen Union ist auch Bulgarien verpflichtet diese Ziele zu verfolgen. Während das Kaltrecycling von Straßen seit einigen Jahren im Ausland verwendet wird, setzt sich dieses Verfahren seit kurzem auch in Bulgarien durch.

Ziel dieser Arbeit ist das Anwendungspotenzial des Recyclingverfahrens in Bulgarien abzuschätzen. Es ist ein Vergleich der beiden Technologien durchzuführen, um ihre Vor- und Nachteile sowie ihre Anwendungsmöglichkeiten zu definieren. Der Schwerpunkt liegt auf den deutschen und bulgarischen Regelwerken für Kaltrecycling in situ.

Das Hauptziel dieser Diplomarbeit ist die Wirtschaftlichkeit des Kaltrecyclings im Vergleich zu den konventionellen Erneuerungsverfahren in Bulgarien festzustellen. Es sind viele Berichte über die Wirtschaftlichkeit der neuen Technologie im Ausland und Bulgarien bekannt, jedoch bleibt unklar bei welchen Marktpreisen diese Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Der Kostenvergleich wird an einem gewählten Straßenabschnitt in Bulgarien durchgeführt, wobei die Preise der verschiedenen Arbeitspositionen statistisch ermittelt oder aus Erfahrung bekannt sind. Des Weiteren ist die Perspektive für den zukünftigen Einsatz des Verfahrens Kaltrecycling in situ zu erläutern.

2 Historischer Überblick

Kaltrecycling in situ wurde in den 70er Jahren in den USA entwickelt. Bei diesem Verfahren wird die Asphaltbefestigung einschließlich darunterliegender ungebundenen Schicht mit einer leistungsfähigen Fräse zerkleinert, in demselben Arbeitsgang mit Zement vermischt, eingebaut und zuletzt verdichtet¹³. Die Körner des Mischgutes dürfen nicht größer als 50 mm sein. Diese Methode wurde vorwiegend auf untergeordnete Straßen mit geringer Verkehrsbelastung eingesetzt¹⁴. Damals produzierten die Fräsmaschinen eher grobkörniges Mischgut, das trotz der Verwendung extrem schwerer Walzen (25 Tonnen und mehr) nicht ausreichend verdichtet werden konnte. Jedoch sah Eduard Zirkler schon 1990, dass diese Technologie an Bedeutung gewinnen wird.¹⁵

In Deutschland wurde dieses Verfahren zum ersten Mal im 1993 angewendet. Bis zum Jahr 1994 wurden in Österreich mehr als 100 Kilometer Straßen kalt recycelt. Zu dieser Zeit wurde Zement als Bindemittel verwendet. Die Fräsgeräte waren modifizierte Bodenstabilisierer, die einen Rotor mit kürzeren und dreimal so viele Zähne besaßen. Ihre Vorschubgeschwindigkeit betrug zwischen 6 - 10 Meter pro Minute.¹⁶

2006 wurde in Bulgarien das Kaltrecycling in situ erstmals auf einer Straße in der Stadt Straldzha eingesetzt. Damals gab es nur eine Baufirma, die mit dieser Technologie Straßen sanieren wollte. Des Weiteren war Kaltrecycling den Projektanten nicht bekannt. Die oben genannten Gründe haben die Einführung dieser Technologie in Bulgarien stark behindert.¹⁷

Die heutigen Recycler haben ein breites Anwendungsspektrum. Sie können sowohl Böden bis zu 56 cm verbessern als auch Asphaltbefestigungen bis zu 25 cm recyceln. Ihre Leistungsfähigkeit beträgt ca. 1.200 m² pro Stunde oder 5.000 m² pro Tag (manchmal sogar 10.000 m² pro Tag) und die günstige Vorschubgeschwindigkeit bleibt ungeändert^{18,19}. Man verwendet hydraulische oder bitumenhaltige Bindemittel, wobei auch eine Kombination von beiden möglich ist.

¹³ VOLLPRACHT, Alf: *Fräsrecycling von Asphaltbefestigungen*, In: *s+t*, 1994, S. 6.

¹⁴ MOSCH, Kurt: *Asphalt-Recycling für die Straßeninstandsetzung*, In: *TIS*, 1989, S. 251.

¹⁵ ZIRKLER, Eduard: *Asphaltrecycling – Technologie mit Zukunft*, In: *BAUSTOFF-RECYCLING UND UMWELTSCHUTZ*, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien: Hans Jentzsch, 1990, S. 36.

¹⁶ VOLLPRACHT, Alf: *Fräsrecycling von Asphaltbefestigungen*, In: *s+t*, 1994, S. 6.

¹⁷ Атлас Балкан: *Kaltrecycling in Bulgarien*, In: *Stroiteli – Zeitschrift für Infrastrukturbauwesen*, 2013, Nr. 1, S. 34.

¹⁸ Wirtgen GmbH: *Die neue Generation Kaltrecycler und Bodenstabilisierer*, *WR Baureihe*, 2013, S. 7, S. 10, S. 15.

¹⁹ Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2006, S. 29, S. 112.

3 Erneuerung (konventionelles Verfahren)

3.1 Erneuerung in Deutschland gemäß ZTV BEA-StB, Abschnitt 3.5

3.1.1 Allgemeines

Ziel der Erneuerung ist die vollständige Wiederherstellung einer vorhandenen Verkehrsflächenbefestigung. Die Maßnahme umfasst mehr als die Deckschicht, wenn mit Asphalt gebaut wird. Man unterscheidet zwischen den folgenden Erneuerungsarten.²⁰

- Erneuerung im Hocheinbau
Die Straßenkonstruktion wird mit einer oder mehreren Schichten überbaut, wobei ihre Gesamtdicke um mehr als 4 cm erhöht werden soll. Dieses Verfahren ist auch als Verstärkung bekannt.
- Erneuerung im Hocheinbau bei teilweisem Ersatz der vorhandenen Befestigung
Bei dieser Methode werden zusätzlich ungeeignete Schichten zum Teil ausgebaut.
- Erneuerung im Tiefeinbau
Die ganze Befestigung wird ersetzt.

Eine Erneuerung wird geplant, wenn die Schadensursachen unter der Deckschicht liegen oder unzureichende Tragfähigkeit beobachtet wird.²¹

3.1.2 Oberbaudimensionierung

3.1.2.1 Standardisierte Bemessung gemäß RStO

Ausreichende Tragfähigkeit und Frostsicherheit erfordern meistens zwei verschiedene Befestigungsdicken, wobei die größere Dicke maßgebend ist. In bestimmten Fällen darf die errechnete Dickenerhöhung des frostsicheren Oberbaues nicht realisiert werden.

Die Restsubstanz der vorhandenen Befestigung wird mit Hilfe von:²²

- *Oberflächenzustand,*
- *Tragfähigkeit (soweit ermittelt) [siehe Punkt 5.3.1 und Punkt 5.3.2],*
- *Art und Zustand der vorhandenen Befestigung, einschließlich des Untergrundes/Unterbaues, und ihre Eignung für die vorgesehene Funktion,*
- *Zustand der Entwässerungseinrichtungen*

²⁰ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen*, FGSV 499, 2001, S. 9.

²¹ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen*, FGSV 798, 2009, S. 54.

²² Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen*, FGSV 499, 2001, S. 21.

abgeschätzt.

„Die Tragfähigkeit ist der Widerstand gegen kurzzeitige Verformungen und wird durch die Reaktion (Einsenkung, Deflexion) einer Straßenbefestigung auf eine aufgebrachte Kraft (quasi-statisch bzw. dynamisch) (...) [siehe Abb. 1] ermittelt.“²³

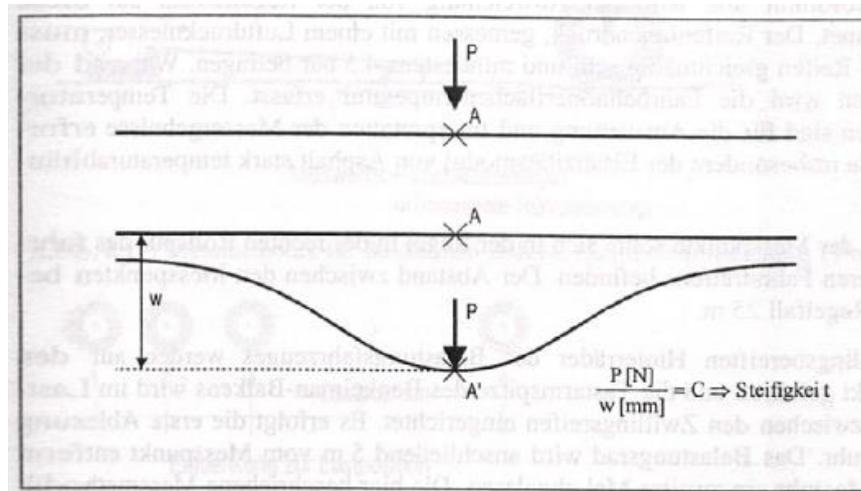


Abbildung 1: Reaktion einer Straßenbefestigung infolge einer aufgebrachten Kraft²⁴

Bei der Wahl der Erneuerungsart soll folgendes berücksichtigt werden:²⁵

- Wirtschaftlichkeit
Die Erneuerung im Hocheinbau ist normalerweise die billigere Variante.
- Lage innerhalb oder außerhalb bebauter Gebiete
Innerhalb bebauter Gebiete kann die Höhenlage nicht erhöht werden, was die Erneuerung im Hocheinbau unmöglich macht.
- Überführungsbauwerke
Bei unzureichendem Lichtraumprofil eines Überführungsbauwerkes kann eine Erneuerung im Hocheinbau nicht realisiert werden.
- Bauwerke und Rohrleitungen
Infolge Erneuerung im Hocheinbau werden Bauwerke und Rohrleitungen mit zusätzlichen Belastungen beansprucht. Wenn sie der erhöhten Lasteinwirkung nicht standhalten können, muss man sie verstärken, ersetzen und/oder Erneuerung im Tiefeinbau planen.
- Fahrstreifenweise Erneuerung
Bei Erneuerung von nur einem Fahrstreifen kann ein Hocheinbau nicht durchgeführt werden.

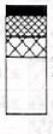
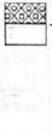
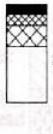
²³ STRAUBE, Edeltraud; KRASS, Klaus: *Straßenbau und Straßenerhaltung*, 2009, S. 313.

²⁴ Vgl. ebenda.

²⁵ Ebenda, S. 308, S. 309.

- Querschnittsverbreiterungen
Erneuerung im Tiefenbau ist notwendig, wenn Querschnittsverbreiterungen und Maßnahmen zur Verhinderung von ungleichmäßigen Setzungen, die einen Wasserstau verursachen, vorgesehen sind.
- Verbesserung der Linienführung im Höhenplan
Wenn der Höhenplan mit geringeren Neigungen entworfen ist, kann nur Erneuerung im Tiefenbau realisiert werden.
- Wiederverwertbarkeit von Schichtmaterialien
Wenn nicht oder schwierig verwertbare Baustoffe vorhanden sind, soll man eine Erneuerung im Hocheinbau durchführen. Die verbliebenen Schichten sollen ihre zukünftige Funktion erfüllen können.
- Verkehrsführung während der Durchführung der Erneuerungsmaßnahme
Es ist zu überprüfen, ob bestimmte Erneuerungsarten infolge Platzmangels, verkehrstechnischer Aspekte oder der Bauzeitdauer ausgeschlossen sind.

Die erforderliche Verstärkung in Asphaltbauweise wird aus der Tab. 1 gewählt.

Erneuerungs- klasse	Bauklasse		SV	I	II	III	IV	V	VI
	Äquivalente 10-t-Achsübergänge in Mio.	B	> 32	> 10 - 32	> 3 - 10	> 0,8 - 3	> 0,3 - 0,8	> 0,1 - 0,3	≤ 0,1
1	Asphaltdeckschicht Asphaltbinderschicht Asphalttragschicht als Ausgleichsschicht vorhandene Befestigung								
			4 8 ≥16 ≥28	4 8 ≥12 ≥24	4 8 ≥8 ≥20	4 4 ≥8 ≥16	4 ≥8 ≥12 ¹⁰⁾	4 ≥6 ≥10 ¹⁰⁾	8 ⁶⁾ 8 ¹⁰⁾
2	Asphaltdeckschicht Asphaltbinderschicht Asphalttragschicht als Ausgleichsschicht vorhandene Befestigung								
			4 8 ≥12 ≥24	4 8 ≥8 ≥20	4 4 ≥8 ≥16	4 ≥8 ¹³⁾ ≥12 ¹⁰⁾	4 ≥6 ≥10 ¹⁰⁾	4 ≥4 ≥6 ¹⁰⁾	6 ⁶⁾ 6 ¹⁰⁾

⁶⁾ Tragdeckschicht, siehe auch Abschnitt 3.3.3
¹⁰⁾ Bei vorhandener Befestigung mit einer Betondecke ist eine Mindestdicke für die Asphaltüberbauung von 14 cm vorzusehen
¹²⁾ Gemäß ZTV BEB-S18
¹³⁾ Bei besonderer Beanspruchung kann eine Asphaltbinderschicht anstelle einer Asphalttragschicht vorgesehen werden

Tabelle 1: Erneuerung in Asphaltbauweise im Hocheinbau, vorhandene Befestigung: Bauweise mit Asphalt- oder Betondecke (entspannt¹²⁾), (Dickenangaben in cm)²⁶

²⁶⁾ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen*, FGSV 499, 2001, S. 23.

Die Bauklasse hängt von der prognostizierten Verkehrsbelastung ab. Die Erneuerungsklasse ist von den Zustandsmerkmalen der vorhandenen Befestigung bei einer Erneuerung in Asphaltbauweise im Hocheinbau abhängig (siehe Tab. 2).

Erneuerungs- klasse	Zustandsmerkmale der vorhandenen Asphaltbefestigung
E1	- Netzkrisse - Risshäufung (auch Längsriss neben den Rollspuren)
E2	- Längsunebenheit - Spurrinnen ¹⁾

¹⁾ Infolge mangelnden Tragverhaltens, nicht infolge unzureichender Standfestigkeit der Asphaltdecke

Tabelle 2: Erneuerungsklassen²⁷

Die Dicke der einzubauenden Schichten bei Erneuerung in Asphaltbauweise im Hocheinbau bei teilweisem Ersatz der vorhandenen Befestigung sowie beim Tiefeinbau werden je nach der Art und dem Zustand der Unterlage von Tabellen abgelesen.

Das Verfahren zur Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Oberbaues berücksichtigt die Frostempfindlichkeit des Bodens und die örtlichen Verhältnisse wie Frosteinwirkungszone, Lage der Gradienten, Wasserverhältnisse und Ausführung der Randbereiche (z. B. Seitenstreifen, Radwege, Gehwege).

3.1.2.2 Rechnerische Bemessung gemäß *RDO Asphalt*

Die Bemessung der Beanspruchungen (Spannungen und Dehnungen) basiert auf der Mehrschichtentheorie. Abweichungen von der Schichtdicke, Materialeigenschaften, Tragfähigkeit usw. werden mit Sicherheitsbeiwerten für die verschiedenen Versagenskriterien berücksichtigt.

Das Dimensionierungsverfahren beinhaltet die folgenden Schritte:

1. Bestimmung der Eingangswerte aus Verkehrsbelastung und klimatischen Bedingungen.
2. Wahl des Oberbaus (Festlegung der Schichtenfolge, der Materialparameter und der Startschichtdicken). Die Gesamtdicke des frostsicheren Oberbaus wird gemäß *RStO* ermittelt.
3. Berechnung der Beanspruchungen (Spannungen/Dehnungen) in allen maßgebenden Nachweispunkten.
4. Nachweisführung.

²⁷ Ebenda, S. 22.

Wenn ein Nachweis nicht erfüllt ist, soll man die oben angeführte Schrittfolge mit verschiedenen Schichtdicken und/oder Baustoffen (Materialeigenschaften) wiederholen. Abb. 2 veranschaulicht die Vorgehensweise.

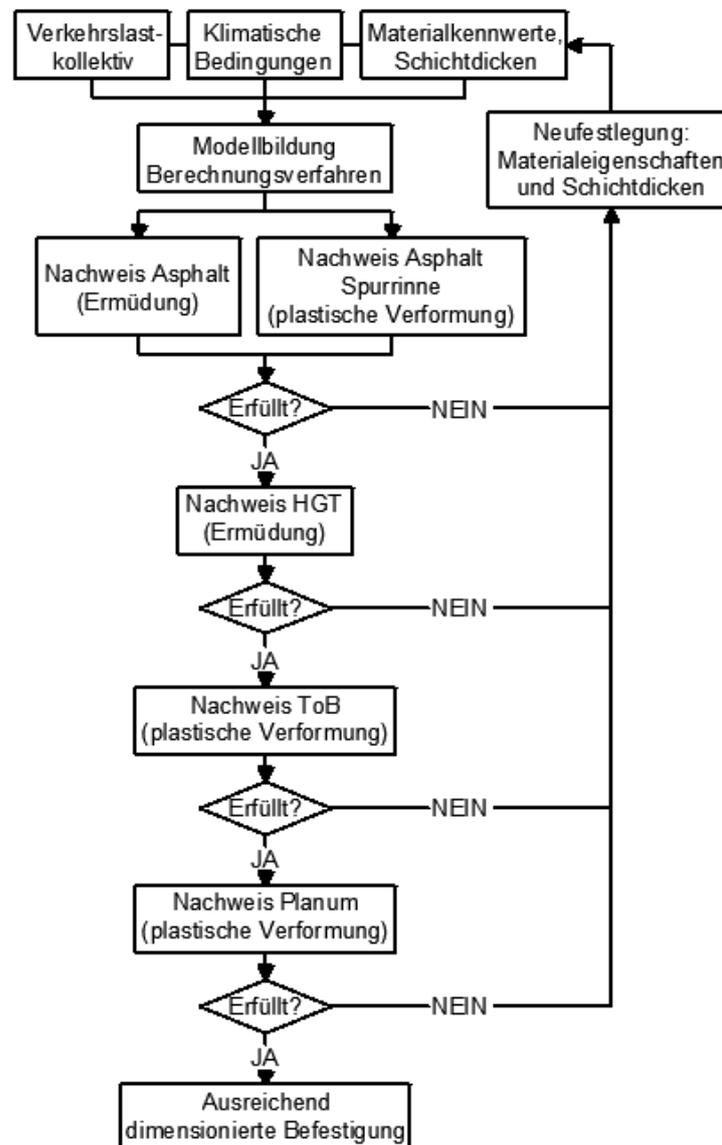


Abbildung 2: Ablaufschema zur rechnerischen Dimensionierung von Asphaltbefestigungen²⁸

3.1.3 Baustoffgemische

Die Anforderungen an Asphalt sind der *TL Asphalt-StB* zu entnehmen.

Asphalt kommt natürlich vor oder wird in Mischanlagen hergestellt. Er besteht aus Gesteinskörnungen, Bitumen und eventuell weiteren Zusatzstoffen. Die Gesteinskörnungen werden oft zweimal gesiebt, um die gewünschte Zusammensetzung zu erzielen, und in einer

²⁸ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaues von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht*, FGSV 498, 2009, S. 7.

Trockentrommel getrocknet und erhitzt. Der Mischvorgang von Gesteinskörnungen, Bindemittel und Füller (Gesteinsmehl) erfolgt in einem Mischer. Asphaltgranulat (Ausbauasphalt) kommt auch bei der Herstellung von Asphalt zum Einsatz. Die Erwärmung des Asphaltgranulates erfolgt durch die heißen Gesteinskörnungen, gemeinsam mit den Gesteinskörnungen oder in gesonderten Vorrichtungen. Das fertige Mischgut wird sofort zur Baustelle transportiert oder in beheizten Silos gelagert.

Naturasphalt bildet sich durch Verharzung von Erdölrückständen. Asphaltseen existieren in Trinidad, Kalifornien und Venezuela. Manchmal ist es notwendig Naturasphalt zu verwenden, um die Eigenschaften technisch hergestellter Asphalte zu verbessern.²⁹

Im Straßenbau werden natürliche, industriell hergestellte und recycelte Gesteinskörnungen eingesetzt. Die natürlichen Gesteinskörnungen umfassen gebrochene Festgesteine und die Lockergesteine Kies und Sand. Die Festgesteine werden in Steinbrüchen gewonnen, gesiebt und eventuell durch Waschen in Gesteinskörnungen aufbereitet. Kiese und Sande verwendet man gebrochen oder ungebrochen. Industriell hergestellte Gesteinskörnungen entstehen als industrielle Nebenprodukte durch thermische und sonstige Prozesse. Ihr Einsatz im Straßenoberbau ist beschränkt. Gebrauchte Baustoffe und Baustoffteile können nach geeigneter Aufbereitung als Recycling-Baustoffe im Straßenbau verwendet werden. Sie entstehen als Abbruchprodukten im Hoch-, Tief- und Straßenbau.³⁰

Bitumen besteht aus verschiedenen dunkelfarbigem schwerflüchtigen organischen Substanzen, die bei der Destillation (Verdampfung und nachfolgende Kondensation) von Rohölen entstehen. Seine Funktion bei der Herstellung von Asphalt ist die Gesteinskörner miteinander zu kleben und so ein dauerhaft verbundenes Material zu bilden.³¹

Als Zusätze für Asphaltmischgut werden organische oder mineralische Faserstoffe, Kieselsäure oder Polymere verwendet. Sie stabilisieren das Bitumen und verhindern eine Entmischung während Transport und Einbau.³²

3.1.4 Ausführung

Die Asphaltsschicht, die bei einer Erneuerung im Hocheinbau überbaut wird, soll die neuen Anforderungen wie Tragfähigkeit, Standfestigkeit, Ebenheit, profilgerechte Lage usw. hinsichtlich ihrer geänderten Funktion gemäß *ZTV Asphalt-StB* erfüllen können. Weiters sind die neuen Schichten in gleichmäßiger Dicke einzubauen. Deswegen soll man vor dem Einbau

²⁹ STRAUBE, Edeltraud; KRASS, Klaus: *Straßenbau und Straßenerhaltung*, 2009, S. 122.

³⁰ Ebenda, S. 58 – S. 61.

³¹ Ebenda, S. 81.

³² Ebenda, S. 111.

die vorhandenen Schäden (z. B. Risse, Flicker, Spurrinnen) beseitigen. Spurrinnen (Profilverbesserung) können mit einer Straßenfräse gefräst werden (siehe Abb. 3).



Abbildung 3: Straßenfräse³³

Nicht vollständig entfernte Asphaltsschichten sind für ausreichenden Verbund mit der Unterlage zu prüfen und im Bedarfsfall zu entfernen. Eine andere Möglichkeit zur Profilverbesserung ist der Einbau der untersten Schicht in ungleichmäßiger Dicke. Damit sollen die Mindest- und Höchst-Einbaudicken eingehalten werden. Um einen guten Verbund mit der alten Befestigung zu sichern, soll sie mit Bitumenemulsion angesprüht werden. Asphalt wird mit einem Straßenfertiger eingebaut, vorverdichtet und mit Walzen endgültig verdichtet (siehe Abb. 4).

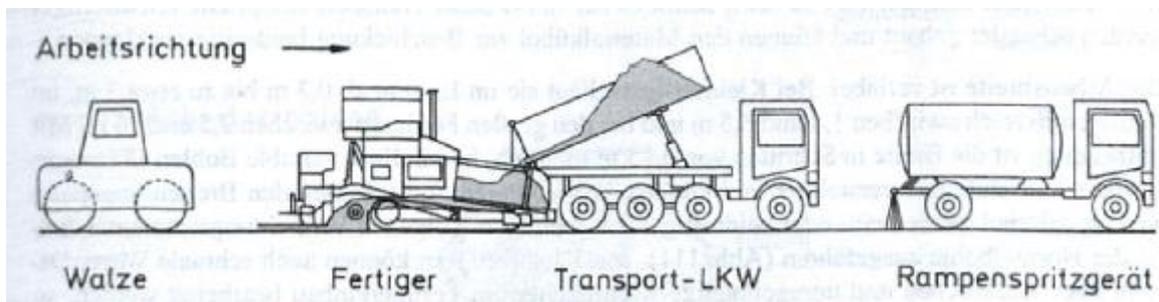


Abbildung 4: Einbau von Asphalt³⁴

3.2 Erneuerung in Bulgarien

3.2.1 Oberbaudimensionierung

Die Erneuerung im Hocheinbau in Bulgarien wird gemäß der *Richtlinien für Bemessung von Asphaltbefestigungen, Abschnitt X* dimensioniert. Man nimmt an, dass sich die ganze Straßenkonstruktion elastisch verhält. Die vorhandene Tragfähigkeit wird mit dem Benkelman-Balken (siehe Punkt 5.1.1) oder mit dem Lacroix Deflektograph (siehe Punkt 5.2.1)

³³ Quelle: http://de.academic.ru/pictures/dewiki/114/road_works_in_ohio.jpg 23.06.2013.

³⁴ VELSKE, Siegfried: *Strassenbau, Strassenbautechnik*, 2009, S. 177.

festgestellt. Ein Zusammenhang zwischen den beiden Messergebnissen ist in der jeweiligen Norm gegeben. Die erforderliche Tragfähigkeit berechnet man mit der prognostizierten Verkehrsbelastung. Auf diese Weise ergibt sich die notwendige Verstärkung. Auch Ebenheitsmessungen (siehe Punkt 5.2.2) sind für die Dimensionierung der Verstärkung notwendig. Sie erfordern eine bestimmte Verstärkung. Die größere der beiden festgestellten Verstärkungen ist maßgebend. Es werden homogene Abschnitte nach Tragfähigkeit, Verkehrsbelastung, Verstärkung und Ebenheit gebildet. In jedem homogenen Abschnitt sind die Schäden anzugeben.³⁵

3.2.2 Erstellung des technologischen Projektes gemäß *RS TP*

Die Erneuerung im Hocheinbau wird in Bulgarien Rehabilitation genannt. Sie beinhaltet die Reparatur aller Arten von Schäden und Zerstörungen, das Fräsen und Entfernen von Deformationen an der Straßenoberfläche, den Einbau von Ausgleichs- und/oder Binderschicht (Verstärkungsschicht) und den Einbau einer Deckschicht. Mit der Rehabilitation werden die Eigenschaften der Straßenbefestigungen wie Griffigkeit, Ebenheit und Tragfähigkeit verbessert.³⁶

Die im Punkt 3.1.4 erwähnten Maßnahmen zur Profilverbesserung werden in Bulgarien als Typ V (variable) und Typ C (constant) bezeichnet.

Beim Projekt Typ V sind die Ausgleichsschichten in ungleichmäßiger Dicke einzubauen. Dabei erwartet man zusätzliche Unebenheiten im Laufe der Zeit. Dieser Typ ist Stand der Technik in Bulgarien und obligatorisch für Straßenabschnitte mit großen Unebenheiten, unzureichender Tragfähigkeit und Probleme im Höhenplan (Unebenheiten mit großen Wellenlängen zwischen 10 – 30 m)³⁷. Wenn die minimale Dicke der Ausgleichsschicht nicht eingehalten werden kann, muss man technologisches Fräsen ausführen. Der Vorteil dabei liegt darin, dass das gefräste Material relativ gering ist, aber man schafft schwierig einen minimalen Verdichtungsgrad der Asphaltsschicht von 97%.³⁸

Das technologische Projekt Typ C umfasst Fräsen der Unebenheiten und Einbau der Schichten in gleichmäßiger Dicke. Dieses Verfahren ist für relativ ebene Strecken mit ausreichender Tragfähigkeit (max. 4 cm notwendige Verstärkung) und bei unterschiedlichen Dicken der vorgesehenen Einbauhöhen von weniger als 4 cm geeignet. Die Frästiefe wird automatisch

³⁵ Zentrales Straßen- und Brückenlabor, Ausführende Agentur „Straßen“: *Richtlinien für Bemessung von Asphaltbefestigungen*, 2002, Abschnitt X.

³⁶ STEFANOV, Petar: *Rehabilitation von Straßen, Technologische Projekte*, 2011, S. 5, S. 6.

³⁷ Ebenda, S. 9.

³⁸ DONCHEV, Marin: *Präsentation zu der Übungen in „Instandhaltung und Reparatur von Straßen“*, Thema 4, 2011, S. 5.

zwischen 0 – 4 cm reguliert³⁹. Der Nachteil hier sind die entstehenden größeren Fräsmengen (Tragfähigkeitsverlust), aber man kann die eingebauten Schichten gut verdichten.⁴⁰

3.2.3 Baustoffe, Ausführung

Die Anforderungen an die Baustoffe und die fertigen Schichten sowie die Ausführungsregeln sind in der *Technischen Spezifikation, Abschnitt 5000: Asphaltsschichten* geregelt.

³⁹ STEFANOV, Petar: *Rehabilitation von Straßen, Technologische Projekte*, 2011, S. 9.

⁴⁰ DONCHEV, Marin: *Präsentation zu der Übungen in „Instandhaltung und Reparatur von Straßen“*, Thema 4, 2011, S. 6.

4 Kaltrecycling in situ

Kaltrecycling in situ ist ein Erneuerungsverfahren im Kalteinbau, bei dem die gebundenen und/oder ungebundenen Schichten vor Ort verwertet werden. Die Herstellung der Kaltrecycling-Schicht umfasst die Zugabe von Ergänzungstoffen nach Bedarf, unbedingt Bindemittel(n) und Wasser sowie das Fräsen/Granulieren der Straßenkonstruktion mit dem nachfolgenden Mischen, Verteilen, Einbauen und Verdichten.

Kalteinbau beschreibt ein Mischgut deren Bindemittel eine kalte Verarbeitung ermöglichen.

Unter Kaltrecycling-Schicht (verkürzt KRC-Schicht) wird ein eingebautes und verdichtetes Kaltrecycling-Gemisch verstanden.

Kaltrecycling-Gemisch (verkürzt KRC-Gemisch) ist ein Mischgranulat samt eingemischten Bindemittel(n), Wasser und nach Bedarf zusätzlichen Ergänzungstoffen.

Mischgranulat bezeichnet die durch Fräsen zerkleinerten gebundenen und/oder ungebundenen Schichten einer Straßenkonstruktion. Es kann auch die zugegebenen Ergänzungstoffe umfassen.

Ergänzungstoffe sind Gesteinskörnungen und/oder Granulate mit denen man die Korn-/Stückgrößenverteilung verbessert.

4.1 Beschreibung der Technologie⁴¹

Die Kaltrecycler und Mixpaver entstanden, wenn Kaltfräsen und Bodenstabilisierer umgebaut wurden, um dicke Oberbauschichten in einem einzigen Durchgang aufbereiten zu können. Stabilisierer und Fräsrecycler besitzen einen Fräs- und Mischrotor, der mit speziellen Fräswerkzeugen bestückt ist. Die Rotordrehrichtung ist normalerweise im Gegenlauf der Arbeitsrichtung (siehe Abb. 5).

⁴¹ Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2006, S. 30f.

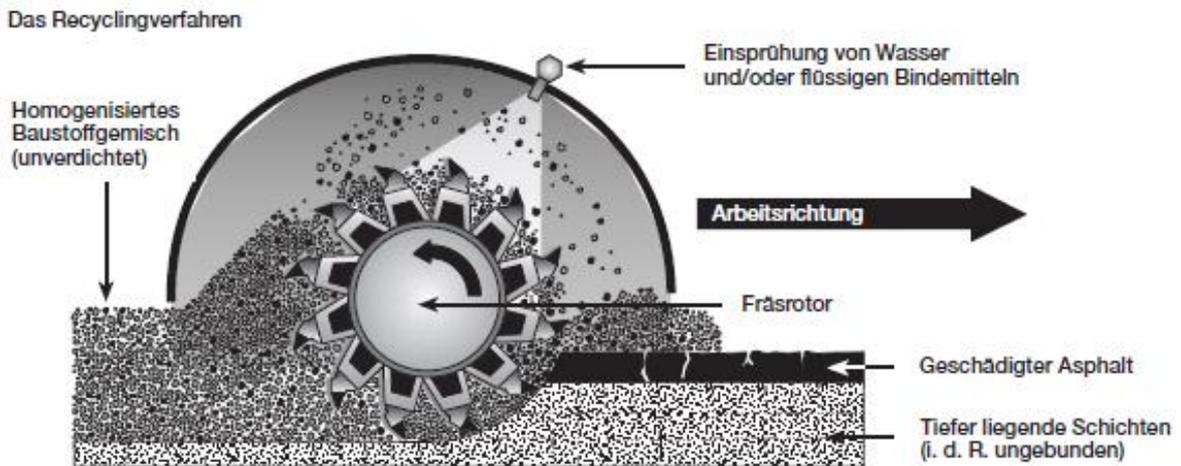


Abbildung 5: Das Recyclingverfahren⁴²

Ein Tankfahrzeug versorgt das Recyclinggerät durch einen Schlauch mit Wasser, das mikroprozessgesteuert in den Mischraum eingedüst wird. Auf dieselbe Weise können auch Bindemittel in flüssiger Form wie Zement-Wasser-Suspension oder Bitumenemulsionen zugegeben werden. In-situ Recycler besitzen auch eine Expansionskammer, wo Schaumbitumen erzeugt werden kann. Pulverförmige Bindemittel wie Zemente oder Tragschichtbinder werden vor dem Recycler auf die Straßenoberfläche von Hand oder häufiger durch Zementstreugeräte aufgestreut. Fräsgut und Bindemittel werden normalerweise in einem Arbeitsgang im Mischraum homogenisiert.

Die Zusammenstellung des Recyclingzuges variiert je nach den verwendeten Recyclingmaschinen und Bindemitteln. Die Geräte sind mit einer Schubstange verbunden und werden vom Recycler angetrieben. Abb. 6 zeigt einen Recyclingzug bei Verwendung von Zementsuspension.

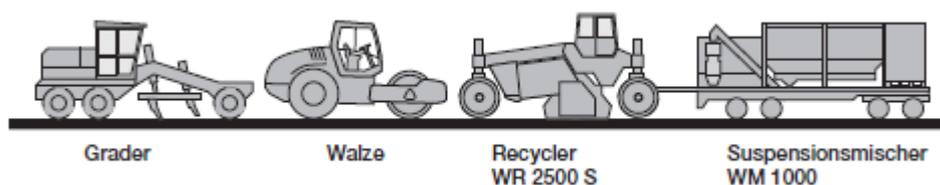


Abbildung 6: Typischer Recyclingzug beim Kaltrecycling unter Zugabe einer Zementsuspension⁴³

Ein Wassertankwagen ersetzt den Suspensionsmischer, wenn pulverförmige Bindemittel zum Einsatz kommen. Die KRC-Schicht wird mit einer schweren Vibrationswalze vorverdichtet, von einem Grader profiliert und am Ende mit Vibrations- und/oder Gummiradwalzen verdichtet.

Bei gleichzeitiger Verwendung von bitumenhaltigen und hydraulischen Bindemitteln wird ein Bitumentankwagen vor dem Suspensionsmischer angekoppelt (siehe Abb. 7).

⁴² Vgl. ebenda.

⁴³ Vgl. ebenda.

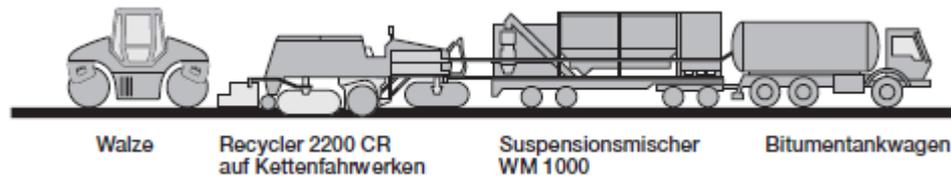


Abbildung 7: Typischer Recyclingzug beim Kaltrecycling unter Zugabe einer Zementsuspension und eines bitumenhaltigen Bindemittels⁴⁴

Wird Zement an der Straßenoberfläche aufgebracht, entfällt die Notwendigkeit von einem Suspensionsmischer und der Wassertankwagen wird an der Spitze des Zuges positioniert. Wenn ein Kaltrecycler mit einem Raupenfahrwerk und einer Einbaubohle benutzt wird, ist der Einsatz eines Graders im Regelfall nicht erforderlich.

4.2 Anwendungsbereich

Die Anwendungsmöglichkeiten von Kaltrecycling sind unten beschrieben.⁴⁵

Wenn nur die Asphaltbefestigung aufbereitet wird, sollen die folgenden Punkte berücksichtigt werden:⁴⁶

- *Art und Zusammensetzung des Fräsgutes (Asphaltsorte, Kornabstufung, Bindemittelgehalt, Bindemittelhärte, usw.);*
- *Art und Ursache der Schäden (Spurrinnenbildung, Rissbild);*
- *Ausmaß der Schäden (nur Deckschicht oder auch Einbeziehung tieferer Schichten);*
- *Ziel der Instandsetzung (Wiederherstellung des Gebrauchswertes).*

Am häufigsten wird der Asphalt zusammen mit einem Teil der ungebundenen Tragschicht recycelt. In solchen Fällen weist die Straßenbefestigung starke Rissen, Verformungen und/oder großflächige Substanzverlusten. Auch Straßen, die kalk- oder zementstabilisierten Schichten enthalten, können auf diese Weise aufbereitet werden.

Ungebundene Verkehrsflächen werden recycelt, indem man sie mit Bindemittel stabilisiert und mit Asphaltsschichten überbaut. Diese Bauweise findet Anwendung in Flächenstaaten mit geringer Besiedlungsdichte wie Nordamerika und Afrika sowie im land- und forstwirtschaftlichen Wegebau. Die Behandlung von Böden mit hydraulischen Bindemitteln oder Kalk nennt man Bodenverfestigung oder Bodenverbesserung.

Wenn ausgeprägte Ermüdungsrissen in den Asphaltsschichten vorhanden sind, können sie ohne Zugabe von Bindemitteln granuliert und verdichtet werden. Die so hergestellte ungebundene

⁴⁴ Vgl. ebenda.

⁴⁵ Ebenda, S. 33f.

⁴⁶ Vgl. ebenda.

Schicht wird mit Asphaltsschichten überbaut. Diese Methode verwendet man bei Straßen mit geringer Verkehrsbelastung.

KRC-Schichten werden nachbearbeitet, indem man sie mit Bitumenemulsion versiegelt und mit Splitt abstreut.

Kaltrecycling in situ kann in den folgenden Fällen nicht realisiert werden:

- **Bewehrung**
Bewehrte Befestigungen wie Betondecken können in situ nicht recycelt werden.
- **Schäden in den unteren Schichten**
Wenn die Schäden unter der Arbeitstiefe des Recyclers liegen, können die oberen Schichten in einer Mischanlage aufbereitet werden und die unteren Schichten in situ recycelt werden. Alternativ kann man eine Erneuerung im Tiefenbau realisieren.
- **Frostschutzschicht, Böden**
Bei Recycling von Asphaltbefestigung und ungebundenen Schichten darf keine Frostschutzschicht oder Boden mitgefräst werden.
- **Erhaltung der Bezugsliniehöhe**
Wenn die Höhe der Bezugslinie nicht geändert werden darf, sollen beim Kaltrecycling im Voraus die oberen Schichten bis zu einer bestimmten Tiefe entfernt werden. Man soll überprüfen, dass keine Frostschutzschicht oder Boden mitgefräst wird.
- **Örtliche Gegebenheiten⁴⁷**
Straßenbreiten, Kurvenradien, Steigungen, Bauwerke, Einbauten, Bewuchs o. Ä. können die Realisierung einer KRC-Baumaßnahme unmöglich machen.
- **Oberbaudimensionierung⁴⁸**
Bei höheren Verkehrsbelastungen und niedrigem Verformungsmodul der Unterlage ist die Anwendung des KRC-Verfahrens nicht sinnvoll.
- **Niedrige Temperaturen⁴⁹**
Das Erhärten des hydraulischen Bindemittels, das Brechen der Bitumenemulsion und die homogene Einmischung des Schaumbitumens erfordern eine bestimmte Mindesttemperatur. Unzulässige Temperaturen können im Winter, in Hochgebirgen und in einigen Klimazonen auftreten.

⁴⁷ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, 2005, S. 7.

⁴⁸ Ebenda, S. 20.

⁴⁹ Ebenda, S. 10f.

- **Andere Baumaßnahmen⁵⁰**
Wenn man das Fräsgut bei anderen Baumaßnahmen verwenden will, muss dies in einer Mischanlage aufbereitet werden.
- **Inhomogenes Material⁵¹**
Sehr inhomogenes Material dessen Korngrößenverteilung nur mit Ergänzungskörnungen nicht ausreichend korrigiert werden kann, muss in einer Mischanlage aufbereitet werden.
- **Wind**
Der Wind kann die pulverförmigen Bindemittel, die auf der Straßenoberfläche aufgestreut sind, verwehen.
- **Regen**
Niederschläge verursachen eine Übersteigerung des Gesamtwasseranteils im KRC-Gemisch.
- **Brücke**
Kaltrecycling in situ der Brückenbeläge darf nicht ausgeführt werden, weil die Hydroisolierung geschädigt werden kann.
- **Geonetze**
KRC-Baumaßnahmen können nicht realisiert werden, wenn in der geplanten Arbeitstiefe Geonetze vorhanden sind.

4.3 Planung und Ausführung der KRC-Baumaßnahme gemäß W KRC-Hb, Kapitel 6

Das *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch* dient als Praxisratgeber bei der Planung und Ausführung von KRC-Projekten.

4.3.1 Allgemeines

Bei der Planung von Kaltrecycling-Projekte wird eine Bauleistung von 5.000 m² pro Tag angenommen, wobei oft Bauleistungen bis zu 10.000 m² pro Tag realisiert werden können. Man soll überprüfen, dass:⁵²

- *alle Aspekte der Arbeit analysiert und realistisch geplant werden,*
- *mögliche Behinderungen des Baufortschritts erkannt werden,*
- *benötigte Materialien (wie Bindemittel) ständig auf ihre Verfügbarkeit und Qualität geprüft werden,*

⁵⁰ Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2006, S. 29.

⁵¹ Vgl. ebenda.

⁵² Ebenda, S. 99.

- *die Maschinenverfügbarkeit durch entsprechende Wartungsarbeiten sichergestellt wird*
- *das Personal ausreichend geschult ist,*
- *Belange der Arbeitssicherheit beachtet werden (z. B. bei Arbeiten mit heißem Bitumen).*

4.3.2 Die Planung des Recyclingvorhabens

4.3.2.1 Gerätschaften

Normalerweise kommen für Recyclingbaumaßnahmen Recycler, Walzen, Grader, Wassertankfahrzeug, Streuwagen und Bindemittel-Transporter zum Einsatz.

4.3.2.1.1 Recycler

Siehe Punkt 4.4.3.

4.3.2.1.2 Verdichtungsgeräte

Schwere Walzen (entweder mit Glattmantel- oder mit Schafffußbandage) mit hoher Vibrationsamplitude verdichten die ganze KRC-Schicht. Danach wird die profilgerechte Lage mit einem Grader wiederhergestellt. Die obere Zone der Schicht verdichtet man mit leichteren Walzen mit niedriger Amplitude. Bei Verwendung von Recyclern mit einer integrierten Bohle wird eine Glattmantelwalze mit Vibration von mindestens 16 t Betriebsgewicht benötigt. Am Ende kommt eine Gummiradwalze zum Einsatz. Die Dicke der KRC-Schicht und die Kornabstufung des Gemisches bestimmen den Walzentyp.

4.3.2.1.3 Tankfahrzeuge

Bei kleinen Projekten und schlechter Straßengeometrie (enge Kurven, größere Neigungen) benutzt man Geräte mit einem Fassungsvermögen zwischen 10.000 - 15.000 l, bei Großprojekten in flachem Gelände Geräte mit einem Fassungsvermögen von mehr als 20.000 l.

4.3.2.1.4 Geräte für die Zementzugabe

Die beste Homogenisierung des Gemisches erfolgt in Recycler mit Zwangsmischer. Recycler mit Fräsrotor realisieren eine Vermischung weder in Quer- noch in Längsrichtung. In diesem Fall nimmt das genaue Aufstreuen des pulverförmigen Bindemittels an Bedeutung zu. Zementstreuer können Zugabemengen unter 2 M.-% nicht ausreichend präzise dosieren, was die Verwendung eines Suspensionsmischers erforderlich macht.

4.3.2.2 Produktionsziel

Während eines Bautages soll ein ganzer Straßenabschnitt oder zumindest eine halbe Breite davon recycelt werden. Somit wird die Anzahl der nachfolgenden Überlappungen und die Anzahl von Beschilderungen bei nur teilweise fertig gestellten Straßenabschnitten reduziert.

4.3.2.3 Behinderungen

Die Vorschubgeschwindigkeit des Recyclers wird durch Schwankungen in der Schichtdicken geändert. Auch zeitliche oder temperaturbedingte Begrenzungen beim Einsatz bestimmter Bindemittel beeinflussen den Bauablaufplan. Deswegen sollen als auch die Einbau- und Verdichtungstechnik sowie die Nachbearbeitungsprozesse für jede neue Baustelle angepasst werden.

4.3.2.4 Geometrie

4.3.2.4.1 Längsnähte

Die Längsnähte sollen im Voraus auf die Fahrbahnbreite abgestimmt werden. Die Quernähte entstehen, wenn der Recyclingzug zum Stillstand kommt. Bei der Herstellung von Längsnähten sollen die folgenden Regeln berücksichtigt werden.⁵³

- Straßen mit Dachprofil sind in halben Breiten zu recyceln, damit die Recyclingtiefe konstant bleibt;
- Die vorige Einbaubahn wird im Regelfall rechts von den Nächsten positioniert. (Das hängt vom Recyclertyp ab);
- Die Mindestüberlappung soll erhöht werden, wenn die Schichtdicke mehr als 30 mm beträgt, ein grobkörniges KRC-Gemisches recycelt wird oder die vorige Bahn mit hydraulischen Bindemitteln und vor mehr als zwölf Stunden hergestellt wurde;
- Die Längsnähte und die Fahrspuren des späteren Verkehrs sollen versetzt sein;
- Es muss darauf geachtet werden, dass weder Streifen ohne Bindemittel noch Streifen mit der doppelten Zugabe von Bindemitteln hergestellt werden.

4.3.2.4.2 Längsnähte auf schmalen Straßen

Straßen mit einer Breite kleiner als 7 m können über ihre volle Breite recycelt werden. Beim Einsatz eines Recyclers mit 2,50 m breitem Fräs- und Mischrotor sollen 3 Einbaubahnen statt 4 geplant werden. Die zweite Bahn ist in der Mitte des Straßenquerschnittes positioniert. Dort findet ein „Verdünnungseffekt“ des Bindemittels statt. Deshalb soll die Zugabemenge an

⁵³ Ebenda, S. 102.

Bindemitteln leicht erhöht und die Frästiefe geringfügig reduziert werden. Der Scheitelpunkt ist mit einem Grader wiederherzustellen.

4.3.2.5 Verkehrsregelung

Die Verkehrsbehinderung beim Kaltrecycling ist oft geringer als beim konventionellen Verfahren. Die geringen Breiten der Baumaschinen ermöglichen das Sperren von nur einer Fahrspur.

4.3.2.6 Logistik

Kaltrecycling kann relativ schnell ausgeführt werden. Bei großen Projekten könnte es notwendig sein, dass die erforderliche Menge an Stoffen für den ganzen Bautag auf der Baustelle gelagert werden sollen. Auf die folgenden Punkte soll geachtet werden:⁵⁴

- Für die Beheizung von Bitumen benötigt man viel Energie. Ohne Heizung verliert das Bitumen ca. 1 °C pro Stunde;
- Bitumenemulsionen dürfen nicht unbegrenzt gelagert werden und in bestimmten Fällen sollen sie vorzeitig verwendet werden.
- Hydraulische Bindemittel verlieren Festigkeit unter ungünstigen Umständen. Silos und Behälter sollen gegen Feuchtigkeit geschützt sein.

4.3.2.7 Anforderungen an die fertige Schicht

Siehe Tab. 7.

4.3.2.8 Notwendige Schritte vor dem Recycling

Manchmal sind die folgenden Arbeitsschritte notwendig.⁵⁵

- *Beseitigung von Hindernissen (z. B. Kanaldeckel);*
- *Einbau neuer Abwasserrohre oder anderer, zusätzlicher Drainagevorrichtungen;*
- *Vorfräsen, um ein vorgeschriebenes Profil und/oder eine definierte Höhe der Oberfläche zu erzielen;*
- *Anliefern/Aufbringen von neuem Material auf die bestehende Straßenoberfläche.*

4.3.2.9 Spezielle Anforderungen vor der Verkehrsfreigabe

Die Zeit für die Nachbehandlung der fertigen KRC-Schicht mit Bitumenemulsion und Splitt soll berücksichtigt werden.

⁵⁴ Ebenda, S. 105.

⁵⁵ Ebenda, S. 106.

4.3.2.10 Bauablaufplan

Es ist einen Tagesplan, der die oben genannten Aspekte beinhaltet, zu erstellen.

4.3.3 Vorbereitende Arbeiten

Alle vorbereitenden Arbeiten sollen im Voraus ausgeführt werden. Auf diese Weise spart man Zeit und verhindert Unebenheiten in der fertigen Schicht, die beim Stillstand des Recyclingzuges entstehen.

4.3.3.1 Beseitigung von Hindernissen

Auf städtischen Straßen sind oft Kanalschächte und ähnliche Einbauten vorhanden, die vor dem Recyceln bis zu etwa 100 mm unterhalb der Recyclingtiefe ausgebaut und danach wiederhergestellt werden müssen.

4.3.3.2 Vorprofilieren

Wenn das Straßenprofil große Unebenheiten aufweist, soll ein Vorprofilieren ausgeführt werden. Mit der Profilkorrektur sichert man die gleichmäßige Verteilung von Bindemitteln und Feuchtigkeit. Setzungen im Untergrund sollen gesondert behandelt werden. Das Vorprofilieren umfasst die folgenden Methoden oder eine Kombination davon:⁵⁶

- *Aufbringen von Material in den Tiefpunkten der bestehenden Straßenoberfläche;*
- *Abfräsen von Hochpunkten;*
- *Granulieren der vorhandenen Schichten und Profilierung des losen Materials durch einen Grader;*
- *Bearbeitung der Oberfläche durch einen Grader (...) [wenn ungebundene Deckschicht mit ausreichender Dicke vorhanden ist].*

4.3.3.3 Material aufbringen

Zusätzliches Material wird aufgebracht, um ein schlechtes Oberflächenprofil zu korrigieren, die Korngrößenverteilung des KRC-Gemisches zu verbessern oder die spätere Straßenoberfläche anzuheben.

⁵⁶ Ebenda, S. 108.

4.3.3.4 Abfräsen

Um die vorhandene Höhe der Straßenoberfläche einzubehalten (meistens bei städtischen Straßen), soll die Deckschicht in den Hochpunkten oder auch vollständig abgefräst werden. Die folgenden Punkte haben Einfluss auf die Wahl der Frästiefe:⁵⁷

- Grobkörniges Ergänzungsmaterial erhöht die Dicke der KRC-Schicht und feine Gesteinskörnungen füllen die Hohlräume, wobei sie eine geringere Erhöhung der KRC-Schichtdicke bewirken;
- Bei Verwendung von hydraulischen Bindemitteln beobachtet man eine Volumenvergrößerung der KRC-Schicht bis zu 10 Vol.-%, weil die ehemalige Raumdichte nicht mehr erreicht werden kann (Anstieg des Hohlraumgehaltes). Dieser Effekt kann mit Einsatz von Bitumenemulsion beschränkt werden;
- Die Gesamtdicke der vorgesehenen Schichten, mit denen die KRC-Schicht überbaut werden soll.

4.3.3.5 Granulieren (Vorfräsen)

Man granuliert eine vorhandene Befestigung vor dem Herstellen der KRC-Schicht, wenn die Oberfläche wesentliche Unebenheiten aufweist. In anderen Fällen können feste oder dicke Schichten aus harten, bitumengebundenen und/oder hydraulisch gebundenen Baustoffen die Recyclinggeschwindigkeit stark herabsetzen. Vorgefräst wird auch, wenn eine zusätzliche Durchmischung des KRC-Gemisches notwendig ist, um seine Homogenität zu verbessern. Das ist nicht erforderlich, wenn das Recyclinggerät mit einem Zwangsmischer ausgerüstet ist.

Beim Granulieren werden normalerweise keine Bindemittel und Wasser verwendet. Man soll darauf achten, dass die Frästiefe nicht überschritten wird. Weiters wird beim zweiten Übergang 5 cm tiefer gefräst, damit kein unverdichtetes und ungebundenes Material unterhalb der KRC-Schicht entsteht (siehe Abb. 8 und Abb. 9).

⁵⁷ Ebenda, S. 109.

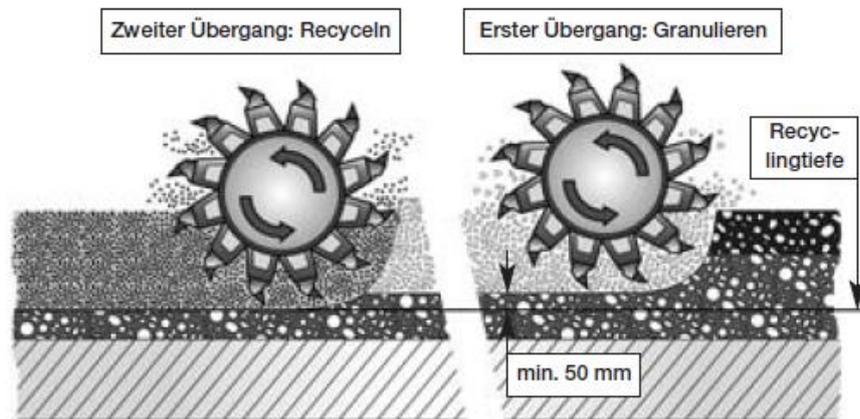


Abbildung 8: Richtige Granulierungstiefe⁵⁸

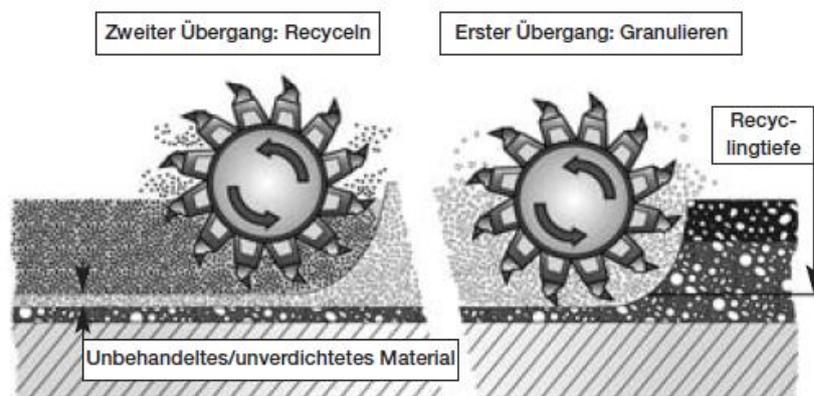


Abbildung 9: Falsche Granulierungstiefe⁵⁹

Diese Zwischenschicht wird von dem Verkehr nachverdichtet und führt zum vorzeitigen Versagen der Straßenbefestigung, weil sie keine Schubkräfte übertragen kann. Um diese Gefahr zu vermeiden, kann das Fräsgut vor dem Herstellen der KRC-Schicht nachverdichtet werden. Ein Verzicht des Granulierens ist zu empfehlen, wenn das möglich ist.

4.3.4 Der Recyclingvorgang

4.3.4.1 Einrichten des Recyclingzuges

Vor dem Recycling sind die folgenden Schritte durchzuführen:⁶⁰

- Überprüfung aller Gerätschaften;
- Temperaturmessungen;
- Überprüfung der benötigten Bindemittel- und Wassermengen bzw. Ergänzungstoffe;
- Kontrolle der Schub- und/oder Zugstangen am Recyclingzug;

⁵⁸ Ebenda, S. 110.

⁵⁹ Vgl. ebenda.

⁶⁰ Ebenda, S. 111.

- *Kontrolle aller Zufuhrleitungen am Recycler. Das System ist zu entlüften und alle Ventile sind voll zu öffnen;*
- *Eingabe der Bindemitteldaten in den Computer des Recyclers;*
- *Deutliche Markierung der gesamten Bahnlänge.*

4.3.4.2 Probefeld

Die Ausführung eines Probefeldes bietet die folgenden Vorteile:⁶¹

- Man kann die tatsächliche Korngrößenverteilung auf der Baustelle feststellen und diese mit den Ergebnissen der Eignungsprüfung vergleichen;
- Die Umdrehungszahl der Fräswalze und die Vorschubgeschwindigkeit des Recyclers können so eingestellt werden, dass eine bessere Homogenisierung des Mischgranulates erfolgt. Einige Recycler besitzen Brecherleiste (auch „Niederhalter“ genannt), die sich vor dem Fräs- und Mischraum befindet. Mit ihrer Hilfe kann die maximale Korngröße begrenzt werden. Ein hinteres Schild, kann das Mischgut im Fräs- und Mischraum vollständig einschließen, um das Granulieren und Durchmischen zu fördern;
- Am Probefeld können verschiedene Verdichtungstechniken beprobt werden;
- Die tatsächliche Volumenzunahme des Fräsgutes kann gemessen werden.

4.3.4.3 Recycling

Die folgenden Überprüfungen werden beim Einbau durchgeführt:⁶²

- Die Frästiefe auf beiden Seiten des Recyclers kann mit Höhenkontrollpfosten überprüft werden;
- Das Recycling der korrekten Spur und die Überlappungsbreite können mit einer Richtschnur oder Leitdraht gewährleistet werden;
- Die günstigste Vorschubgeschwindigkeit liegt zwischen 6 - 12 m/min und hängt von der Frästiefe, dem Mischgranulat und den Bindemitteln ab;
- Schnellbestimmung des Wasseranteils von Hand;
- Beurteilung der Fräsguthomogenität nach Augenschein.

Recycler mit breiten Fräsen können eine halbe Straßenbreite auf einmal aufbereiten. Alternativ können Recycler mit kleineren Fräsbreiten gestaffelt fahren, damit man sie nicht rücksetzen muss (siehe Abb. 10).

⁶¹ Vgl. ebenda.

⁶² Ebenda, S. 112.



Abbildung 10: Recycling mit zwei hintereinander fahrenden Zügen⁶³

Die meisten Projekte werden mit einem Recycler ausgeführt, jedoch bei größeren Baumaßnahmen werden mehrere Baugeräte eingesetzt. Die Länge des zu recycelnden Bahnabschnittes ist kürzer bei Verwendung von hydraulischen Bindemitteln, weil die KRC-Schicht vor dem Erhärten des Zementes bearbeitet werden muss. Beim Einsatz von Bitumenemulsion oder Schaumbitumen wird die Abschnittslänge von der Kapazität der verwendeten Tankfahrzeuge bestimmt.

Die Verwendung von Stabilisierern und Fräsrecyclern führt zu einer Verlagerung des KRC-Gemisches bei Gefällen von mehr als 4%. Dann soll man die Schicht mit einem Grader profilieren oder die Überlappungsbreite erhöhen. Strecken mit steilem Gefälle sind immer abwärts zu recyceln, weil der ganze Recyclingzug von dem Recycler angetrieben wird.

4.3.4.4 Quernähte

Quernähte entstehen bei jedem Stillstand des Recyclingzuges und können eine Unter- oder Überdosierung von Bindemitteln oder Wasser verursachen. Wenn die Versorgungsschläuche nicht richtig entlüftet sind, wird kein Wasser und/oder Bindemittel auf den ersten Fahrmeter zugegeben. Bei extrem langsamer Vorschubgeschwindigkeit ($< 2 \text{ m/min}$) wird die Zugabemenge zu klein, um sie sachgemäß dosieren zu können. In diesem Fall soll der Recyclingzug mindestens um den Durchmesser der Fräswalze (etwa 1,5 m) zurückgesetzt werden.

4.3.4.5 Profilgerechte Lage

Es empfiehlt sich, Geräte mit integrierter Einbaubohle zu verwenden. Eine zweite Variante ist der Einsatz eines Graders bei Kaltrecycling mit Stabilisierer. Weiters kann das Oberflächenprofil auch beim Einbau der darüber liegenden Asphaltsschichten ausgeglichen werden.

⁶³ Vgl. ebenda.

4.3.4.6 Verdichtung

Eine ausreichende Verdichtung der KRC-Schicht sichert gegen Verformungen der Straßenbefestigung, Eindringen von Wasser (Feuchtigkeits- und Frostschäden) sowie beeinflusst das Alterungsverhalten bitumenhaltiger Bindemittel und den Erhärtungsprozess von Zementen vorteilig.

4.3.4.7 Verdichtungsanforderungen

Der Proctorversuch und der Verdichtungsgrad sind im Punkt 5.3.9 und Punkt 5.3.20 beschrieben. Wenn der Wassergehalt des Mischgutes bis etwa 2% unter dem Optimum liegt, ist es jedoch möglich mit einem zusätzlichen Verdichtungsaufwand die erforderliche Raumdichte zu erreichen. Bei Wasseranteilen über dem optimalen Wert wird die Verdichtungsenergie über das Wasservolumen abgetragen, es entsteht ein hydrostatischer Spannungszustand und die Gesteinskörnungen werden auseinandergedrückt, was ein Absenken des Verdichtungsgrades zur Folge hat. Mögliche Maßnahmen in diesem Fall sind das Aufrissen der Schicht, um das Material abzutrocknen, oder das Aufstreuen von Weißfeinkalk, um das Wasser zu entziehen.

4.3.4.8 Weitere Einflüsse auf den Verdichtungsgrad

Die hohe Tragfähigkeit der Unterlage ist Voraussetzung für die ausreichende Verdichtung der KRC-Schicht. Während des Kaltrecyclings können die Eigenschaften der Unterlage kaum geändert werden.

Schwankungen in der Zusammensetzung des KRC-Gemisches verursachen wesentliche Abweichungen der Proctordichte, wobei zusätzliche Proctorversuche notwendig werden. Oft sind Ergänzungskörnungen erforderlich, um die Verdichtungswilligkeit positiv zu beeinflussen. Der Wasseranteil ist regelmäßig zu kontrollieren. Bei hohen Außentemperaturen kann Wasser vor dem letzten Walzübergang zugegeben werden.

Bei der Flächendeckenden Verdichtungskontrolle (FDVK) misst man kontinuierlich die Reaktion des Baugrundes auf die eingeleitete Verdichtungsenergie. Mit Hilfe von GPS oder einer Feststation kann festgestellt werden, ob eine bestimmte Stelle einen zusätzlichen Verdichtungsaufwand braucht oder nicht, wobei der Effekt des „Überwalzens“ verhindert wird.

Zum Einsatz kommt eine schwere Glattmantelwalze mit Vibration von mindestens 16 t Gewicht oder ein schwerer Walzenzug (> 15 t statische Masse) mit regulierbarer Vibrationsfrequenz und -amplitude. Mit niedriger Amplitude kann der untere Bereich der Schicht nicht ausreichend verdichtet werden, daher sind Walzübergänge mit einer hohen Amplitude erforderlich.

Wenn man mit Recycler ohne Einbaubohle arbeitet, können Auflockerungen des Materials an der Schichtoberfläche auftreten. Die Sollhöhe ist mit einem Grader herzustellen. Bei Recyclern

auf Radfahrwerke erfolgt eine Vorverdichtung des Fräsgutes in den Radspuren, wobei unverdichtetes Material dazwischen bleibt (siehe Abb. 11).

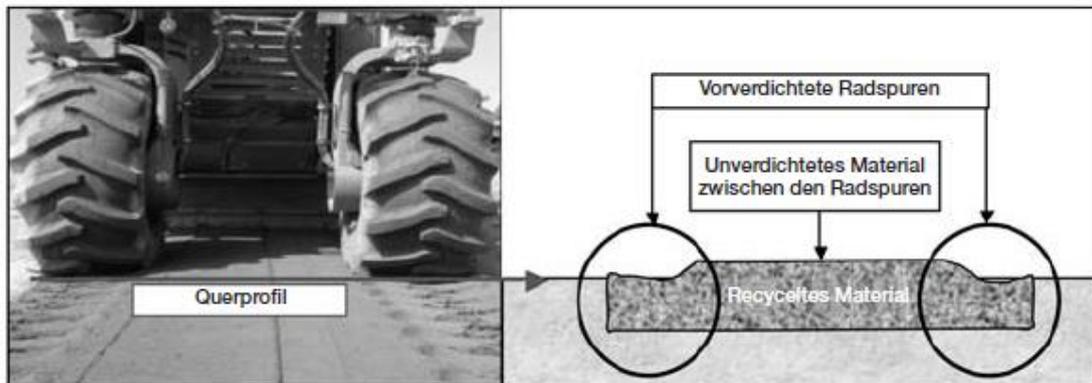


Abbildung 11: Vorverdichtung des Materials hinter dem radgeführten Recycler⁶⁴

Es ist eine Walze zu verwenden, um das Material zwischen den Radspuren vorzuverdichten. Alternativ kann man Recycler auf Kettenfahrwerke, bei denen das eingebaute und verdichtete Mischgut nicht überfahren wird, verwenden.

4.3.5 Nachbehandlung

Eine Nachbehandlung der KRC-Schicht ist notwendig, wenn sie vor dem Einbau der darüberliegenden Schichten befahren werden soll. Die Art der erforderlichen Schutzmaßnahme hängt von der erreichten Tragfähigkeit und der aufzunehmenden Verkehrsbelastung ab. Die Schicht wird durch das Aufbringen von Brechsand-Splitt-Gemisch oder besser durch die Versiegelung der Oberfläche mit Bitumenemulsion und das Abstreuen von Splitt geschützt.

4.3.6 Qualitätskontrolle

Mit den Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen beweist der Auftraggeber und der Auftragnehmer, dass die Anforderungen an die fertige Kaltrecycling-Schicht erfüllt sind, wobei ihre Qualität gesichert wird (siehe Punkt 4.4.5.2 und Punkt 4.4.5.3).

4.4 Kaltrecycling in Deutschland gemäß *M KRC*

In Deutschland gilt das *Merksblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau, Ausgabe 2005* (verkürzt *M KRC*). Dieses Kapitel fasst die Vorgehensweise und Regeln bei der Planung und Ausführung von Kaltrecycling-Baumaßnahmen gemäß der obengenannten Norm zusammen.

Im Fall vom pechhaltigen Material in der Straßenkonstruktion sind den *Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen* sowie

⁶⁴ Ebenda, S. 118.

für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, Ausgabe 2001 (verkürzt RuVA-StB 01) zu folgen.

4.4.1 Baustoffe, Baustoffgemische

4.4.1.1 Allgemeines

Das Mischgranulat wird aus Ausbauasphalt, pechhaltigen Ausbaustoffen und Gemischen aus Gesteinskörnungen, die vorwiegend vor Ort vorhanden sind, hergestellt. Zur Anwendung kommen bitumenhaltige Bindemittel, hydraulische Bindemittel oder Kombinationen aus beiden. Das *M KRC* unterscheidet je nach der Bindemittelkombination und den erreichbaren E-Moduli zwischen bitumen-dominanten KRC-Gemischen (Bindungstyp B1) und hydraulisch-dominanten KRC-Gemischen (Bindungstyp B2)⁶⁵. Der E-Modul wird nach 28 Tagen gemäß Punkt 5.3.16 bei 5 °C bestimmt. Bitumen-dominante KRC-Gemische weisen einen E-Modul zwischen 3.000 - 7.000 MN/m² auf, bei hydraulisch-dominanten KRC-Gemischen liegt dieser zwischen 7.000 - 12.500 MN/m². Es ist darauf zu achten, dass ein bitumen-dominantes KRC-Gemisch mit Zugabe von hydraulischen Bindemitteln entstehen kann, wenn die Mengen von Ausbauasphalt groß sind.

4.4.1.2 Mischgranulat⁶⁶

Es gibt folgende Anforderungen an das Mischgranulat:

- stetige Stückgrößenverteilung;
- 45 mm Größtkorn;
- 10 M.-% maximaler Überkornanteil.

Bei bitumen-dominanten Gemischen gelten zusätzlich:

- Kornanteil < 0,09 mm zwischen 2 - 10 M.-%;
- Siebdurchgang bei 2 mm mindestens 20 M.-%.

Bei Gemischen mit Schaumbitumen gelten zusätzlich:

- Kornanteil < 0,063 mm zwischen 3 - 12 M.-%;
- Siebdurchgang bei 2 mm mindestens 25 M.-%.

Die Ergänzungsstoffe sollen die Anforderungen der *TL Gestein-StB* erfüllen.

⁶⁵ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, 2005, S. 7.

⁶⁶ Ebenda, S. 9.

4.4.1.3 Bindemittel

4.4.1.3.1 Bitumenhaltige Bindemittel

4.4.1.3.1.1 Bitumenemulsionen

Die Bitumenemulsionen sollen der *DIN EN 13808* entsprechen und das Bitumen darin der *DIN EN 12591*. Für KRC-Gemische sind die folgenden Eigenschaften von Bitumenemulsionen empfohlen:

- kalt verarbeitbar;
- glatte, homogene, dünnflüssige äußere Beschaffenheit mit bräunlicher Farbe;
- Bitumensorte 50/70 oder 70/100 nach *DIN EN 12591*;
- Bitumengehalt zwischen 60 - 65 M.-%;
- pH-Wert < 3 bei kationischer Ladungsart;
- pH-Wert > 9 bei anionischer Ladungsart;
- Ausflusszeit < 12 s bei 20 °C gemäß *DIN EN 12846-1*;
- ohne Löse- und Fluxmittel;
- Abschluss des Brechvorgangs frühestens nach 1 Stunde;
- Verträglichkeit mit Mineralstoffen sowie mit Zement beim Bindungstyp B1 und B2;
- Beim Bindungstyp A nur kationische Ladungsart, beim B1 vorzugsweise kationische Ladungsart, beim B2 ohne Beschränkungen auf die Ladungsart.

Für andere kaltverarbeitbaren Bindemittel ist der Nachweis ihrer Eignung erforderlich.

4.4.1.3.1.2 Schaumbitumen

Für die Herstellung von Schaumbitumen wird Straßenbaubitumen der Sorte 50/70 und 70/100 gemäß *DIN EN 12591* und kaltes Wasser verwendet. Die Wassermenge beträgt 2 - 4% der Bitumenmenge. Es wird eine Expansionskammer benutzt (siehe Abb. 12) mit einem Druck von mindestens 3 bar und Temperaturen von ca. 170 - 180 °C. In den Bitumenstrom wird gleichzeitig Wasser zugegeben und Luft eingedüst. Das Schaumbitumen verlässt die Expansionskammer mit Temperaturen von ca. 80 - 100 °C.

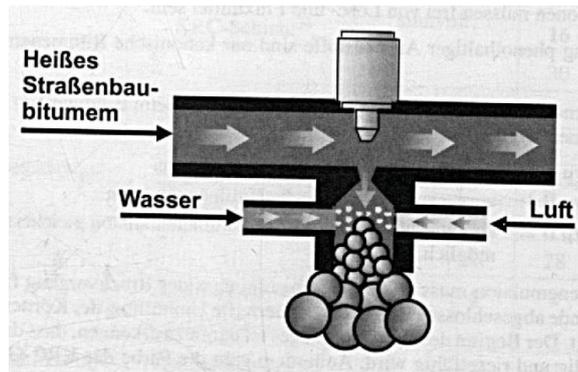


Abbildung 12: Schaumbitumenherstellung in einer Expansionskammer⁶⁷

Die folgende Tabelle veranschaulicht den Einfluss der Bitumentemperatur, der Wassermenge und des Bitumendrucks auf die Eigenschaften des Schaumbitumens.

Faktoren\Schaumbitumenkennwerte	Expansion	Halbwertzeit
höhere Bitumentemperatur	Erhöhung	Erhöhung
größere Wassermenge	Erhöhung	Reduzierung
niedriger Bitumendruck	Reduzierung	Reduzierung

Tabelle 3: Steuerung der Schaumbitumeneigenschaften

Laut MKRC darf die Expansion nicht kleiner des 10-fachen des Ausgangsvolumen und die Halbwertzeit nicht kleiner als 10 s sein⁶⁸. Die Halbwertzeit ist die Zeitspanne zwischen dem maximalen und die Hälfte des maximalen Volumens (siehe Abb. 13). Es dürfen im Bindemittel auch keine Antischaummittel vorhanden sein.

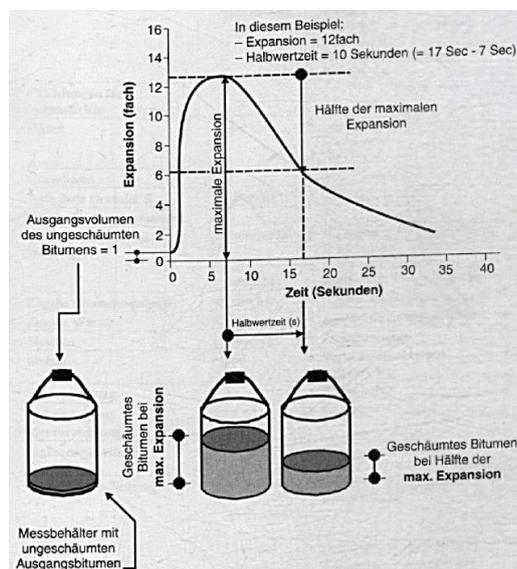


Abbildung 13: Schematische Veranschaulichung von Expansion und Halbwertzeit⁶⁹

⁶⁷ Ebenda, S. 22.

⁶⁸ Vgl. ebenda.

⁶⁹ Ebenda, S. 23.

4.4.1.3.2 Hydraulische Bindemittel

Hydraulische Bindemittel nach *DIN EN 197-1* können im Unterschied zu denen gemäß *DIN 18506* ohne Eignungsnachweis verwendet werden.

Zemente werden aus Kalkstein und Ton oder Kalkmergel durch Feinmahlen, Mischen und Brennen hergestellt. Das Brennprodukt nennt man Klinker. Er wird sehr fein gemahlen ($\varnothing < 0,001 \text{ mm}$) und erhärtet beim Kontakt mit Wasser.⁷⁰

Hydraulische Boden- und Tragschichtbinder sind kalk- oder zementähnliche Bindemittel, die aus Portlandzement, Kalken und anderen Stoffen bestehen. Sie erhärten sowohl an der Luft als auch hydraulisch. Im Straßenoberbau verwendet man vorwiegend HRB 12,5 E und HRB 32,5 E.⁷¹

4.4.1.3.3 KRC-Gemisch

Die Inhaltsstoffe für ein KRC-Gemisch sind Mischgranulat nach Punkt 4.4.1.2, Bindemittel(n) nach Punkt 4.4.1.3 und Wasser. *Das KRC-Gemisch muss homogen durchmischt und gleichmäßig mit Bindemittel umhüllt sein.*⁷²

4.4.2 Projektentwurf

4.4.2.1 Möglichkeit zur Ausführung

Zuerst soll überprüft werden, ob die Ausführung der Straßenarbeiten nach dem Kaltrecyclingverfahren möglich ist. Eine Liste mit Ausschlüssen ist im Punkt 4.2 angeführt.

4.4.2.2 Bestandserfassung

Es sind die vorhandenen Schichtenfolge und die Zusammensetzung und Eigenschaften der Baustoffe bis zu der maximalen Bearbeitungstiefe der Geräte zu bestimmen. Dafür benutzt man eine Baudokumentation. Zusätzlich können Bohrkerne entnommen und/oder Schürfe gegraben werden. Weiters soll die vorhandene Tragfähigkeit der Unterlage ermittelt werden (siehe Punkt 5.3.2). Auch eine Frostsicherheitsuntersuchung des Untergrundes kann notwendig sein. Die gesammelten Daten werden bei der Oberbaudimensionierung und beim Entwurf der Rezept benutzt.

⁷⁰ STRAUBE, Edeltraud; KRASS, Klaus: *Straßenbau und Straßenerhaltung*, 2009, S. 104.

⁷¹ Ebenda, S. 107.

⁷² Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, 2005, S. 10.

4.4.2.3 Oberbaudimensionierung

Homogene Abschnitte werden mit Hilfe von visuellen Einschätzungen und den bei der Bestandserfassung durchgeführten Tragfähigkeitsprüfungen der Unterlage bestimmt.

Die folgende Tabelle lässt die Bestimmung der Schichtdicke nach der vorhandenen Tragfähigkeit in der Bearbeitungstiefe und der Bauklasse erkennen.

Verformungsmodul der Unterlage	Schicht	Bau- klasse III	Bau- klasse IV	Bau- klasse V	Bau- klasse VI	
		Schichtdicken [cm]				
$E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$	Asphaltdeckschicht	Anwendung nicht sinnvoll!			4	10 ¹⁾²⁾
	Asphaltbinderschicht				-	-
	Asphalttragschicht				10 ¹⁾	-
	KRC-Schicht ³⁾				16	16
	Σ				30	26
$E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$	Asphaltdeckschicht	4	4	4	8 ¹⁾²⁾	
	Asphaltbinderschicht	6	-	-	-	
	Asphalttragschicht	8 ¹⁾	10 ¹⁾	8 ¹⁾	-	
	KRC-Schicht	18	18	16	16	
	Σ	36	32	28	24	
$E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$	Asphaltdeckschicht	4	4	4	6 ¹⁾²⁾	
	Asphaltbinderschicht	4	-	-	-	
	Asphalttragschicht	6 ¹⁾	8 ¹⁾	6 ¹⁾	-	
	KRC-Schicht	20	18	16	16	
	Σ	34	30	26	22	
$E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$	Asphaltdeckschicht	4	4	4	6 ¹⁾²⁾	
	Asphaltbinderschicht	-	-	4 ¹⁾	-	
	Asphalttragschicht	8 ¹⁾	6 ¹⁾	-	-	
	KRC-Schicht	20	18	16	14	
	Σ	32	28	24	20	

¹⁾ Mindestschichtdicke der unteren Asphalttschicht, die als Ausgleichsschicht gemäß ZTV T-StB bzw. ZTV Asphalt-StB vorzusehen ist

²⁾ Tragdeckschicht

³⁾ vorzugsweise hydraulisch-dominante Bindung der KRC-Schicht

Tabelle 4: Anwendungsbeispiele⁷³

In der Tabelle ist zu sehen, dass Kaltrecycling in situ bei der Bauklassen SV, I und II mit hoher Verkehrsbelastung nicht verwendet wird. Grund dafür ist die erhöhte Ermüdungsrissgefahr. Diese Risse entstehen an der Schichtunterseite im gebundenen Material, wo die Biegung der Konstruktion durch die Fahrzeuge wiederholte Zugdehnungen verursacht und im Laufe der Zeit die Straßenoberfläche erreicht.

Bei wenig tragfähigem Untergrund sind Maßnahmen wie Bodenaustausch oder Bodenstabilisation erforderlich. In diesem Fall ist das Verfahren nicht realisierbar.

Das *M KRC* beschränkt die Dicke der KRC-Schicht auf 20 cm (in Ausnahmefällen 22 cm)⁷⁴. Heute gibt es Geräte, die Bodenmaterial bis zu 56 cm sowie Asphalttschichten bis zu 25 cm tief recyceln können.⁷⁵ Um zu überprüfen, ob größere Dicken und Anwendung bei höheren

⁷³ Ebenda, S. 20.

⁷⁴ Ebenda, S.10.

⁷⁵ Witrgen GmbH: *Die neue Generation Kaltrecycler und Bodenstabilisierer WR Baureihe*, 2013, S. 10, S. 15.

Bauklassen möglich sind, sind rechnerische Verfahren für Oberbaudimensionierung (*RDO Asphalt*) zu verwenden.

Zuletzt ist zu überprüfen, ob die Gesamtdicke des Oberbaues ausreichend für die Gewährleistung der Frostsicherheit ist.

Tabelle 4 gibt auch Empfehlungen über die Art der Bindemittel.

4.4.2.4 Rezeptentwurf

Die Zusammensetzung des Mischgranulates und die Tragfähigkeit der Unterlage bestimmen die Bindemittelkombination wie folgt:⁷⁶

„Eine bitumen-dominante Bindung kann angewendet werden:

- *bei hohen Asphaltanteilen in der zu bearbeitenden Schicht bzw. in dem zu verarbeitendem Material;*
- *bei Materialien mit gut abgestufter Korn-/Stückgrößenverteilung (entweder vorhanden oder nach Zugabe von Ergänzungstoffen erreichbar);*
- *bei Konstruktionen, die einen flexiblen Aufbau benötigen;*
- *bei hoher Tragfähigkeit der Unterlage.*

Eine hydraulisch-dominante Bindung ist zweckmäßig:

- *bei ungünstiger Korn-/Stückgrößenverteilung (z. B. fehlende Grobkornanteile, zu hohe Feinkornanteile usw.);*
- *bei fehlenden Möglichkeiten zur Verbesserung der Korn-/Stückgrößenverteilung;*
- *bei starken Schwankungen in der Zusammensetzung des zu verarbeitenden Materials sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung;*
- *bei geringer Tragfähigkeit der Unterlage.“*

Auch die Vorgaben des Auftraggebers, die Verkehrsbeanspruchungen, die Art der Überbauung der KRC-Schicht sowie die örtlichen, klimatischen und topographischen Bedingungen sind von großer Bedeutung bei der Wahl des Bindemittels bzw. der Bindemittelkombination.

Weiters soll der Bindemittelgehalt bestimmt werden. Das erfolgt bei der Eignungsprüfung und beinhaltet die Untersuchungen am Mischgranulat und KRC-Gemisch, die Herstellung, Lagerung und Prüfung der Probekörper als auch die Auswertung und Beurteilung der Untersuchungsergebnisse. Auf diese Weise wird die Eignung der Baustoffe und Baustoffgemische bewiesen. Eine ausführliche Beschreibung finden Sie im Punkt 4.4.5.1.

⁷⁶ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merckblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, 2005, S. 8.

4.4.2.5 Wahl der Bauverfahrenstechnik

Um die Anforderung an eine möglichst hohe Homogenität des KRC-Gemisches zu erfüllen, sind leistungsfähigen Maschinen zum Dosieren, Mischen und Einbauen zu wählen.

4.4.3 Bauausführung

Die Kaltrecycling-Geräte können in zwei Gruppen unterteilt werden. Die Stabilisierer und Fräsrecycler verfügen über Fräsen mit konstanter Arbeitsbreiten, die gleichzeitig die zerkleinerten Straßenschichten mischen. Dabei findet fast keine Quermischung statt. Weiters entstehen oft große Überlappungen wegen der konstanten Fräsbreite, weshalb besondere Maßnahmen notwendig sind (siehe Punkt 4.3.2.4.2). Deswegen ist die zweite Gruppe von Baumaschinen zu bevorzugen. Sie inkludiert die Kaltrecycler und Mixpaver, die mit variabler Arbeitsbreite und Zwangsmischer ausgerüstet sind. Die Geräte zur Herstellung von KRC-Schichten sind in Tab. 5 zusammengefasst.

Systembezeichnung	Stabilisierer	Fräsrecycler	Kaltrecycler	Mixpaver Variante A	Mixpaver Variante B
Gerätekonfiguration	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisierer auf Radfahrwerk • Suspensionsmischer¹⁾ auf Radfahrwerk • Grader • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • modifizierte Großfräse auf Raupenfahrwerk • Suspensionsmischer¹⁾ auf Radfahrwerk • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kompaktgerät mit Raupenfahrwerk • Suspensionsmischer¹⁾ auf Radfahrwerk • Großfräse mit Niederhalter (vorlaufend) • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahmegerät mit Brecher auf Raupenfahrwerk • Mixpaver mit Puffersilo und integriertem Suspensionsmischer¹⁾ auf Raupenfahrwerk • Großfräse (vorlaufend) • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Mixpaver mit Aufnahmevorrichtung für zu recycelndes Material auf Radfahrwerk • Suspensionsmischer¹⁾ auf Radfahrwerk • Großfräse mit Niederhalter (vorlaufend) • Lkw zur Beschickung • Walzen
Vorrichtungen für Arbeitsschritte					
- Fräsen	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsrotor zwischen den Achsen • Gleich- und Gegenlauf 	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsrotor zwischen den Raupenfahrwerken • Gegenlauf 	<ul style="list-style-type: none"> • vorlaufende Großfräse mit Niederhalter • Gegenlauf 	<ul style="list-style-type: none"> • vorlaufende Großfräse • Gegenlauf 	<ul style="list-style-type: none"> • vorlaufende Großfräse mit Niederhalter • Gegenlauf
- Granulieren	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsrotor 	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsrotor 	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsrotor 	<ul style="list-style-type: none"> • intergrierter Brecher 	<ul style="list-style-type: none"> • evtl. stationäre Brechanlage
- Aufnahme Granulat	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Fräs- und Aufnahmegerät 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahmegerät mit Brecher 	<ul style="list-style-type: none"> • Ladeband der Großfräse
- Zugabe Ergänzungsmaterial	- ₂₎	- ₂₎	<ul style="list-style-type: none"> • per Lkw in Aufnahmekübel 	- ₂₎	- ₂₎₃₎
- Zugabe hydraulisches Bindemittel	<ul style="list-style-type: none"> • Düsen im Fräsrotorraum für Suspension 	<ul style="list-style-type: none"> • Düsen im Fräsrotorraum für Suspension 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer für Suspension 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer für Suspension • Zellenradschleuse zur wahlweisen Trockenzugabe 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer für Suspension • Zellenradschleuse zur wahlweisen Trockenzugabe
- Zugabe Bitumenemulsion	<ul style="list-style-type: none"> • Düsen im Fräsrotorraum 	<ul style="list-style-type: none"> • Düsen im Fräsrotorraum 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer
- Zugabe Wasser	<ul style="list-style-type: none"> • Düsen im Fräsrotorraum 	<ul style="list-style-type: none"> • Düsen im Fräsrotorraum 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer
- Mischen	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsrotor 	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsrotor 	<ul style="list-style-type: none"> • Zweiwellenzwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Zweiwellenzwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Zwangsmischer
- Einbau	<ul style="list-style-type: none"> • Grader 	<ul style="list-style-type: none"> • Verteilerschnecke und Einbaubohe 	<ul style="list-style-type: none"> • Verteilerschnecke und Einbaubohe 	<ul style="list-style-type: none"> • Verteilerschnecke und Einbaubohe 	<ul style="list-style-type: none"> • Verteilerschnecke und Einbaubohe
- Vorverdichtung	-	<ul style="list-style-type: none"> • Einbaubohe 	<ul style="list-style-type: none"> • Einbaubohe 	<ul style="list-style-type: none"> • Einbaubohe 	<ul style="list-style-type: none"> • Einbaubohe
- Endverdichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Walzen
Dosierveorrichtungen					
- Ergänzungsmaterial	- ₄₎	- ₄₎	<ul style="list-style-type: none"> • Bandwaage zur massenmäßigen Dosierung 	- ₄₎	- ₄₎
- Hydraulisches Bindemittel	<ul style="list-style-type: none"> • Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig) 	<ul style="list-style-type: none"> • Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig) 	<ul style="list-style-type: none"> • Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig) 	<ul style="list-style-type: none"> • Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig) • Zellenradschleuse bei Trockenzugabe 	<ul style="list-style-type: none"> • Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig)
- Emulsion	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch)
- Wasser	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch)
Erfassung Gesamtmenge Mischgranulat	<ul style="list-style-type: none"> • volumetrisch über Schichtdicke 	<ul style="list-style-type: none"> • volumetrisch über Schichtdicke 	<ul style="list-style-type: none"> • volumetrisch über Schichtdicke 	<ul style="list-style-type: none"> • über Bandwaage 	<ul style="list-style-type: none"> • über Bandwaage
Geräteparameter					
- Arbeitsbreite	<ul style="list-style-type: none"> • starr 2,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> • starr 2,0 m 	<ul style="list-style-type: none"> • variabel 3,0-4,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> • variabel 3,0-4,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> • variabel 2,5-4,5 m
- Arbeitstiefe (max.)	<ul style="list-style-type: none"> • 0,50 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,26 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,26 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,26 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,26 m
- Größtkornbegrenzung	<ul style="list-style-type: none"> • nein 	<ul style="list-style-type: none"> • nein 	<ul style="list-style-type: none"> • nein 	<ul style="list-style-type: none"> • ja, durch Brechen 	<ul style="list-style-type: none"> • nein (entl. durch stationäre Brechanlage)

¹⁾ zur Herstellung von Suspension aus hydraulischem Bindemittel und Wasser ²⁾ durch vorheriges Aufbringen mittels Grader oder Fertiger ³⁾ vor dem Fräsen ⁴⁾ volumetrische Dosierung durch Dicke der vorgängig aufgetragenen Schicht

Tabelle 5: Geräteübersicht, Stand 2005⁷⁷

⁷⁷ Ebenda, S. 25.

Nach dem *M KRC* gelten folgende Regeln für die Bauausführung:⁷⁸

- Bauarbeiten mit hydraulischen Bindemittel und Bitumenemulsionen sind unter + 5 °C nicht erlaubt.
- Es sind schwere (mindestens 16 t Betriebsgewicht) Glattmantelwalzen mit Vibration einzusetzen.
- Die Längsnähte sollen mehr als 10 cm sein.
- Die KRC-Schicht darf nicht befahren werden bevor sie die Mindesttragfähigkeit gemäß Tab. 7 erreicht.
- Die KRC-Schicht ist mit Bitumenemulsion und Abstreuerung mit Splitt nachzubehandeln, wenn diese vor dem Einbau der oberen Asphalttschichte(n) befahren werden soll.

4.4.4 Anforderungen

Es sind die unten angeführten Anforderungen an das KRC-Gemisch und die KRC-Schicht gestellt. Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Kennwerte ist im Punkt 5.3.15 und Punkt 5.3.16 erklärt.

Kennwert	Eignungsprüfung	Eigenüberwachungs-/ Kontrollprüfung
Hohlraumgehalt	8 bis 15 Vol.-% max. 10 Vol.-% ¹⁾	≤ Wert der Eignungsprüfung + 4 Vol.-% ≤ Wert der Eignungsprüfung + 4 Vol.-% ¹⁾
Spaltzugfestigkeit bei T = +5 °C nach 7 Tagen $\beta_{sz,7}$	Mittelwert ≥ 0,50 N/mm ² ≤ 0,80 N/mm ² ²⁾	≥ Wert der Eignungsprüfung - 20 Vol.-% ³⁾ ≤ Wert der Eignungsprüfung + 30 Vol.-% ^{2),3)}
Spaltzugfestigkeit bei T = +5 °C nach 28 Tagen $\beta_{sz,28}$	Mittelwert ≥ 0,75 N/mm ² ≤ 1,20 N/mm ² ²⁾	≥ Wert der Eignungsprüfung - 20 Vol.-% ≤ Wert der Eignungsprüfung + 30 Vol.-% ²⁾
Abfall der Spaltzugfestigkeit gegenüber $\beta_{sz,28}$ nach Wasserlagerung	< 30%	-
E-Modul	ist zur Erfahrungssammlung zu bestimmen	

Tabelle 6: Anforderungen an Probekörper aus KRC-Gemisch⁷⁹

⁷⁸ Ebenda, S. 10f.

⁷⁹ Ebenda, S. 11.

Kennwert	Eigenüberwachungs-/ Kontrollprüfung
Einbaudicke ⁴⁾	Soll-Wert – 10%
Verdichtungsgrad ⁴⁾	≥ 98% ≥ 96% ⁵⁾
Hohlraumgehalt	≤ 12 Vol.-% ¹⁾
Mindesttragfähigkeit der KRC-Schicht vor der Überbauung	$E_{vd} \geq 80 \text{ MN/m}^2$; $E_{v2} \geq 180 \text{ MN/m}^2$
Ebenheit	1,5 cm/4 m
Profilgerechte Lage	Sollhöhe ± 2 cm

¹⁾ bei pechhaltigen Ausbaustoffen, Einhaltung der umweltrelevanten Anforderungen gemäß RuVA-StB

²⁾ bei KRC-Gemisch mit hydraulisch-dominantem Bindungstyp

³⁾ gilt nur im Rahmen der Eigenüberwachung

⁴⁾ Schichtdicken- und Dichtenachweis der eingebauten Schicht am Bohrkern oder über Ersatzverfahren (*DIN 18121-2*)

⁵⁾ bei einer Tragfähigkeit der Unterlage von $E_{v2} 80 \text{ MN/m}^2$

Tabelle 7: Anforderungen an die Kaltrecycling-Schicht⁸⁰

4.4.5 Prüfungen

4.4.5.1 Eignungsprüfungen

4.4.5.1.1 Allgemeines

Die Eignungsprüfung der Baustoffe und Baustoffgemische ist für jede Baumaßnahmen bzw. für jeden Bauabschnitt durchzuführen und dient der Bauausführung, Abnahme und Abrechnung. In Deutschland soll die Prüfstelle nach den *RAP Stra* anerkannt sein. Die Zeitfrist für die Erstellung der Eignungsprüfung beträgt 6 Wochen.⁸¹

4.4.5.1.2 Untersuchungen am Mischgranulat

Für die Untersuchung benötigt man eine Fräsprobe von mindestens 150 kg. Wenn pechhaltiges Material vorhanden ist, sind die *RuVA-StB* zu befolgen. Es sind die folgenden Prüfungen durchzuführen:

- Stückgrößenverteilung gemäß *DIN 52098* (siehe Punkt 5.3.3),
- Bindemittelgehaltes gemäß *DIN EN 12697-1* oder *DIN EN 12697-39* (siehe Punkt 5.3.4 und Punkt 5.3.5),
- Korngrößenverteilung gemäß *DIN 1996-14*, *DIN EN 933-1* oder *DIN EN 12697-2* (siehe Punkt 5.3.6, Punkt 5.3.7 und Punkt 5.3.8) und
- Gesamtwassergehaltes gemäß *DIN EN 13286-2* mit 1,5 M.-% Bindemittelgehalt (siehe Punkt 5.3.9).

⁸⁰ Ebenda, S. 12.

⁸¹ Vgl. ebenda.

Wenn die Anforderungen an die Zusammensetzung nicht erfüllt sind, sind Ergänzungsstoffe zuzugeben oder das KRC-Gemisch ist nachzubereiten. Die Bestimmung des Gesamtwassergehaltes soll mit statischer Verdichtung erfolgen, weil die schlagende Verdichtung die groben Gesteinskörnungen wesentlich zerkleinert. Die Wassermenge, die zuzugeben ist, wird wie folgt ermittelt:⁸²

$$w_{zu} = w_{erf} - w_{eig} - w_{em} - 0,5B \quad (1)$$

dabei ist:

w_{zu} - Zugabewasser für das Baustoffgemisch [%],

w_{erf} - erforderlicher Wassergehalt [%],

w_{eig} - Wassergehalt des Mischgranulates (Eigenfeuchte) [%],

w_{em} - Wasseranteil aus der Bitumenemulsion [%] und

B - Bitumenanteil aus der Bitumenemulsion [%] ist.

Bei Kaltrecycling mit Schaumbitumen entfallen die Anteile w_{em} und B .

Wenn Probekörper mit hydraulisch-dominanter Bindung Kornanteile < 0,063 mm von mehr als 5 M.-% aufweisen, soll ihre Frostbeständigkeit geprüft werden. Das Prüfverfahren ist gemäß *TP Beton-StB, Abschnitt 3.1.4* durchzuführen (siehe Punkt 5.3.19).

4.4.5.1.3 Untersuchungen am KRC-Gemisch

Zuerst soll die Verträglichkeit zwischen der Bitumenemulsion und der Zement-Wasser-Suspension gemäß Punkt 5.3.12 nachgewiesen werden. Wenn Schaumbitumen zum Einsatz kommen, erfolgt die Optimierung des Prozesswasseranteils laut Punkt 5.3.14.

Danach werden die Bindemittelanteile bestimmt, indem man für das erste Bindemittel mindestens drei Anteile wählt und den Anteil des zweiten Bindemittels konstant hält. Der Unterschied zwischen den gewählten Anteilen darf nicht weniger als 1 M.-% und nicht mehr als 2 M.-% sein. Nach Bedarf kann auch der zweite Bindemittelgehalt geändert werden. Es sind die folgenden Grenzwerte an den Bindemittelanteilen gestellt:

- Bitumenemulsion: 2 - 6 M.-%;

⁸² Ebenda, S. 13.

- Bitumenemulsion bei Kombination mit Schaumbitumen: 2,5 - 5 M.-%;
- Zement: 3 - 6 M.-%;
- Zement bei Kombination mit Schaumbitumen: 1 - 3 M.-%.

Ein Wasser-Zement-Verhältnis in der Größe von 1 (unbedingt größer als 0,5) sorgt für die gute Verarbeitbarkeit der Mischung. Das Formblatt im Punkt 5.3.15, Tab. 8 dient als Vorschlag für die Berechnung der Zusammensetzung des KRC-Gemisches.

Die Herstellung des KRC-Gemisches wird in den folgenden Schritten durchgeführt:

1. Vormischung des Mischgranulates (im Bedarfsfall mit Wasserzugabe).
2. Zugabe der Zement-Wasser-Suspension.
3. Einmischung der Bitumenemulsion.
4. Beenden des Mischvorganges bei gleichmäßiger Verteilung der/des Bindemittel/s, jedoch spätestens nach 2 Minuten.

Bei Verwendung von Schaumbitumen ist für die Herstellung der Probemischungen vorzugsweise ein Zwangsmischer zu wählen.

Von jeder Prüfsérie wird eine Teilprobe zur Bestimmung der Rohdichte gemäß *DIN 52102* (siehe Punkt 5.3.11) gewählt.

4.4.5.1.4 Herstellung und Lagerung der Probekörper

Für jede gewählte Bindemittelkombination sind je vier Probekörper herzustellen. Für eine bestimmte Bindemittelkombination sind zwei weitere Probekörper notwendig, um den Abfall der Spaltzugfestigkeit nach Wasserlagerung zu beurteilen.

Hinweise zur Herstellung der Probekörper finden Sie im Punkt 5.3.15.

Die Probekörper sind wie folgt vorzubereiten:

1. Im Verlauf von zwei Tagen nach dem Entschalten sollen die Probekörper bei 20 ± 2 °C und mindestens 95% relativer Luftfeuchtigkeit gelagert werden.
2. Vom 3. bis zum 7. Tag ist die relative Luftfeuchtigkeit auf etwa 40% bis 70% zu reduzieren und die Probekörper auf einen Gitterrost zu stellen.
3. Am 7. Tag wird an zwei Probekörpern die Spaltzugfestigkeit gemäß Punkt 5.3.16 ermittelt.
4. Vom 14. bis zum 28. Tag stellt man zwei Probekörper völlig überdeckt in ein Wasserbad mit 20 ± 2 °C.
5. Am 28. Tag ist die Spaltzugfestigkeit an den gebliebenen Probekörpern (den zwei trocken gelagerten und den zwei trocken-/nassgelagerten) nach Punkt 5.3.16 zu prüfen.

4.4.5.1.5 Prüfung der Probekörper

Die Feuchtdichte bekommt man durch Dividieren der Feuchtmasse mit dem Volumen. Das Volumen kann mittels der Probekörperhöhe und des -durchmessers berechnet werden.

Die Trockendichte kann ermittelt werden, wenn die Feuchtdichte und das gesamte Wassergehalt des KRC-Gemisches bekannt ist.

Die Berechnung der Hohlraumgehalt erfolgt nach *DIN 1996-7*. Dafür benutzt man im Punkt 4.4.5.1.3 bestimmte Rohdichte.

Zusätzlich zu der Spaltzugfestigkeit werden informativ auch die Querdehnung und der E-Modul nach Punkt 5.3.16 bestimmt.

4.4.5.1.6 Auswertung und Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

Für die Bestimmung des Mischgutrezeptes benutzt man die Ergebnisse der Prüfungen der Spaltzugfestigkeit nach 28 Tagen (im Bedarfsfall nach 7 Tagen) und des Abfalls der Spaltzugfestigkeit nach 14 Tagen Wasserlagerung. Es ist möglich eine unterschiedliche Bindemittelkombination zu wählen, wenn ihre Kennwerte interpoliert werden können. Die *RuVA-StB* stellen zusätzliche Anforderungen an das Rezept, wenn pechhaltige Stoffe vorhanden sind.

4.4.5.2 Eigenüberwachungsprüfung

Prüfungen beim Einbau:

- *Beschaffenheit des Fräsgranulates/Mischgranulates nach Augenschein*
- *Vorlagematerialmengen (überschlägig)*
- *Frästiefe und –breite*
- *Bindemitteldosierung (Zement und/oder Bitumenemulsion)*
- *Homogenität und Umhüllung nach Augenschein*
- *Einbaudicke nach der Verdichtung*
- *Profilgerechte Lage*

Zusätzliche Prüfungen beim Einbau bei Verwendung von Schaumbitumen:

- *Schaumeigenschaften (Expansion und Halbwertzeit) des Bitumen*
- *Bindemitteldosierung (hydraulisches Bindemittel und/oder Bitumen)*
- *Homogenität nach Augenschein*

- *Schaumbitumenverteilung (sollten Bitumenklumpen vorhanden sein entweder Feinkornanteil bzw. Bitumentemperatur prüfen).*⁸³

Zur Prüfung der Schaumeigenschaften auf der Baustelle braucht man ein Baugerät mit Schaumbitumen-Testdüse.

Für alle 3.000 m² (aber mindestens einmal pro Einbautag/Bauabschnitt) sollen die folgenden Kennwerte bestimmt werden:⁸⁴

- *Wassergehalt des Mischgranulates;*
- *Korn- und/oder Stückgrößenverteilung des Mischgranulates;*
- *Feucht- und Trockendichte an zwei nach (...) [Punkt 5.3.15] während des Einbaues auf der Baustelle verdichteten Probekörpern;*
- *Verdichtungsgrad mittels Ersatzverfahren.*

Prüfungen an der fertigen Schicht:

Im Abstand von höchstens 50 m sind zu prüfen:

- *Querneigung;*
- *Ebenheit;*
- *Erhärtungsverlauf/Tragfähigkeit;*
- *Eine Überbauung der KRC-Schicht darf erst nach Erreichen der Mindesttragfähigkeit gemäß (...) [Punkt 4.4.4, Tabelle 7] erfolgen. Die Mindesttragfähigkeit ist erfahrungsgemäß bei normaler Witterung nach 3 bis 4 Tagen erreicht.*

4.4.5.3 Kontrollprüfungen

Je 3.000 m² (aber mindestens einmal pro Einbautag/Bauabschnitt) ist folgendes zu machen:

1. Es sind zwei Probekörper während des Einbaues auf der Baustelle gemäß Punkt 5.3.15 herzustellen. An denen werden die unten erwähnten Kennwerte bestimmt:⁸⁵
 - *Hohlraumgehalt;*
 - *Spaltzugfestigkeit nach 28 Tagen (...);*
 - *Querdehnung und E-Modul nach 28 Tagen (zur Erfahrungssammlung);*
 - *Bei pechhaltigen Inhaltsstoffen, Nachweis der Umweltverträglichkeit entsprechend den RuVA-StB.*
2. An der fertigen Schicht ist folgendes zu prüfen:⁸⁶
 - *Einbaudicke;*

⁸³ Ebenda, S. 15f.

⁸⁴ Ebenda, S. 16.

⁸⁵ Vgl. ebenda.

⁸⁶ Ebenda, S. 16f.

- *Hohlraumgehalt;*
- *Verdichtungsgrad;*
- *Ebenheit;*
- *Querneigung;*
- *Profilgerechte Lage.*

4.5 Kaltrecycling in Bulgarien

4.5.1 Oberbaudimensionierung

Die KRC-Baumaßnahmen in Bulgarien werden ähnlich dem Neubau mit der Methode der äquivalenten Moduln (von Prof. Ivanov) gemäß der *Richtlinien für Bemessung von Asphaltbefestigungen, Abschnitt IX* dimensioniert. Das Verfahren benutzt Lösungen aus der Elastizitätstheorie für Mehrschichtensysteme, in denen auch durch Labor- und Feldversuche ermittelte empirischen Ergebnisse und Zusammenhänge eingeschlossen sind. Der erforderliche Biegungswiderstand wird anhand der prognostizierten Verkehrsbelastung ermittelt. Die Bemessungskriterien sind elastische Einsenkung der ganzen Befestigung, Biegespannungen in der Schichten und Scherspannungen im Untergrund und Unterbau. Für die Nachweise benötigt man die E-Moduln der Materialien. Der E-Modul des KRC-Gemisches kann zwischen 600 - 800 MPa angenommen werden. Weiters sollen die Mindest- und Höchstschichtdicken berücksichtigt werden. Die Frostbeständigkeit wird mit einer ausreichenden Dicke des frostsicheren Oberbaues gemäß der *Richtlinien für Bemessung von Asphaltbefestigungen, Abschnitt V* gewährleistet. Die größere der beiden Dicken ist maßgebend.

4.5.2 Ausführung

Seit 2010 wird nach der *Technischen Spezifikation für Ausführung von Straßenrehabilitation nach dem Kaltrecyclingverfahren* gearbeitet, die von ZISTNENR entwickelt ist. In Vorbereitung ist eine neue Version, die in der allgemeinen *Technischen Spezifikation* von ASI einzuschließen ist.

Straßen in Bulgarien werden fast ohne Ausnahmen mit hydraulischen Bindemitteln recycelt, weil der Baustoff billig, bekannt und verfügbar ist.

5 Prüfverfahrenssammlung

5.1 Prüfverfahren in Deutschland, konventionelles Verfahren

5.1.1 Benkelman-Balken⁸⁷

Die Tragfähigkeitsmessungen werden bei einer Oberflächentemperatur zwischen 5 – 35 °C durchgeführt.

Ein Belastungsfahrzeug verursacht mit seinen Hinterrädern im unbeweglichen Zustand eine Einsenkung. Die Rückfederung wird gemessen, wenn die Belastungsräder auf dem Messpunkt und 5 m davon entfernt stehen. Auf diese Weise ermittelt man die maximale Einsenkung (siehe Abb. 14).

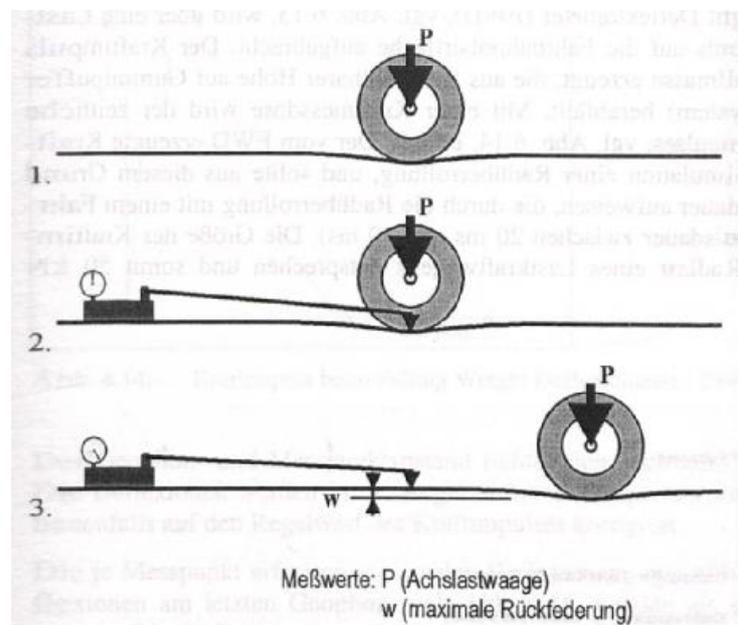


Abbildung 14: Messmethodik für Benkelman-Balken (Prinzipskizze)⁸⁸

Eine zweite Messuhr ermöglicht die Bestimmung des Krümmungsradius unter Last. Auch die Einflusslinie der Einsenkung kann ermittelt werden. Dafür bleibt der Benkelman-Balken an seiner Stelle während das Fahrzeug langsam vorwärts fährt (siehe Abb. 15).

⁸⁷ STRAUBE, Edeltraud; KRASS, Klaus: *Straßenbau und Straßenerhaltung*, 2009, S. 314, S. 315.

⁸⁸ Ebenda, S. 315.

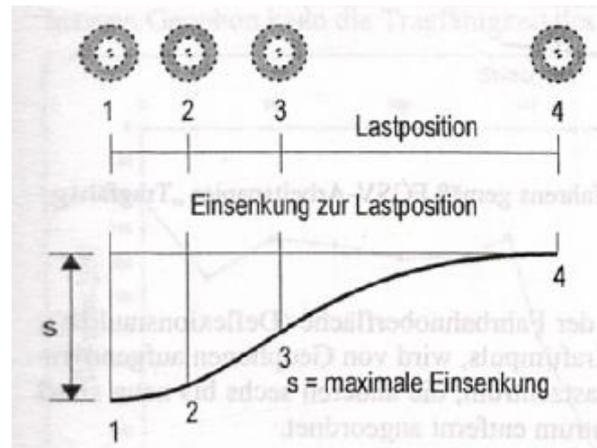


Abbildung 15: Bestimmung der Einflusslinie der Einsenkung beim Benkelman-Balken⁸⁹

5.1.2 Falling Weight Deflektometer⁹⁰

Beim Falling Weight Deflektometer (FWD) wird die Fahrbahnoberfläche mit einer Fallmasse kurzzeitig belastet. Man misst den zeitlichen Verlauf der vertikalen Verformung im Lastzentrum und die maximale Einsenkung in bestimmten Abständen vom Stoßkreis (siehe Abb. 16).

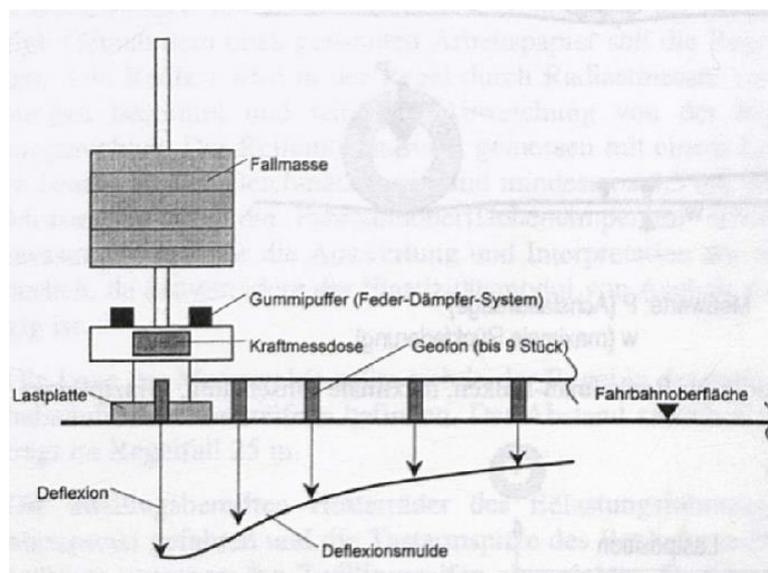


Abbildung 16: Messmethodik für FWD⁹¹

Mit den Messergebnissen kann man die Tragfähigkeit der gesamten Straßenkonstruktion und des Untergrundes abschätzen sowie die E-Moduli der einzelnen Schichten berechnen.

⁸⁹ Vgl. ebenda.

⁹⁰ Ebenda, S. 316, S. 317, S. 318.

⁹¹ Ebenda, S. 316.

5.2 Prüfverfahren in Bulgarien, konventionelles Verfahren

5.2.1 Lacroix Deflektograph

Der Lacroix Deflektograph benutzt zwei Benkelman-Balken um Einsenkungsmessungen in Bewegung durchzuführen. Die Belastung liegt zwischen 5 - 13 t/Achse. Die Messung erfolgt in den Rollspuren eines Fahrstreifens in Intervallen von ca. 6 m.⁹²



Abbildung 17: Lacroix Deflektograph⁹³

5.2.2 Ebenheitsmessungen mit dem APL 25

Ebenheitsmessungen der zu erneuernden Straße werden in Bulgarien mit dem APL-25 durchgeführt. Das Gerät misst den Winkel, der direkt proportional der vertikalen Verschiebungen des Messrades bezüglich des Inertionspendels ist (siehe Abb. 18).

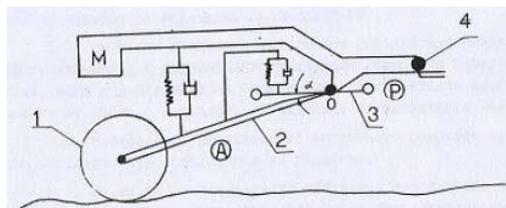


Abbildung 18: APL 25, Messprinzip⁹⁴

Dabei ist:

- 1 – Messrad,
- 2 – Tragbalken,
- 3 – Inertionspendel und
- 4 – Scharnierverbindung.

⁹² Zentrales Straßen- und Brückenlabor: <http://www.crbl-bg.net/ri/lac.htm> 24.06.2013.

⁹³ Vgl. ebenda.

⁹⁴ DONCHEV, Marin: *Präsentation zu der Übungen in „Instandhaltung und Reparatur von Straßen“*, Thema 2, 2011, S. 19.

Es können Amplituden bis zu 50 mm und Wellenlängen zwischen 0,3 – 15 m aufgenommen werden. Man fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 6 m/s. In Abständen von 25 m wird die Summe der Amplituden (CAPL) gebildet.⁹⁵

5.3 Prüfverfahren in Deutschland, Kaltrecycling in situ

Für Prüfverfahren bei Kaltrecycling in situ in Deutschland ist *Abschnitt 5.4* der *ZTV Asphalt-StB* sinngemäß zu verwenden.

Die Bohrkernentnahme für die Kontrollprüfung soll frühestens nach 20 Tagen erfolgen und muss von der gleichen Stelle wie jene für die Eignungsprüfung entnommen werden.

5.3.1 Plattendruckversuch gemäß *DIN 18134*

Das Verfahren wird sowohl bei Erd- und Grundbau als auch im Verkehrswegebau verwendet. Bei KRC-Baumaßnahmen werden damit die Verformungsmoduli der fertigen Schicht ermittelt.

Man benutzt eine kreisförmige Lastplatte mit Druckvorrichtung und ein Gegengewicht (z. B. eine Walze), um die Schicht stufenweise zu be- und entlasten. Dies geschieht in mehreren Zyklen. Dabei werden die Belastungen und Setzungen unter der Platte gemessen. Auf diese Weise bekommt man zwei Drucksetzungslinien, aus denen der Verformungsmodul der Erstbelastung E_{v1} und der Zweitbelastung E_{v2} ermittelt wird. Der Verformungsmodul ist die Kenngröße für die Verformbarkeit eines Boden bzw. einer Schicht und dient gleichzeitig zur Beurteilung der Tragfähigkeit.

5.3.2 Dynamischer Plattendruckversuch mit leichtem Fallgewicht

Das Prüfverfahren ist in den *Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau – Teil B 8.3: Dynamischer Plattendruckversuch mit leichtem Fallgewicht*, 2012 beschrieben.

Mit diesem Verfahren wird die Tragfähigkeit und die erreichte Verdichtung von Böden im Untergrund/Unterbau beim Erd- und Verkehrswegebau geprüft. Der wesentliche Vorteil im Vergleich zum statischen Plattendruckversuch besteht darin, dass der dynamische Plattendruckversuch schnell und unter beengten Verhältnissen durchgeführt werden kann. Es wird der Mittelwert der Setzung $\overline{s_{\max}}$ aus drei Stoßbelastungen nach drei Vorbelastungsstößen mit Fallgewicht gemessen. Der dynamische Verformungsmodul wird nach folgender Gleichung berechnet:⁹⁶

⁹⁵ Ebenda, S. 19, S. 26.

⁹⁶ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau – Teil B 8.3: Dynamischer Plattendruckversuch mit leichtem Fallgewichtsgerät*, FGSV 591/B 8.3, 2003, S. 6.

$$E_{vd} = 1,5r \frac{\sigma_{\max}}{s_{\max}} \quad (2)$$

dabei ist:

r der Radius der Lastplatte,

σ_{\max} die Normalspannung unter der Lastplatte (0,1 MN/m²).

5.3.3 Stückgrößenverteilung gemäß *DIN 52098*

Bei allen Verfahren zur Stück-/Korngrößenverteilung benutzt man eine Serie von Sieben, um das Material in unterschiedlichen Kornklassen mit abnehmenden Größen zu trennen. Vor Beginn des Verfahrens sollen die Proben bei (110 ± 5) °C bis zur Massenkonstanz getrocknet werden. Die Nachsiegung erfolgt immer von Hand. Am Ende werden die Rückstände gewogen und das Ergebnis wird tabellarisch oder grafisch dargestellt. Nach *DIN 52098* kann die Stückgrößenverteilung durch Hand- oder Maschinensiebung bzw. kombiniert bei Verwendung von Wasser ermittelt werden.

Bei der Handsiebung mit ruhendem Sieb bzw. Siebsatz soll das Wasser mit geringem Druck fließen. Auf diese Weise wird gesichert, dass die Eigenschaften der Körner und der Maschinensiebe nicht verändert werden. Um haftende Körner zu entfernen, sind während und am Ende der Siebung auch die Unterseiten der Siebböden abzuspülen. Danach wird der Siebrückstand zusammen mit dem Sieb getrocknet. Die Körner werden nachgesiebt, entnommen und ausgewogen.

Das Maschinensiebverfahren ist schneller und deswegen leichter durchzuführen. Die Dauer der maschinellen Siebungen ist auf 15 Minuten zu beschränken. Es ist darauf zu achten, dass kein Wasser zwischen den Sieben austritt. Die Siebung ist zu beenden, wenn das austretende Wasser klar wird.

5.3.4 Bindemittelgehalt gemäß *DIN EN 12697-1*

Dieses Prüfverfahren besteht aus den folgenden Arbeitsschritten:⁹⁷

- *Extraktion des Bindemittels durch Herauslösen mit heißem oder kaltem Lösemittel;*
- *Rückgewinnung der Gesteinskörnungen aus der Bindemittellösung;*
- *Bestimmung des Bindemittelgehaltes durch Differenzverfahren oder Rückgewinnung des Bindemittels;*
- *Berechnung des löslichen Bindemittelgehaltes.*

⁹⁷ *DIN EN 12697-1: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 1: Löslicher Bindemittelgehalt*, 2012, S. 10f.

Beim Differenzverfahren wird der Bindemittelgehalt berechnet, indem man von der Masse der Probekörper die Masse der zurückgewonnenen Gesteinskörnung und die Masse der gesammelten mineralischen Füller subtrahiert. Zur Rückgewinnung des Bindemittels aus der Bindemittellösung existieren verschiedene Verfahren. Die Korngrößenverteilung der zurückgewonnenen Mineralstoffe kann nach *DIN EN 933-1* bestimmt werden.

5.3.5 Bindemittelgehalt gemäß *DIN EN 12697-39*

Mit der Thermoanalyse kann der Bindemittelgehalt eines Asphaltprobekörpers mittels seines Massenverlustes bei Verbrennung vom seinen gesamten Bindemittel berechnet werden. Das Verfahren eignet sich für Korngrößenbestimmung der gebliebenen Gesteinskörnungen (gemäß *DIN EN 12697-2*), wenn diese infolge der erreichten Temperatur nicht übermäßig zerfallen.

5.3.6 Korngrößenverteilung gemäß *DIN 1996-14*

Mit dieser Prüfung wird die Korngrößenverteilung der von Asphalt extrahierten Mineralstoffe bestimmt. Es wird kein Wasser benutzt. Die Probe ist nach der Trocknung bis zur Massenkonstanz auf Raumtemperatur (18 - 28 °C) abzukühlen.

Bei der Handsiebung kann man höchstens zwei aufeinanderliegende Siebe gleichzeitig verwenden. Der Prozess ist in folgenden Schritten durchzuführen:

1. Neigen des Siebes auf 20° - 30°;
2. 6 - 8-maliges Klopfen an die höhere Stelle des Siebrahmens;
3. Horizontales Schütteln;
4. Horizontale Drehung um 90°.

Diese Etappen können mehrmals wiederholt werden und sollen mit Schritt 2 enden. Das sorgt für die Lösung des Feingutes an der Unterseite des Siebbodens und am unteren Teil des Rahmens. Die Siebung ist zu beenden, wenn der Siebdurchgang in 1 Minute weniger als 0,1% der Masse der gegebenen Gesteinskörnungen ist. Feinkörnige Mineralstoffe (<0,25 mm) sind mit Hilfe eines Haarpinsels zu sieben. Plattige Körner größer als 8 mm sind mit der Hand durch die Sieböffnungen durchzustechen. Bei kleineren plattigen Korngrößen ist intensives Schütteln anzuwenden. Es ist darauf zu achten, dass die Siebböden nicht überlastet werden.

Auch hier ist eine maschinelle Siebung mit einer Dauer von maximal 15 Minuten begrenzt. Die Nachsiebung erfolgt mit der Hand. Körner ab 22,4 mm dürfen von Hand durch die Sieblöcher durchgesteckt werden. Diese Methode ist als Durchsteckverfahren bekannt. Der Unterschied zwischen der Masse des Aufgabegutes und der Masse der Siebfraktionen soll kleiner als 1 M.-% der aufgegebenen Gesteinskörnungen betragen.

5.3.7 Korngrößenverteilung gemäß *DIN EN 933-1*

Mit dieser Prüfung wird die Korngrößenverteilung von Mineralstoffen bestimmt. Das Verfahren ist für Füller und Körner größer als 90 µm nicht anwendbar. Das Aufgabegut wird gewaschen und trocken gesiebt. Gesteinskörnungen deren Eigenschaften sich beim Kontakt mit Wasser verändern sind ohne Waschen zu sieben. Dabei sind Hand- oder Maschinensiebungen möglich. Bei Überlastung der Siebe ist die Fraktion zu teilen. Man siebt entweder alle geteilten Gesteinskörnungen oder arbeitet nur mit der Teilprobe.

5.3.8 Korngrößenverteilung gemäß *DIN EN 12697-2*

Dieses Verfahren eignet sich für Bestimmung der Korngrößenverteilung von gemäß *DIN EN 12697-1* oder gemäß *DIN EN 12697-39* gewonnenen Gesteinskörnungen. Die Prüfung und Berechnung erfolgt nach *DIN EN 933-1*, wobei zusätzliche Erläuterungen gegeben sind.

5.3.9 Proctorversuch gemäß *DIN EN 13286-2*

Beim Proctorversuch werden Gemische mit verschiedenen Wassergehalten verdichtet, um ihre Raumdichte zu bestimmen. Die Trockendichte wird mittels der Raumdichte und des Wassergehaltes des Gemisches (gemäß *DIN EN 1097-5*) berechnet. Die Ergebnisse sind grafisch darzustellen, indem man die Trockendichte auf der Ordinate und den entsprechenden Wassergehalt auf der Abszisse aufträgt. Auf diese Weise lässt sich der optimale Wassergehalt, bei dem die größte Verdichtung möglich ist, bestimmen. Diese Prüfung ist mit statischer Verdichtungsenergie durchzuführen, wenn Gemische für KRC-Baumaßnahmen in situ untersucht werden.

5.3.10 Wassergehalt gemäß *DIN EN 1097-5*

Die Berechnung des Wassergehaltes des Gemisches für den Proctorversuch ist nach dieser Norm durchzuführen. Der Wassergehalt ist der Massenverlust einer Messprobe aus Gesteinskörnungen nach Ofentrocknung in einer belüfteten Wärmekammer bezogen auf ihre Trockenmasse. Die Probe ist nach Abkühlen zu wiegen und muss wieder in der Wärmekammer bei $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ für mindestens 1 Stunde verbleiben. Die Trocknung ist zu beenden, wenn die Massendifferenz zweier aufeinanderfolgenden Wiegungen kleiner als 0,1% ist.

5.3.11 Rohdichte gemäß *DIN 52102*

Nach diesem Verfahren wird die Trockenrohndichte von Gesteinskörnungen bestimmt. Die Trockenrohndichte ist die Masse der trockenen Gesteinskörner je Volumeneinheit einschließlich innerer geschlossener Hohlräume und wasserzugänglicher Hohlräume. Die Trockenmasse wird nach Erreichen der Massenkonstanz gewogen. Danach werden die Gesteinskörnungen

mindestens 30 Minuten unter Wasser gehalten. Der Wasserfilm an der Kornoberfläche soll mit saugenden Gewebepapieren oder durch rasches Trocknen entfernt werden. Die Gesteinskörnungen werden in einen Messzylinder, der bis zur Hälfte mit Wasser voll ist, gestellt. Die Trockenrohddichte berechnet man nach der folgenden Formel:⁹⁸

$$\rho_R = \frac{m_{tr}}{V_1 - V_0} \quad (3)$$

dabei ist:

ρ_R die Trockenrohddichte [g/cm³],

m_{tr} die Trockenmasse der Messprobe [g],

V_0 die Wassermenge im Messzylinder [cm³] und

V_1 das Volumen, das von Wasser und Messprobe im Messzylinder eingenommen wird [cm³].

Die gültige europäische Norm ist *DIN EN 1097-6*.

5.3.12 Verträglichkeit der Bitumenemulsion mit den verwendeten Baustoffen gemäß *M KRC, Anhang 3*

Die Überprüfung der Verträglichkeit der Bitumenemulsion mit den verwendeten Baustoffen wird nach den folgenden Schritten durchgeführt:

1. 100 g Zement mit 50 g Wasser verrühren.
2. 100 g Bitumenemulsion werden nach der Herstellung der Zement-Wasser-Suspension zugegeben.
3. Weiter verrühren bis ein homogenes Gemisch entsteht.
4. Die Zeitspanne zwischen dem Anfang des Rührens und dem Brechen der Emulsion darf nicht kürzer als 5 Minuten sein.

5.3.13 Ausflusszeit gemäß *DIN EN 12846-1*

Die Ausflusszeit einer Bitumenemulsion ist die Zeit, die notwendig ist, um durch eine Öffnung bei einer vorgegebenen Temperatur auszufließen. Die Ausflusszeit wird mit einem Straßenteerviskosimeter (Ausflussviskosimeter) bestimmt. Das ist ein Behälter mit einer Auslauföffnung in der Mitte seiner Grundfläche. Die Probe wird bei 40 °C (alternativ 50 °C) und bei einer Raumtemperatur zwischen 18 °C und 28 °C geprüft. Die Prüfung ist zweimal durchzuführen.

⁹⁸ *DIN 52102: Prüfverfahren für Gesteinskörnungen – Bestimmung der Trockenrohddichte mit dem Messzylinderverfahren und Berechnung des Dichtigkeitsgrades*, 2012, S. 6.

5.3.14 Optimierung der Schaumeigenschaften gemäß *M KRC*, *Anhang 8*

Das Ziel ist die Ermittlung der optimalen Zugabewassermenge für einen bestimmten Bitumentyp bzw. für eine bestimmte Bitumentemperatur. Dabei sollen die Expansion und Halbwertzeit so groß und lang wie möglich sein. Die Optimierung erfolgt nach den folgenden Schritten:

1. Die Durchflussmenge des Wassers wird eingestellt;
2. Der Luft- und Wasserdruck wird geprüft;
3. Das Bitumen wird aufgeheizt bis zur Prüftemperatur;
4. Einstellung der Einsprühzeit nach ihre Berechnung laut der folgenden Gleichung:⁹⁹

$$T_{\text{Sprüh}} = M_{\text{Bit}} / Q_{\text{Bit}} \quad (4)$$

dabei ist:

$T_{\text{Sprüh}}$ die Einstellung der Einsprühzeit an dem Schalter [s],

M_{Bit} die Masse des Bitumens (üblicherweise 500 g), das in den Stahleimer gesprüht wird, [g],

Q_{Bit} die Durchflussmenge der Bitumenpumpe [g/s].

5. Es werden die Expansion und Halbwertzeit bei Prozesswassergehalten von 1% - 4% (in Schritten von 1% und zweimal pro Wasserzugabeanteil) gemessen;
6. Die Schaumeigenschaften werden in das Musterformblatt A eingetragen (siehe Abb. 19);
7. Die Schritte 3. bis 5. werden für eine zweite (eventuell auch eine dritte) Prüftemperatur wiederholt;
8. Alle Messwerte werden in die Tabelle des Musterformblattes A eingetragen und grafisch dargestellt.

Die Expansion soll mehr als das 10-fache und die Halbwertzeit mehr als 10 Sekunden betragen.

⁹⁹ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, 2005, S. 33.

Laborant: Hr. Prüfmann		Labor: Prüflabor, Prüfhausen				Datum:			
Bitumen Sorte: 70/100		Wasser				Luft			
Druck: 4,0 [bar]		Druck: 5,0 [bar]				Druck: 6,0 [bar]			
Temperatur: 160 bis 180 [°C]									
Durchfluss: 100 [g/s]									
Zugabewasser- anteil [GT]	Durchfluss [1/h]	1. Messung		2. Messung		3. Messung		4. Messung	
		Ex	T 1/2	Ex	T 1/2	Ex	T 1/2	Ex	T 1/2
Bitumentemperatur 1: 160 °C									
1,0%	3,6	2,0	22,0	4,0	18,0	3,0	20,	3,0	20,0
1,5%	5,4	5,0	13,0	5,0	12,0			5,0	12,5
2,0%	7,2	10,0	6,0	7,0	6,0	7,0	8,0	8,0	7,0
2,5%	9,0	14,0	3,0	16,0	2,0	14,0	3,0	15,0	3,0
3,0%	10,8	22,0	2,0	22,0	2,0			22,0	2,0
Bitumentemperatur 2: 170 °C									
1,0%	3,6	5,0	19,0	7,0	23,0	6,0	24,0	6,0	22,0
1,5%	5,4	8,0	15,0	8,0	15,0			8,0	15,0
2,0%	7,2	12,0	10,0	13,0	10,0			12,5	10,0
2,5%	9,0	17,0	6,0	16,0	7,0	18,0	7,0	17,0	7,0
3,0%	10,8	23,0	5,0	25,0	5,0	24,0	4,0	24,0	5,0
Bitumentemperatur 3: 180 °C									
1,0%	3,6	9,0	24,0	9,0	23,0	8,0	25,0	9,0	24,0
1,5%	5,4	10,0	19,0	11,0	18,0	13,0	17,0	11,0	18,0
2,0%	7,2	15,0	14,0	16,0	14,0			15,5	14,0
2,5%	9,0	21,0	12,0	22,0	9,0	20,0	11,0	21,0	11,0
3,0%	10,8	27,0	8,0	28,0	8,0			27,5	8,0

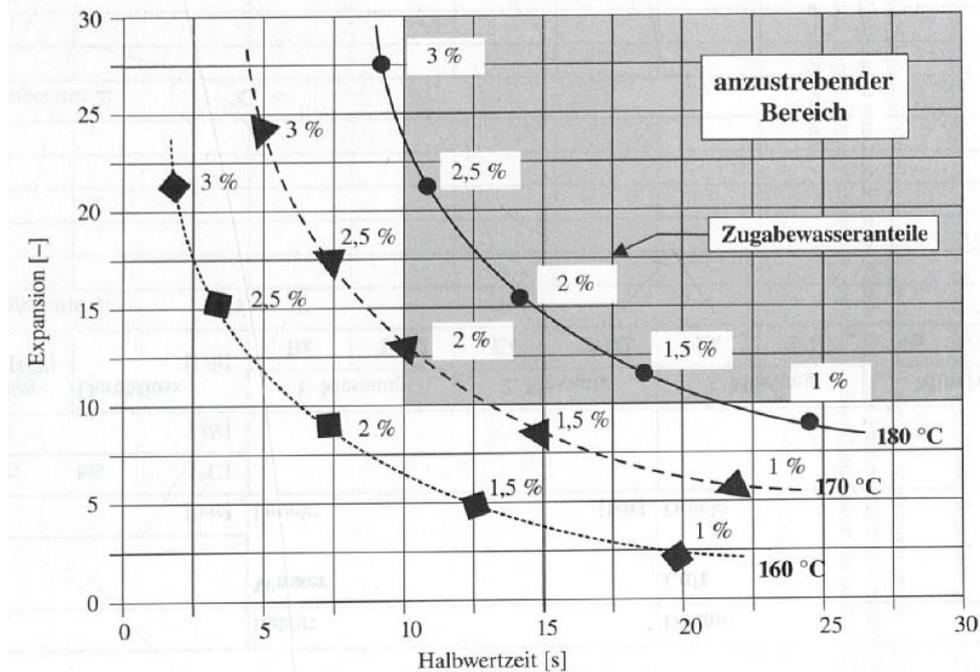


Abbildung 19: Musterformblatt A – Optimierung der Schaumeigenschaften
(Ausführungsbeispiel)¹⁰⁰

¹⁰⁰ Ebenda, S. 36.

5.3.15 Herstellung der Probekörper gemäß *M KRC*, Anhang 6

Das folgende Formblatt dient als Vorschlag für die Berechnung der Zusammensetzung des KRC-Gemisches, woraus die Probekörper hergestellt werden.

Lab-Nr.:
Bauvorhaben:

Datum:

Baustoffkomponente		Serie 1		Serie 2		Serie 3		Serie 4	
		Anteil [%]	Masse ¹⁾ [kg]						
Fräsgut	Trockenmasse	100,0		100,0		100,0		100,0	
	Wassergehalt								
	Feuchtmasse								
Ergänzungsmaterial(ien)	Trockenmasse	2)		2)		2)		2)	
	Wassergehalt								
	Feuchtmasse	100,0		100,0		100,0		100,0	
Mischgranulat	Trockenmasse								
	Wassergehalt								
	Feuchtmasse								
Bitumenemulsion		3)		3)		3)		3)	
Zement		3)		3)		3)		3)	
Wasser		3)		3)		3)		3)	
Zeile A	Gesamtmasse								
	Masse Wasser m_w								
	Trockenmasse m_t								
Zeile B	Wassergehalt w								
	Feuchtmasse m_f								
	Zeile A – Zeile B; Soll = 0; sonst überprüfen!								

¹⁾ für die Herstellung von zwei Probekörpern ²⁾ bezogen auf Trockenmasse Fräsgut ³⁾ bezogen auf Trockenmasse Zuschlagstoffe gesamt

Tabelle 8: Musterformblatt – „Eignungsprüfung Kaltrecycling-Gemische“ für Probekörperherstellung¹⁰¹

¹⁰¹ Ebenda, S. 37.

Die Probekörper aus KRC-Gemisch benutzt man für die Eignungs-, Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen. Die Größtkörner in den Gemischen dürfen maximal 45 mm sein und der Überkornanteil maximal 10 M.-%. Die Probekörper können im Labor oder auf der Baustelle hergestellt werden.

Die Herstellung erfolgt mittels Stempel und Stempelplatten in einer Verdichtungsform, die leicht eingeölt sein soll (siehe Abb. 20). Es ist so viel Gemisch einzufüllen, dass nach der Verdichtung die Probekörperhöhe 125 mm \pm 5 mm beträgt. Die größeren Gesteinskörner sollen gleichmäßig verteilt sein und diese größer als 32 mm sind im Voraus zu entfernen. Beide Stempel und Stempelplatten sollen während der Verdichtung beweglich bleiben. Eine axiale Belastung von 49 kN erzeugt einen statischen Druck von 2,8 N/mm². Wegen der plastischen Eigenschaften des Gemisches sinkt die erreichte Spannung ab. Die Belastung ist spätestens nach zwei Minuten wieder aufzubringen bis die Endlast die Grenze von 45 kN (2,6 N/mm²) nicht unterschreitet. Das erfolgt normalerweise nach etwa 5 bis 7 Belastungstakten (siehe Abb. 21). Am nächsten Tag sind die Probekörper auszuschalen, mit einer Genauigkeit von \pm 1 g zu wägen und ihre Höhe mit einer Genauigkeit von \pm 1 mm festzustellen.

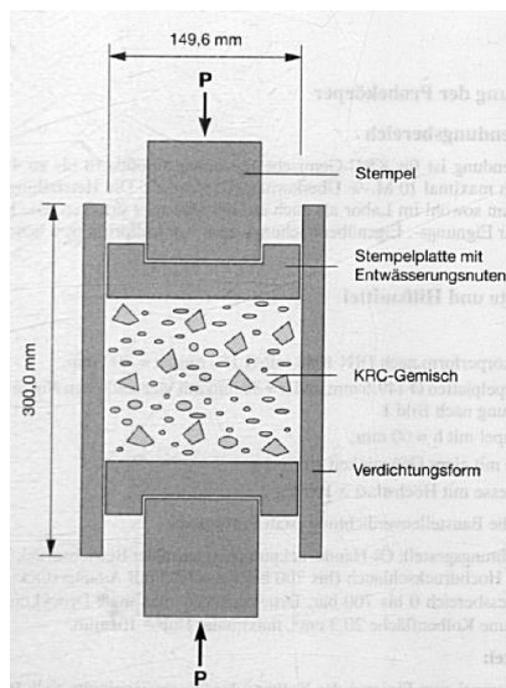


Abbildung 20: Verdichtungsform \varnothing 150 mm sowie Stempelplatten \varnothing 149,6 mm mit vier seitlichen Nuten zur Wasserabführung¹⁰²

¹⁰² Ebenda, S. 28.

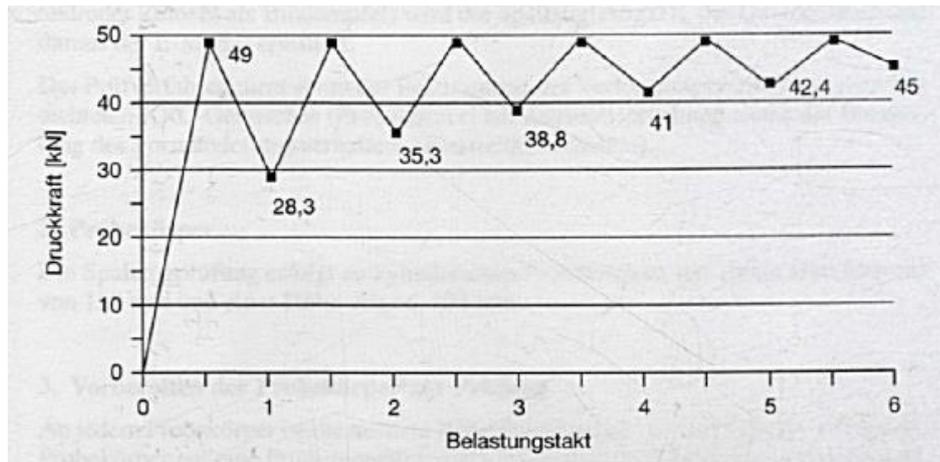


Abbildung 21: Belastungs-Zeit-Kurve bei statischer Verdichtung¹⁰³

5.3.16 Bestimmung von Spaltzugfestigkeit, Querdehnung und E-Modul gemäß *M KRC*, *Anhang 7* und *DIN 1048-5*

Die Probekörper sind entsprechend Punkt 5.3.15 herzustellen. Ihr Durchmesser beträgt 150 mm und ihre Höhe ungefähr 125 mm. Die Probekörper sollen auf eine Prüftemperatur von 5 °C an der Luft temperiert werden. Wenn die Ausgangstemperatur 20 °C ist, darf der Prozess zwischen 8 und 12 Stunden dauern.

Die Bestimmung der Spaltzugfestigkeit erfolgt gemäß *DIN 1048-5*, *Abschnitt 7.4.1*. Zwei Lastverteilungstreifen (am besten aus Holzfaserplatten) werden zwischen den Druckplatten der Prüfmaschine und dem Probekörper gelegt (siehe Abb. 22). Sie sollen 10 mm breit und 5 mm dick sein.

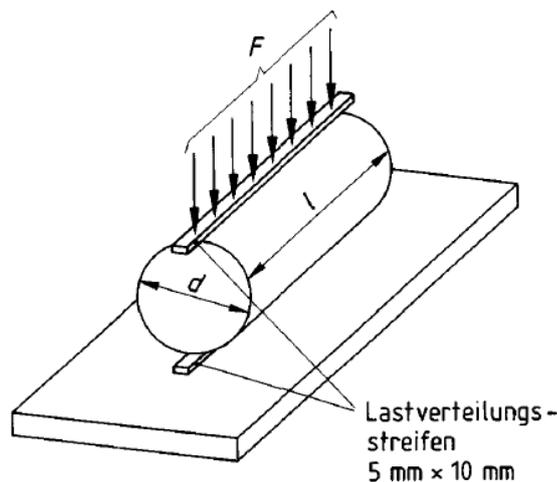


Abbildung 22: Spaltzugfestigkeitsprüfung an Zylindern¹⁰⁴

¹⁰³ Ebenda, S. 29.

¹⁰⁴ *DIN 1048-5: Prüfverfahren für Beton; Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper*, 1991, S. 5.

Vor Beginn der Belastung sollen die Druckplatten, die Streifen und der Probekörper sich überall berühren. Die Belastung erfolgt mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/Minute. Die Spaltzugfestigkeit lässt sich nach der folgenden Gleichung berechnen:¹⁰⁵

$$\beta_{SZ} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (5)$$

dabei ist

β_{SZ} die Spaltzugfestigkeit [N/mm²],

F die Höchstlast [N],

d der Durchmesser des Probekörpers [mm] und

l die Höhe des Probekörpers [mm].

Die Bruchdehnung bekommt man nach der folgenden Beziehung:¹⁰⁶

$$\varepsilon_{SZ} = 1.000 \cdot \frac{2 \cdot u \cdot (1 + 3 \cdot \mu)}{\pi \cdot d \cdot (0,274 + \mu)} \quad (6)$$

mit

ε_{SZ} Bruchdehnung [‰],

u Querverformung im Bruchzustand [mm],

d Durchmesser des Probekörpers [mm],

μ Querdehnzahl (Annahme: 0,30) [-].

Die Querdehnung senkrecht zur Lasteintragung kann mit zwei induktiven Wegaufnehmern gemessen werden. Um eine richtige Messung zu sichern, sind die Mantelflächen des Probekörpers mit einem dünnen Plättchen zu bekleben oder die Tastköpfe der Wegaufnehmer mit einem Aufsatz von etwa 6 mm auszurüsten. Die folgende Formel dient zur Berechnung des E-Moduls:¹⁰⁷

$$E_{SZ} = \frac{F \cdot (0,274 + \mu)}{h \cdot u} \quad (7)$$

dabei ist

¹⁰⁵ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, 2005, S. 32.

¹⁰⁶ Vgl. ebenda.

¹⁰⁷ Vgl. ebenda.

E_{SZ} der Elastizitätsmodul [N/mm²],

F die Kraft [N],

h die Höhe des Probekörpers [mm],

u die Querverformung bei 45% der Bruchlast [mm] und

μ die Querdehnzahl (Annahme: 0,30) [-].

Die folgenden Kennwerte sollen angegeben werden:

- Spaltzugfestigkeit [N/mm²];
- Höhe des Probekörpers [mm];
- Bruchdehnung [‰];
- E_{SZ} -Modul [N/mm²] bei 45% der Bruchlast;
- Trockendichte [g/cm³].

5.3.17 Dichtenachweis am Bohrkern gemäß *DIN 18125-2*

Die Dichte des Bohrkernes kann mittels der Feucht- oder Trockenmasse wie folgt berechnet werden.¹⁰⁸

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \rho_d = \frac{m_d}{V} \quad (8)$$

dabei ist

ρ die Feuchtdichte,

m die Feuchtmasse,

V das Volumen,

ρ_d die Trockendichte und

m_d die Trockenmasse der Probe.

Die Feuchtmasse wird durch Auswägung und die Trockenmasse wird entweder durch Wägung nach Trocknung bis Massenkonstanz oder mittels des Wassergehaltes (w) nach der folgenden Gleichung ermittelt:¹⁰⁹

¹⁰⁸ *DIN 18125-2: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens – Teil 2: Feldversuche*, 2011, S. 7.

¹⁰⁹ Ebenda, S. 8.

$$m_d = \frac{m}{1+w} \quad (9)$$

Zur Bestimmung des Volumens existieren zwei Verfahren:

- Ermittlung des Volumens direkt an der Bodenprobe bzw. am Ausstechzylinder;
- Ermittlung des Volumens des nach der Probeentnahme entstandenen Hohlraumes mittels geeigneten Ersatzstoffes.

5.3.18 Wassergehalt gemäß DIN 18121-2

Der Wassergehalt wird durch Schnelltrocknung mit Infrarotstrahler, Elektroplatte, Gasbrenner oder Mikrowellenherd ermittelt. Das Verfahren ist für bindige oder nichtbindige Böden anwendbar. Ihre Eigenschaften dürfen sich bei der Trocknung nicht verändern.

Beim Luftpyknometerverfahren wird die Bodenprobe in eine Luftkammer gestellt. Durch Erzeugung von Luftdruck lässt sich das Volumen des untersuchten Materials feststellen. Zur Berechnung des Wassergehaltes braucht man zusätzlich die Feuchtmasse der Probe und die Korndichte.

5.3.19 Frostprüfung gemäß TP Beton-StB

Mit dieser Prüfung wird die Längenänderung von drei Probekörpern nach 12 Frost-Tau-Wechseln ermittelt. Am Anfang wird die Höhe und das Gewicht der Probekörper gemessen. Zu Beginn jedes Zyklus stellt man einen Filz so ein, dass $\frac{3}{4}$ seiner Dicke unter Wasser liegt. Danach werden die Probekörper ohne Abdeckung 4 Stunden auf dem Filz bei mindestens 95% relativer Luftfeuchtigkeit und 20 ± 2 °C gelagert, um Wasser anzusaugen. Danach sind sie in eine Frosttruhe zu legen. Innerhalb von 2 - 3 Stunden wird die Temperatur von +20 °C auf 0 °C abgesenkt und nach weiteren 5 - 6 Stunden auf -17,5 °C. Die Probekörper sollen mindestens 8 Stunden bei einer Temperatur von $(-17,5 \pm 2,5)$ °C verbleiben. Das Auftauen/Ansaugen erfolgt mindestens 7 Stunden auf dem Filz unter denselben Bedingungen. Die Probekörper sind zumindest nach der ersten und zwölften Frosteinwirkung im gefrorenen Zustand zu messen und zu wiegen. Die Längenänderung eines Probekörpers ist die Differenz seiner Längemessungen bezogen auf seine Höhe vor dem ersten Wasseransaugen. Am Ende wird der Mittelwert berechnet. Ist er negativ, dann sind die Probekörper frostbeständig.

5.3.20 Verdichtungsgrad

Der Verdichtungsgrad berechnet man durch Dividieren der Trockendichte der eingebauten Schicht (mittels Ersatzverfahren gemäß DIN 18125-2) mit der Probekörpertrockendichte (hergestellt gemäß Punkt 5.3.15).

5.3.21 Profilgerechte Lage

„Die profilgerechte Lage wird durch Nivellement geprüft; die Querneigung kann auch mit einem Neigungsmesser geprüft werden.“¹¹⁰

5.3.22 Ebenheit

Die Ebenheitsmessung der fertigen Schicht erfolgt mit der 4 m langen Richtlatte oder mit einem Ebenheitsprüfgerät gemäß *TP Eben, Teil: Berührende Messungen* in der Mitte der Fahrstreifen und des Seitenstreifens. Bei Ermittlung der Überschreitung des Grenzwertes wird die Länge der Unebenheit nicht berücksichtigt.¹¹¹

¹¹⁰ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt*, FGSV 799, 2007, S. 49.

¹¹¹ Vgl. ebenda.

6 Vergleich zwischen Kaltrecycling in situ und konventionellem Erneuerungsverfahren

6.1 Vergleich

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen je eine Sanierungsvariante aus beiden Verfahren bei verschiedener Tiefe der Schäden.

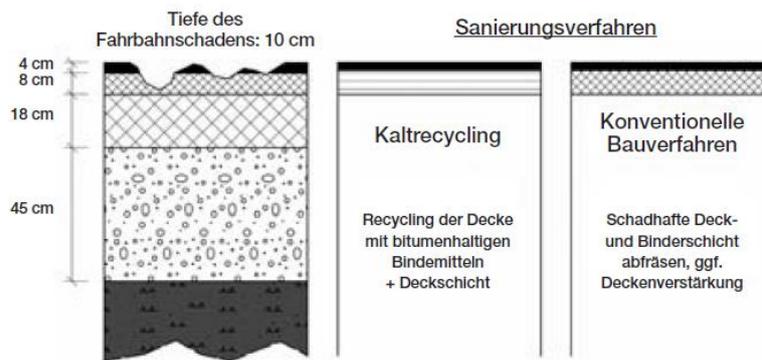


Abbildung 23: Erneuerung im Bereich der Fahrbahndecke¹¹²



Abbildung 24: Erneuerung im Bereich des gebundenen Oberbaus¹¹³

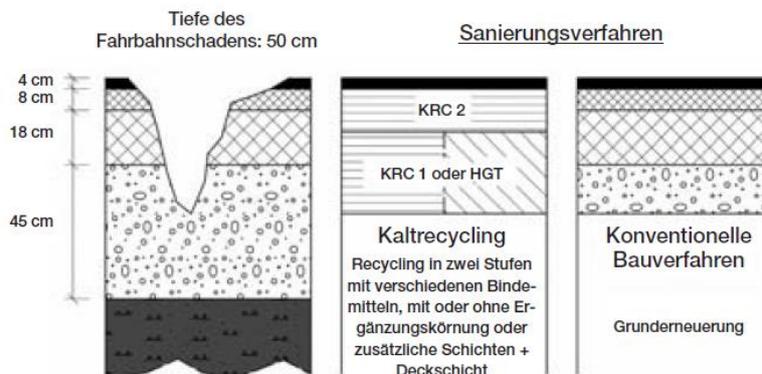


Abbildung 25: Erneuerung des kompletten Oberbaus¹¹⁴

¹¹² Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2006, S. 55.

¹¹³ Vgl. ebenda.

Die Vorteile des Kaltrecycling in situ im Vergleich zum konventionellen Erneuerungsverfahren sind:

- **Umweltfreundlichkeit**
Die Straßenschichten werden völlig wiederverwertet und die abgebrochene Fahrbahnbefestigung muss nicht bis zu einer Deponie transportiert werden, was Deponieraum und Transportaufwand spart. Gleichzeitig benötigt man weniger Baustoffe und somit werden Ressourcen geschont. Durch den reduzierten Transportaufwand verringern sich die Schadstoff- und Lärmemissionen¹¹⁵. Da bei diesem Verfahren die Baustoffe nicht erhitzt werden müssen, wird Energie eingespart und dadurch auch die Umwelt geschont¹¹⁶.
- **Belastung von Untergrund bzw. Unterbau**
Normalerweise wird Kaltrecycling in situ mit nur einem Übergang durchgeführt. So werden die tieferen Schichten der Straßenkonstruktion nur geringfügig belastet¹¹⁷.
- **Kürzere Bauzeiten**
Die erforderliche Bauzeit nach dem Kaltrecycling-Verfahren ist im Vergleich zu der konventionellen Technologie wesentlich kürzer¹¹⁸. Die Leistungsfähigkeit der modernen Kaltrecycler ist von Baugerät, geplanter Arbeitstiefe, Art des aufzubereitenden Materials, Längsneigung der Straße und der Versorgung mit Baustoffen abhängig. In der Regel ist der ideale Leistungsbereich bis 1.200 m²/h¹¹⁹.
- **Sicherheit**
Die kurze Bauzeit beeinträchtigt den Verkehr nur geringfügig, was die Gefahr von Unfällen im Baustellenbereich verringert¹²⁰.
- **Kosten**
Die geringeren Kosten der KRC-Baumaßnahmen sind durch die Einsparung von Baustoffen, Transportkosten, Deponiegebühren, Personaleinsatz und Bauzeit bedingt.
- **Substanzerhaltung**
Die Profilverbesserung kann mit einem Grader geschaffen werden. Somit wird kein Material (Tragfähigkeit) verloren.

¹¹⁴ Vgl. ebenda.

¹¹⁵ Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2006, S. 40.

¹¹⁶ VOLLPRACHT, Alf: *Fräsrecycling von Asphaltbefestigungen*, In: s+t, 1994, S. 7.

¹¹⁷ Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2006, S. 41.

¹¹⁸ Vgl. ebenda.

¹¹⁹ Wirtgen GmbH: *Die neue Generation Kaltrecycler und Bodenstabilisierer WR Baureihe*, 2013, S. 7.

¹²⁰ Wirtgen GmbH: *Die Vorteile der Kaltrecycling Technologie*.

<http://www.wirtgen.de/de/technologien/kaltrecycling/vorteile/> 15.06.2013

Als auch das Kaltrecycling in situ sowie das konventionelle Verfahren können unter Verkehr eingesetzt werden und schaffen eine hochwertige Durchmischung der Baustoffe.

6.2 Kostenvergleich zwischen Kaltrecycling in situ und konventionellem Erneuerungsverfahren an der Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“ in Bulgarien

Der Kostenvergleich wird an der Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“ in Bulgarien von km 131+700 bis km 132+700 durchgeführt. Die Straße befindet sich im Nordosten Bulgariens und verbindet die Städte Shumen und Veliki Preslav (siehe Abb. 26 und Abb. 27).

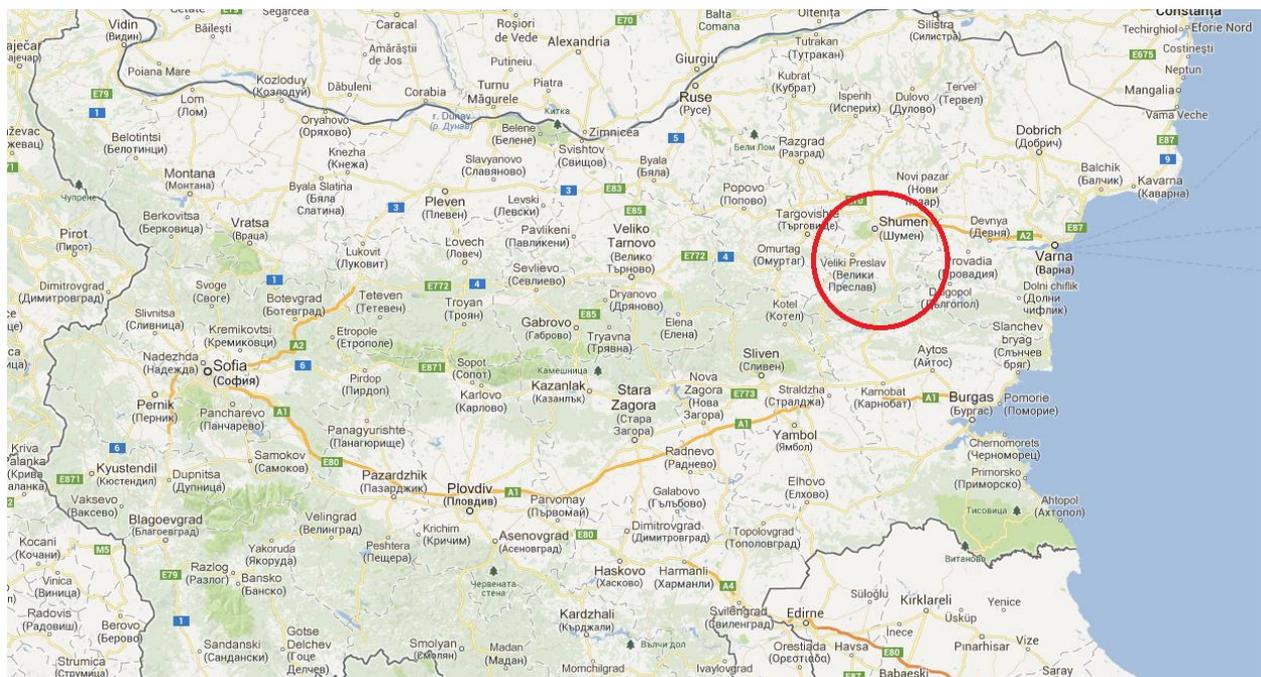


Abbildung 26: Standort der Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“ in Bulgarien¹²¹

¹²¹ Quelle: <http://maps.google.at> 25.06.2013.

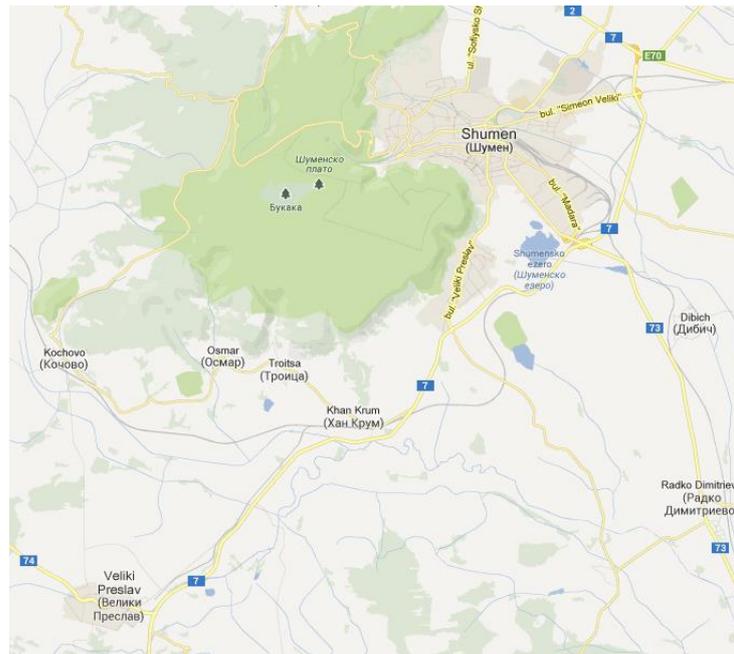


Abbildung 27: Lageplan der Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“¹²²

Sie gehört zum republikanischen Straßennetz, Klasse I (die nächste untergeordnete Klasse nach den Autobahnen entsprechend der verkehrstechnischen Klassifikation). Die Klasse der republikanischen Straßen wird nach den folgenden Kriterien bestimmt.¹²³

- Anzahl und Art der Verkehrsmittel
- Verkehrsfunktionen (Beförderungen in langen und mittleren Entfernungen, internationale Beförderungen, regionale Verbindungen)

Die Straße besitzt zwei Fahrstreifen mit je 4 m und zwei Bankette mit 1,5 m Breite (siehe Abb. 28).



Abbildung 28: Die Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“, aktueller Zustand¹²⁴

¹²² Vgl. ebenda.

¹²³ МИХАЙЛОВ, Nikolai: *Straßenbau*, 2010, S. 9.

¹²⁴ Трансконсулт - 22 ООД.

Der Straßenaufbau sieht folgendermaßen aus:

- 4 cm Deckschicht,
- 4 cm Binderschicht,
- 12 cm Asphalttragschicht,
- 40 cm ungebundene Schicht und
- 50 cm Zone „A“.

Zone „A“ ist der obere Teil des Straßendamms mit einer Dicke von bis zu 50 cm.¹²⁵

Für das Projekt nach dem konventionellen Verfahren siehe Anhang 1. Die erforderliche Verstärkung ist 15 cm und die Projektgeschwindigkeit 80 km/h. Die Projektgeschwindigkeit ist die ungefährliche Fahrgeschwindigkeit eines Autos bei nasser und sauberer Straßenoberfläche¹²⁶.

In der gewählten Strecke sollen die Schäden repariert werden. Es ist kein technologisches Fräsen notwendig. In bestimmten Bereichen müssen lokale Reparaturen vorgenommen werden. Die Verstärkung dort ist größer als die Dicke der Asphaltbefestigung (20 cm). Die ganze Asphaltbefestigung ist zu entfernen, die Dicke der ungebundenen Schicht ist zu erhöhen und die Asphaltbefestigung ist wiederherzustellen.

Das Projekt für die KRC-Baumaßnahme ist im Anhang 2 gegeben. Es ist keine Reparatur der Schäden vor dem Kaltrecycling in situ notwendig. Die Dicke der KRC-Schicht ist mit 30 cm gewählt. Aus Erfahrung wissen die Projektanten, dass nach dem Herstellen einer 30 cm dicken KRC-Schicht das Gelände ca. 2 cm höher liegt. Deswegen muss man 28 cm recyceln, um eine Schichtdicke von 30 cm zu bekommen. Um Material einzusparen, kann in bestimmten Punkten die KRC-Schichtdicke um 5 cm vermindert werden (Profilieren mit dem Grader). Danach werden 6 cm Binder- und 4 cm Deckschicht überbaut.

Abb. 29 veranschaulicht den Oberbauvergleich zwischen den beiden Technologien.

¹²⁵ MIHAILOV, Nikolai: *Straßenbau*, 2010, S. 62.

¹²⁶ DONCHEV, Marin: *Präsentation zu der Übungen in „Straßenbau“*, Thema 1, 2012, S. 6.

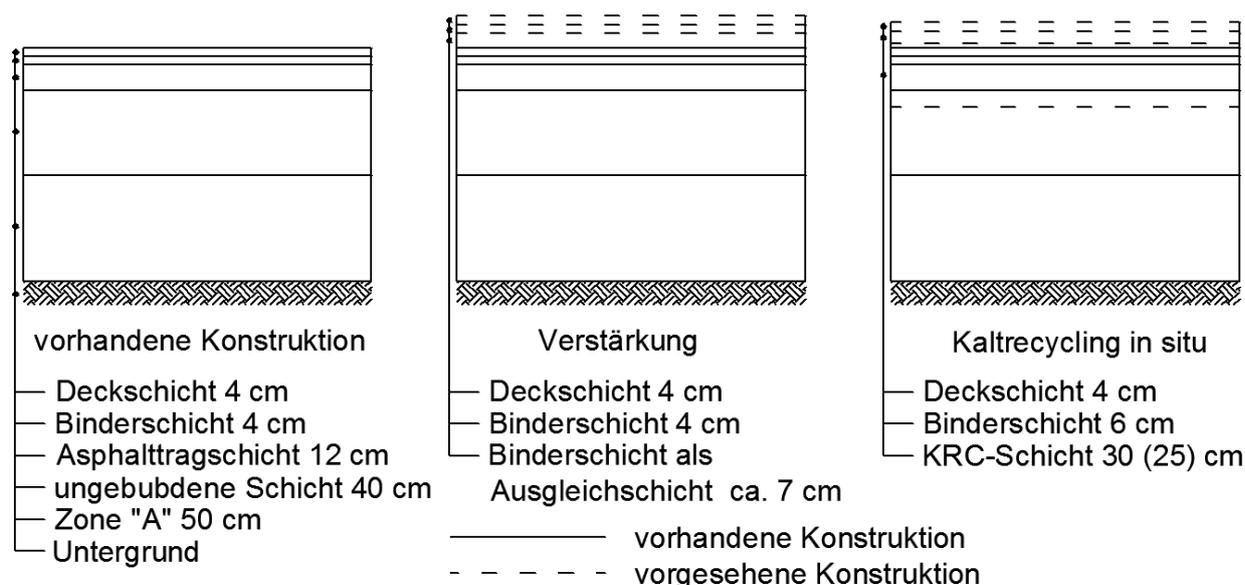


Abbildung 29: Oberbauvergleich

Der Kostenvergleich ist in Tab. 9 dargestellt. Die angeführten Preise sind ohne Mehrwertsteuer und Gewinn.

Arbeitsarten	Dim.	Verstärkung			Kaltrecycling		
		Menge	Einzelpreis	Preis	Menge	Einzelpreis	Preis
2.1 Boden							
Bankettaushub	m ³	450	4,78	2.151	450	4,78	2.151
Transport	m ³	450	2,70	1.215	450	2,70	1.215
Deponiegebühr	m ³	450	2,40	1.080	450	2,40	1.080
Abbruch der Asphaltbefestigung	m ³	318	3,78	1.202	-	-	-
Transport	m ³ (verdichtet)	318	4,32	1.374	-	-	-
Deponiegebühr	m ³ (abg.)	347	4,70	1.630	-	-	-
Zwischensumme 2.1				8.653			4.446
2.2 Asphalt							
Binderschicht	t	2.229	148,47	330.903	1.169	148,47	173.561
Deckschicht	t	768	160,04	122.911	768	160,04	122.911
Deckschicht (Erholungsplatz)	t	11	160,04	1.760	11	160,04	1.760
Erster Bitumenverguss	m ²	1.724	2,20	3.793	8.930	2,20	19.646
Zweiter Bitumenverguss	m ²	24.374	0,50	12.187	8.118	0,50	4.059
Asphalttragschicht	t	469	103,10	48.325	-	-	-
Zwischensumme 2.2				519.879			321.938
2.3 Straßenbefestigung							
KRC-Schicht	m ³	-	-	-	2.435	44,00	107.140
Ungebundene Schicht	m ³	418	23,56	9.847	-	-	-
Bankett	m ³	1.001	23,56	23.584	901	23,56	21.228
Zwischensumme 2.3				33.431			128.368
2.4 Beseitigung von Schäden							
Flicken bis zu 30 mm tief	m ²	1.905	26,65	50.768	-	-	-
Flicken über 30 mm tief	m ²	539	30,81	16.591	-	-	-
Spurrinnen über 15 mm tief	m ²	975	26,65	25.984	-	-	-
Rissbreiten bis 3 mm	m	2.303	1,44	3.317	-	-	-
Transport von Binder für Flicker	t	438	1,80	788	-	-	-
Zwischensumme 2.4				97.448			0
Gesamtsumme				659.411			454.751

Tabelle 9: Kostenvergleich

Aus dem Vergleich ergeben sich die Kosten für die Streckenerneuerung nach dem konventionellen Verfahren (659.411 lv.) und nach dem KRC-Verfahren (454.751 lv.). Somit kostet die KRC-Baumaßnahme 204.660 lv. (31%) weniger. Beim KRC-Verfahren entfallen ca. 5 cm Binderschicht (157.342 lv.), die ganze Asphalttragschicht für lokale Reparaturen (48.325 lv.) und die Beseitigung von Schäden (97.448 lv.), aber zusätzlich kommt das Kaltrecycling der Straßenbefestigung (107.140 lv.).

Das *WKRC-Hb* berichtet, dass das Kaltrecyclingverfahren im Vergleich zu konventionellen Erneuerungsmethoden mehr als 30% billiger ist¹²⁷. Auf diesem Grund kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass die Marktpreise für Kaltrecycling in Bulgarien im Großen und Ganzen nahe der Selbstkosten liegen. Daher ist keine wesentliche Absenkung der Marktpreise in Bulgarien zu erwarten.

Im Vergleich zu den entwickelten Ländern gibt es in Bulgarien eine größere Anzahl von Straßen, die für Kaltrecycling geeignet sind. Das sind vor allem die Ort- und Gemeindestraßen. Ihre Finanzierung ist stark reduziert, was sie bald vollständig unbrauchbar machen wird. Die verfügbaren Finanzmittel für ihre Erneuerung sind einige Male weniger als notwendig¹²⁸. Die festgestellten Vorteile des Kaltrecyclings sowie ihre Wirtschaftlichkeit werden zur Reparatur mehrerer Straßen in Bulgarien beitragen.

¹²⁷ Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2006, S. 61.

¹²⁸ MIHAILOV, Nikolai: *Straßenbau*, 2010, S. 26.

7 Zusammenfassung

Aus dem durchgeführten Vergleich hat sich das Kaltrecycling in situ als eine vorteilhafte und billige Erneuerungsmethode im Straßenoberbau erwiesen. Das Verfahren findet in Bulgarien eine größere Anwendung, weil viele Straßen in sehr schlechtem Zustand und die Finanzmittel knapp sind.

Die Behörden in Bulgarien sollen die Einführung von innovativen Technologien fördern. Mit der Zusammenstellung des bulgarischen Regelwerkes für Kaltrecycling in situ könnte man dieses Verfahren leichter einsetzen und die Qualität des Endproduktes besser gewährleisten. Es sind so viele geeignete Straßen wie möglich kalt zu recyceln.

Falls in der Zukunft mehr mit Beton statt mit Asphalt Straßen gebaut werden, wird das Kaltrecycling seine Bedeutung verlieren, weil bewehrte Betondecken in situ nicht recycelt werden können.

Um die Selbstkosten des neuen Verfahrens genauer zu ermitteln, wäre sinnvoll sie mit den Kosten für Baustoffe, Maschinen und Personal zu kalkulieren. Zusätzlich können auch Varianten mit unterschiedlicher Tiefe der Fahrbahnschäden bzw. unterschiedlicher Dicken der erforderlichen Verstärkung hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit verglichen werden.

Diese Arbeit liefert die Möglichkeit die eingesparten Finanzmittel bei der Verwendung von Kaltrecycling in situ in Bulgarien grob abzuschätzen, viele nutzbare Vorschläge bei der Planung und Ausführung von KRC-Baumaßnahmen und einen Ausblick über die deutsche Normen, mit denen das erwartete bulgarische Regelwerk verglichen werden könnte, sowie über die zukünftigen Entwicklungsperspektiven der neuen Methode.

8 Anhänge

8.1 Anhang 1: Konventionelles Verfahren

8.1.1 Bemessung der Verstärkung an der Straße I-7 "Shumen – Veliki Preslav" von km 131+700 bis zum km 132+700

Die Dimensionierung ist für Verkehrskategorie „sehr schwer“ mit einer Bemessungsachslast von 11,5 t für Bemessungszeitraum von 15 Jahren, mit tatsächlichem äquivalenten Elastizitätsmodul $E_{\phi} = 140$ MPa und erforderlichem Elastizitätsmodul $E_H = 259$ MPa entsprechend der Ausgangsdaten des *ZSBL* durchgeführt.

Bemessung der erforderlichen Verstärkung:

Die Bemessung erfolgt gemäß *RBA*, *Punkt 9.3.1* nach der folgenden Formel:¹²⁹

$$E_{e.o\delta u} / E_H > 1 \quad (10)$$

dabei ist:

$E_{e.o\delta u}$ der gesamte äquivalente Modul auf der Straßenoberfläche nach der Wahl der Schichtdicken, [MPa];

E_H der erforderliche äquivalente Entwurfsmodul bei Berücksichtigung des Bemessungsverkehrs, [MPa].

Die Bestimmung von $E_{e.o\delta u}$ erfolgt gemäß *RBA*, *Abb. 9.1*.

Dabei ist:

h_i die i-te Schichtdicke, [cm];

E_i der Elastizitätsmodul des Baustoffes der Konstruktionsschicht, [MPa];

E_D der äquivalente Modul auf der unten liegenden Schicht, bei Bemessung der Verstärkung bzw. der tatsächliche äquivalente Modul E_{ϕ} , [MPa];

D der Durchmesser der Kontaktfläche zwischen den zwillingsbereiften Hinterrädern des Belastungsfahrzeuges und der Fahrbahn, [cm];

¹²⁹ Zentrales Straßen- und Brückenlabor, Ausführende Agentur „Straßen“: *Richtlinien für Bemessung von Asphaltbefestigungen*, 2002, S. 94.

$E_{e,i}$ der äquivalente Modul auf der Oberfläche der i-ten Schicht, [MPa].

Berechnungen:

Die Moduli der Baustoffe der unterschiedlichen Schichten werden von *RBA, Tab. 9.4* abgelesen, d. s. für Deckschicht 1.200 MPa, für Binderschicht 1000 MPa, für Asphalttragschicht 800 MPa und für ungebundene Schicht aus Brechsteinen mit stetiger Korngrößenverteilung 250 MPa. Nach dem Ausgraben eines Schurfes wird der Elastizitätsmodul des Untergrundes $E_0 = 60$ MPa und der Modul des Baustoffes der ungebundenen Schicht aus Brechsteinen festgestellt.

$$\underline{Ee_1 = E_H = 259 \text{ MPa}}$$

↓

$h_1 = 4 \text{ cm}$	Deckschicht $E_1 = 1.200 \text{ MPa}$	<u>$Ee_2 = 216 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_2 = 11 \text{ cm}$	Binderschicht $E_2 = 1.000 \text{ MPa}$	<u>$Ee_3 = E_\phi = 140 \text{ MPa}$</u> ↓
	vorhandene Befestigung	

Tabelle 10: Bemessung der Verstärkung

1. 4 cm Deckschicht

$$h_1 / D = 4 / 34 = 0,118; E_{e1} / E_1 = 259 / 1.200 = 0,216;$$

$$\text{abgelesen } E_{e2} / E_1 = 0,18 \text{ (RBA, Abb. 9.1); } E_{e2} = 0,18 \times 1.200 = 216 \text{ MPa.}$$

2. 11 cm Binderschicht

$$E_{e2} / E_2 = 216 / 1.000 = 0,216; E_{e3} / E_2 = 140 / 1.000 = 0,140;$$

$$\text{abgelesen } h_2 / D = 0,323 \text{ (RBA, Abb. 9.1); } h_2 = 0,323 \times 34 = 10,98 \text{ cm.}$$

Nachweis der Zugspannungen in den Schichten:

Der Nachweis der Zugspannungen wird gemäß *RBA*, *Punkt 9.3.2* nach der folgenden Formel durchgeführt:¹³⁰

$$\sigma_{\text{don}} / \sigma_R > 1 \quad (11)$$

dabei ist:

σ_{don} die zulässige Zugspannung im Baustoff der Konstruktionsschicht, [MPa];

σ_R die maximale Zugspannung in der betrachteten Konstruktionsschicht, [MPa].

σ_{don} wird von *RBA*, *Tab. 9.7* abgelesen.

σ_R wird nach der folgenden Formel bestimmt:¹³¹

$$\sigma_R = 1,15 p \overline{\sigma_R} \quad (12)$$

dabei ist:

σ_R die maximale Zugspannung infolge Biegung in der Konstruktionsschicht (Deckschicht oder Zwischenschicht) bei Belastung, die den zwillingsbereiften Hinterrädern des Belastungsfahrzeuges entspricht, [MPa];

p der Bemessungswert der Belastung auf der Straßenoberfläche, die gleich 0,620 MPa bei einer Bemessungsfahrzeug mit Radlast an der Hinterachse von 100 kN bzw. 0,633 MPa bei einer Bemessungsfahrzeug mit Radlast an der Hinterachse von 115 kN ist;

$\overline{\sigma_R}$ die Zugspannung in der betrachteten Konstruktionsschicht bei einer Belastung auf der Straßenoberfläche von $p = 1$ MPa gemäß *RBA*, *Abb. 9.2* oder *Abb. 9.3*, [MPa];

1,15 Beiwert für Berücksichtigung der dynamischen Belastung.

$\overline{\sigma_R}$ wird gemäß *RBA*, *Abb. 9.2* bestimmt.

Dabei ist:

H die Schichtdicke über der betrachteten Schicht, [cm];

D der Durchmesser der Kontaktfläche zwischen den zwillingsbereiften Hinterrädern des Belastungsfahrzeuges und der Fahrbahn, [cm];

¹³⁰ Ebenda, S. 96.

¹³¹ Ebenda, S. 98.

E_{cp} der Mittelwert des Elastizitätsmoduls der Baustoffe in der betrachteten Schicht und in den Schichten, die über der betrachteten Schicht liegen, [MPa];

$E_{\mathcal{A}}$ der äquivalente Gesamtmodul auf der Unterseite der betrachteten Schicht, [MPa];

$\overline{\sigma}_R$ die maximale Zugspannung im Baustoff der betrachteten Schicht bei einer Belastung der Straßenoberfläche von $p = 1$ MPa, [MPa].

Je nach dem Fall kann $\overline{\sigma}_R$ auch gemäß *RBA, Abb. 9.3* bestimmt werden.

Dabei ist:

H die Dicke der zwei Oberschichten in einem dreischichtigen System, [cm];

D der Durchmesser der Kontaktfläche zwischen den zwillingsbereiften Hinterrädern des Belastungsfahrzeuges und der Fahrbahn, [cm];

E_{cp} der Mittelwert des Elastizitätsmoduls der Baustoffe in der betrachteten Schicht und in den Schichten, die über der betrachteten Schicht liegen, [MPa];

E_i der Elastizitätsmodul der Zwischenschicht, [MPa];

$E_{\mathcal{A}}$ der äquivalente Modul auf der Unterseite der Zwischenschicht, [MPa];

$\overline{\sigma}_R$ die maximale Zugspannung im Baustoff der betrachteten Zwischenschicht bei einer Belastung der Straßenoberfläche von $p = 1$ MPa, [MPa].

E_{cp} wird nach der folgenden Formel berechnet:¹³²

$$E_{cp.} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (13)$$

dabei ist:

E_{cp} der Mittelwert der Elastizitätsmoduli einiger benachbarten Schichten, [MPa];

n die Anzahl der Konstruktionsschichten;

E_i der Elastizitätsmodul der i -ten Konstruktionsschicht, [MPa];

h_i die i -te Konstruktionsschichtdicke, [cm].

¹³² Vgl. ebenda.

Berechnungen:

Nachweis der Zugspannungen an der Binderschichtunterseite, d. h. für die Gesamtdicke:

$$H = h_1 + h_2 = 4 + 11 = 15 \text{ cm.}$$

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{1.200 \times 4 + 1.000 \times 11}{15} = 1.053,333 \text{ MPa};$$

$$E_{\text{d}} = 140 \text{ MPa (siehe Tab. 10);}$$

$$H / D = 15 / 34 = 0,441;$$

$$E_{cp} / E_{\text{d}} = 1.053,333 / 140 = 7,524;$$

abgelesen $\overline{\sigma_R} = 1,41 \text{ MPa (RBA, Abb. 9.2);}$

abgelesen $\sigma_{oon} = 1 \text{ MPa (RBA, Tab. 9.7);}$

$p = 0,663 \text{ MPa}$ für Bemessungsfahrzeug mit 115 kN Achslast;

$$\sigma_R = 1,15 \times p \times \overline{\sigma_R} = 1,15 \times 0,633 \times 1,41 = 1,026 \approx 1,0 = \sigma_{oon}.$$

Der Nachweis ändert nicht die Konstruktionsschichtdicken.

Nachweis der Scherspannungen:

Nachweis der Scherspannungen im Untergrund:

Der Nachweis der Scherspannungen im Untergrund wird gemäß *RBA, Punkt 9.3.2* nach der folgenden Formel durchgeführt:¹³³

$$\tau_{\mu} + \tau_b \leq K.C = \tau_{oon} \quad (14)$$

dabei ist:

τ_{μ} die maximale Scherspannung im Untergrund infolge der Bemessungslast, [MPa];

τ_b die Scherspannung im Untergrund infolge des Eigengewichtes der Befestigung, [MPa];

C die Kohäsion des Bodens im Untergrund, [MPa];

¹³³ Ebenda, S. 101.

K der komplexe Beiwert, der die Besonderheiten der Befestigung berücksichtigt (*RBA*, *Tab. 9.8*);

τ_{don} die zulässige Scherspannung im Untergrund, [MPa].

τ_{μ} wird nach der folgenden Formel bestimmt:¹³⁴

$$\tau_{\mu} = p \cdot \left(\frac{\tau_{\mu}}{p} \right) \quad (15)$$

dabei ist:

p der Bemessungswert der Belastung auf der Straßenoberfläche, die gleich 0,620 MPa bei einer Bemessungsfahrzeug mit Radlast an der Hinterachse von 100 kN bzw. 0,633 MPa bei einer Bemessungsfahrzeug mit Radlast an der Hinterachse von 115 kN ist;

τ_{μ} die maximale Scherspannung im Untergrund infolge der Bemessungslast, [MPa].

Das Verhältnis τ_{μ} / p wird von *RBA*, *Abb. 9.4* oder *Abb. 9.5* abgelesen, wenn der Untergrund aus bindigen Böden zusammengesetzt ist, oder von *RBA*, *Abb. 9.6* oder *Abb. 9.7*, wenn der Untergrund aus ungebundenen Böden zusammengesetzt ist.

Die Bezeichnungen in den Nomogrammen sind wie folgt:

H die Gesamtdicke der Befestigung, [cm];

D der Durchmesser der Kontaktfläche, [cm];

E_{cp} der Mittelwert des Elastizitätsmoduls, der nach der Formel (13) berechnet ist, [MPa];

E_0 der Elastizitätsmodul des Bodens, [MPa];

C и φ^0 die Kohäsion und der Winkel der inneren Reibung des Bodens im Untergrund, die im Labor festgestellt sind oder von *RBA*, *Tab. 9.9* abgelesen sind, [MPa] и [$^{\circ}$].

τ_b wird gemäß *RBA*, *Abb. 9.8* bestimmt.

K wird nach der folgenden Formel berechnet:¹³⁵

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{d \cdot f} \cdot \frac{1}{K_3} \quad (16)$$

dabei ist:

¹³⁴ Vgl. ebenda.

¹³⁵ Ebenda, S. 104.

d der Beiwert, der die dynamische Einwirkung der Fahrzeugräder berücksichtigt und gleich 1,15 ist;

f der Beiwert, der die Bedingungen in der Grenzfläche zwischen der Befestigung und dem Untergrund berücksichtigt. Wenn dazwischen eine Bindung vorhanden ist, was der Fall beim Untergrund aus bindigen Böden ist, $f = 0,65$ und bei ungebundenen Böden $f = 1,15$;

K_1 der Beiwert, der die Verminderung der Scherfestigkeit der Böden infolge der dynamischen Einwirkung der Fahrzeuge berücksichtigt und gleich 0,6 ist;

K_2 der Beiwert, der die ungleichartigen Arbeitsbedingungen der Befestigung berücksichtigt (*RBA, Tab. 9.8*);

K_3 der Beiwert, der die Benutzungsanforderungen an die Befestigung berücksichtigt (*RBA, Tab. 9.8*).

Nachweis der Scherspannungen in den ungebundenen Schichten:

Der Nachweis der Scherspannungen in den ungebundenen Schichten wird durchgeführt, nur wenn die Verkehrsbelastung mittlere oder höhere Kategorie aufweist und die Schichten aus Kies, Sand oder mit Bitumen und Teeren stabilisierten Materialien und Böden zusammengesetzt sind. Bei den Nachweisen ist die Größe H die Summe aller Schichtdicken, die über der betrachteten Schicht liegen und E_{cp} wird mit dem E-Modul auf der Oberfläche derselben Schicht ersetzt.

Nachweis des frostsicheren Oberbaues:

Der Nachweis des frostsicheren Oberbaues erfolgt gemäß *RBA, Abschnitt V*. Die Dicke der Straßenbefestigung H soll größer als die Frosttiefe z sein. z wird nach der folgenden Formel berechnet:¹³⁶

$$z = z' m \quad (17)$$

dabei ist:

z' die Frosttiefe des Untergrundes im offenen Gelände gemäß *RBA, Abb. 5.2*, [cm];

m Beiwert ohne Dimension, [-].

¹³⁶ Ebenda, S. 22.

m wird nach der folgenden Formel berechnet:¹³⁷

$$m = \frac{\lambda_{3n}}{\lambda_{on}} \quad (18)$$

dabei ist:

λ_{3n} der Wärmeleitkoeffizient des Bodens unter der Befestigung gemäß *RBA, Tab. 5.2*, [kcal/mhg];

λ_{on} der Wärmeleitkoeffizient des Bodens im offenen Gelände. Er wird ca. 2,50 kcal/mhg für erste Klimazone bzw. 2,2 kcal/mhg für zweite Klimazone angenommen. Die Klimazonen werden nach *RBA, Abb. 5.3* bestimmt.

Zum Ablesen von λ_{3n} ist der Wärmewiderstand der Befestigung R_0 notwendig, der nach der folgenden Formel berechnet wird:¹³⁸

$$R_0 = \frac{h_1}{\lambda_1} \dots + \frac{h_m}{\lambda_m} \quad (19)$$

dabei ist:

R_0 der Wärmewiderstand der Befestigung, [m²hg/kcal];

$h_1 \dots h_m$ die Schichtendicken, [m];

$\lambda_1 \dots \lambda_m$ die Wärmeleitkoeffizienten der Materialien in den entsprechenden Schichten gemäß *RBA, Tab. 5.1*, [kcal/mhg];

Aus Gleichung (19) folgt für den vorhandenen Schichtaufbau $R_0 = 0,60$ m²hg/kcal;

abgelesen $\lambda_{3n} = 1,65$ kcal/mhg (*RBA, Tab. 5.2*);

abgelesen $\lambda_{on} = 2,5$ kcal/mhg (*RBA, Tab. 5.3*);

$$m = \frac{\lambda_{3n}}{\lambda_{on}} = \frac{1,65}{2,5} = 0,66;$$

abgelesen $z' = 80$ cm (*RBA, Tab. 5.2*);

$$z = z' \cdot m = 80 \times 0,66 = 53 \text{ cm.}$$

¹³⁷ Vgl. ebenda.

¹³⁸ Ebenda, S. 21.

Die Gesamtdicke der neuen Befestigung ist $H = 75$ cm und diese ist größer als die Frosttiefe $z = 53$ cm.

8.1.2 Bemessung der lokalen Reparatur an der Straße I-7 “Shumen – Veliki Preslav” von km 131+700 bis zum km 132+700

Die lokale Reparatur wird wie eine Erneuerung im Tiefbau dimensioniert. Die Bemessung ist für die Verkehrskategorie “sehr schwer”, mit einer Bemessungslast von 11,5 t für Benutzungszeitraum von 15 Jahren und mit erforderlichem Elastizitätsmodul $E_H = 259 \text{ MPa}$ gemäß *Punkt 3.2* von den Ausgangsdaten des *ZSBLs* durchgeführt.

Nachweis der Einsenkung:

Berechnungen:

		<u>$E_{e1} = E_H = 259 \text{ MPa}$</u>
		↓
$h_1 = 4 \text{ cm}$	Deckschicht $E_1 = 1.200 \text{ MPa}$	<u>$E_{e2} = 238 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_2 = 4 \text{ cm}$	Binderschicht $E_2 = 1.000 \text{ MPa}$	<u>$E_{e3} = 219 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_3 = 12 \text{ cm}$	Asphalttragschicht $E_3 = 800 \text{ MPa}$	<u>$E_{e4} = 148 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_4 = ? \text{ cm}$	Brechstein mit stetiger Korngrößenverteilung $E_4 = 250 \text{ MPa}$	<u>$E_{e5} = E_{3,0} = 60 \text{ MPa}$</u> ↓

Tabelle 11: Bemessung der lokalen Reparatur

1. 4 cm Deckschicht

$$h_1 / D = 4 / 34 = 0,118; E_{e1} / E_1 = 259 / 1.200 = 0,216;$$

$$\text{abgelesen } E_{e2} / E_1 = 0,198 \text{ (RBA, Abb. 9.1); } E_{e2} = 0,198 \times 1.200 = 238 \text{ MPa.}$$

2. 4 cm Binderschicht

$$h_2 / D = 4 / 34 = 0,118; E_{e2} / E_2 = 238 / 1.000 = 0,238;$$

abgelesen $E_{e3} / E_2 = 0,219$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e2} = 0,219 \times 1.000 = 219$ MPa.

3. 12 cm Asphalttragschicht

$$h_3 / D = 12 / 34 = 0,353; E_{e3} / E_3 = 219 / 800 = 0,274;$$

abgelesen $E_{e4} / E_3 = 0,185$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e2} = 0,185 \times 800 = 148$ MPa.

4. 43 cm ungebundene Schicht

$$E_{e4} / E_4 = 148 / 250 = 0,592; E_{e5} / E_4 = 60 / 250 = 0,24;$$

abgelesen $h_4 / D = 1,25$ (RBA, Abb. 9.1); $h_4 = 1,25 \times 34 = 42,5 \approx 43$ cm.

Nachweis der Zugspannungen in den Schichten:

Berechnungen:

Nachweis der Zugspannungen an der Binderschichtunterseite, d. h. für die Gesamtdicke:

$$H = h_1 + h_2 = 4 + 4 = 8 \text{ cm.}$$

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{1.200 \times 4 + 1.000 \times 4}{8} = 1.100 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{II}} = 219 \text{ MPa (siehe Tab. 11);}$$

$$H / D = 8 / 34 = 0,235 ;$$

$$E_{cp} / E_{\text{II}} = 1.100 / 219 = 5,02 ;$$

abgelesen $\overline{\sigma}_R = 1,45$ MPa (RBA, Abb. 9.2);

abgelesen $\sigma_{\text{don}} = 1$ MPa (RBA, Tab. 9.7);

$p = 0,663$ MPa für Bemessungsfahrzeug mit 115 kN Achslast;

$$\sigma_R = 1,15 \times p \times \overline{\sigma_R} = 1,15 \times 0,633 \times 1,45 = 1,055 \approx 1,0 = \sigma_{oon} .$$

Der Nachweis ändert nicht die Konstruktionsschichtdicken.

Nachweis der Zugspannungen an der Asphalttragschichtunterseite, d. h. für die Gesamtdicke:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 4 + 4 + 12 = 20 \text{ cm} .$$

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{1.200 \times 4 + 1.000 \times 4 + 800 \times 12}{20} = 920 \text{ MPa};$$

$$E_i = 800 \text{ MPa};$$

$$E_{\text{II}} = 148 \text{ MPa (siehe Tab. 11)};$$

$$H / D = 20 / 34 = 0,588;$$

$$E_{cp} / E_{\text{II}} = 920 / 148 = 6,216;$$

abgelesen $\overline{\sigma_R} = 0,97 \text{ MPa (RBA, Abb. 9.2)}$;

$p = 0,663 \text{ MPa}$ für Bemessungsfahrzeug mit 115 kN Achslast;

abgelesen $\sigma_{oon} = 0,8 \text{ MPa (RBA, Tab. 9.7)}$;

$$\sigma_R = 1,15 \times p \times \overline{\sigma_R} = 1,15 \times 0,633 \times 0,97 = 0,71 < 0,8 = \sigma_{oon} .$$

Der Nachweis ändert nicht die Konstruktionsschichtdicken.

Für Untergrund aus ungebundenen Böden:

Nachweis der Scherspannungen im Untergrund:

Berechnungen:

abgelesen $K_2 = 0,65$; $K_3 = 1$ (RBA, Tab. 9.8);

$$f = 1,15;$$

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{d \cdot f \cdot K_3} = \frac{0,6 \times 0,65}{1,15 \times 1,15 \times 1} = 0,29;$$

abgelesen $C = 0,03 \text{ MPa}$; $\varphi^\circ = 40^\circ$ (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\text{don}} = K \cdot C = 0,29 \times 0,03 = 0,0087 \text{ MPa};$$

$$E_{cp} = \frac{\sum E_i \cdot h_i}{\sum h_i} = \frac{1.200 \times 4 + 1.000 \times 4 + 800 \times 12 + 250 \times 43}{63} = 462,698 \text{ MPa};$$

$$H / D = 63 / 34 = 1,852;$$

$$E_{cp} / E_0 = 462,698 / 60 = 7,711;$$

abgelesen $\frac{\tau_{\mu}}{p} \times 10^2 = 0,25$ (RBA, Abb. 9.7);

$$\tau_{\mu} = \frac{0,25 \times p}{10^2} = \frac{0,25 \times 0,633}{10^2} = 0,00158 \text{ MPa};$$

abgelesen $\tau_b = -0,0044$ MPa (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\mu} + \tau_b \leq K \cdot C = \tau_{\text{don}};$$

$$0,00158 - 0,005 = -0,00282 \leq 0,0087 = \tau_{\text{don}}.$$

Der Untergrund kann die Scherspannungen aufnehmen.

Nachweis der Scherspannungen in den ungebundenen Schichten:

abgelesen $K_2 = 0,65$; $K_3 = 1$ (RBA, Tab. 9.8);

$$f = 1,15;$$

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{d \cdot f \cdot K_3} = \frac{0,6 \times 0,65}{1,15 \times 1,15 \times 1} = 0,29;$$

abgelesen $C = 0,05$ MPa; $\varphi^\circ = 40^\circ$ (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\text{don}} = K \cdot C = 0,29 \times 0,05 = 0,0145 \text{ MPa};$$

$$E_{e4} = 148 \text{ MPa (siehe Tab. 11);}$$

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 4 + 4 + 12 = 20 \text{ cm};$$

$$H / D = 20 / 34 = 0,588;$$

$$E_{e4} / E_0 = 148 / 60 = 2,467;$$

abgelesen $\frac{\tau_{\mu}}{p} = 0,026$ (RBA, Abb. 9.6);

$$\tau_{\mu} = 0,026 \times p = 0,026 \times 0,633 = 0,01646 \text{ MPa};$$

abgelesen $\tau_b = -0,0015 \text{ MPa}$ (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\mu} + \tau_b \leq K.C = \tau_{don};$$

$$0,01646 - 0,0015 = 0,01496 \approx 0,0145 = \tau_{don}.$$

Die ungebundene Schicht kann die Scherspannungen aufnehmen.

Nachweis des frostsicheren Oberbaues:

Aus Gleichung (19) folgt für den vorhandenen Schichtaufbau $R_o = 0,46 \text{ m}^2\text{hg/kcal}$;

abgelesen $\lambda_{sn} = 1,7 \text{ kcal/mhg}$ (RBA, Tab. 5.2);

abgelesen $\lambda_{on} = 2,5 \text{ kcal/mhg}$ (RBA, Abb. 5.3);

$$m = \frac{\lambda_{sn}}{\lambda_{on}} = \frac{1,7}{2,5} = 0,68;$$

abgelesen $z' = 80 \text{ cm}$ (RBA, Abb. 5.2);

$$z = z' m = 80 \times 0,68 = 54,4 \text{ cm}.$$

Die Gesamtdicke der neuen Befestigung ist $H = 63 \text{ cm}$ und diese ist größer als die Frosttiefe $z = 54,4 \text{ cm}$.

GELÄNDEDATEN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Tabelle 1

Punkt- nummer	Kilometer [m]	Geländehöhen [m]			Querprofile [cm]				vorh. Quer- neigung %		vorg. Quer- neigung %		Punkten- abstand
		links	mitte	rechts	links		rechts		links	rechts	links	rechts	
					Breite	Diff.	Breite	Diff.					
942	131.702,06	92,955	93,099	93,016	400	14,4	400	8,3	3,60	2,08	2,50	2,50	10,00
943	131.712,06	92,967	93,127	93,039	400	16,0	400	8,8	4,00	2,20	2,50	2,50	10,06
944	131.722,12	92,971	93,150	93,072	400	17,9	400	7,8	4,48	1,95	2,50	2,50	10,02
945	131.732,14	93,037	93,174	93,114	400	13,7	400	6,0	3,43	1,50	2,50	2,50	9,92
946	131.742,06	93,082	93,195	93,123	400	11,3	400	7,2	2,83	1,80	2,50	2,50	10,09
947	131.752,16	93,119	93,221	93,157	400	10,2	400	6,4	2,55	1,60	2,50	2,50	10,00
948	131.762,16	93,153	93,258	93,197	400	10,5	400	6,1	2,63	1,53	2,50	2,50	9,97
949	131.772,12	93,168	93,288	93,239	400	12,0	400	4,9	3,00	1,23	2,50	2,50	9,97
950	131.782,09	93,186	93,310	93,263	400	12,4	400	4,7	3,10	1,18	2,50	2,50	10,03
951	131.792,12	93,226	93,353	93,288	400	12,7	400	6,5	3,18	1,63	2,50	2,50	9,94
952	131.802,06	93,266	93,403	93,313	400	13,7	400	9,0	3,43	2,25	2,50	2,50	9,98
953	131.812,05	93,302	93,460	93,341	400	15,8	400	11,9	3,95	2,98	2,50	2,50	10,02
954	131.822,06	93,335	93,497	93,385	400	16,2	400	11,2	4,05	2,80	2,50	2,50	9,95
955	131.832,02	93,382	93,519	93,389	400	13,7	400	13,0	3,43	3,25	2,50	2,50	10,03
956	131.842,05	93,411	93,530	93,427	400	11,9	400	10,3	2,98	2,58	2,50	2,50	9,95
957	131.852,00	93,438	93,568	93,469	400	13,0	400	9,9	3,25	2,48	2,50	2,50	10,05
958	131.862,05	93,462	93,578	93,503	400	11,6	400	7,5	2,90	1,88	2,50	2,50	10,02
959	131.872,06	93,493	93,610	93,542	400	11,7	400	6,8	2,93	1,70	2,50	2,50	10,02
960	131.882,08	93,506	93,625	93,576	400	11,9	400	4,9	2,98	1,23	2,50	2,50	9,91
961	131.891,98	93,521	93,640	93,593	400	11,9	400	4,7	2,98	1,18	2,50	2,50	10,03
962	131.902,02	93,539	93,647	93,615	400	10,8	400	3,2	2,70	0,80	2,50	2,50	9,98
963	131.912,00	93,557	93,691	93,652	400	13,4	400	3,9	3,35	0,98	2,50	2,50	10,02
964	131.922,02	93,591	93,727	93,667	400	13,6	400	6,0	3,40	1,50	2,50	2,50	9,95
965	131.931,97	93,628	93,724	93,703	400	9,6	400	2,1	2,40	0,53	2,50	2,50	10,02
966	131.941,98	93,636	93,764	93,721	400	12,8	400	4,3	3,20	1,08	2,50	2,50	10,03
967	131.952,02	93,680	93,822	93,747	400	14,2	400	7,5	3,55	1,88	2,50	2,50	9,95
968	131.961,97	93,702	93,843	93,782	400	14,1	400	6,1	3,53	1,53	2,50	2,50	10,02
969	131.971,98	93,751	93,848	93,802	400	9,7	400	4,6	2,43	1,15	2,50	2,50	10,00
970	131.981,98	93,775	93,871	93,831	400	9,6	400	4,0	2,40	1,00	2,50	2,50	9,97
971	131.991,95	93,807	93,912	93,857	400	10,5	400	5,5	2,63	1,38	2,50	2,50	10,02
972	132.001,97	93,804	93,940	93,872	400	13,6	400	6,8	3,40	1,70	2,50	2,50	9,98
973	132.011,95	93,848	93,963	93,904	400	11,5	400	5,9	2,88	1,48	2,50	2,50	10,00
974	132.021,95	93,883	94,012	93,946	400	12,9	400	6,6	3,23	1,65	2,50	2,50	10,00
975	132.031,95	93,889	94,044	93,976	400	15,5	400	6,8	3,88	1,70	2,50	2,50	10,03
976	132.041,98	93,934	94,075	93,997	400	14,1	400	7,8	3,53	1,95	2,50	2,50	9,98
977	132.051,97	93,985	94,119	94,030	400	13,4	400	8,9	3,35	2,23	2,50	2,50	14,45
978	132.066,42	94,054	94,157	94,090	400	10,3	400	6,7	2,58	1,68	2,50	2,50	5,48
979	132.071,91	94,037	94,183	94,115	400	14,6	400	6,8	3,65	1,70	2,50	2,50	9,98
980	132.081,89	94,067	94,233	94,139	400	16,6	400	9,4	4,15	2,35	2,50	2,50	9,98
981	132.091,88	94,083	94,218	94,162	400	13,5	400	5,6	3,38	1,40	2,50	2,50	10,03
982	132.101,91	94,131	94,253	94,215	400	12,2	400	3,8	3,05	0,95	2,50	2,50	10,00
983	132.111,91	94,149	94,294	94,245	400	14,5	400	4,9	3,63	1,23	2,50	2,50	9,94
984	132.121,84	94,194	94,308	94,242	400	11,4	400	6,6	2,85	1,65	2,50	2,50	10,03
985	132.131,88	94,206	94,318	94,264	400	11,2	400	5,4	2,80	1,35	2,50	2,50	9,97
986	132.141,84	94,237	94,311	94,290	400	7,4	400	2,1	1,85	0,53	2,50	2,50	9,98
987	132.151,83	94,283	94,331	94,340	400	4,8	400	-0,9	1,20	-0,23	2,50	2,50	9,98
988	132.161,81	94,288	94,385	94,376	400	9,7	400	0,9	2,43	0,23	2,50	2,50	9,98
989	132.171,80	94,284	94,426	94,407	400	14,2	400	1,9	3,55	0,48	2,50	2,50	10,02
990	132.181,81	94,288	94,464	94,419	400	17,6	400	4,5	4,40	1,13	2,50	2,50	10,00

991	132.191,81	94,332	94,506	94,468	400	17,4	400	3,8	4,35	0,95	2,50	2,50	9,95
992	132.201,77	94,407	94,529	94,481	400	12,2	400	4,8	3,05	1,20	2,50	2,50	9,98
993	132.211,75	94,455	94,575	94,523	400	12,0	400	5,2	3,00	1,30	2,50	2,50	10,05
994	132.221,80	94,464	94,587	94,503	400	12,3	400	8,4	3,08	2,10	2,50	2,50	9,91
995	132.231,70	94,502	94,588	94,532	400	8,6	400	5,6	2,15	1,40	2,50	2,50	10,06
996	132.241,77	94,514	94,596	94,534	400	8,2	400	6,2	2,05	1,55	2,50	2,50	9,94
997	132.251,70	94,501	94,558	94,505	400	5,7	400	5,3	1,43	1,33	2,50	2,50	10,06
998	132.261,77	94,506	94,559	94,515	400	5,3	400	4,4	1,33	1,10	2,50	2,50	10,00
999	132.271,77	94,496	94,557	94,518	400	6,1	400	3,9	1,53	0,98	2,50	2,50	10,02
1000	132.281,78	94,503	94,547	94,503	400	4,4	400	4,4	1,10	1,10	2,50	2,50	0,02
B23	132.281,80	94,503	94,547	94,503	400	4,4	400	4,4	1,10	1,10	2,50	2,50	9,92
1001	132.291,72	94,502	94,524	94,489	400	2,2	400	3,5	0,55	0,88	2,50	2,50	9,98
1002	132.301,70	94,513	94,567	94,454	400	5,4	400	11,3	1,35	2,83	2,50	2,50	10,03
1003	132.311,73	94,480	94,541	94,462	400	6,1	400	7,9	1,53	1,98	2,50	2,50	10,03
1004	132.321,77	94,468	94,553	94,448	400	8,5	400	10,5	2,13	2,63	2,50	2,50	9,97
1005	132.331,73	94,466	94,551	94,449	400	8,5	400	10,2	2,13	2,55	2,50	2,50	9,95
1006	132.341,69	94,440	94,528	94,412	400	8,8	400	11,6	2,20	2,90	2,50	2,50	10,05
1007	132.351,73	94,421	94,498	94,439	400	7,7	400	5,9	1,93	1,48	2,50	2,50	9,92
1008	132.361,66	94,411	94,488	94,440	400	7,7	400	4,8	1,93	1,20	2,50	2,50	10,00
1009	132.371,66	94,389	94,462	94,388	400	7,3	400	7,4	1,83	1,85	2,50	2,50	10,00
1010	132.381,66	94,352	94,444	94,380	400	9,2	400	6,4	2,30	1,60	2,50	2,50	10,03
1011	132.391,69	94,334	94,422	94,350	400	8,8	400	7,2	2,20	1,80	2,50	2,50	9,98
1012	132.401,67	94,334	94,420	94,325	400	8,6	400	9,5	2,15	2,38	2,50	2,50	9,95
1013	132.411,62	94,303	94,388	94,277	400	8,5	400	11,1	2,13	2,78	2,50	2,50	9,97
1014	132.421,59	94,281	94,362	94,215	400	8,1	400	14,7	2,03	3,68	2,50	2,50	10,00
1015	132.431,59	94,280	94,339	94,223	400	5,9	400	11,6	1,48	2,90	2,50	2,50	10,02
1016	132.441,61	94,264	94,332	94,246	400	6,8	400	8,6	1,70	2,15	2,50	2,50	10,00
1017	132.451,61	94,271	94,341	94,232	400	7,0	400	10,9	1,75	2,73	2,50	2,50	10,03
1018	132.461,64	94,268	94,339	94,244	400	7,1	400	9,5	1,78	2,38	2,50	2,50	9,94
1019	132.471,58	94,255	94,331	94,242	400	7,6	400	8,9	1,90	2,23	2,50	2,50	10,03
1020	132.481,61	94,246	94,319	94,230	400	7,3	400	8,9	1,83	2,23	2,50	2,50	10,02
1021	132.491,62	94,238	94,284	94,224	400	4,6	400	6,0	1,15	1,50	2,50	2,50	9,94
1022	132.501,56	94,232	94,284	94,195	400	5,2	400	8,9	1,30	2,23	2,50	2,50	10,02
1023	132.511,58	94,236	94,288	94,192	400	5,2	400	9,6	1,30	2,40	2,50	2,50	10,03
1024	132.521,61	94,243	94,290	94,208	400	4,7	400	8,2	1,18	2,05	2,50	2,50	9,97
1025	132.531,58	94,246	94,316	94,246	400	7,0	400	7,0	1,75	1,75	2,50	2,50	9,95
1026	132.541,53	94,255	94,323	94,261	400	6,8	400	6,2	1,70	1,55	2,50	2,50	9,98
1027	132.551,52	94,291	94,356	94,290	400	6,5	400	6,6	1,63	1,65	2,50	2,50	9,98
1028	132.561,50	94,315	94,363	94,294	400	4,8	400	6,9	1,20	1,73	2,50	2,50	10,02
1029	132.571,52	94,325	94,385	94,324	400	6,0	400	6,1	1,50	1,53	2,50	2,50	9,92
1030	132.581,44	94,352	94,412	94,341	400	6,0	400	7,1	1,50	1,78	2,50	2,50	10,02
1031	132.591,45	94,369	94,444	94,370	400	7,5	400	7,4	1,88	1,85	2,50	2,50	9,95
1032	132.601,41	94,391	94,450	94,387	400	5,9	400	6,3	1,48	1,58	2,50	2,50	10,05
1033	132.611,45	94,428	94,491	94,416	400	6,3	400	7,5	1,58	1,88	2,50	2,50	9,98
1034	132.621,44	94,447	94,513	94,446	400	6,6	400	6,7	1,65	1,68	2,50	2,50	9,97
1035	132.631,41	94,495	94,552	94,497	400	5,7	400	5,5	1,43	1,38	2,50	2,50	10,02
1036	132.641,42	94,511	94,582	94,519	400	7,1	400	6,3	1,78	1,58	2,50	2,50	10,00
1037	132.651,42	94,536	94,619	94,551	400	8,3	400	6,8	2,08	1,70	2,50	2,50	10,08
1038	132.661,50	94,561	94,632	94,567	400	7,1	400	6,5	1,78	1,63	2,50	2,50	9,94
1039	132.671,44	94,599	94,664	94,621	400	6,5	400	4,3	1,63	1,08	2,50	2,50	10,02
1040	132.681,45	94,620	94,686	94,634	400	6,6	400	5,2	1,65	1,30	2,50	2,50	9,95
1041	132.691,41	94,645	94,692	94,649	400	4,7	400	4,3	1,18	1,08	2,50	2,50	10,05
1042	132.701,45	94,656	94,709	94,668	400	5,3	400	4,1	1,33	1,03	2,50	2,50	9,97

Tabelle 12: Geländedaten¹³⁹¹³⁹ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

VERSTÄRKUNG

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Tabelle 3

№	Abschnitt [m]		minimale Verstärkung [cm]		
	von km	bis zum km	links	mitte	rechts
41	131.683,00	131.940,00	15	15	15
42	131.940,00	132.265,00	15	15	15
43	132.265,00	132.715,00	15	15	15

Tabelle 13: Verstärkung¹⁴⁰

¹⁴⁰ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

ELEMENTE DER VERTIKALEN KURVEN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Projektgeschwindigkeit: 80 (60) km/h

Bezugslinieart: kubisches Spline

Konventionelles Verfahren

Tabelle 4

№	Kilometer [m]	Höhe [m]	Neigung [%]	Radius [m]	B [m]	dx [m]	dxw [m]
212	131.702,06	93,266	0,248	-104.116	1.054,72	49,92	
*	131.712,75	93,292	0,243	∞			
213	131.752,16	93,397	0,313	28.228	911,27	50,09	
*	131.781,58	93,500	0,365	∞			
214	131.802,06	93,573	0,340	-40.530	1.681,80	49,91	
***	131.823,23	93,640	0,296	-58.181			149,48
215	131.852,00	93,719	0,261	-142.498	1.972,49	49,94	
*	131.879,30	93,789	0,251	∞			
216	131.902,02	93,846	0,258	171.307	3.075,79	50,02	
217	131.952,02	93,980	0,274	∞	1.899,91	50,00	
218	132.001,97	94,123	0,311	69.488	1.720,95	49,95	
*	132.044,59	94,265	0,342	∞			
219	132.051,97	94,290	0,341	-401.411	1.304,04	50,00	
***	132.088,14	94,407	0,293	-42.083			264,91
220	132.101,91	94,445	0,255	-31.390	793,17	49,94	
*	132.121,95	94,492	0,223	∞			
221	132.151,83	94,565	0,294	21.055	639,84	49,92	
*	132.171,27	94,628	0,340	∞			
222	132.201,77	94,721	0,227	-13.425	931,41	49,94	
223	132.241,77	94,764	0,021	-35.239	1.684,26	40,00	
***	132.250,86	94,765	-0,003	-39.727			162,72
224	132.291,72	94,747	-0,077	-92.868	2.059,51	49,95	
225	132.341,69	94,690	-0,160	-44.349	1.271,09	49,97	
*	132.378,12	94,622	-0,201	∞			
226	132.391,69	94,594	-0,195	119.075	1.817,80	50,00	
227	132.441,61	94,514	-0,116	42.543	3.312,89	49,92	
228	132.491,62	94,483	-0,010	52.774	1.502,27	50,02	
229	132.541,53	94,511	0,140	24.353	1.281,18	49,91	
230	132.591,45	94,620	0,269	93.907	1.813,10	49,92	
*	132.626,45	94,718	0,288	∞			
231	132.641,42	94,761	0,284	-219.699	3.006,36	49,97	
***	132.666,09	94,830	0,270	-137.336			415,23
232	132.691,41	94,896	0,248	-99.186	861,50	49,98	
*	132.698,89	94,914	0,244	∞			

Tabelle 14: Elemente der vertikalen Kurven¹⁴¹¹⁴¹ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

BEZUGSLINIEHÖHE UND HÖHENUNTERSCHIEDE

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Projektgeschwindigkeit: 80 (60) km/h

Bezugslinieart: kubisches Spline

Konventionelles Verfahren

Tabelle 5

Punkt- nummer	km [m]	Gelände- achsehöhe [m]	Bezugsliniehöhen [m]			Unterschiede zw. Bezugslinie und Gelände [cm]			Breiten		vorhandene Neigungen		vorgesehene Neigungen		
			links	mitte	rechts	links	mitte	rechts	links	rechts	links [%]	rechts [%]	links [%]	rechts [%]	
942	131.702,06	93,099	93,166	93,266	93,166	21,1	16,7	15,0	400	400	3,60	2,08	2,50	2,50	
	131.707,06		93,179	93,279	93,179									2,50	2,50
943	131.712,06	93,127	93,191	93,291	93,191	22,4	16,4	15,2	400	400	4,00	2,20	2,50	2,50	
	131.717,09		93,203	93,303	93,203									2,50	2,50
944	131.722,12	93,150	93,215	93,315	93,215	24,4	16,5	14,4	400	400	4,47	1,97	2,50	2,50	
	131.727,12		93,228	93,328	93,228									2,50	2,50
945	131.732,14	93,174	93,241	93,341	93,241	20,4	16,7	12,6	400	400	3,42	1,47	2,50	2,50	
	131.737,09		93,254	93,354	93,254									2,50	2,50
946	131.742,06	93,195	93,267	93,367	93,267	18,5	17,2	14,4	400	400	2,83	1,80	2,50	2,50	
	131.747,11		93,282	93,382	93,282									2,50	2,50
947	131.752,16	93,221	93,297	93,397	93,297	17,9	17,6	14,0	400	400	2,58	1,60	2,50	2,50	
	131.757,16		93,313	93,413	93,313									2,50	2,50
948	131.762,16	93,258	93,330	93,430	93,330	17,7	17,2	13,3	400	400	2,63	1,53	2,50	2,50	
	131.767,14		93,348	93,448	93,348									2,50	2,50
949	131.772,12	93,288	93,365	93,465	93,365	19,8	17,7	12,6	400	400	3,03	1,23	2,50	2,50	
	131.777,11		93,383	93,483	93,383									2,50	2,50
950	131.782,09	93,310	93,402	93,502	93,402	21,6	19,2	13,8	400	400	3,10	1,15	2,50	2,50	
	131.787,11		93,420	93,520	93,420									2,50	2,50
951	131.792,12	93,353	93,438	93,538	93,438	21,2	18,5	15,0	400	400	3,17	1,62	2,50	2,50	
	131.797,09		93,456	93,556	93,456									2,50	2,50
952	131.802,06	93,403	93,473	93,573	93,473	20,7	17,0	16,0	400	400	3,42	2,25	2,50	2,50	
	131.807,06		93,489	93,589	93,489									2,50	2,50
953	131.812,05	93,460	93,506	93,606	93,506	20,4	14,6	16,5	400	400	3,95	2,97	2,50	2,50	
	131.817,06		93,521	93,621	93,521									2,50	2,50
954	131.822,06	93,497	93,536	93,636	93,536	20,1	13,9	15,1	400	400	4,05	2,80	2,50	2,50	
	131.827,03		93,551	93,651	93,551									2,50	2,50
955	131.832,02	93,519	93,565	93,665	93,565	18,4	14,6	17,6	400	400	3,45	3,25	2,50	2,50	
	131.837,03		93,579	93,679	93,579									2,50	2,50
956	131.842,05	93,530	93,593	93,693	93,593	18,1	16,3	16,6	400	400	2,95	2,57	2,50	2,50	
	131.847,03		93,606	93,706	93,606									2,50	2,50
957	131.852,00	93,568	93,619	93,719	93,619	18,1	15,1	15,0	400	400	3,25	2,47	2,50	2,50	
	131.857,03		93,632	93,732	93,632									2,50	2,50
958	131.862,05	93,578	93,645	93,745	93,645	18,3	16,7	14,2	400	400	2,90	1,88	2,50	2,50	
	131.867,06		93,658	93,758	93,658									2,50	2,50
959	131.872,06	93,610	93,670	93,770	93,670	17,7	16,0	12,8	400	400	2,92	1,70	2,50	2,50	
	131.877,06		93,683	93,783	93,683									2,50	2,50
960	131.882,08	93,625	93,696	93,796	93,696	19,0	17,1	12,0	400	400	2,98	1,23	2,50	2,50	
	131.887,03		93,708	93,808	93,708									2,50	2,50
961	131.891,98	93,640	93,720	93,820	93,720	19,9	18,0	12,7	400	400	2,97	1,17	2,50	2,50	
	131.897,00		93,733	93,833	93,733									2,50	2,50
962	131.902,02	93,647	93,746	93,846	93,746	20,7	19,9	13,1	400	400	2,70	0,80	2,50	2,50	
	131.907,00		93,759	93,859	93,759									2,50	2,50

Anhänge

963	131.912,00	93,691	93,772	93,872	93,772	21,5	18,1	12,0	400	400	3,35	0,97	2,50	2,50
	131.917,00		93,785	93,885	93,785								2,50	2,50
964	131.922,02	93,727	93,799	93,899	93,799	20,8	17,2	13,2	400	400	3,40	1,50	2,50	2,50
	131.927,00		93,812	93,912	93,812								2,50	2,50
965	131.931,97	93,724	93,825	93,925	93,825	19,8	20,1	12,2	400	400	2,43	0,53	2,50	2,50
	131.936,97		93,839	93,939	93,839								2,50	2,50
966	131.941,98	93,764	93,853	93,953	93,853	21,6	18,9	13,1	400	400	3,18	1,05	2,50	2,50
	131.947,00		93,866	93,966	93,866								2,50	2,50
967	131.952,02	93,822	93,880	93,980	93,880	20,0	15,8	13,3	400	400	3,55	1,88	2,50	2,50
	131.957,00		93,894	93,994	93,894								2,50	2,50
968	131.961,97	93,843	93,907	94,007	93,907	20,6	16,4	12,5	400	400	3,55	1,53	2,50	2,50
	131.966,97		93,921	94,021	93,921								2,50	2,50
969	131.971,98	93,848	93,935	94,035	93,935	18,4	18,7	13,3	400	400	2,42	1,15	2,50	2,50
	131.976,98		93,949	94,049	93,949								2,50	2,50
970	131.981,98	93,871	93,964	94,064	93,964	18,9	19,3	13,3	400	400	2,40	1,00	2,50	2,50
	131.986,97		93,978	94,078	93,978								2,50	2,50
971	131.991,95	93,912	93,993	94,093	93,993	18,6	18,1	13,6	400	400	2,63	1,38	2,50	2,50
	131.996,97		94,008	94,108	94,008								2,50	2,50
972	132.001,97	93,940	94,023	94,123	94,023	22,0	18,3	15,1	400	400	3,43	1,70	2,50	2,50
	132.006,97		94,039	94,139	94,039								2,50	2,50
973	132.011,95	93,963	94,055	94,155	94,055	20,7	19,2	15,1	400	400	2,88	1,48	2,50	2,50
	132.016,95		94,071	94,171	94,071								2,50	2,50
974	132.021,95	94,012	94,088	94,188	94,088	20,5	17,6	14,2	400	400	3,23	1,65	2,50	2,50
	132.026,95		94,105	94,205	94,105								2,50	2,50
975	132.031,95	94,044	94,122	94,222	94,122	23,3	17,8	14,6	400	400	3,87	1,70	2,50	2,50
	132.036,97		94,139	94,239	94,139								2,50	2,50
976	132.041,98	94,075	94,156	94,256	94,156	22,1	18,1	15,8	400	400	3,50	1,92	2,50	2,50
	132.046,97		94,173	94,273	94,173								2,50	2,50
977	132.051,97	94,119	94,190	94,290	94,190	20,4	17,1	16,0	400	400	3,33	2,23	2,50	2,50
	132.059,19		94,214	94,314	94,214								2,50	2,50
978	132.066,42	94,157	94,239	94,339	94,239	18,4	18,2	14,9	400	400	2,55	1,67	2,50	2,50
	132.069,16		94,248	94,348	94,248								2,50	2,50
979	132.071,91	94,183	94,256	94,356	94,256	21,9	17,3	14,2	400	400	3,65	1,72	2,50	2,50
	132.076,91		94,273	94,373	94,273								2,50	2,50
980	132.081,89	94,233	94,288	94,388	94,288	22,1	15,5	15,0	400	400	4,15	2,38	2,50	2,50
	132.086,88		94,303	94,403	94,303								2,50	2,50
981	132.091,88	94,218	94,318	94,418	94,318	23,5	20,0	15,6	400	400	3,38	1,40	2,50	2,50
	132.096,89		94,332	94,432	94,332								2,50	2,50
982	132.101,91	94,253	94,345	94,445	94,345	21,4	19,2	13,0	400	400	3,05	0,95	2,50	2,50
	132.106,91		94,357	94,457	94,357								2,50	2,50
983	132.111,91	94,294	94,369	94,469	94,369	22,0	17,5	12,4	400	400	3,62	1,22	2,50	2,50
	132.116,88		94,380	94,480	94,380								2,50	2,50
984	132.121,84	94,308	94,391	94,491	94,391	19,7	18,3	15,0	400	400	2,85	1,67	2,50	2,50
	132.126,86		94,403	94,503	94,403								2,50	2,50
985	132.131,88	94,318	94,414	94,514	94,414	20,8	19,6	15,0	400	400	2,80	1,35	2,50	2,50
	132.136,86		94,426	94,526	94,426								2,50	2,50
986	132.141,84	94,311	94,438	94,538	94,438	20,1	22,7	14,8	400	400	1,85	0,52	2,50	2,50
	132.146,84		94,451	94,551	94,451								2,50	2,50
987	132.151,83	94,331	94,465	94,565	94,465	18,2	23,4	12,5	400	400	1,20	-0,23	2,50	2,50
	132.156,81		94,481	94,581	94,481								2,50	2,50
988	132.161,81	94,385	94,497	94,597	94,497	20,9	21,2	12,1	400	400	2,42	0,22	2,50	2,50
	132.166,81		94,513	94,613	94,513								2,50	2,50
989	132.171,80	94,426	94,530	94,630	94,530	24,6	20,4	12,3	400	400	3,55	0,48	2,50	2,50
	132.176,81		94,547	94,647	94,547								2,50	2,50
990	132.181,81	94,464	94,564	94,664	94,564	27,6	20,0	14,5	400	400	4,40	1,13	2,50	2,50
	132.186,81		94,580	94,680	94,580								2,50	2,50

Anhänge

991	132.191,81	94,506	94,595	94,695	94,595	26,3	18,9	12,6	400	400	4,35	0,93	2,50	2,50
	132.196,78		94,609	94,709	94,609								2,50	2,50
992	132.201,77	94,529	94,621	94,721	94,621	21,4	19,2	14,0	400	400	3,05	1,20	2,50	2,50
	132.206,75		94,631	94,731	94,631								2,50	2,50
993	132.211,75	94,575	94,640	94,740	94,640	18,5	16,5	11,6	400	400	3,00	1,27	2,50	2,50
	132.216,78		94,647	94,747	94,647								2,50	2,50
994	132.221,80	94,587	94,653	94,753	94,653	18,9	16,6	15,0	400	400	3,07	2,10	2,50	2,50
	132.226,75		94,657	94,757	94,657								2,50	2,50
995	132.231,70	94,588	94,660	94,760	94,660	15,9	17,2	12,9	400	400	2,18	1,43	2,50	2,50
	132.236,73		94,663	94,763	94,663								2,50	2,50
996	132.241,77	94,596	94,664	94,764	94,664	15,0	16,8	13,0	400	400	2,05	1,55	2,50	2,50
	132.246,73		94,665	94,765	94,665								2,50	2,50
997	132.251,70	94,558	94,665	94,765	94,665	16,3	20,7	16,0	400	400	1,40	1,33	2,50	2,50
	132.256,73		94,664	94,764	94,664								2,50	2,50
998	132.261,77	94,559	94,663	94,763	94,663	15,7	20,4	14,8	400	400	1,33	1,10	2,50	2,50
	132.266,77		94,661	94,761	94,661								2,50	2,50
999	132.271,77	94,557	94,659	94,759	94,659	16,3	20,2	14,2	400	400	1,52	1,00	2,50	2,50
	132.276,78		94,657	94,757	94,657								2,50	2,50
1000	132.281,78	94,547	94,654	94,754	94,654	15,1	20,7	15,1	400	400	1,10	1,10	2,50	2,50
B23	132.281,80	94,547	94,654	94,754	94,654	15,1	20,7	15,1	400	400	1,10	1,10	2,50	2,50
	132.286,75		94,650	94,750	94,650								2,50	2,50
1001	132.291,72	94,524	94,647	94,747	94,647	14,5	22,3	15,8	400	400	0,55	0,87	2,50	2,50
	132.296,72		94,643	94,743	94,643								2,50	2,50
1002	132.301,70	94,567	94,638	94,738	94,638	12,5	17,1	18,4	400	400	1,35	2,82	2,50	2,50
	132.306,72		94,634	94,734	94,634								2,50	2,50
1003	132.311,73	94,541	94,629	94,729	94,629	14,9	18,8	16,6	400	400	1,52	1,95	2,50	2,50
	132.316,75		94,623	94,723	94,623								2,50	2,50
1004	132.321,77	94,553	94,618	94,718	94,618	14,9	16,5	17,0	400	400	2,10	2,63	2,50	2,50
	132.326,75		94,611	94,711	94,611								2,50	2,50
1005	132.331,73	94,551	94,605	94,705	94,605	13,9	15,4	15,6	400	400	2,12	2,55	2,50	2,50
	132.336,72		94,597	94,697	94,597								2,50	2,50
1006	132.341,69	94,528	94,590	94,690	94,590	15,0	16,2	17,8	400	400	2,20	2,90	2,50	2,50
	132.346,72		94,581	94,681	94,581								2,50	2,50
1007	132.351,73	94,498	94,573	94,673	94,573	15,1	17,5	13,3	400	400	1,90	1,45	2,50	2,50
	132.356,69		94,564	94,664	94,564								2,50	2,50
1008	132.361,66	94,488	94,554	94,654	94,554	14,3	16,6	11,5	400	400	1,92	1,22	2,50	2,50
	132.366,66		94,544	94,644	94,544								2,50	2,50
1009	132.371,66	94,462	94,534	94,634	94,534	14,6	17,2	14,7	400	400	1,85	1,87	2,50	2,50
	132.376,66		94,524	94,624	94,524								2,50	2,50
1010	132.381,66	94,444	94,514	94,614	94,514	16,2	17,0	13,5	400	400	2,30	1,63	2,50	2,50
	132.386,67		94,504	94,604	94,504								2,50	2,50
1011	132.391,69	94,422	94,494	94,594	94,494	16,1	17,3	14,5	400	400	2,20	1,80	2,50	2,50
	132.396,69		94,485	94,585	94,485								2,50	2,50
1012	132.401,67	94,420	94,475	94,575	94,475	14,1	15,5	15,1	400	400	2,15	2,40	2,50	2,50
	132.406,66		94,466	94,566	94,466								2,50	2,50
1013	132.411,62	94,388	94,458	94,558	94,458	15,4	17,0	18,0	400	400	2,10	2,75	2,50	2,50
	132.416,61		94,449	94,549	94,449								2,50	2,50
1014	132.421,59	94,362	94,441	94,541	94,441	16,0	17,9	22,6	400	400	2,02	3,67	2,50	2,50
	132.426,59		94,434	94,534	94,434								2,50	2,50
1015	132.431,59	94,339	94,426	94,526	94,426	14,6	18,7	20,4	400	400	1,47	2,92	2,50	2,50
	132.436,59		94,420	94,520	94,420								2,50	2,50
1016	132.441,61	94,332	94,414	94,514	94,414	15,0	18,2	16,8	400	400	1,70	2,15	2,50	2,50
	132.446,61		94,408	94,508	94,408								2,50	2,50
1017	132.451,61	94,341	94,403	94,503	94,403	13,2	16,2	17,1	400	400	1,75	2,72	2,50	2,50
	132.456,62		94,399	94,499	94,399								2,50	2,50
1018	132.461,64	94,339	94,395	94,495	94,395	12,7	15,6	15,1	400	400	1,78	2,38	2,50	2,50

	132.466,61		94,392	94,492	94,392								2,50	2,50
1019	132.471,58	94,331	94,389	94,489	94,389	13,4	15,8	14,7	400	400	1,90	2,23	2,50	2,50
	132.476,59		94,387	94,487	94,387								2,50	2,50
1020	132.481,61	94,319	94,385	94,485	94,385	14,0	16,6	15,5	400	400	1,85	2,22	2,50	2,50
	132.486,62		94,384	94,484	94,384								2,50	2,50
1021	132.491,62	94,284	94,383	94,483	94,383	14,5	19,9	16,0	400	400	1,15	1,53	2,50	2,50
	132.496,59		94,383	94,483	94,383								2,50	2,50
1022	132.501,56	94,284	94,383	94,483	94,383	15,1	19,9	18,8	400	400	1,30	2,23	2,50	2,50
	132.506,56		94,384	94,484	94,384								2,50	2,50
1023	132.511,58	94,288	94,386	94,486	94,386	15,0	19,8	19,3	400	400	1,30	2,38	2,50	2,50
	132.516,59		94,388	94,488	94,388								2,50	2,50
1024	132.521,61	94,290	94,391	94,491	94,391	14,8	20,1	18,3	400	400	1,18	2,05	2,50	2,50
	132.526,59		94,395	94,495	94,395								2,50	2,50
1025	132.531,58	94,316	94,399	94,499	94,399	15,4	18,3	15,4	400	400	1,77	1,77	2,50	2,50
	132.536,56		94,405	94,505	94,405								2,50	2,50
1026	132.541,53	94,323	94,411	94,511	94,411	15,6	18,8	15,0	400	400	1,70	1,55	2,50	2,50
	132.546,53		94,419	94,519	94,419								2,50	2,50
1027	132.551,52	94,356	94,427	94,527	94,427	13,7	17,1	13,7	400	400	1,65	1,65	2,50	2,50
	132.556,50		94,437	94,537	94,437								2,50	2,50
1028	132.561,50	94,363	94,447	94,547	94,447	13,2	18,4	15,3	400	400	1,20	1,72	2,50	2,50
	132.566,50		94,458	94,558	94,458								2,50	2,50
1029	132.571,52	94,385	94,469	94,569	94,469	14,4	18,4	14,5	400	400	1,50	1,53	2,50	2,50
	132.576,47		94,481	94,581	94,481								2,50	2,50
1030	132.581,44	94,412	94,493	94,593	94,493	14,2	18,1	15,3	400	400	1,53	1,80	2,50	2,50
	132.586,44		94,506	94,606	94,506								2,50	2,50
1031	132.591,45	94,444	94,520	94,620	94,520	15,1	17,6	15,0	400	400	1,88	1,85	2,50	2,50
	132.596,44		94,533	94,633	94,533								2,50	2,50
1032	132.601,41	94,450	94,547	94,647	94,547	15,7	19,7	16,0	400	400	1,50	1,58	2,50	2,50
	132.606,44		94,561	94,661	94,561								2,50	2,50
1033	132.611,45	94,491	94,575	94,675	94,575	14,7	18,4	15,9	400	400	1,57	1,87	2,50	2,50
	132.616,44		94,590	94,690	94,590								2,50	2,50
1034	132.621,44	94,513	94,604	94,704	94,604	15,7	19,1	15,8	400	400	1,65	1,67	2,50	2,50
	132.626,42		94,618	94,718	94,618								2,50	2,50
1035	132.631,41	94,552	94,633	94,733	94,633	13,8	18,1	13,5	400	400	1,43	1,35	2,50	2,50
	132.636,41		94,647	94,747	94,647								2,50	2,50
1036	132.641,42	94,582	94,661	94,761	94,661	15,0	17,9	14,2	400	400	1,77	1,57	2,50	2,50
	132.646,42		94,675	94,775	94,675								2,50	2,50
1037	132.651,42	94,619	94,689	94,789	94,689	15,3	17,0	13,8	400	400	2,08	1,70	2,50	2,50
	132.656,47		94,704	94,804	94,704								2,50	2,50
1038	132.661,50	94,632	94,717	94,817	94,717	15,6	18,5	15,0	400	400	1,77	1,62	2,50	2,50
	132.666,47		94,731	94,831	94,731								2,50	2,50
1039	132.671,44	94,664	94,744	94,844	94,744	14,5	18,0	12,4	400	400	1,62	1,10	2,50	2,50
	132.676,44		94,757	94,857	94,757								2,50	2,50
1040	132.681,45	94,686	94,770	94,870	94,770	15,0	18,4	13,6	400	400	1,65	1,30	2,50	2,50
	132.686,44		94,783	94,883	94,783								2,50	2,50
1041	132.691,41	94,692	94,796	94,896	94,796	15,1	20,3	14,7	400	400	1,20	1,10	2,50	2,50
	132.696,44		94,808	94,908	94,808								2,50	2,50
1042	132.701,45	94,709	94,820	94,920	94,820	16,4	21,1	15,2	400	400	1,33	1,03	2,50	2,50

Tabelle 15: Bezugsliniehöhe und Höhenunterschiede¹⁴²

¹⁴² Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

BERECHNUNG DER ASPHALTMISCHGUTMENGEN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Tabelle 6

Punkt- nummer	Kilometer	Binder- schicht mit variabler Dicke	Binder- schicht mit konstanter Dicke	Deck- schicht	Deck- schicht- fläche	Volumen	H экв.
	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[cm]
942	131.702,06	3.654,30	2.317,39	3.133,75	78.503,7	9.105,44	11,60
943	131.712,06	3.660,08	2.319,83	3.136,96	78.583,7	9.116,87	11,60
944	131.722,12	3.666,07	2.322,27	3.140,20	78.664,2	9.128,54	11,60
945	131.732,14	3.671,76	2.324,71	3.143,42	78.744,4	9.139,89	11,61
946	131.742,06	3.677,06	2.327,12	3.146,61	78.823,7	9.150,79	11,61
947	131.752,16	3.682,49	2.329,58	3.149,86	78.904,5	9.161,93	11,61
948	131.762,16	3.687,74	2.332,01	3.153,07	78.984,5	9.172,82	11,61
949	131.772,12	3.693,01	2.334,44	3.156,28	79.064,2	9.183,73	11,62
950	131.782,09	3.698,85	2.336,86	3.159,49	79.144,0	9.195,20	11,62
951	131.792,12	3.705,13	2.339,31	3.162,71	79.224,2	9.207,15	11,62
952	131.802,06	3.711,15	2.341,72	3.165,91	79.303,7	9.218,78	11,62
953	131.812,05	3.716,71	2.344,15	3.169,12	79.383,6	9.229,98	11,63
954	131.822,06	3.721,78	2.346,59	3.172,34	79.463,7	9.240,71	11,63
955	131.832,02	3.729,24	2.349,01	3.175,54	79.543,4	9.253,79	11,63
956	131.842,05	3.737,18	2.351,45	3.178,77	79.623,6	9.267,40	11,64
957	131.852,00	3.744,84	2.353,87	3.181,97	79.703,2	9.280,68	11,64
958	131.862,05	3.752,42	2.356,32	3.185,20	79.783,6	9.293,94	11,65
959	131.872,06	3.759,89	2.358,75	3.188,42	79.863,7	9.307,06	11,65
960	131.882,08	3.767,25	2.361,19	3.191,64	79.943,9	9.320,08	11,66
961	131.891,98	3.775,17	2.363,60	3.194,83	80.023,1	9.333,60	11,66
962	131.902,02	3.784,06	2.366,04	3.198,05	80.103,4	9.348,15	11,67
963	131.912,00	3.790,03	2.368,47	3.201,26	80.183,2	9.359,76	11,67
964	131.922,02	3.795,69	2.370,91	3.204,48	80.263,4	9.371,08	11,68
965	131.931,97	3.801,47	2.373,33	3.207,69	80.343,0	9.382,49	11,68
966	131.941,98	3.807,56	2.375,77	3.210,91	80.423,1	9.394,24	11,68
967	131.952,02	3.813,17	2.378,21	3.214,13	80.503,4	9.405,51	11,68
968	131.961,97	3.818,31	2.380,63	3.217,33	80.583,0	9.416,27	11,69
969	131.971,98	3.826,46	2.383,06	3.220,55	80.663,1	9.430,07	11,69
970	131.981,98	3.835,06	2.385,50	3.223,77	80.743,1	9.444,33	11,70
971	131.991,95	3.843,55	2.387,92	3.226,98	80.822,9	9.458,45	11,70
972	132.001,97	3.852,39	2.390,36	3.230,20	80.903,0	9.472,95	11,71
973	132.011,95	3.858,71	2.392,79	3.233,41	80.982,9	9.484,91	11,71
974	132.021,95	3.864,77	2.395,22	3.236,62	81.062,9	9.496,61	11,72
975	132.031,95	3.870,76	2.397,66	3.239,84	81.142,9	9.508,26	11,72

976	132.041,98	3.877,09	2.400,10	3.243,07	81.223,1	9.520,26	11,72
977	132.051,97	3.883,20	2.402,53	3.246,28	81.303,0	9.532,01	11,72
978	132.066,42	3.891,57	2.406,04	3.250,93	81.418,6	9.548,54	11,73
979	132.071,91	3.894,74	2.407,38	3.252,69	81.462,5	9.554,81	11,73
980	132.081,89	3.900,46	2.409,81	3.255,90	81.542,4	9.566,17	11,73
981	132.091,88	3.906,74	2.412,23	3.259,11	81.622,2	9.578,08	11,73
982	132.101,91	3.913,35	2.414,67	3.262,34	81.702,5	9.590,36	11,74
983	132.111,91	3.919,26	2.417,11	3.265,55	81.782,5	9.601,92	11,74
984	132.121,84	3.925,06	2.419,53	3.268,75	81.862,0	9.613,34	11,74
985	132.131,88	3.931,28	2.421,97	3.271,98	81.942,2	9.625,23	11,75
986	132.141,84	3.934,64	2.424,39	3.275,18	82.022,0	9.634,21	11,75
987	132.151,83	3.938,08	2.426,82	3.278,39	82.101,9	9.643,29	11,75
988	132.161,81	3.941,33	2.429,25	3.281,60	82.181,7	9.652,18	11,74
989	132.171,80	3.944,61	2.431,68	3.284,81	82.261,6	9.661,10	11,74
990	132.181,81	3.948,15	2.434,12	3.288,04	82.341,7	9.670,31	11,74
991	132.191,81	3.951,68	2.436,55	3.291,25	82.421,7	9.679,48	11,74
992	132.201,77	3.954,89	2.438,97	3.294,45	82.501,4	9.688,31	11,74
993	132.211,75	3.963,19	2.441,40	3.297,66	82.581,2	9.702,25	11,75
994	132.221,80	3.970,84	2.443,84	3.300,89	82.661,6	9.715,57	11,75
995	132.231,70	3.978,38	2.446,25	3.304,08	82.740,9	9.728,71	11,76
996	132.241,77	3.985,46	2.448,70	3.307,32	82.821,4	9.741,48	11,76
997	132.251,70	3.993,51	2.451,12	3.310,51	82.900,9	9.755,14	11,77
998	132.261,77	3.996,53	2.453,57	3.313,75	82.981,4	9.763,85	11,77
999	132.271,77	3.999,44	2.456,00	3.316,96	83.061,4	9.772,40	11,77
1000	132.281,78	4.002,35	2.458,44	3.320,19	83.141,5	9.780,98	11,76
B23	132.281,80	4.002,36	2.458,44	3.320,19	83.141,6	9.780,99	11,76
1001	132.291,72	4.005,37	2.460,86	3.323,38	83.221,0	9.789,61	11,76
1002	132.301,70	4.013,94	2.463,29	3.326,59	83.300,9	9.803,82	11,77
1003	132.311,73	4.021,97	2.465,73	3.329,82	83.381,1	9.817,52	11,77
1004	132.321,77	4.029,99	2.468,17	3.333,04	83.461,4	9.831,20	11,78
1005	132.331,73	4.037,05	2.470,59	3.336,25	83.541,1	9.843,89	11,78
1006	132.341,69	4.044,13	2.473,01	3.339,45	83.620,7	9.856,59	11,79
1007	132.351,73	4.051,60	2.475,46	3.342,68	83.701,1	9.869,74	11,79
1008	132.361,66	4.058,33	2.477,87	3.345,87	83.780,5	9.882,07	11,80
1009	132.371,66	4.065,15	2.480,31	3.349,09	83.860,5	9.894,55	11,80
1010	132.381,66	4.072,46	2.482,74	3.352,31	83.940,5	9.907,51	11,80
1011	132.391,69	4.079,95	2.485,18	3.355,53	84.020,7	9.920,66	11,81
1012	132.401,67	4.087,05	2.487,61	3.358,74	84.100,6	9.933,40	11,81
1013	132.411,62	4.094,37	2.490,03	3.361,94	84.180,2	9.946,34	11,82
1014	132.421,59	4.103,21	2.492,45	3.365,15	84.260,0	9.960,81	11,82
1015	132.431,59	4.112,60	2.494,89	3.368,37	84.340,0	9.975,86	11,83
1016	132.441,61	4.121,30	2.497,32	3.371,59	84.420,1	9.990,21	11,83
1017	132.451,61	4.128,99	2.499,76	3.374,80	84.500,1	10.003,55	11,84
1018	132.461,64	4.135,75	2.502,20	3.378,03	84.580,4	10.015,98	11,84
1019	132.471,58	4.142,13	2.504,62	3.381,22	84.659,9	10.027,97	11,85
1020	132.481,61	4.148,95	2.507,06	3.384,45	84.740,1	10.040,46	11,85

1021	132.491,62	4.156,84	2.509,49	3.387,67	84.820,2	10.054,00	11,85
1022	132.501,56	4.165,80	2.511,91	3.390,87	84.899,7	10.068,58	11,86
1023	132.511,58	4.175,23	2.514,35	3.394,09	84.979,9	10.083,67	11,87
1024	132.521,61	4.184,62	2.516,79	3.397,31	85.060,1	10.098,72	11,87
1025	132.531,58	4.193,26	2.519,21	3.400,52	85.139,9	10.112,99	11,88
1026	132.541,53	4.201,37	2.521,64	3.403,72	85.219,5	10.126,73	11,88
1027	132.551,52	4.208,91	2.524,06	3.406,93	85.299,4	10.139,90	11,89
1028	132.561,50	4.216,13	2.526,49	3.410,14	85.379,2	10.152,76	11,89
1029	132.571,52	4.223,79	2.528,93	3.413,36	85.459,4	10.166,08	11,90
1030	132.581,44	4.231,45	2.531,34	3.416,55	85.538,7	10.179,34	11,90
1031	132.591,45	4.239,13	2.533,78	3.419,78	85.618,9	10.192,69	11,90
1032	132.601,41	4.247,31	2.536,20	3.422,98	85.698,5	10.206,49	11,91
1033	132.611,45	4.255,80	2.538,65	3.426,21	85.778,9	10.220,66	11,92
1034	132.621,44	4.264,09	2.541,08	3.429,42	85.858,7	10.234,59	11,92
1035	132.631,41	4.271,95	2.543,50	3.432,62	85.938,5	10.248,07	11,92
1036	132.641,42	4.279,35	2.545,94	3.435,85	86.018,6	10.261,14	11,93
1037	132.651,42	4.286,75	2.548,37	3.439,06	86.098,6	10.274,18	11,93
1038	132.661,50	4.294,48	2.550,82	3.442,30	86.179,2	10.287,60	11,94
1039	132.671,44	4.302,05	2.553,24	3.445,50	86.258,7	10.300,79	11,94
1040	132.681,45	4.309,45	2.555,68	3.448,72	86.338,9	10.313,85	11,95
1041	132.691,41	4.317,57	2.558,10	3.451,92	86.418,5	10.327,59	11,95
1042	132.701,45	4.326,61	2.560,54	3.455,15	86.498,9	10.342,30	11,96

Tabelle 16: Berechnung der Asphaltmischgutmengen¹⁴³

¹⁴³ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

TECHNOLOGISCHES FRÄSEN DER BEFESTIGUNG

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Detaillierte Mengenrechnung №2

Punkt- nummer	Kilometer [m]	Bezugsliniehöhen			Unterschiede zw. Bezugslinie und Gelände			Breiten		Fräsbreiten		Fräsfläche		Fräsvolumen	
		links [m]	mitte [m]	rechts [m]	links [cm]	mitte [cm]	rechts [cm]	links [cm]	rechts [cm]	links [cm]	rechts [cm]	links [m ²]	rechts [m ²]	links [m ³]	rechts [m ³]
942	131.702,06	93,166	93,266	93,166	21,1	16,7	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
943	131.712,06	93,191	93,291	93,191	22,4	16,4	15,2	400	400	0	0	0	0	0	0
944	131.722,12	93,215	93,315	93,215	24,4	16,5	14,4	400	400	0	0	0	0	0	0
945	131.732,14	93,241	93,341	93,241	20,4	16,7	12,6	400	400	0	0	0	0	0	0
946	131.742,06	93,267	93,367	93,267	18,5	17,2	14,4	400	400	0	0	0	0	0	0
947	131.752,16	93,297	93,397	93,297	17,9	17,6	14,0	400	400	0	0	0	0	0	0
948	131.762,16	93,330	93,430	93,330	17,7	17,2	13,3	400	400	0	0	0	0	0	0
949	131.772,12	93,365	93,465	93,365	19,8	17,7	12,6	400	400	0	0	0	0	0	0
950	131.782,09	93,402	93,502	93,402	21,6	19,2	13,8	400	400	0	0	0	0	0	0
951	131.792,12	93,438	93,538	93,438	21,2	18,5	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
952	131.802,06	93,473	93,573	93,473	20,7	17,0	16,0	400	400	0	0	0	0	0	0
953	131.812,05	93,506	93,606	93,506	20,4	14,6	16,5	400	400	0	0	0	0	0	0
954	131.822,06	93,536	93,636	93,536	20,1	13,9	15,1	400	400	0	0	0	0	0	0
955	131.832,02	93,565	93,665	93,565	18,4	14,6	17,6	400	400	0	0	0	0	0	0
956	131.842,05	93,593	93,693	93,593	18,1	16,3	16,6	400	400	0	0	0	0	0	0
957	131.852,00	93,619	93,719	93,619	18,1	15,1	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
958	131.862,05	93,645	93,745	93,645	18,3	16,7	14,2	400	400	0	0	0	0	0	0
959	131.872,06	93,670	93,770	93,670	17,7	16,0	12,8	400	400	0	0	0	0	0	0
960	131.882,08	93,696	93,796	93,696	19,0	17,1	12,0	400	400	0	0	0	0	0	0
961	131.891,98	93,720	93,820	93,720	19,9	18,0	12,7	400	400	0	0	0	0	0	0
962	131.902,02	93,746	93,846	93,746	20,7	19,9	13,1	400	400	0	0	0	0	0	0
963	131.912,00	93,772	93,872	93,772	21,5	18,1	12,0	400	400	0	0	0	0	0	0
964	131.922,02	93,799	93,899	93,799	20,8	17,2	13,2	400	400	0	0	0	0	0	0
965	131.931,97	93,825	93,925	93,825	19,8	20,1	12,2	400	400	0	0	0	0	0	0
966	131.941,98	93,853	93,953	93,853	21,6	18,9	13,1	400	400	0	0	0	0	0	0
967	131.952,02	93,880	93,980	93,880	20,0	15,8	13,3	400	400	0	0	0	0	0	0
968	131.961,97	93,907	94,007	93,907	20,6	16,4	12,5	400	400	0	0	0	0	0	0
969	131.971,98	93,935	94,035	93,935	18,4	18,7	13,3	400	400	0	0	0	0	0	0
970	131.981,98	93,964	94,064	93,964	18,9	19,3	13,3	400	400	0	0	0	0	0	0
971	131.991,95	93,993	94,093	93,993	18,6	18,1	13,6	400	400	0	0	0	0	0	0
972	132.001,97	94,023	94,123	94,023	22,0	18,3	15,1	400	400	0	0	0	0	0	0
973	132.011,95	94,055	94,155	94,055	20,7	19,2	15,1	400	400	0	0	0	0	0	0
974	132.021,95	94,088	94,188	94,088	20,5	17,6	14,2	400	400	0	0	0	0	0	0
975	132.031,95	94,122	94,222	94,122	23,3	17,8	14,6	400	400	0	0	0	0	0	0
976	132.041,98	94,156	94,256	94,156	22,1	18,1	15,8	400	400	0	0	0	0	0	0
977	132.051,97	94,190	94,290	94,190	20,4	17,1	16,0	400	400	0	0	0	0	0	0
978	132.066,42	94,239	94,339	94,239	18,4	18,2	14,9	400	400	0	0	0	0	0	0
979	132.071,91	94,256	94,356	94,256	21,9	17,3	14,2	400	400	0	0	0	0	0	0
980	132.081,89	94,288	94,388	94,288	22,1	15,5	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
981	132.091,88	94,318	94,418	94,318	23,5	20,0	15,6	400	400	0	0	0	0	0	0
982	132.101,91	94,345	94,445	94,345	21,4	19,2	13,0	400	400	0	0	0	0	0	0
983	132.111,91	94,369	94,469	94,369	22,0	17,5	12,4	400	400	0	0	0	0	0	0
984	132.121,84	94,391	94,491	94,391	19,7	18,3	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
985	132.131,88	94,414	94,514	94,414	20,8	19,6	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
986	132.141,84	94,438	94,538	94,438	20,1	22,7	14,8	400	400	0	0	0	0	0	0
987	132.151,83	94,465	94,565	94,465	18,2	23,4	12,5	400	400	0	0	0	0	0	0
988	132.161,81	94,497	94,597	94,497	20,9	21,2	12,1	400	400	0	0	0	0	0	0

989	132.171,80	94,530	94,630	94,530	24,6	20,4	12,3	400	400	0	0	0	0	0	0
990	132.181,81	94,564	94,664	94,564	27,6	20,0	14,5	400	400	0	0	0	0	0	0
991	132.191,81	94,595	94,695	94,595	26,3	18,9	12,6	400	400	0	0	0	0	0	0
992	132.201,77	94,621	94,721	94,621	21,4	19,2	14,0	400	400	0	0	0	0	0	0
993	132.211,75	94,640	94,740	94,640	18,5	16,5	11,6	400	400	0	0	0	0	0	0
994	132.221,80	94,653	94,753	94,653	18,9	16,6	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
995	132.231,70	94,660	94,760	94,660	15,9	17,2	12,9	400	400	0	0	0	0	0	0
996	132.241,77	94,664	94,764	94,664	15,0	16,8	13,0	400	400	0	0	0	0	0	0
997	132.251,70	94,665	94,765	94,665	16,3	20,7	16,0	400	400	0	0	0	0	0	0
998	132.261,77	94,663	94,763	94,663	15,7	20,4	14,8	400	400	0	0	0	0	0	0
999	132.271,77	94,659	94,759	94,659	16,3	20,2	14,2	400	400	0	0	0	0	0	0
1000	132.281,78	94,654	94,754	94,654	15,1	20,7	15,1	400	400	0	0	0	0	0	0
B23	132.281,80	94,654	94,754	94,654	15,1	20,7	15,1	400	400	0	0	0	0	0	0
1001	132.291,72	94,647	94,747	94,647	14,5	22,3	15,8	400	400	0	0	0	0	0	0
1002	132.301,70	94,638	94,738	94,638	12,5	17,1	18,4	400	400	0	0	0	0	0	0
1003	132.311,73	94,629	94,729	94,629	14,9	18,8	16,6	400	400	0	0	0	0	0	0
1004	132.321,77	94,618	94,718	94,618	14,9	16,5	17,0	400	400	0	0	0	0	0	0
1005	132.331,73	94,605	94,705	94,605	13,9	15,4	15,6	400	400	0	0	0	0	0	0
1006	132.341,69	94,590	94,690	94,590	15,0	16,2	17,8	400	400	0	0	0	0	0	0
1007	132.351,73	94,573	94,673	94,573	15,1	17,5	13,3	400	400	0	0	0	0	0	0
1008	132.361,66	94,554	94,654	94,554	14,3	16,6	11,5	400	400	0	0	0	0	0	0
1009	132.371,66	94,534	94,634	94,534	14,6	17,2	14,7	400	400	0	0	0	0	0	0
1010	132.381,66	94,514	94,614	94,514	16,2	17,0	13,5	400	400	0	0	0	0	0	0
1011	132.391,69	94,494	94,594	94,494	16,1	17,3	14,5	400	400	0	0	0	0	0	0
1012	132.401,67	94,475	94,575	94,475	14,1	15,5	15,1	400	400	0	0	0	0	0	0
1013	132.411,62	94,458	94,558	94,458	15,4	17,0	18,0	400	400	0	0	0	0	0	0
1014	132.421,59	94,441	94,541	94,441	16,0	17,9	22,6	400	400	0	0	0	0	0	0
1015	132.431,59	94,426	94,526	94,426	14,6	18,7	20,4	400	400	0	0	0	0	0	0
1016	132.441,61	94,414	94,514	94,414	15,0	18,2	16,8	400	400	0	0	0	0	0	0
1017	132.451,61	94,403	94,503	94,403	13,2	16,2	17,1	400	400	0	0	0	0	0	0
1018	132.461,64	94,395	94,495	94,395	12,7	15,6	15,1	400	400	0	0	0	0	0	0
1019	132.471,58	94,389	94,489	94,389	13,4	15,8	14,7	400	400	0	0	0	0	0	0
1020	132.481,61	94,385	94,485	94,385	14,0	16,6	15,5	400	400	0	0	0	0	0	0
1021	132.491,62	94,383	94,483	94,383	14,5	19,9	16,0	400	400	0	0	0	0	0	0
1022	132.501,56	94,383	94,483	94,383	15,1	19,9	18,8	400	400	0	0	0	0	0	0
1023	132.511,58	94,386	94,486	94,386	15,0	19,8	19,3	400	400	0	0	0	0	0	0
1024	132.521,61	94,391	94,491	94,391	14,8	20,1	18,3	400	400	0	0	0	0	0	0
1025	132.531,58	94,399	94,499	94,399	15,4	18,3	15,4	400	400	0	0	0	0	0	0
1026	132.541,53	94,411	94,511	94,411	15,6	18,8	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
1027	132.551,52	94,427	94,527	94,427	13,7	17,1	13,7	400	400	0	0	0	0	0	0
1028	132.561,50	94,447	94,547	94,447	13,2	18,4	15,3	400	400	0	0	0	0	0	0
1029	132.571,52	94,469	94,569	94,469	14,4	18,4	14,5	400	400	0	0	0	0	0	0
1030	132.581,44	94,493	94,593	94,493	14,2	18,1	15,3	400	400	0	0	0	0	0	0
1031	132.591,45	94,520	94,620	94,520	15,1	17,6	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
1032	132.601,41	94,547	94,647	94,547	15,7	19,7	16,0	400	400	0	0	0	0	0	0
1033	132.611,45	94,575	94,675	94,575	14,7	18,4	15,9	400	400	0	0	0	0	0	0
1034	132.621,44	94,604	94,704	94,604	15,7	19,1	15,8	400	400	0	0	0	0	0	0
1035	132.631,41	94,633	94,733	94,633	13,8	18,1	13,5	400	400	0	0	0	0	0	0
1036	132.641,42	94,661	94,761	94,661	15,0	17,9	14,2	400	400	0	0	0	0	0	0
1037	132.651,42	94,689	94,789	94,689	15,3	17,0	13,8	400	400	0	0	0	0	0	0
1038	132.661,50	94,717	94,817	94,717	15,6	18,5	15,0	400	400	0	0	0	0	0	0
1039	132.671,44	94,744	94,844	94,744	14,5	18,0	12,4	400	400	0	0	0	0	0	0
1040	132.681,45	94,770	94,870	94,770	15,0	18,4	13,6	400	400	0	0	0	0	0	0
1041	132.691,41	94,796	94,896	94,796	15,1	20,3	14,7	400	400	0	0	0	0	0	0
1042	132.701,45	94,820	94,920	94,820	16,4	21,1	15,2	400	400	0	0	0	0	0	0

Tabelle 17: Technologisches Fräsen der Befestigung¹⁴⁴

¹⁴⁴ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

ASPHALTARBEITEN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Detaillierte Mengenrechnung №1

1. Gesamtasphaltemischgut für Deckschicht ohne Erholungsplatz (Tab. 6):

8.000 m ²	Pos.1213
$320 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ t/m}^3 = 768 \text{ t}$	Pos.1213

2. Gesamtasphaltemischgut für Binderschicht ohne Erholungsplatz (Tab. 6):

2.1. Binderschicht mit variabler Dicke:

$672 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ t/m}^3 = 1.614 \text{ t}$	Pos.1203
--	----------

2.2. 4 cm Binderschichtdicke:

$243 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ t/m}^3 = 584 \text{ t}$	Pos.1203
--	----------

3. Zweiter Bitumenverguss

- auf Asphaltsschicht:	25.600 m ²	Pos.1220
------------------------	-----------------------	----------

Tabelle 18: Mengenrechnung - Asphaltarbeiten¹⁴⁵

¹⁴⁵ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

BRECHSTEIN FÜR BANKETT

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Detaillierte Mengenrechnung №3

Linker Fahrstreifen

von Kilometer [m]	bis zum Kilometer [m]	Bankettbreite [m]	Mittelwert des Unterschiedes zwischen Bezugslinie und Gelände [cm]	durchschn. Aushubtiefe [cm]	Abschnittlänge [m]	Aushub ungeeignetes Material [m ³]	Brechstein für Bankett [m ³]	Bemerkung (Bankett, Gehsteig)
131.700,00	132.700,00	1,5	18,01	15	1.000	225	495,15	Bankett

Rechter Fahrstreifen

von Kilometer [m]	bis zum Kilometer [m]	Bankettbreite [m]	Mittelwert des Unterschiedes zwischen Bezugslinie und Gelände [cm]	durchschn. Aushubtiefe [cm]	Abschnittlänge [m]	Aushub ungeeignetes Material [m ³]	Brechstein für Bankett [m ³]	Bemerkung (Bankett, Gehsteig)
131.700,00	132.700,00	1,5	14,91	15	1.000	225	448,65	Bankett

Gesamtaushubmenge von ungeeignetem Material: 450 m³ Pos.1102Gesamtmenge von Brechstein für Bankett: 944 m³ Pos.1304**Tabelle 19: Mengenrechnung - Brechstein für Bankett¹⁴⁶**¹⁴⁶ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

BEFESTIGUNG VON ERHOLUNGSPLÄTZEN UND VERBREITERUNGEN AUS ASPHALT

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Mengenrechnung №14

Punkt- nummer	Kilometer [m]	Unterschiede zwischen Bezugslinie und Gelände [cm]		Breiten [cm]		Länge [m]	Binder- schicht- fläche [m ²]		Fräsen mit variabler Dicke		4 cm Binder- schicht [m ³]		Binder- schicht mit variabler Dicke [m ³]		Volumen [m ³]	zweiter Bitumen- verguss [m ²]
				linke	rechte		links	rechts	[m ²]	[m ³]	links	rechts	links	rechts		
		Verbr.	Verbr.	Verbr.	Verbr.											
1009	132.371,65		14,7		1,32	0		6,61	0			0,26		0,44	0,71	21,14
1010	132.381,66		13,5		2,81	10,01		28,16	0			1,13		1,55	2,67	90,10
1011	132.391,69		14,5		3,06	10,03		30,62	0			1,22		1,99	3,21	97,97
1012	132.401,67		15,1		3,18	9,98		31,70	0			1,27		2,25	3,52	101,45
1013	132.411,63		18,0		1,91	9,96		19,03	0			0,76		1,90	2,66	60,91
1014	132.421,60		22,6		0,44	9,97		2,19	0			0,09		0,32	0,41	7,02
Summe:							0	118	0	0	0	5	0	8	13	379

Gesamtmenge von Asphaltmischgut für Deckschicht:	118 m ²	Pos.1216
	5 m ³ x 2,4 t/m ³ = 11 t	Pos.1216
4 cm Binderschicht:	5 m ³ x 2,4 t/m ³ = 11 t	Pos.1203
Binderschicht mit variabler Dicke:	8 m ³ x 2,4 t/m ³ = 20 t	Pos.1203
zweiter Bitumenverguss:	379 m ²	Pos.1220
Gesamtfräsmenge mit variabler Dicke:	0 m ²	Pos.1111
	0 m ³	

Tabelle 20: Mengenrechnung - Befestigung von Erholungsplätzen und Verbreiterungen aus Asphalt¹⁴⁷

¹⁴⁷ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

BESEITIGUNG VON SCHÄDEN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Detaillierte Mengenrechnung №24

Schadensarten

№	von km	bis zum km	Netzrisse	Einzelrisse	Randrisse	Schlaglöcher	Flicken	beschleunigte Abreibung	Spurrinnen	Querwellen	Setzung	Bindemittel-anreicherung
	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
96	131.770,00	131.870,00	120	285	0	0	15	150	150	0	0	0
97	131.870,00	131.970,00	120	360	0	0	38	150	150	0	0	0
98	131.970,00	132.070,00	15	330	0	0	18	360	150	0	0	0
99	132.070,00	132.170,00	15	375	0	0	120	375	150	0	0	0
100	132.170,00	132.270,00	90	135	0	0	225	150	150	0	0	0
101	132.270,00	132.370,00	23	420	0	0	120	300	150	0	0	0
102	132.370,00	132.470,00	0	143	0	0	3	0	75	0	0	0
103	132.470,00	132.570,00	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0
104	132.570,00	132.670,00	8	60	0	0	0	0	0	0	0	0
105	132.670,00	132.770,00	30	75	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe:			420	2.303	0	0	539	1.485	975	0	0	0
			Pos.1401	Pos.1405		Pos.1404	Pos.1402	Pos.1401	Pos.1403		Pos.1403	

Binderschichtmischgut für gefräste Flächen: $2.279 \text{ m}^2 \times 0,04 \text{ m} = 91,16 \text{ m}^3$ $1.139,5 \text{ m}^2 \times 0,08 \text{ m} = 91,16 \text{ m}^3$ Gesamtmenge von Binderschichtmischgut für gefräste Flächen: $182,32 \text{ m}^3$ $182,32 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ t/m}^3 = 437,568 \text{ t}$ Pos.1406

Tabelle 21: Mengenrechnung - Beseitigung von Schäden¹⁴⁸

¹⁴⁸ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

AUSFÜHRUNG VON LOKALEN REPARATUREN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Mengenrechnung №25

von km	bis zum km	Länge	Breite	Seite	Mittelwert der Unterschiede zwischen Bezugslinie und Gelände	Art der lokalen Reparatur	Bankett-abbruch	Abbruch der Asphalt-schichten	Abbruch der ungebundenen Schicht	Boden-aushub bis Erreichen vom festen Untergrund	Damm aus geeignetem Material	Einbau von Asphalttrag-schicht mit Dicke 12 cm	Einbau von Brechstein für ungebundene Schicht mit max. Dicke 43 cm	Damm aus geeignetem Material für Zone "A" 50 cm (100 cm)	erster Bitumen-verguss	Brechstein für Bankett	Fahrbahn-fläche mit zwei statt drei zweiter Bitumen-vergüsse	
[m]	[m]	[m]	[m]		[cm]		[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[t]	[m ³]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	
131.700,00	131.822,00	122	3,00	I	24,2	h>20	-	73	-	-	-	109	112	-	404	20		
131.902,00	131.962,00	60	3,00	I	20,7	h>20	-	36	-	-	-	54	47	-	199	7		
132.002,00	132.132,00	130	3,00	I	21,5	h>20	-	78	-	-	-	117	106	-	430	17		
132.132,00	132.202,00	70	5,50	I+s	21,8	h>20	-	77	-	-	-	111	96	-	407	9		
132.252,00	132.292,00	40	5,50	I+s	18,2	h>20	-	44	-	-	-	63	46	-	232	3		
132.691,00	132.700,00	9	5,50	I+s	18,3	h>20	-	10	-	-	-	14	10	-	52	1		
Summe:							0	318	0	0	0	469	418	0	1.724	57	1.591	
							Pos.1102	Pos.1110.1	Pos.1110.2	Pos.1103	Pos.1127	Pos.1221	Pos.1302	Pos.1126	Pos.1219	Pos.1304.1	Pos.1220	

Bemerkungen: 1. Die Asphaltmischgutmengen für Deckschicht

sind in der Mengenrechnung für die Fahrbahn

2. Die asphaltmischgutmengen für Binderschicht

sind in der Mengenrechnung für die Fahrbahn

3. Material für Bankett

Die anderen Mengen sind in der Rechnung für die Fahrbahn

Tabelle 22: Mengenrechnung - Ausführung von lokalen Reparaturen¹⁴⁹

¹⁴⁹ Quelle: Firmendaten bzw. Projektdaten Straße I-7

GESAMTMENGENRECHNUNG

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Konventionelles Verfahren

Buch: Nachschlagwerk für die Preise im Bauwesen, April 2013

Position	Code	Beschreibung	Dimension	Mengen	Einzel- preis	Summe [lv.]
2.1 Boden						
1102	01.003-1	Aushub ungeeigneter Oberschicht.	m ³	450	4,78	2.151
1102	01.003-1	Transport auf 10 km bei 0,18 lv./tkm: 10 km x 0,18 lv./tkm x 1,5 t/m ³ = 2,7 lv./m ³	m ³	450	2,70	1.215
1102	01.003-1	Deponiegebühr: 2,40 lv./m ³	m ³	450	2,40	1.080
1110.1	26.214	Abbruch vorhandener Asphaltbefestigung.	m ³	318	3,78	1.202
1110.1	Fach- gespräch	Transport auf 10 km bei 0,18 lv./tkm: 10 km x 0,18 lv./tkm x 2,40 t/m ³ = 4,32 lv./m ³	m ³ (verdichtet)	318	4,32	1.374
1110.1	Fach- gespräch	Deponiegebühr: 4,70 lv./m ³ -abg. 318 m ³ -verd. x 2,4 t/m ³ -verd. ÷ 2,2 t/m ³ -abg. = = 347 m ³ -abg.	m ³ (abgebro- chen)	347	4,70	1.630
Zwischensumme 2.1						8.653
2.2 Asphalt						
1203	26.091	Lieferung und Einbau von Asphaltmischgut für Binderschicht Typ 0/16 für Profilieren und Ausgleichen von Schichten mit unterschiedlicher Dicke und Breite gemäß TS.	t	2.229	148,47	330.903
1213	26.096	Lieferung und Einbau von Asphaltmischgut für Deckschicht Typ A mit 4 cm Dicke im verdichteten Zustand.	t	768	160,04	122.911
1216	26.096	Lieferung und Einbau von Asphaltmischgut für Deckschicht Typ A (für Erholungsplatz) mit 4 cm Dicke im verdichteten Zustand.	t	11	160,04	1.760
1219	Fach- gespräch	Ausführung vom ersten Bitumenverguss für Verbindungen mit unterschiedlicher Breite gemäß TS.	m ²	1.724	2,20	3.793
1220	Fach- gespräch	Ausführung vom zweiten Bitumenverguss für Verbindungen mit unterschiedlicher Breite gemäß TS.	m ²	24.374	0,50	12.187
1221	26.061	Lieferung und Einbau von Asphaltmischgut für Tragschicht Typ Ao gemäß TS.	t	469	103,10	48.325
Zwischensumme 2.2						519.879

2.3 Straßenbefestigung						
1302	26.041	Ausführung von Tragschichten aus Gesteinskörnungen ohne Bindemittel gemäß TS und Randbedingungen (Korngrößenverteilung), die mit dem Bauingenieur abgestimmt sind.	m ³	418	23,56	9.847
1304	26.041	Lieferung und Einbau von Material für Bankett mit Qualität für Unterschicht gemäß TS.	m ³	1.001	23,56	23.584
Zwischensumme 2.3						33.431
2.4 Beseitigung von Schäden						
1401	26.126	Lokale Deformationen in der Straßenkonstruktion mit Tiefen bis zu 30 mm, Netzrisse und seichte Schlaglöcher: „oberflächige Flicker“.	m ²	1.905	26,65	50.768
1402	26.127	Lokale Deformationen in der Straßenkonstruktion mit Tiefen über 30 mm: „tiefe Flicker“.	m ²	539	30,81	16.591
1403	26.126	Spurrinnen infolge plastischer Verformungen der Asphaltsschichten tiefer als 15 mm.	m ²	975	26,65	25.984
1405	26.181	Auffüllen von Einzelrissen mit Breiten größer als 3 mm mit geeignetem Material auf Bitumenbasis gemäß TS.	m	2.303	1,44	3.317
1406	Fachgespräch	Lieferung von Binderschichtmischgut für Flicker mit unterschiedlicher Dicken und Breiten gemäß TS. Transport auf 10 km bei 0,18 lv./tkm: 10 km x 0,18 lv. = 1,80 lv./t	t	438	1,80	788
Zwischensumme 2.4						97.448
Gesamtsumme						659.411

Tabelle 23: Gesamtmengen

8.2 Anhang 2: Kaltrecycling in situ

8.2.1 Bemessung der Konstruktion für Kaltrecycling in situ an der Straße I-7 "Shumen – Veliki Preslav" von km 131+700 bis zum km 132+700

Die Bemessung ist für Verkehrskategorie "sehr schwer", mit einer Bemessungsachslast von 11,5 t für den Benutzungszeitraum von 15 Jahren und mit erforderlichem Elastizitätsmodul $E_H = 259 \text{ MPa}$ gemäß *Punkt 3.2* von den Ausgangsdaten des *ZSBLs* durchgeführt.

Erste Variante: 30 cm KRC-Schicht

Nachweis der Einsenkung:

Berechnungen:

Die Moduli der Baustoffe der unterschiedlichen Schichten werden von *RBA, Tab. 9.4* abgelesen, d. s. für Deckschicht 1.200 MPa, für Binderschicht 1.000 MPa, für KRC-Schicht 800 MPa und für ungebundene Schicht aus Brechsteinen mit stetiger Korngrößenverteilung 250 MPa. Nach dem Ausgraben eines Schurfes wird der Elastizitätsmodul des Untergrundes $E_0 = 60 \text{ MPa}$ und der Modul des Baustoffes der ungebundenen Schicht aus Brechsteinen festgestellt.

$$\underline{Ee_1 = 312 \text{ MPa} > E_H = 259 \text{ MPa}}$$

↓

$h_1 = 4 \text{ cm}$	Deckschicht $E_1 = 1.200 \text{ MPa}$	<u>$Ee_2 = 290 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_2 = 6 \text{ cm}$	Binderschicht $E_2 = 1.000 \text{ MPa}$	<u>$Ee_3 = 248 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_3 = 30 \text{ cm}$	KRC-Schicht $E_3 = 400 \text{ MPa}$	<u>$Ee_4 = 135 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_4 = 32 \text{ cm}$	Brechstein mit stetiger Korngrößenverteilung $E_4 = 250 \text{ MPa}$	<u>$Ee_5 = E_{3,0} = 60 \text{ MPa}$</u> ↓

Tabelle 24: Bemessung KRC-Schicht 30 cm

1. 32 cm Brechstein mit stetiger Korngrößenverteilung

$$h_4 / D = 32 / 34 = 0,941; E_{e5} / E_4 = 60 / 250 = 0,24;$$

abgelesen $E_{e4} / E_4 = 0,54$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e4} = 0,54 \times 250 = 135$ MPa.

2. 30 cm KRC-Schicht

$$h_3 / D = 30 / 34 = 0,882; E_{e4} / E_3 = 135 / 400 = 0,338;$$

abgelesen $E_{e3} / E_3 = 0,62$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e3} = 0,62 \times 400 = 248$ MPa.

3. 6 cm Binderschicht

$$h_2 / D = 6 / 34 = 0,176; E_{e3} / E_2 = 248 / 1.000 = 0,248;$$

abgelesen $E_{e2} / E_2 = 0,29$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e2} = 0,29 \times 1.000 = 290$ MPa.

4. 4 cm Deckschicht

$$h_1 / D = 4 / 34 = 0,118; E_{e2} / E_1 = 290 / 1.200 = 0,242;$$

abgelesen $E_{e1} / E_1 = 0,26$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e1} = 0,26 \times 1.200 = 312 > 259 = E_H$.

Nachweis der Zugspannungen in den Schichten:

Berechnungen:

Nachweis der Zugspannungen an der Binderschichtunterseite, d. h. für die Gesamtdicke:

$$H = h_1 + h_2 = 4 + 6 = 10 \text{ cm.}$$

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{1.200 \times 4 + 1.000 \times 6}{10} = 1.080 \text{ MPa}$$

$$E_H = 248 \text{ MPa (siehe Tab. 24);}$$

$$H / D = 10 / 34 = 0,294;$$

$$E_{cp} / E_H = 1.080 / 248 = 4,355;$$

abgelesen $\overline{\sigma_R} = 1,3$ MPa (RBA, Abb. 9.2);

abgelesen $\sigma_{don} = 1$ MPa (RBA, Tab. 9.7);

$p = 0,663$ MPa für Bemessungsfahrzeug mit 115 kN Achslast;

$$\sigma_R = 1,15 \times p \times \overline{\sigma_R} = 1,15 \times 0,633 \times 1,3 = 0,946 < 1,0 = \sigma_{don}.$$

Der Nachweis ändert nicht die Konstruktionsschichtdicken.

Nachweis der Zugspannungen an der KRC-Schichtunterseite, d. h. für die Gesamtdicke:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 4 + 6 + 30 = 40 \text{ cm.}$$

$E_{cp} = 1.080$ MPa (siehe oben);

$E_i = 400$ MPa;

$E_d = 135$ MPa (siehe Tab. 24);

$$H / D = 40 / 34 = 1,176;$$

$$E_{cp} / E_i = 1.080 / 400 = 2,7 ;$$

$$E_i / E_d = 400 / 135 = 2,963 ;$$

abgelesen $\overline{\sigma_R} = 0,19$ MPa (RBA, Abb. 9.3);

$p = 0,663$ MPa für Bemessungsfahrzeug mit 115 kN Achslast;

abgelesen $\sigma_{don} = 0,15$ MPa (RBA, Tab. 9.7);

$$\sigma_R = 1,15 \times p \times \overline{\sigma_R} = 1,15 \times 0,633 \times 0,19 = 0,138 < 0,15 = \sigma_{don}.$$

Der Nachweis ändert nicht die Konstruktionsschichtdicken.

Für Untergrund aus ungebundenen Böden:

Nachweis der Scherspannungen im Untergrund:

Berechnungen:

abgelesen $K_2 = 0,65$; $K_3 = 1$ (RBA, Tab. 9.8);

$$f = 1,15;$$

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{d \cdot f \cdot K_3} = \frac{0,6 \times 0,65}{1,15 \times 1,15 \times 1} = 0,29;$$

abgelesen $C = 0,03 \text{ MPa}$; $\varphi^\circ = 40^\circ$ (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\text{don}} = K \cdot C = 0,29 \times 0,03 = 0,0087 \text{ MPa};$$

$$E_{cp} = \frac{\sum E_i \cdot h_i}{\sum h_i} = \frac{1.200 \times 4 + 1.000 \times 6 + 400 \times 30 + 250 \times 32}{72} = 427,778 \text{ MPa};$$

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 4 + 6 + 30 + 32 = 72 \text{ cm};$$

$$H / D = 72 / 34 = 2,118;$$

$$E_{cp} / E_0 = 427,778 / 60 = 7,130;$$

abgelesen $\frac{\tau_\mu}{p} \times 10^2 = 0,2$ (RBA, Abb. 9.7);

$$\tau_\mu = \frac{0,2 \times p}{10^2} = \frac{0,2 \times 0,633}{10^2} = 0,00127 \text{ MPa};$$

abgelesen $\tau_b = -0,005 \text{ MPa}$ (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_\mu + \tau_b \leq K \cdot C = \tau_{\text{don}};$$

$$0,00127 - 0,005 = -0,00057 \leq 0,0087 = \tau_{\text{don}}.$$

Der Untergrund kann die Scherspannungen aufnehmen.

Nachweis der Scherspannungen in den ungebundenen Schichten:

abgelesen $K_2 = 0,65$; $K_3 = 1$ (RBA, Tab. 9.8);

$$f = 1,15;$$

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{d \cdot f \cdot K_3} = \frac{0,6 \times 0,65}{1,15 \times 1,15 \times 1} = 0,29;$$

abgelesen $C = 0,03 \text{ MPa}$; $\varphi^\circ = 40^\circ$ (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\text{don}} = K \cdot C = 0,29 \times 0,03 = 0,0087 \text{ MPa};$$

$$E_{e4} = 135 \text{ MPa (siehe Tab. 24);}$$

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 4 + 6 + 30 = 40 \text{ cm};$$

$$H / D = 40 / 34 = 1,176;$$

$$E_{e4} / E_0 = 135 / 60 = 2,25;$$

abgelesen $\frac{\tau_{\mu}}{p} \times 10^2 = 0,82$ (RBA, Abb. 9.7);

$$\tau_{\mu} = \frac{0,82 \times p}{10^2} = \frac{0,82 \times 0,633}{10^2} = 0,00519 \text{ MPa};$$

abgelesen $\tau_b = -0,003$ MPa (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\mu} + \tau_b \leq K.C = \tau_{oon};$$

$$0,00519 - 0,003 = 0,00219 \leq 0,0087 = \tau_{oon}.$$

Die ungebundene Schicht kann die Scherspannungen aufnehmen.

Nachweis des frostsicheren Oberbaues:

Aus Gleichung (19) folgt für den vorhandenen Schichtaufbau $R_o = 0,46 \text{ m}^2\text{hg/kcal}$;

abgelesen $\lambda_{3n} = 1,7 \text{ kcal/mhg}$ (RBA, Tab. 5.2);

abgelesen $\lambda_{on} = 2,5 \text{ kcal/mhg}$ (RBA, Abb. 5.3);

$$m = \frac{\lambda_{3n}}{\lambda_{on}} = \frac{1,7}{2,5} = 0,68;$$

abgelesen $z' = 80 \text{ cm}$ (RBA, Abb. 5.2);

$$z = z' m = 80 \times 0,68 = 54,4 \text{ cm}.$$

Die Gesamtdicke der neuen Befestigung ist $H = 72 \text{ cm}$ und diese ist größer als die Frosttiefe $z = 54,4 \text{ cm}$.

Zweite Variante: 25 cm KRC-Schicht

Um Baustoffe einzusparen, darf die Bezugslinie so entworfen werden, dass in bestimmten Stellen die KRC-Schichtdicke bis zu 25 cm sinkt.

Nachweis der Einsenkung:

Berechnungen:

$$\underline{Ee_1 = 300 \text{ MPa} > E_H = 259 \text{ MPa}}$$

↓

$h_1 = 4 \text{ cm}$	Deckschicht $E_1 = 1.200 \text{ MPa}$	<u>$Ee_2 = 270 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_2 = 6 \text{ cm}$	Binderschicht $E_2 = 1.000 \text{ MPa}$	<u>$Ee_3 = 236 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_3 = 25 \text{ cm}$	KRC-Schicht $E_3 = 400 \text{ MPa}$	<u>$Ee_4 = 135 \text{ MPa}$</u> ↓
$h_4 = 32 \text{ cm}$	Brechstein mit stetiger Korngrößenverteilung $E_4 = 250 \text{ MPa}$	<u>$Ee_5 = E_{3,0} = 60 \text{ MPa}$</u> ↓

Tabelle 25: Bemessung KRC-Schicht 25 cm

1. 37 cm ungebundene Schicht

$$h_4 / D = 32 / 34 = 0,941; E_{e5} / E_4 = 60 / 250 = 0,24;$$

abgelesen $E_{e4} / E_4 = 0,54$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e4} = 0,54 \times 250 = 135 \text{ MPa}$.

2. 25 cm KRC-Schicht

$$h_3 / D = 25 / 34 = 0,735; E_{e4} / E_3 = 135 / 400 = 0,338;$$

abgelesen $E_{e3} / E_3 = 0,59$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e3} = 0,59 \times 400 = 236 \text{ MPa}$.

3. 6 cm Binderschicht

$$h_2 / D = 6 / 34 = 0,176; E_{e3} / E_2 = 236 / 1.000 = 0,236;$$

abgelesen $E_{e2} / E_2 = 0,27$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e2} = 0,27 \times 1.000 = 270$ MPa.

4. 4 cm Deckschicht

$$h_1 / D = 4 / 34 = 0,118; E_{e2} / E_1 = 270 / 1.200 = 0,225;$$

abgelesen $E_{e1} / E_1 = 0,25$ (RBA, Abb. 9.1); $E_{e1} = 0,25 \times 1.200 = 300 > 259 = E_H$.

Nachweis der Zugspannungen in den Schichten:

Berechnungen:

Nachweis der Zugspannungen an der Binderschichtunterseite, d. h. für die Gesamtdicke:

$$H = h_1 + h_2 = 4 + 6 = 10 \text{ cm.}$$

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{1.200 \times 4 + 1.000 \times 6}{10} = 1.080 \text{ MPa}$$

$$E_{fl} = 236 \text{ MPa (siehe Tab. 25);}$$

$$H / D = 10 / 34 = 0,294;$$

$$E_{cp} / E_{fl} = 1.080 / 236 = 4,576;$$

abgelesen $\overline{\sigma}_R = 1,3$ MPa (RBA, Abb. 9.2);

abgelesen $\sigma_{don} = 1$ MPa (RBA, Tab. 9.7);

$p = 0,663$ MPa für Bemessungsfahrzeug mit 115 kN Achslast;

$$\sigma_R = 1,15 \times p \times \overline{\sigma}_R = 1,15 \times 0,663 \times 1,3 = 0,946 < 1,0 = \sigma_{don}.$$

Der Nachweis ändert nicht die Konstruktionsschichtdicken.

Nachweis der Zugspannungen an der KRC-Schichtunterseite, d. h. für die Gesamtdicke:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 4 + 6 + 25 = 35 \text{ cm.}$$

$$E_{cp} = 1.080 \text{ MPa (siehe oben);}$$

$$E_i = 400 \text{ MPa};$$

$$E_d = 135 \text{ MPa (siehe Tab. 25);}$$

$$H / D = 35 / 34 = 1,03 ;$$

$$E_{cp} / E_i = 1.080 / 400 = 2,7 ;$$

$$E_i / E_d = 400 / 135 = 2,963 ;$$

abgelesen $\overline{\sigma}_R = 0,2 \text{ MPa (RBA, Abb. 9.3);}$

$p = 0,663 \text{ MPa}$ für Bemessungsfahrzeug mit 115 kN Achslast;

abgelesen $\sigma_{oon} = 0,15 \text{ MPa (RBA, Tab. 9.7);}$

$$\sigma_R = 1,15 \times p \times \overline{\sigma}_R = 1,15 \times 0,663 \times 0,2 = 0,146 < 0,15 = \sigma_{oon} .$$

Der Nachweis ändert nicht die Konstruktionsschichtdicken.

Für Untergrund aus ungebundenen Böden:

Nachweis der Scherspannungen im Untergrund:

Berechnungen:

abgelesen $K_2 = 0,65$; $K_3 = 1$ (RBA, Tab. 9.8);

$$f = 1,15 ;$$

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{d \cdot f \cdot K_3} = \frac{0,6 \times 0,65}{1,15 \times 1,15 \times 1} = 0,29 ;$$

abgelesen $C = 0,03 \text{ MPa}$; $\varphi^\circ = 40^\circ$ (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{oon} = K \cdot C = 0,29 \times 0,03 = 0,0087 \text{ MPa};$$

$$E_{cp} = \frac{\sum E_i \cdot h_i}{\sum h_i} = \frac{1.200 \times 4 + 1.000 \times 6 + 400 \times 25 + 250 \times 32}{67} = 429,851 \text{ MPa};$$

$$H / D = 67 / 34 = 1,971 ;$$

$$E_{cp} / E_0 = 429,851 / 60 = 7,164 ;$$

abgelesen $\frac{\tau_{\mu}}{p} \times 10^2 = 0,2$ (RBA, Abb. 9.7);

$$\tau_{\mu} = \frac{0,2 \times p}{10^2} = \frac{0,2 \times 0,633}{10^2} = 0,00126 \text{ MPa};$$

abgelesen $\tau_b = -0,0048$ MPa (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\mu} + \tau_b \leq K.C = \tau_{\text{don}};$$

$$0,00126 - 0,0048 = -0,00354 \leq 0,0087 = \tau_{\text{don}}.$$

Der Untergrund kann die Scherspannungen aufnehmen.

Nachweis der Scherspannungen in den ungebundenen Schichten:

abgelesen $K_2 = 0,65$; $K_3 = 1$ (RBA, Tab. 9.8);

$$f = 1,15;$$

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{d \cdot f \cdot K_3} = \frac{0,6 \times 0,65}{1,15 \times 1,15 \times 1} = 0,29;$$

abgelesen $C = 0,03$ MPa; $\varphi^{\circ} = 40^{\circ}$ (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\text{don}} = K.C = 0,29 \times 0,03 = 0,0087 \text{ MPa};$$

$$E_{e4} = 135 \text{ MPa (siehe Tab. 25);}$$

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 4 + 6 + 25 = 35 \text{ cm};$$

$$H / D = 35 / 34 = 1,029;$$

$$E_{e4} / E_0 = 135 / 60 = 2,25;$$

abgelesen $\frac{\tau_{\mu}}{p} \times 10^2 = 1,13$ (RBA, Abb. 9.7);

$$\tau_{\mu} = \frac{1,05 \times p}{10^2} = \frac{1,13 \times 0,633}{10^2} = 0,00715 \text{ MPa};$$

abgelesen $\tau_b = -0,0025$ MPa (RBA, Abb. 9.8);

$$\tau_{\mu} + \tau_b \leq K.C = \tau_{\text{don}};$$

$$0,00715 - 0,0025 = 0,00465 \leq 0,0087 = \tau_{\text{don}}.$$

Die ungebundene Schicht kann die Scherspannungen aufnehmen.

Nachweis des frostsicheren Oberbaues:

Aus Gleichung (19) folgt für den vorhandenen Schichtaufbau $R_o = 0,42 \text{ m}^2\text{hg/kcal}$;

abgelesen $\lambda_{3n} = 1,85 \text{ kcal/mhg}$ (*RBA, Tab. 5.2*);

abgelesen $\lambda_{on} = 2,5 \text{ kcal/mhg}$ (*RBA, Abb. 5.3*);

$$m = \frac{\lambda_{3n}}{\lambda_{on}} = \frac{1,85}{2,5} = 0,74;$$

abgelesen $z' = 80 \text{ cm}$ (*RBA, Abb. 5.2*);

$$z = z' m = 80 \times 0,74 = 59,2 \text{ cm.}$$

Die Gesamtdicke der neuen Befestigung ist $H = 67 \text{ cm}$ und diese ist größer als die Frosttiefe $z = 59,2 \text{ cm}$.

ELEMENTE DER VERTIKALEN KURVEN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Projektgeschwindigkeit: 80 (60) km/h

Bezugslinieart: kubisches Spline

Kaltrecycling

Tabelle 4

№	Kilometer	Höhe	Neigung	Radius	B	dx	dxw
	[m]	[m]	[%]	[m]	[m]	[m]	[m]
45	131.702,06	93,246	0,276	∞	2.490,54	49,92	
*	131.703,61	93,250	0,276	∞			
46	131.762,16	93,417	0,303	105.948	1.851,56	60,09	
*	131.794,52	93,519	0,319	∞			
47	131.802,06	93,543	0,318	-454.197	7.878,42	39,91	
48	131.852,00	93,699	0,309	-715.745	1.908,49	49,94	
***	131.883,02	93,793	0,291	-100.883			219,08
49	131.902,02	93,846	0,268	-66.098	1.509,08	50,02	
*	131.936,47	93,932	0,241	∞			
50	131.952,02	93,970	0,247	146.482	3.812,52	50	
51	132.001,97	94,103	0,289	97.433	5.312,28	49,95	
52	132.066,42	94,310	0,348	125.321	1.461,77	64,45	
*	132.083,47	94,370	0,355	∞			
53	132.101,91	94,435	0,347	-115.914	5.594,08	35,48	
54	132.161,81	94,626	0,290	-94.864	917,95	59,91	
55	132.201,77	94,721	0,153	-17.254	1.017,59	39,95	
***	132.215,42	94,737	0,083	-22.338			332,41
56	132.251,70	94,745	-0,016	-102.776	3.546,11	49,94	
57	132.301,70	94,723	-0,075	-72.960	1.527,80	50	
58	132.351,73	94,659	-0,197	-28.457	794,70	50,03	
*	132.373,92	94,610	-0,236	∞			
59	132.391,69	94,569	-0,211	35.560	1.938,39	39,95	
60	132.441,61	94,494	-0,104	67.406	2.663,74	49,92	
61	132.491,62	94,463	-0,012	45.695	1.759,95	50,02	
62	132.541,53	94,491	0,138	26.318	1.664,42	49,91	
63	132.591,45	94,600	0,282	50.060	1.081,06	49,92	
*	132.614,80	94,669	0,306	∞			
64	132.631,41	94,719	0,294	-70.371	2.687,63	39,95	
***	132.650,14	94,772	0,270	-86.082			434,72
65	132.681,45	94,851	0,240	-137.326	1.048,71	50,05	
*	132.689,47	94,871	0,237	∞			
66	132.741,48	95,015	0,360	21.140	931,12	60,03	

Tabelle 26: Elemente der vertikalen Kurven

BEZUGSLINIEHÖHE UND HÖHENUNTERSCHIEDE

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Projektgeschwindigkeit: 80 (60) km/h

Bezugslinieart: kubisches Spline

Kaltrecycling

Tabelle 5

Punkt- nummer	km [m]	Gelände- achsehöhe [m]	Bezugsliniehöhen [m]			Unterschiede zw. Bezugslinie und Gelände [cm]			Breiten		vorhandene Neigungen		vorgesehene Neigungen		
			links	mitte	rechts	links	mitte	rechts	links	rechts	links [%]	rechts [%]	links [%]	rechts [%]	
942	131.702,06	93,099	93,146	93,246	93,146	19,1	14,7	13,0	400	400	3,60	2,08	2,5	2,5	
	131.707,06		93,160	93,260	93,160									2,5	2,5
943	131.712,06	93,127	93,174	93,274	93,174	20,7	14,7	13,5	400	400	4,00	2,20	2,5	2,5	
	131.717,09		93,188	93,288	93,188									2,5	2,5
944	131.722,12	93,150	93,202	93,302	93,202	23,0	15,2	13,0	400	400	4,47	1,97	2,5	2,5	
	131.727,12		93,216	93,316	93,216									2,5	2,5
945	131.732,14	93,174	93,230	93,330	93,230	19,3	15,6	11,6	400	400	3,42	1,47	2,5	2,5	
	131.737,09		93,244	93,344	93,244									2,5	2,5
946	131.742,06	93,195	93,258	93,358	93,258	17,6	16,3	13,5	400	400	2,83	1,80	2,5	2,5	
	131.747,11		93,273	93,373	93,273									2,5	2,5
947	131.752,16	93,221	93,287	93,387	93,287	16,9	16,6	13,0	400	400	2,58	1,60	2,5	2,5	
	131.757,16		93,302	93,402	93,302									2,5	2,5
948	131.762,16	93,258	93,317	93,417	93,317	16,5	15,9	12,0	400	400	2,63	1,53	2,5	2,5	
	131.767,14		93,333	93,433	93,333									2,5	2,5
949	131.772,12	93,288	93,348	93,448	93,348	18,0	16,0	10,9	400	400	3,03	1,23	2,5	2,5	
	131.777,11		93,364	93,464	93,364									2,5	2,5
950	131.782,09	93,310	93,379	93,479	93,379	19,4	16,9	11,6	400	400	3,10	1,15	2,5	2,5	
	131.787,11		93,395	93,495	93,395									2,5	2,5
951	131.792,12	93,353	93,411	93,511	93,411	18,5	15,8	12,3	400	400	3,17	1,62	2,5	2,5	
	131.797,09		93,427	93,527	93,427									2,5	2,5
952	131.802,06	93,403	93,443	93,543	93,443	17,7	14,0	13,0	400	400	3,42	2,25	2,5	2,5	
	131.807,06		93,459	93,559	93,459									2,5	2,5
953	131.812,05	93,460	93,474	93,574	93,474	17,3	11,4	13,4	400	400	3,95	2,97	2,5	2,5	
	131.817,06		93,490	93,590	93,490									2,5	2,5
954	131.822,06	93,497	93,506	93,606	93,506	17,1	10,9	12,1	400	400	4,05	2,80	2,5	2,5	
	131.827,03		93,522	93,622	93,522									2,5	2,5
955	131.832,02	93,519	93,537	93,637	93,537	15,5	11,8	14,8	400	400	3,45	3,25	2,5	2,5	
	131.837,03		93,553	93,653	93,553									2,5	2,5
956	131.842,05	93,530	93,568	93,668	93,568	15,7	13,8	14,1	400	400	2,95	2,57	2,5	2,5	
	131.847,03		93,584	93,684	93,584									2,5	2,5
957	131.852,00	93,568	93,599	93,699	93,599	16,1	13,1	13,0	400	400	3,25	2,47	2,5	2,5	
	131.857,03		93,615	93,715	93,615									2,5	2,5
958	131.862,05	93,578	93,630	93,730	93,630	16,8	15,2	12,7	400	400	2,90	1,88	2,5	2,5	
	131.867,06		93,645	93,745	93,645									2,5	2,5
959	131.872,06	93,610	93,660	93,760	93,660	16,7	15,0	11,8	400	400	2,92	1,70	2,5	2,5	
	131.877,06		93,675	93,775	93,675									2,5	2,5
960	131.882,08	93,625	93,690	93,790	93,690	18,5	16,5	11,4	400	400	2,98	1,23	2,5	2,5	
	131.887,03		93,704	93,804	93,704									2,5	2,5
961	131.891,98	93,640	93,719	93,819	93,719	19,7	17,9	12,5	400	400	2,97	1,17	2,5	2,5	
	131.897,00		93,732	93,832	93,732									2,5	2,5
962	131.902,02	93,647	93,746	93,846	93,746	20,7	19,9	13,1	400	400	2,70	0,80	2,5	2,5	
	131.907,00		93,759	93,859	93,759									2,5	2,5
963	131.912,00	93,691	93,772	93,872	93,772	21,5	18,1	12,0	400	400	3,35	0,97	2,5	2,5	
	131.917,00		93,785	93,885	93,785									2,5	2,5
964	131.922,02	93,727	93,797	93,897	93,797	20,7	17,0	13,1	400	400	3,40	1,50	2,5	2,5	
	131.927,00		93,809	93,909	93,809									2,5	2,5
965	131.931,97	93,724	93,821	93,921	93,821	19,4	19,7	11,8	400	400	2,43	0,53	2,5	2,5	
	131.936,97		93,833	93,933	93,833									2,5	2,5

Anhänge

966	131.941,98	93,764	93,846	93,946	93,846	20,9	18,2	12,4	400	400	3,18	1,05	2,5	2,5
	131.947,00		93,858	93,958	93,858								2,5	2,5
967	131.952,02	93,822	93,870	93,970	93,870	19,0	14,8	12,3	400	400	3,55	1,88	2,5	2,5
	131.957,00		93,882	93,982	93,882								2,5	2,5
968	131.961,97	93,843	93,895	93,995	93,895	19,4	15,2	11,3	400	400	3,55	1,53	2,5	2,5
	131.966,97		93,908	94,008	93,908								2,5	2,5
969	131.971,98	93,848	93,921	94,021	93,921	17,0	17,3	11,9	400	400	2,42	1,15	2,5	2,5
	131.976,98		93,934	94,034	93,934								2,5	2,5
970	131.981,98	93,871	93,947	94,047	93,947	17,3	17,6	11,6	400	400	2,40	1,00	2,5	2,5
	131.986,97		93,961	94,061	93,961								2,5	2,5
971	131.991,95	93,912	93,975	94,075	93,975	16,8	16,3	11,8	400	400	2,63	1,38	2,5	2,5
	131.996,97		93,989	94,089	93,989								2,5	2,5
972	132.001,97	93,940	94,003	94,103	94,003	20,0	16,3	13,1	400	400	3,43	1,70	2,5	2,5
	132.006,97		94,018	94,118	94,018								2,5	2,5
973	132.011,95	93,963	94,033	94,133	94,033	18,5	17,0	12,9	400	400	2,88	1,48	2,5	2,5
	132.016,95		94,048	94,148	94,048								2,5	2,5
974	132.021,95	94,012	94,063	94,163	94,063	18,0	15,1	11,7	400	400	3,23	1,65	2,5	2,5
	132.026,95		94,079	94,179	94,079								2,5	2,5
975	132.031,95	94,044	94,095	94,195	94,095	20,6	15,1	11,9	400	400	3,87	1,70	2,5	2,5
	132.036,97		94,111	94,211	94,111								2,5	2,5
976	132.041,98	94,075	94,127	94,227	94,127	19,3	15,2	12,9	400	400	3,50	1,92	2,5	2,5
	132.046,97		94,143	94,243	94,143								2,5	2,5
977	132.051,97	94,119	94,160	94,260	94,160	17,5	14,1	13,0	400	400	3,33	2,23	2,5	2,5
	132.059,19		94,185	94,285	94,185								2,5	2,5
978	132.066,42	94,157	94,210	94,310	94,210	15,5	15,3	12,0	400	400	2,55	1,67	2,5	2,5
	132.069,16		94,219	94,319	94,219								2,5	2,5
979	132.071,91	94,183	94,229	94,329	94,229	19,1	14,6	11,4	400	400	3,65	1,72	2,5	2,5
	132.076,91		94,246	94,346	94,246								2,5	2,5
980	132.081,89	94,233	94,264	94,364	94,264	19,7	13,1	12,6	400	400	4,15	2,38	2,5	2,5
	132.086,88		94,282	94,382	94,282								2,5	2,5
981	132.091,88	94,218	94,300	94,400	94,300	21,7	18,2	13,8	400	400	3,38	1,40	2,5	2,5
	132.096,89		94,317	94,417	94,317								2,5	2,5
982	132.101,91	94,253	94,335	94,435	94,335	20,4	18,2	12,0	400	400	3,05	0,95	2,5	2,5
	132.106,91		94,352	94,452	94,352								2,5	2,5
983	132.111,91	94,294	94,369	94,469	94,369	22,0	17,5	12,4	400	400	3,62	1,22	2,5	2,5
	132.116,88		94,386	94,486	94,386								2,5	2,5
984	132.121,84	94,308	94,402	94,502	94,402	20,8	19,4	16,0	400	400	2,85	1,67	2,5	2,5
	132.126,86		94,419	94,519	94,419								2,5	2,5
985	132.131,88	94,318	94,435	94,535	94,435	22,9	21,7	17,1	400	400	2,80	1,35	2,5	2,5
	132.136,86		94,451	94,551	94,451								2,5	2,5
986	132.141,84	94,311	94,466	94,566	94,466	22,9	25,5	17,6	400	400	1,85	0,52	2,5	2,5
	132.146,84		94,481	94,581	94,481								2,5	2,5
987	132.151,83	94,331	94,497	94,597	94,497	21,3	26,6	15,6	400	400	1,20	-0,23	2,5	2,5
	132.156,81		94,511	94,611	94,511								2,5	2,5
988	132.161,81	94,385	94,526	94,626	94,526	23,8	24,1	15,0	400	400	2,42	0,22	2,5	2,5
	132.166,81		94,540	94,640	94,540								2,5	2,5
989	132.171,80	94,426	94,554	94,654	94,554	27,0	22,8	14,7	400	400	3,55	0,48	2,5	2,5
	132.176,81		94,568	94,668	94,568								2,5	2,5
990	132.181,81	94,464	94,580	94,680	94,580	29,3	21,6	16,1	400	400	4,40	1,13	2,5	2,5
	132.186,81		94,592	94,692	94,592								2,5	2,5
991	132.191,81	94,506	94,603	94,703	94,603	27,1	19,7	13,4	400	400	4,35	0,93	2,5	2,5
	132.196,78		94,612	94,712	94,612								2,5	2,5
992	132.201,77	94,529	94,621	94,721	94,621	21,4	19,2	14,0	400	400	3,05	1,20	2,5	2,5
	132.206,75		94,628	94,728	94,628								2,5	2,5
993	132.211,75	94,575	94,633	94,733	94,633	17,8	15,8	11,0	400	400	3,00	1,27	2,5	2,5
	132.216,78		94,638	94,738	94,638								2,5	2,5
994	132.221,80	94,587	94,641	94,741	94,641	17,7	15,4	13,8	400	400	3,07	2,10	2,5	2,5
	132.226,75		94,643	94,743	94,643								2,5	2,5
995	132.231,70	94,588	94,645	94,745	94,645	14,3	15,7	11,3	400	400	2,18	1,43	2,5	2,5
	132.236,73		94,646	94,746	94,646								2,5	2,5

Anhänge

996	132.241,77	94,596	94,646	94,746	94,646	13,2	15,0	11,2	400	400	2,05	1,55	2,5	2,5
	132.246,73		94,645	94,745	94,645								2,5	2,5
997	132.251,70	94,558	94,645	94,745	94,645	14,3	18,7	14,0	400	400	1,40	1,33	2,5	2,5
	132.256,73		94,644	94,744	94,644								2,5	2,5
998	132.261,77	94,559	94,643	94,743	94,643	13,7	18,4	12,8	400	400	1,33	1,10	2,5	2,5
	132.266,77		94,641	94,741	94,641								2,5	2,5
999	132.271,77	94,557	94,639	94,739	94,639	14,3	18,2	12,2	400	400	1,52	1,00	2,5	2,5
	132.276,78		94,637	94,737	94,637								2,5	2,5
1000	132.281,78	94,547	94,635	94,735	94,635	13,3	18,8	13,2	400	400	1,10	1,10	2,5	2,5
B23	132.281,80	94,547	94,635	94,735	94,635	13,3	18,8	13,2	400	400	1,10	1,10	2,5	2,5
	132.286,75		94,633	94,733	94,633								2,5	2,5
1001	132.291,72	94,524	94,630	94,730	94,630	12,8	20,6	14,1	400	400	0,55	0,87	2,5	2,5
	132.296,72		94,626	94,726	94,626								2,5	2,5
1002	132.301,70	94,567	94,623	94,723	94,623	11,0	15,6	16,9	400	400	1,35	2,82	2,5	2,5
	132.306,72		94,619	94,719	94,619								2,5	2,5
1003	132.311,73	94,541	94,615	94,715	94,615	13,5	17,4	15,2	400	400	1,52	1,95	2,5	2,5
	132.316,75		94,610	94,710	94,610								2,5	2,5
1004	132.321,77	94,553	94,605	94,705	94,605	13,6	15,2	15,7	400	400	2,10	2,63	2,5	2,5
	132.326,75		94,599	94,699	94,599								2,5	2,5
1005	132.331,73	94,551	94,592	94,692	94,592	12,6	14,1	14,3	400	400	2,12	2,55	2,5	2,5
	132.336,72		94,585	94,685	94,585								2,5	2,5
1006	132.341,69	94,528	94,577	94,677	94,577	13,8	14,9	16,5	400	400	2,20	2,90	2,5	2,5
	132.346,72		94,569	94,669	94,569								2,5	2,5
1007	132.351,73	94,498	94,559	94,659	94,559	13,8	16,1	12,0	400	400	1,90	1,45	2,5	2,5
	132.356,69		94,549	94,649	94,549								2,5	2,5
1008	132.361,66	94,488	94,538	94,638	94,538	12,8	15,0	9,9	400	400	1,92	1,22	2,5	2,5
	132.366,66		94,527	94,627	94,527								2,5	2,5
1009	132.371,66	94,462	94,515	94,615	94,515	12,6	15,3	12,8	400	400	1,85	1,87	2,5	2,5
	132.376,66		94,503	94,603	94,503								2,5	2,5
1010	132.381,66	94,444	94,492	94,592	94,492	14,0	14,8	11,2	400	400	2,30	1,63	2,5	2,5
	132.386,67		94,480	94,580	94,480								2,5	2,5
1011	132.391,69	94,422	94,469	94,569	94,469	13,6	14,7	12,0	400	400	2,20	1,80	2,5	2,5
	132.396,69		94,459	94,559	94,459								2,5	2,5
1012	132.401,67	94,420	94,450	94,550	94,450	11,6	13,0	12,5	400	400	2,15	2,40	2,5	2,5
	132.406,66		94,441	94,541	94,441								2,5	2,5
1013	132.411,62	94,388	94,433	94,533	94,433	12,9	14,5	15,5	400	400	2,10	2,75	2,5	2,5
	132.416,61		94,425	94,525	94,425								2,5	2,5
1014	132.421,59	94,362	94,418	94,518	94,418	13,7	15,6	20,3	400	400	2,02	3,67	2,5	2,5
	132.426,59		94,411	94,511	94,411								2,5	2,5
1015	132.431,59	94,339	94,405	94,505	94,405	12,4	16,6	18,2	400	400	1,47	2,92	2,5	2,5
	132.436,59		94,399	94,499	94,399								2,5	2,5
1016	132.441,61	94,332	94,394	94,494	94,394	13,0	16,2	14,8	400	400	1,70	2,15	2,5	2,5
	132.446,61		94,389	94,489	94,389								2,5	2,5
1017	132.451,61	94,341	94,384	94,484	94,384	11,3	14,3	15,2	400	400	1,75	2,72	2,5	2,5
	132.456,62		94,380	94,480	94,380								2,5	2,5
1018	132.461,64	94,339	94,376	94,476	94,376	10,8	13,7	13,2	400	400	1,78	2,38	2,5	2,5
	132.466,61		94,373	94,473	94,373								2,5	2,5
1019	132.471,58	94,331	94,370	94,470	94,370	11,5	13,9	12,8	400	400	1,90	2,23	2,5	2,5
	132.476,59		94,367	94,467	94,367								2,5	2,5
1020	132.481,61	94,319	94,366	94,466	94,366	12,0	14,7	13,6	400	400	1,85	2,22	2,5	2,5
	132.486,62		94,364	94,464	94,364								2,5	2,5
1021	132.491,62	94,284	94,363	94,463	94,363	12,5	17,9	14,0	400	400	1,15	1,53	2,5	2,5
	132.496,59		94,363v	94,463	94,363v								2,5	2,5
1022	132.501,56	94,284	94,363	94,463	94,363	13,1	17,9	16,8	400	400	1,30	2,23	2,5	2,5
	132.506,56		94,364	94,464	94,364								2,5	2,5
1023	132.511,58	94,288	94,366	94,466	94,366	13,0	17,8	17,3	400	400	1,30	2,38	2,5	2,5
	132.516,59		94,368	94,468	94,368								2,5	2,5
1024	132.521,61	94,290	94,371	94,471	94,371	12,8	18,1	16,3	400	400	1,18	2,05	2,5	2,5
	132.526,59		94,375	94,475	94,375								2,5	2,5
1025	132.531,58	94,316	94,379	94,479	94,379	13,4	16,3	13,4	400	400	1,77	1,77	2,5	2,5
	132.536,56		94,385	94,485	94,385								2,5	2,5

1026	132.541,53	94,323	94,391	94,491	94,391	13,6	16,8	13,0	400	400	1,70	1,55	2,5	2,5
	132.546,53		94,399	94,499	94,399								2,5	2,5
1027	132.551,52	94,356	94,407	94,507	94,407	11,6	15,1	11,7	400	400	1,65	1,65	2,5	2,5
	132.556,50		94,416	94,516	94,416								2,5	2,5
1028	132.561,50	94,363	94,426	94,526	94,426	11,1	16,3	13,2	400	400	1,20	1,72	2,5	2,5
	132.566,50		94,437	94,537	94,437								2,5	2,5
1029	132.571,52	94,385	94,448	94,548	94,448	12,3	16,3	12,4	400	400	1,50	1,53	2,5	2,5
	132.576,47		94,460	94,560	94,460								2,5	2,5
1030	132.581,44	94,412	94,473	94,573	94,473	12,1	16,1	13,2	400	400	1,53	1,80	2,5	2,5
	132.586,44		94,486	94,586	94,486								2,5	2,5
1031	132.591,45	94,444	94,500	94,600	94,500	13,1	15,6	13,0	400	400	1,88	1,85	2,5	2,5
	132.596,44		94,514	94,614	94,514								2,5	2,5
1032	132.601,41	94,450	94,529	94,629	94,529	13,8	17,9	14,2	400	400	1,50	1,58	2,5	2,5
	132.606,44		94,544	94,644	94,544								2,5	2,5
1033	132.611,45	94,491	94,559	94,659	94,559	13,1	16,8	14,3	400	400	1,57	1,87	2,5	2,5
	132.616,44		94,574	94,674	94,574								2,5	2,5
1034	132.621,44	94,513	94,590	94,690	94,590	14,3	17,7	14,4	400	400	1,65	1,67	2,5	2,5
	132.626,42		94,605	94,705	94,605								2,5	2,5
1035	132.631,41	94,552	94,619	94,719	94,619	12,5	16,7	12,2	400	400	1,43	1,35	2,5	2,5
	132.636,41		94,634	94,734	94,634								2,5	2,5
1036	132.641,42	94,582	94,648	94,748	94,648	13,7	16,6	12,9	400	400	1,77	1,57	2,5	2,5
	132.646,42		94,662	94,762	94,662								2,5	2,5
1037	132.651,42	94,619	94,676	94,776	94,676	13,9	15,7	12,4	400	400	2,08	1,70	2,5	2,5
	132.656,47		94,689	94,789	94,689								2,5	2,5
1038	132.661,50	94,632	94,702	94,802	94,702	14,1	17,0	13,5	400	400	1,77	1,62	2,5	2,5
	132.666,47		94,715	94,815	94,715								2,5	2,5
1039	132.671,44	94,664	94,727	94,827	94,727	12,8	16,3	10,7	400	400	1,62	1,10	2,5	2,5
	132.676,44		94,739	94,839	94,739								2,5	2,5
1040	132.681,45	94,686	94,751	94,851	94,751	13,2	16,5	11,7	400	400	1,65	1,30	2,5	2,5
	132.686,44		94,763	94,863	94,763								2,5	2,5
1041	132.691,41	94,692	94,775	94,875	94,775	13,0	18,3	12,7	400	400	1,20	1,10	2,5	2,5
	132.696,44		94,787	94,887	94,787								2,5	2,5
1042	132.701,45	94,709	94,799	94,899	94,799	14,3	19,0	13,1	400	400	1,33	1,03	2,5	2,5

Tabelle 27: Bezugsliniehöhe und Höhenunterschiede

BERECHNUNG DER ASPHALTMISCHGUTMENGEN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Kaltrecycling

Tabelle 6

Punkt- nummer	Kilometer	Binder- schicht mit variabler Dicke	Binder- schicht mit konstante r Dicke	Deck- schicht	Deck- schicht- fläche	Volumen	H экв.
	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[cm]
942	131.702,06	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00
943	131.712,06	4,67	4,88	3,22	80,0	12,77	15,97
944	131.722,12	9,90	9,80	6,45	160,5	26,15	16,29
945	131.732,14	14,95	14,69	9,67	240,6	39,31	16,34
946	131.742,06	19,62	19,54	12,86	320,0	52,02	16,26
947	131.752,16	24,48	24,47	16,11	400,8	65,06	16,23
948	131.762,16	28,95	29,35	19,33	480,8	77,62	16,15
949	131.772,12	33,15	34,22	22,53	560,5	89,90	16,04
950	131.782,09	37,83	39,09	25,74	640,2	102,66	16,03
951	131.792,12	42,72	43,99	28,96	720,5	115,67	16,05
952	131.802,06	46,95	48,84	32,16	800,0	127,95	15,99
953	131.812,05	50,30	53,72	35,37	879,9	139,39	15,84
954	131.822,06	52,89	58,61	38,59	960,0	150,09	15,63
955	131.832,02	55,49	63,47	41,79	1.039,6	160,75	15,46
956	131.842,05	58,77	68,37	45,02	1.119,9	172,15	15,37
957	131.852,00	62,15	73,23	48,22	1.199,5	183,60	15,31
958	131.862,05	65,81	78,14	51,45	1.279,9	195,39	15,27
959	131.872,06	69,78	83,03	54,67	1.360,0	207,48	15,26
960	131.882,08	74,04	87,92	57,89	1.440,1	219,86	15,27
961	131.891,98	79,23	92,76	61,08	1.519,4	233,07	15,34
962	131.902,02	85,59	97,66	64,30	1.599,6	247,55	15,48
963	131.912,00	92,10	102,53	67,52	1.679,5	262,15	15,61
964	131.922,02	98,06	107,43	70,74	1.759,6	276,22	15,70
965	131.931,97	104,05	112,29	73,94	1.839,2	290,27	15,78
966	131.941,98	110,26	117,18	77,16	1.919,4	304,59	15,87
967	131.952,02	115,51	122,08	80,38	1.999,6	317,98	15,90
968	131.961,97	119,84	126,94	83,59	2.079,2	330,36	15,89
969	131.971,98	124,43	131,83	86,81	2.159,4	343,06	15,89
970	131.981,98	129,30	136,71	90,02	2.239,4	356,04	15,90
971	131.991,95	133,93	141,58	93,23	2.319,1	368,74	15,90
972	132.001,97	138,74	146,47	96,45	2.399,2	381,66	15,91
973	132.011,95	144,00	151,35	99,66	2.479,1	395,01	15,93
974	132.021,95	148,67	156,23	102,88	2.559,1	407,78	15,93
975	132.031,95	153,06	161,12	106,09	2.639,1	420,27	15,92
976	132.041,98	157,76	166,02	109,32	2.719,4	433,10	15,93
977	132.051,97	162,04	170,89	112,53	2.799,2	445,46	15,91

978	132.066,42	167,52	177,95	117,18	2.914,9	462,65	15,87
979	132.071,91	169,64	180,63	118,94	2.958,8	469,21	15,86
980	132.081,89	173,61	185,51	122,15	3.038,6	481,27	15,84
981	132.091,88	178,81	190,38	125,36	3.118,5	494,56	15,86
982	132.101,91	185,09	195,28	128,59	3.198,8	508,96	15,91
983	132.111,91	191,09	200,17	131,81	3.278,8	523,07	15,95
984	132.121,84	197,80	205,02	135,00	3.358,2	537,82	16,01
985	132.131,88	205,98	209,92	138,23	3.438,5	554,13	16,12
986	132.141,84	215,76	214,79	141,43	3.518,2	571,98	16,26
987	132.151,83	226,19	219,67	144,64	3.598,1	590,50	16,41
988	132.161,81	236,12	224,54	147,86	3.678,0	608,52	16,54
989	132.171,80	245,84	229,42	151,07	3.757,9	626,32	16,67
990	132.181,81	255,84	234,31	154,29	3.838,0	644,43	16,79
991	132.191,81	265,09	239,19	157,50	3.918,0	661,79	16,89
992	132.201,77	272,70	244,05	160,70	3.997,6	677,46	16,95
993	132.211,75	278,28	248,93	163,92	4.077,5	691,13	16,95
994	132.221,80	282,71	253,84	167,15	4.157,9	703,70	16,92
995	132.231,70	286,71	258,68	170,33	4.237,1	715,71	16,89
996	132.241,77	289,91	263,59	173,57	4.317,6	727,07	16,84
997	132.251,70	293,95	268,44	176,76	4.397,1	739,16	16,81
998	132.261,77	298,95	273,36	180,00	4.477,6	752,31	16,80
999	132.271,77	303,65	278,24	183,22	4.557,6	765,11	16,79
1000	132.281,78	308,44	283,13	186,44	4.637,8	778,02	16,78
B23	132.281,80	308,45	283,14	186,44	4.637,9	778,04	16,78
1001	132.291,72	313,70	287,99	189,63	4.717,2	791,33	16,78
1002	132.301,70	318,50	292,86	192,84	4.797,1	804,21	16,76
1003	132.311,73	322,85	297,76	196,07	4.877,4	816,69	16,74
1004	132.321,77	327,29	302,66	199,30	4.957,6	829,25	16,73
1005	132.331,73	330,86	307,53	202,50	5.037,4	840,89	16,69
1006	132.341,69	334,48	312,39	205,70	5.117,0	852,58	16,66
1007	132.351,73	338,43	317,30	208,93	5.197,4	864,66	16,64
1008	132.361,66	341,53	322,15	212,13	5.276,8	875,80	16,60
1009	132.371,66	344,44	327,04	215,34	5.356,8	886,83	16,56
1010	132.381,66	347,58	331,93	218,56	5.436,8	898,06	16,52
1011	132.391,69	350,63	336,83	221,78	5.517,0	909,24	16,48
1012	132.401,67	353,19	341,70	224,99	5.596,9	919,89	16,44
1013	132.411,62	355,99	346,56	228,20	5.676,5	930,75	16,40
1014	132.421,59	360,37	351,43	231,40	5.756,2	943,21	16,39
1015	132.431,59	365,44	356,32	234,62	5.836,2	956,37	16,39
1016	132.441,61	369,96	361,21	237,84	5.916,4	969,00	16,38
1017	132.451,61	373,57	366,09	241,05	5.996,4	980,72	16,36
1018	132.461,64	376,29	370,99	244,28	6.076,6	991,56	16,32
1019	132.471,58	378,66	375,85	247,48	6.156,1	1.001,98	16,28
1020	132.481,61	381,41	380,75	250,70	6.236,4	1.012,86	16,24
1021	132.491,62	385,20	385,64	253,92	6.316,5	1.024,76	16,22
1022	132.501,56	390,08	390,49	257,12	6.396,0	1.037,69	16,22
1023	132.511,58	395,38	395,38	260,34	6.476,1	1.051,10	16,23
1024	132.521,61	400,63	400,28	263,57	6.556,4	1.064,48	16,24
1025	132.531,58	405,19	405,15	266,77	6.636,1	1.077,11	16,23

1026	132.541,53	409,22	410,01	269,97	6.715,8	1.089,20	16,22
1027	132.551,52	412,65	414,89	273,18	6.795,6	1.100,72	16,20
1028	132.561,50	415,72	419,76	276,40	6.875,5	1.111,88	16,17
1029	132.571,52	419,19	424,66	279,62	6.955,6	1.123,46	16,15
1030	132.581,44	422,70	429,50	282,81	7.035,0	1.135,01	16,13
1031	132.591,45	426,23	434,39	286,03	7.115,1	1.146,65	16,12
1032	132.601,41	430,39	439,25	289,23	7.194,8	1.158,87	16,11
1033	132.611,45	434,97	444,16	292,46	7.275,1	1.171,59	16,10
1034	132.621,44	439,55	449,04	295,67	7.355,0	1.184,25	16,10
1035	132.631,41	443,82	453,91	298,88	7.434,8	1.196,60	16,09
1036	132.641,42	447,68	458,80	302,10	7.514,9	1.208,58	16,08
1037	132.651,42	451,50	463,68	305,31	7.594,9	1.220,50	16,07
1038	132.661,50	455,54	468,60	308,56	7.675,5	1.232,70	16,06
1039	132.671,44	459,34	473,46	311,75	7.755,0	1.244,55	16,05
1040	132.681,45	462,80	478,35	314,97	7.835,1	1.256,12	16,03
1041	132.691,41	466,87	483,21	318,17	7.914,8	1.268,25	16,02
1042	132.701,45	471,74	488,12	321,40	7.995,1	1.281,26	16,03

Tabelle 28: Berechnung der Asphaltmischgutmengen

ASPHALTARBEITEN

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Kaltrecycling

Detaillierte Mengenrechnung №1

1. Gesamtasphaltnischgut für Deckschicht ohne Erholungsplatz (Tab. 6):

8.000 m ²	Pos.1213
$320 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ t/m}^3 = 768 \text{ t}$	Pos.1213

2. Gesamtasphaltnischgut für Binderschicht mit 6 cm Dicke ohne Erholungsplatz:

$480 \text{ m}^2 \times 2,4 \text{ t/m}^3 = 1152 \text{ t}$	Pos. 1203
---	-----------

3. Zweiter Bitumenverguss

- auf Asphalttschicht:	8.000 m ²	Pos.1220
------------------------	----------------------	----------

4. Erster Bitumenverguss

- auf KRC-Schicht:	8.000 m ²	Pos.1219
--------------------	----------------------	----------

5. KRC-Schicht:

8.000 m ²	Pos. 1300
$8.000 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m} = 2.400 \text{ m}^3$	Pos. 1300

Tabelle 29: Mengenrechnung - Asphaltarbeiten

BRECHSTEIN FÜR BANKETT

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Kaltrecycling

Detaillierte Mengenrechnung №3

Linker Fahrstreifen

von Kilometer [m]	bis zum Kilometer [m]	Bankettbreite [m]	Mittelwert des Unterschiedes zwischen Bezugslinie und Gelände [cm]	durchschn. Aushubtiefe [cm]	Abschnittlänge [m]	Aushub ungeeignetes Material [m ³]	Brechstein für Bankett [m ³]	Bemerkung (Bankett, Gehsteig)
131.700,00	132.700,00	1,5	16,58	15	1.000	225	473,7	Bankett

Rechter Fahrstreifen

von Kilometer [m]	bis zum Kilometer [m]	Bankettbreite [m]	Mittelwert des Unterschiedes zwischen Bezugslinie und Gelände [cm]	durchschn. Aushubtiefe [cm]	Abschnittlänge [m]	Aushub ungeeignetes Material [m ³]	Brechstein für Bankett [m ³]	Bemerkung (Bankett, Gehsteig)
131.700,00	132.700,00	1,5	13,46	15	1.000	225	426,9	Bankett

Gesamtaushubmenge von ungeeignetem Material:

450 m³

Pos.1102

Gesamtmenge von Brechstein für Bankett:**944 m³****Pos.1304****Tabelle 30: Mengenrechnung - Brechstein für Bankett**

BEFESTIGUNG VON ERHOLUNGSPLÄTZEN UND VERBREITERUNGEN AUS ASPHALT

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Kaltrecycling

Mengenrechnung №14

Punkt- nummer	Kilometer [m]	Unterschiede zwischen Bezugslinie und Gelände [cm]		Breiten [cm]		Länge [m]	Binder- schicht- fläche [m ²]		Fräsen mit variabler Dicke		4 cm Binder- schicht [m ³]		Binder- schicht mit variabler Dicke [m ³]		Volumen [m ³]	zweiter Bitumen- verguss [m ²]
		links	rechts	linke Verbr.	rechte Verbr.		links	rechts	[m ²] [m ³]		links	rechts	links	rechts		
1009	132.371,65		12,8		1,32	0		6,61	0			0,40		0	0,40	6,61
1010	132.381,66		11,2		2,81	10,01		28,16	0			1,69		0	1,69	28,16
1011	132.391,69		12,0		3,06	10,03		30,62	0			1,84		0	1,84	30,62
1012	132.401,67		12,5		3,18	9,98		31,70	0			1,90		0	1,90	31,70
1013	132.411,63		15,5		1,91	9,96		19,03	0			1,14		0	1,14	19,03
1014	132.421,60		20,3		0,44	9,97		2,19	0			0,13		0	0,13	2,19
Summe:							0	118	0	0	0	7	0	0	7	118

Gesamtmenge von Asphaltmischgut für Deckschicht: 118 m² Pos.12165 m³ x 2,4 t/m³ = 11 t Pos.12166 cm Binderschicht: 7 m³ x 2,4 t/m³ = 17 t Pos.1203zweiter Bitumenverguss: 118 m² Pos.1220erster Bitumenverguss: 130 m² Pos.1219KRC-Schicht: 118 m² Pos.1300118 m² x 0,3 m = 35 m³ Pos.1300

Tabelle 31: Mengenrechnung - Befestigung von Erholungsplätzen und Verbreiterungen aus Asphalt

GESAMTMENGENRECHNUNG

Objekt: Straße I-7 "Shumen - Veliki Preslav"

Abschnitt: km 131+700 - km 132+700

Kaltrecycling

Buch: Nachschlagwerk für die Preise im Bauwesen, April 2013

Position	Code	Beschreibung	Dimension	Mengen	Einzel- preis	Summe [lv.]
2.1 Boden						
1102	01.003-1	Aushub ungeeigneter Oberschicht.	m ³	450	4,78	2.151
1102	Fach- gespräch	Transport auf 10 km bei 0,18 lv./tkm: 10 km x 0,18 lv./tkm x 1,5 t/m ³ = 2,7 lv./m ³	m ³	450	2,70	1.215
1102	Fach- gespräch	Deponiegebühr: 2,40 lv./m ³	m ³	450	2,40	1.080
Zwischensumme 2.1						4.446
2.2 Asphalt						
1203	26.091	Lieferung und Einbau von Asphaltmischgut für Binderschicht Typ 0/16 für Profilieren und Ausgleichen von Schichten mit unterschiedlicher Dicke und Breite gemäß TS.	t	1.169	148,47	173.561
1213	26.096	Lieferung und Einbau von Asphaltmischgut für Deckschicht Typ A mit 4 cm Dicke im verdichteten Zustand.	t	768	160,04	122.911
1216	26.096	Lieferung und Einbau von Asphaltmischgut für Deckschicht Typ A (für Erholungsplatz) mit 4 cm Dicke im verdichteten Zustand.	t	11	160,04	1.760
1219	Fach- gespräch	Ausführung vom ersten Bitumenverguss für Verbindungen mit unterschiedlicher Breite gemäß TS.	m ²	8.930	2,20	19.646
1220	Fach- gespräch	Ausführung vom zweiten Bitumenverguss für Verbindungen mit unterschiedlicher Breite gemäß TS.	m ²	8.118	0,50	4.059
Zwischensumme 2.2						321.938
2.3 Straßenbefestigung						
1300	Fach- gespräch	Ausführung von 30 cm KRC-Schicht in situ mit hydraulischen Bindemitteln gemäß TS.	m ³	2.435	44,00	107.140
1304	26.041	Lieferung und Einbau von Material für Bankett mit Qualität für Unterschicht gemäß TS.	m ³	901	23,56	21.228
Zwischensumme 2.3						128.368
Gesamtsumme						454.751

Tabelle 32: Gesamt mengen

8.3 Anhang 3: Kaltrecycling mit Projekt nach dem konventionellen verfahren

8.3.1 Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der KRC-Baumaßnahme mit Projekt nach dem konventionellen Verfahren

In Bulgarien sind Beispiele bekannt, wenn Bauunternehmen KRC-Baumaßnahmen mit Projekten nach dem konventionellen Verfahren ausführen. Das ist erlaubt, wenn die Bezugslinie nicht geändert wird. Je nach dem Fall ist Fräsen/Abbruch der Befestigung oder Aufschütten von Gesteinskörnungen notwendig.

Erster Fall: Fräsen/Abbruch der Befestigung.

Es wird berechnet bis zu welcher Tiefe die Straßenkonstruktion mit dem Kostenunterschied zwischen den beiden Verfahren abgerochen werden kann.

Für die Berechnungen werden die folgenden Preise für Bauarbeiten von *Nachschlagwerk für die Preise im Bauwesen, April 2013* benutzt:

- Lieferung und Einbau von Brechsteinschicht: Code: 26.041, Preis: 23,56 lv./m³;
- Mechanisierter Abbruch von ungebundenen Schicht aus Brechstein oder Pflaster 20 cm, Code: 26.211, Preis: 2,25 lv./m³;
- Mechanisierter Abbruch von Asphalttschicht bis zu 10 cm, Code: 26.214, Preis: 3,77 lv./m³.

$$\begin{aligned}
 & \frac{8 \text{ m} \times 8,16 \text{ m}}{2} \times 0,08 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times 3,77 \text{ lv./m}^3 \text{-verd.} + \\
 & + \frac{8 \text{ m} \times 8,16 \text{ m}}{2} \times 0,08 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times 4,32 \text{ lv./m}^3 \text{-verd.} + \\
 & + \frac{8 \text{ m} \times 8,16 \text{ m}}{2} \times 0,08 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times \frac{2,40 \text{ t/m}^3 \text{-verd.}}{2,20 \text{ t/m}^3 \text{-abg.}} \times 4,70 \text{ lv./m}^3 \text{-abg.} + \\
 & + \left(\frac{0,08^2 \text{ m}^2}{2} + 1,42 \text{ m} \times 0,08 \text{ m} + \frac{0,08 \text{ m} \times 0,14 \text{ m}}{2} \right) \times 1.000 \text{ m} \times 2 \times 2,25 \text{ lv./m}^3 + \\
 & + \left(\frac{0,08^2 \text{ m}^2}{2} + 1,42 \text{ m} \times 0,08 \text{ m} + \frac{0,08 \text{ m} \times 0,14 \text{ m}}{2} \right) \times 1.000 \text{ m} \times 2 \times 2,70 \text{ lv./m}^3 +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left(\frac{0,08^2 \text{ m}^2}{2} + 1,42 \text{ m} \times 0,08 \text{ m} + \frac{0,08 \text{ m} \times 0,14 \text{ m}}{2} \right) \times 1.000 \text{ m} \times 2 \times 2,40 \text{ lv./m}^3 + \\
 & + \frac{8,36 \text{ m} + 8,60 \text{ m}}{2} \times 0,12 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times 3,77 \text{ lv./m}^3 \text{-verd.} + \\
 & + \frac{8,36 \text{ m} + 8,60 \text{ m}}{2} \times 0,12 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times 4,32 \text{ lv./m}^3 \text{-verd.} + \\
 & + \frac{8,36 \text{ m} + 8,60 \text{ m}}{2} \times 0,12 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times \frac{2,40 \text{ t/m}^3 \text{-verd.}}{2,20 \text{ t/m}^3 \text{-abg.}} \times 4,70 \text{ lv./m}^3 \text{-abg.} + \\
 & + \left(\frac{0,12^2 \text{ m}^2}{2} + 1,34 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} + \frac{0,12 \text{ m} \times 0,21 \text{ m}}{2} \right) \times 1.000 \text{ m} \times 2 \times 2,25 \text{ lv./m}^3 + \\
 & + \left(\frac{0,12 \text{ m}^2}{2} + 1,34 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} + \frac{0,12 \text{ m} \times 0,21 \text{ m}}{2} \right) \times 1.000 \text{ m} \times 2 \times 2,70 \text{ lv./m}^3 + \\
 & + \left(\frac{0,12^2 \text{ m}^2}{2} + 1,34 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} + \frac{0,12 \text{ m} \times 0,21 \text{ m}}{2} \right) \times 1.000 \text{ m} \times 2 \times 2,40 \text{ lv./m}^3 + \\
 & + \frac{11,7 \text{ m} + 11,7 \text{ m} + 3,5x \text{ m}}{2} \times x \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times 2,25 \text{ lv./m}^3 + \\
 & + \frac{11,7 \text{ m} + 11,7 \text{ m} + 3,5x \text{ m}}{2} \times x \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times 2,70 \text{ lv./m}^3 + \\
 & + \frac{11,7 \text{ m} + 11,7 \text{ m} + 3,5x \text{ m}}{2} \times x \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times 2,40 \text{ lv./m}^3 = 659.411 \text{ lv.} - 454.751 \text{ lv.};
 \end{aligned}$$

$$8.549,79 \text{ lv.} + 1.800,19 \text{ lv.} + 13.459,56 \text{ lv.} + 2.656,16 \text{ lv.} +$$

$$+ (11,7 \text{ m} + 1,75x \text{ m}) \times 1.000 \text{ m} \times x \text{ m} \times 7,3537 \text{ lv./m}^3 = 204.660 \text{ lv.};$$

$$11,7 \text{ m} \times x \text{ m} + 1,75x^2 \text{ m}^2 = 24,232 \text{ m}^2;$$

$$x = 1,80 \text{ m.}$$

Die Wirtschaftlichkeit der KRC-Baumaßnahme wird beim Abbruch der Straßenkonstruktion bis zu 1,80 m erhalten.

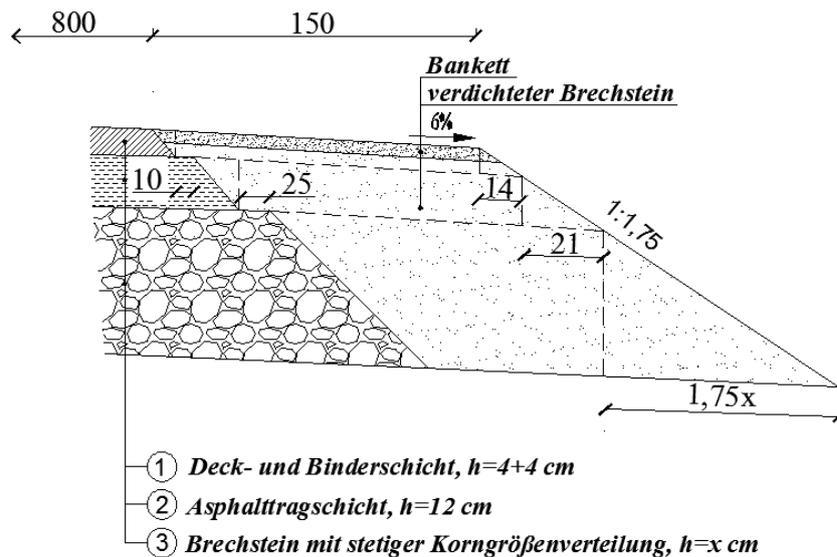


Abbildung 30: Veranschaulichung der Berechnungen

Zweiter Fall: Aufschütten von Gesteinskörnungen.

$$8 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times x \text{ m} \times 23,56 \text{ lv./m}^3 = 204.660 \text{ lv.};$$

$$x = 1,08 \text{ m.}$$

Die Wirtschaftlichkeit der KRC-Baumaßnahme wird beim Aufschütten von Gesteinskörnungen auf der Straßenoberfläche bis zu 1,08 m erhalten.

Von den durchgeführten Berechnungen wird klar, dass die Begrenzungen für den Ersatz der konventionellen mit den KRC-Baumaßnahmen ohne Änderung der Bezugslinie nur technologisch sind.

9 Verzeichnisse

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reaktion einer Straßenbefestigung infolge einer aufgetragenen Kraft	18
Abbildung 2: Ablaufschema zur rechnerischen Dimensionierung von Asphaltbefestigungen	21
Abbildung 3: Straßenfräse	23
Abbildung 4: Einbau von Asphalt	23
Abbildung 5: Das Recyclingverfahren	27
Abbildung 6: Typischer Recyclingzug beim Kaltrecycling unter Zugabe einer Zementsuspension	27
Abbildung 7: Typischer Recyclingzug beim Kaltrecycling unter Zugabe einer Zementsuspension und eines bitumenhaltigen Bindemittels	28
Abbildung 8: Richtige Granulierungstiefe	36
Abbildung 9: Falsche Granulierungstiefe	36
Abbildung 10: Recycling mit zwei hintereinander fahrenden Zügen	38
Abbildung 11: Vorverdichtung des Materials hinter dem radgeführten Recycler	40
Abbildung 12: Schaumbitumenherstellung in einer Expansionskammer	43
Abbildung 13: Schematische Veranschaulichung von Expansion und Halbwertszeit	43
Abbildung 14: Messmethodik für Benkelman-Balken (Prinzipskizze)	57
Abbildung 15: Bestimmung der Einflusslinie der Einsenkung beim Benkelman-Balken	58
Abbildung 16: Messmethodik für FWD	58
Abbildung 17: Lacroix Deflektograph	59
Abbildung 18: APL 25, Messprinzip	59
Abbildung 19: Musterformblatt A – Optimierung der Schaumeigenschaften (Ausführungsbeispiel)	66
Abbildung 20: Verdichtungsform Ø 150 mm sowie Stempelplatten Ø 149,6 mm mit vier seitlichen Nuten zur Wasserabführung	69
Abbildung 21: Belastungs-Zeit-Kurve bei statischer Verdichtung	70
Abbildung 22: Spaltzugfestigkeitsprüfung an Zylindern	70
Abbildung 23: Erneuerung im Bereich der Fahrbahndecke	75
Abbildung 24: Erneuerung im Bereich des gebundenen Oberbaus	75
Abbildung 25: Erneuerung des kompletten Oberbaus	75
Abbildung 26: Standort der Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“ in Bulgarien	77
Abbildung 27: Lageplan der Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“	78
Abbildung 28: Die Straße I-7 „Shumen – Veliki Preslav“, aktueller Zustand	78
Abbildung 29: Oberbauvergleich	80
Abbildung 30: Veranschaulichung der Berechnungen	141

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erneuerung in Asphaltbauweise im Hocheinbau, vorhandene Befestigung: Bauweise mit Asphalt- oder Betondecke (entspannt ¹²⁾), (Dickenangaben in cm)	19
Tabelle 2: Erneuerungsklassen	20
Tabelle 3: Steuerung der Schaumbitumeneigenschaften	43
Tabelle 4: Anwendungsbeispiele	46
Tabelle 5: Geräteübersicht, Stand 2005	49
Tabelle 6: Anforderungen an Probekörper aus KRC-Gemisch	50
Tabelle 7: Anforderungen an die Kaltrecycling-Schicht	51
Tabelle 8: Musterformblatt – „Eignungsprüfung Kaltrecycling-Gemische“ für Probekörperherstellung	68
Tabelle 9: Kostenvergleich	80
Tabelle 10: Bemessung der Verstärkung	84
Tabelle 11: Bemessung der lokalen Reparatur	92
Tabelle 12: Geländedaten	98
Tabelle 13: Verstärkung	99
Tabelle 14: Elemente der vertikalen Kurven	100
Tabelle 15: Bezugsliniehöhe und Höhenunterschiede	104
Tabelle 16: Berechnung der Asphaltmischgutmengen	107
Tabelle 17: Technologisches Fräsen der Befestigung	109
Tabelle 18: Mengenrechnung - Asphaltarbeiten	110
Tabelle 19: Mengenrechnung - Brechstein für Bankett	111
Tabelle 20: Mengenrechnung - Befestigung von Erholungsplätzen und Verbreiterungen aus Asphalt	112
Tabelle 21: Mengenrechnung - Beseitigung von Schäden	113
Tabelle 22: Mengenrechnung - Ausführung von lokalen Reparaturen	114
Tabelle 23: Gesamtmengen	116
Tabelle 24: Bemessung KRC-Schicht 30 cm	117
Tabelle 25: Bemessung KRC-Schicht 25 cm	122
Tabelle 26: Elemente der vertikalen Kurven	127
Tabelle 27: Bezugsliniehöhe und Höhenunterschiede	131
Tabelle 28: Berechnung der Asphaltmischgutmengen	134
Tabelle 29: Mengenrechnung - Asphaltarbeiten	135
Tabelle 30: Mengenrechnung - Brechstein für Bankett	136
Tabelle 31: Mengenrechnung - Befestigung von Erholungsplätzen und Verbreiterungen aus Asphalt	137
Tabelle 32: Gesamtmengen	138

9.3 Quellenverzeichnis

- [1] *DIN 1048-5: Prüfverfahren für Beton; Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper*, Berlin: Beuth, 1991
- [2] *DIN 1996-7: Prüfung von Asphalt; Bestimmung von Rohdichte, Raumdichte, Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad*, Berlin: Beuth, 1992
- [3] *DIN 1996-14: Prüfung von Asphalt; Bestimmung der Korngrößenverteilung von aus Asphalt extrahierten Mineralstoffen*, Berlin: Beuth, 1990
- [4] *DIN 18121-2: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt – Teil 2: Bestimmung durch Schnellverfahren*, Berlin: Beuth, 2012
- [5] *DIN 18125-2: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens – Teil 2: Feldversuche*, Berlin: Beuth, 2011
- [6] *DIN 18134: Baugrund – Versuche und Versuchsgерäte – Plattendruckversuch*, Berlin: Beuth, 2012
- [7] *DIN 18506: Hydraulische Boden- und Tragschichtbinder: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien*, Berlin: Beuth, 2002
- [8] *DIN 52098: Prüfverfahren für Gesteinskörnungen – Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Nasssiebung*, Berlin: Beuth, 2005
- [9] *DIN 52102: Prüfverfahren für Gesteinskörnungen – Bestimmung der Trockenrohddichte mit dem Messzylinderverfahren und Berechnung des Dichtigkeitsgrades*, Berlin: Beuth, 2012
- [10] *DIN EN 197-1: Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement*, Berlin: Beuth, 2011
- [11] *DIN EN 933-1: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren*, Berlin: Beuth, 2012
- [12] *DIN EN 1097-5: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 5: Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung*, Berlin: Beuth, 2008
- [13] *DIN EN 1097-6: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme*, Berlin: Beuth, 2013
- [14] *DIN EN 12591: Bitumen und Bitumenhaltigen Bindemittel – Anforderungen an Straßenbaubitumen*, Berlin: Beuth, 2009

- [15] *DIN EN 12697-1: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 1: Löslicher Bindemittelgehalt*, Berlin: Beuth, 2012
- [16] *DIN EN 12697-2: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 2: Korngrößenverteilung*, Berlin: Beuth, 2007
- [17] *DIN EN 12697-39: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 39: Bindemittelgehalt durch Thermoanalyse*, Berlin: Beuth, 2012
- [18] *DIN EN 12846-1: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung der Ausflusszeit mittels Ausflussviskosimeter – Teil 1: Bitumenemulsionen*, Berlin: Beuth, 2011
- [19] *DIN EN 13286-2: Ungebundene und hydraulische gebundene Gemische – Teil 2: Laborprüfungen zur Bestimmung der Referenz-Trockendichte und des Wassergehaltes – Proctorversuch*, Berlin: Beuth, 2013
- [20] *DIN EN 13808: Bitumen und Bitumenhaltigen Bindemittel – Rahmenwerk für die Spezifizierung kationischer Bitumenemulsionen*, Berlin: Beuth, 2005
- [21] DONCHEV, Marin: *Präsentation zu der Übungen in „Instandhaltung und Reparatur von Straßen“*, Thema 2, 2011 (in Bulgarisch: ДОНЧЕВ, Марин: *Презентация към упражненията по „Поддържане и ремонт на пътища“*, тема 2, 2011)
- [22] DONCHEV, Marin: *Präsentation zu der Übungen in „Instandhaltung und Reparatur von Straßen“*, Thema 4, 2011 (in Bulgarisch: ДОНЧЕВ, Марин: *Презентация към упражненията по „Поддържане и ремонт на пътища“*, тема 4, 2011)
- [23] DONCHEV, Marin: *Präsentation zu der Übungen in „Straßenbau“*, Thema 1, 2012 (in Bulgarisch: ДОНЧЕВ, Марин: *Презентация към упражненията по „Строителство на пътища“*, тема 1, 2011)
- [24] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau*, FGSV 636, Köln: FGSV, 2005
- [25] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau*, FGSV 916, Köln: FGSV, 2010
- [26] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaues von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht*, FGSV 498, Köln: FGSV, 2009
- [27] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen*, FGSV 499, Köln: FGSV, 2001

- [28] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau*, FGSV 795, Köln: FGSV, 2001
- [29] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen*, FGSV 797, Köln: FGSV, 2007
- [30] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau*, FGSV 613, Köln: FGSV, 2007
- [31] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau – Teil B 8.3: Dynamischer Plattendruckversuch mit leichtem Fallgewichtsgesetz*, FGSV 591/B 8.3, Köln: FGSV, 2003
- [32] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau – Teil B 8.3: Dynamischer Plattendruckversuch mit leichtem Fallgewicht*, FGSV 591/B 8.3, Köln: FGSV, 2012
- [33] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührende Messungen*, FGSV 404/1, Köln: FGSV, 2007
- [34] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton*, FGSV 892, Köln: FGSV, 2010
- [35] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt*, FGSV 799, Köln: FGSV, 2007
- [36] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen*, FGSV 798, Köln: FGSV, 2009
- [37] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Betonbauweisen*, FGSV 898, Köln: FGSV, 2002
- [38] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau*, FGSV 999, Köln: FGSV, 2002

- [39] MIHAILOV, Nikolai: *Straßenbau*, Sofia: „Галини - Н“, 2010 (in Bulgarisch: МИХАЙЛОВ, Николай: *Строителство на автомобилни пътища*, София: „Галини - Н“, 2010)
- [40] MOSCH, Kurt: *Asphalt-Recycling für die Straßeninstandsetzung*, In: TIS, 1989
- [41] Nationale Agentur „Straßeninfrastruktur“: *Technische Spezifikation*, 2009 (in Bulgarisch: Национална агенция „Пътна инфраструктура“: *Техническа Спецификация*, 2009)
- [42] Quelle: http://de.academic.ru/pictures/dewiki/114/road_works_in_ohio.jpg
- [43] Quelle: <http://maps.google.at>
- [44] STEFANOV, Petar: *Rehabilitation von Straßen, Technologische Projekte*, 2011 (in Bulgarisch: СТЕФАНОВ, Петър: *Рехабилитация на пътища, Технологични проекти*, 2011)
- [45] STRAUBE, Edeltraud; KRASS, Klaus: *Straßenbau und Straßenerhaltung*, 9. Auflage – Berlin: Erich Schmidt, 2009
- [46] VELSKE, Siegfried: *Strassenbau, Strassenbautechnik*, 6. Auflage – Köln: Werner, 2009
- [47] VOLLPRACHT, Alf: *Fräsrecycling von Asphaltbefestigungen*, In: s+t, 1994
- [48] Wirtgen GmbH: *Die neue Generation Kaltrecycler und Bodenstabilisierer WR Baureihe*, 2013
- [49] Wirtgen GmbH: *Die Vorteile der Kaltrecycling Technologie*. <http://www.wirtgen.de/de/technologien/kaltrecycling/vorteile/>
- [50] Wirtgen GmbH: *Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch*, 2. Auflage, 2006
- [51] Zentrales Institut der Straßentechnologien: *Technische Spezifikation für Ausführung von Straßenrehabilitation nach dem Kaltrecyclingverfahren* (in Bulgarisch: Централен институт на пътните технологии: *Техническа спецификация за изпълнение на рехабилитация на пътища по метода на студено рециклиране*)
- [52] Zentrales Straßen- und Brückenlabor, Ausführende Agentur „Straßen“: *Richtlinien für Bemessung von Asphaltbefestigungen*, 2002 (in Bulgarisch: Централна лаборатория по пътища и мостове, Изпълнителна агенция „пътища“: *Ръководство за оразмеряване на асфалтови настилки*, 2002)
- [53] Zentrales Straßen- und Brückenlabor: <http://www.crbl-bg.net/ri/lac.htm> (in Bulgarisch: Централна лаборатория по пътища и мостове: <http://www.crbl-bg.net/ri/lac.htm>)
- [54] ZIRKLER, Eduard: *Asphaltrecycling – Technologie mit Zukunft*, In: *BAUSTOFF-RECYCLING UND UMWELTSCHUTZ*, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien: Hans Jentzsch, 1990

[55] Атлас Балкан: *Kaltrecycling in Bulgarien*, In: *Stroители – Zeitschrift für Infrastrukturbauwesen*, 2013, Nr. 1 (in Bulgarisch: Атлас Балкан: *Студено рециклиране в България*, в: *Строители – списание за инфраструктурно строителство*, 2013, № 1)

[56] „НЮ АЙ“ ООД: *Berechnung der Bezugslinie bei Erneuerung im Hocheinbau*, RENA 93, Sofia, 1993 (in Bulgarisch: „НЮ АЙ“ ООД: *Изчисление на нивелетата при среден ремонт на пътища*, RENA 93, София, 1993)

[57] „Стройексперт-СЕК“: *Nachschlagwerk für die Preise im Bauwesen*, Sofia: „Даниел СГ“, April 2013 (in Bulgarisch: „Стройексперт-СЕК“: *Справочник за цените в строителството*, София: „Даниел СГ“, април 2013)

[58] Трансконсулт - 22 ООД: Projekt I-7 „Shumen – Veliki Preslav“, konventionelles Verfahren