

Aufzeigen von Wissenslücken im Bereich der Sachgruppen Bituminöse Baustoffe und Belageigenschaften

**Individuation de lacunes de connaissances dans les
domaines des matériaux bitumineux et propriétés des
revêtements**

**Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement
Bundesamt für Strassenbau**

Forschungsauftrag 07/86 und 10/92

**Frutiger AG Bauunternehmung Thun
Werner Studer, dipl.Ing. ETH
VSS-Fachkommission 271**

Juli 1993

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zusammenfassung	4
Résumé	5
1. Einleitung	6
1.1 Auftrag	
1.2 Ziel des Forschungsauftrages	
1.3 Gliederung	
1.4 Bituminöse Baustoffe	
1.5 Bituminöse Beläge	
A. HEUTIGER WISSENSSTAND	
I. BITUMINÖSE BINDEMITTEL	8
1. Qualitätsvorschriften	
2. Prüfvorschriften	
II. BITUMINÖSE BELÄGE UND TRAGSCHICHTEN	11
1. Konzeption, Anforderungen, Ausführung	
2. Prüfvorschriften	
III. NICHT ZU BEARBEITENDE GEBIETE	12
B. WISSENSLÜCKEN	
I. BINDEMITTEL	13
1. Einleitung	13
2. Spezifikationen und Qualitätsanforderungen	13
2.1 Spezifikationen	
2.2 Funktionelle Eigenschaften	
2.3 Konstitutionelle Parameter	
2.4 Saure Phasen	
2.5 Bitumenanalytik, Molekularmodell (DPF)	
2.6 Zusammenfassung	
3. Probenahme	17
4. Rückgewinnung von Bindemitteln aus Belägen	18
5. Thermische Beanspruchung und Alterung	18
5.1 Verhärtung und Alterung	
5.2 Verjüngung	
6. Bestimmung der Duktilität	19
6.1 Kälte-Duktilität	19
6.2 Kraft-Duktilität	20
7. Elastische Rückstellung	20
8. Dynamische Viskosität	21
9. Verhalten bei tiefen Temperaturen	21
9.1 Einleitung	
9.2 Brechpunkt nach Fraass	

9.3	Viskoelastisches Verhalten	
9.4	Weitere Prüfverfahren	
9.5	Ausblick	
10.	Biegeschub axial	24
11.	Haftverhalten	24
12.	Heisslagerstabilität	25
13.	Neuere Untersuchungsmethoden	25
13.1	Gel-Permeations-Chromatographie	
13.2	UV-Fluoreszenz-Mikroskopie	
13.3	Infrarot-Spektrographie	
13.4	Zusammenfassung	
14.	Bitumenemulsionen	27
15.	Teere und Teer-Bitumen-Mischungen	28
15.1	Einleitung	
15.2	Erkennung von Teer	
15.3	Recycling teerhaltiger Beläge	
15.4	Oelresistente Beläge und Schlämmen	
II.	MISCHGUT UND BELÄGE	30
1.	Einleitung	30
2.	Probenahme	31
3.	Marshallversuch	32
4.	Gyrator / Herstellung von Probekörpern	33
5.	Morphologie	33
6.	Spaltzugversuch	34
7.	Statischer einaxialer Kriechversuch	35
8.	Dynamische Prüfverfahren	35
8.1	Rottweiler Hydropulsanlage	
8.2	Pulsator	
9.	Ermüdungsverhalten	37
9.1	Einleitung	
9.2	Ermüdungsversuch	
9.3	Prüfkörper Biegeschub axial an Bohrkernen	
9.4	Die 4-Punkt-Biegung	
10.	Relaxationsverhalten von Asphalt	40
11.	Kälteverhalten	41
11.1	Definition	
11.2	Stand des Wissens	
12.	Erweiterte mechanische Prüfungen zur Optimierung und Bewertung von Gussasphalt	43
12.1	Einleitung	
12.2	Alternative Prüfmethoden	
13.	Radiometrische Dichtemessung	45
13.1	Einleitung	
13.2	Ausgangslage	
13.3	Messmethode	
13.4	Die Dünnschichtsonde	
13.5	Weitere Entwicklung	
14.	Messung der Ebenheit	46
14.1	Einleitung	

- 14.2 Ebenheit in Längsrichtung
- 14.3 Ebenheit in Querrichtung

C. FORSCHUNGSKONZEPT

I.	BINDEMITTEL	50
1.	Molekularmodelle	50
2.	Alterung	50
3.	Abbindeverhalten	50
4.	Recycling	
4.1	Verjüngung	
4.2	Erkennung von Teer	
4.3	Wiederverwendung von teerhaltigem Asphalt	
4.4	Wiederverwendung von Asphalten mit PMB oder Zusatzstoffen	
5.	Rheologische Eigenschaften	51
5.1	Elastische Eigenschaften	
5.2	Viskosität	
5.3	Kälteverhalten	
6.	Verhalten gegenüber Wasser (Haftverhalten)	52
7.	Oelresistenz	52
	Tabelle 1, Bindemittel	53
II.	MISCHGUT UND BELÄGE	54
1.	Herstellung von Prüfkörpern	54
2.	Mechanische Eigenschaften in der Wärme	54
2.1	Walzasphalt	
2.2	Gussasphalt	
3.	Mechanische Eigenschaften in der Kälte	54
3.1	Bruchversuche	
3.2	Kontraktionsversuche	
4.	Optimierungen	55
5.	Einbaukontrollen	55
5.1	Mischgutkontrollen	
5.2	Verdichtungskontrollen	
6.	Oberflächeneigenschaften	56
6.1	Ebenheit in Längsrichtung	
6.2	Ebenheit in Querrichtung	

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Erfüllung des Auftrages "Aufzeigen von Wissenslücken..." musste von einer Basis ausgegangen werden - dem aktuellen Wissensstand. Gemeinsam mit dem damaligen Forschungsdelegierten wurde schon für den Forschungsauftrag Nr. 7/86 festgelegt, dass das Normenwerk der VSS als Basis betrachtet werden soll. Für den vorliegenden Forschungsauftrag Nr. 10/92 wurde die im Kapitel "A" enthaltene Liste der für bituminöse Baustoffe und Belagseigenschaften gültigen Normen auf den 30. Juni 1993 aktualisiert.

Der Forschungsauftrag 7/86, heute 10/92, erforderte das Studium fast unzähliger Aufsätze, Berichte und Dissertationen und das laufende Verfolgen neuerer Entwicklungen und Erkenntnisse, um die Aktualität zu wahren. Aus diesem Grunde enthält der Bericht kein Literaturverzeichnis; die grosse Zahl von weit über hundert Quellen würde viele Seiten in Anspruch nehmen. Der weitgespannte Auftragsumfang machte es auch unmöglich, Literaturangaben des DIRR zu verwenden.

Im Herbst 1991 hat die Forschungsdelegation der VSS die Fachkommission 271 "Baustofftechnologie" als Begleitung des Forschungsauftrages eingesetzt. Im Januar 1992 wurde der FK 271 ein interner Zwischenbericht mit dem damaligen Bearbeitungsstand abgeliefert. Es fehlte noch ein Teil der geplanten Themen im Kapitel "Wissenslücken", sowie das Forschungskonzept. Mit diesem Zwischenbericht fand der durch Herbert Grünbaum und Werner Studer bearbeitete Forschungsauftrag 7/86 einen provisorischen Abschluss. Auf Antrag der FK 271 hat das Bundesamt für Strassenbau Werner Studer beauftragt, die Arbeit fortzusetzen und mit dem Forschungskonzept abzuschliessen. Diese Fortsetzung wurde als Forschungsauftrag Nr. 10/92; 3126.2 aufgenommen.

Im Kapitel "B", aufgeteilt in Teil I "Bindemittel" und Teil II "Mischgut und Beläge" ist eine recht grosse Zahl von Wissenslücken im Detail beschrieben. Es handelt sich zum Teil nicht um absolut neue Gebiete. Es geht auch um die Aktualisierung früherer Forschungsaufträge, die keine Aufnahme ins Normenwerk gefunden haben, um Ergebnisse ausländischer Forschungsarbeiten ohne entsprechende Schweizerische Erfahrungswerte, sowie um laufende internationale Forschungsarbeiten im Rahmen von CEN, SHRP und RILEM.

Das Kapitel "C" Forschungskonzept wurde auf Vorschlag der Fachkommission 271 zusammen mit Herrn Dr. Christian Angst verfasst, weil die Auswahl der Forschungsthemen für einen einzigen Bearbeiter schwierig ist. Aufgrund des Kapitels "B" ist eine ganze Reihe von Forschungsthemen oder Forschungsrichtungen aufgestellt worden. Die Verfasser haben aber darauf verzichtet, ein Konzept für die nächsten 5 bis 10 Jahre vorzuschlagen. Bei der zur Zeit sehr schnellen Entwicklung der Technik auf dem Gebiet der bituminösen Baustoffe und Beläge wäre ein solches Konzept schon nach kurzer Zeit überholt. Es wird Aufgabe der VSS-Fachkommissionen sein, das Konzept der laufenden Entwicklung anzupassen und im Rahmen der vorhandenen Kredite Prioritäten zu setzen.

RESUME

Pour la réalisation du mandat "individuation de lacunes dans les connaissances" il fallait partir d'une base - le niveau d'information actuel. En collaboration avec le délégué à la recherche de l'époque, il avait déjà été décidé, que les normes VSS servent de base pour le contrat de recherche no 7/86. En ce qui concerne le mandat de recherche no 10/92 annexé, nous avons actualisé au chapitre "A" la liste des normes valables pour les matériaux bitumineux et la qualité des revêtements, au 30 juin 1993.

En vue de rester d'actualité, le mandat de recherche 7/86, à présent 10/92, exigeait l'étude d'innombrables articles, rapports de dissertations et l'observation continue du développement et des découvertes nouvelles. C'est pour cette raison que le mandat ne contient pas de bibliographie; le grand nombre de sources, plus de cent, nécessiterait trop de pages. L'étendue du champ de ce mandat rendait également impossible l'utilisation de la documentation du DIRR.

En automne 1991, la délégation de recherche de la VSS mettait en oeuvre la commission technique 271 "technologie des matériaux", à titre d'accompagnement du mandat de recherche. En janvier 1992 fût remis à la commission technique 271 un rapport interne confirmant l'état d'alors des recherches. Il manquait encore une partie des thèmes prévus dans le chapitre "individuation de lacunes dans les connaissances" ainsi que le concept de recherche. Ce rapport intermédiaire était l'achèvement provisoire du mandat de recherche 7/86 mené par Herbert Grünbaum et Werner Studer. A la suite d'une demande de la commission technique 271, l'office fédéral des routes mandatait Werner Studer pour la poursuite du travail et l'achèvement du concept de recherche. Cette suite constituait donc l'emandat de recherche no 10/92; 3126.2.

Le chapitre "B", divisé en la partie I, "les liants" et la partie II, "les couches de fondation et les revêtements", décrit en détail un grand nombre d'individuation de lacunes dans les connaissances. Il ne s'agit pas en partie de nouvelles matières, mais aussi de l'actualisation d'anciens mandats de recherche, qui n'ont pas été intégrés dans les normes VSS. Il s'agit également des résultats de mandats de recherche étrangers, sans valeur d'expérience correspondante en Suisse, ainsi que de mandats de recherche internationaux en cours, dans le cadre de CEN, SHRP et RILEM.

Puisqu'il est difficile pour une seule personne de choisir entre les thèmes de recherche, nous avons donné suite à la proposition de la commission 271 de rédiger le chapitre "C" en collaboration avec M. le Dr. Christian Angst. Une série de thèmes ou de tendances de recherche est présentée à la suite du chapitre "B". Les auteurs ont cependant renoncé à proposer un concept pour les prochaines 5 à 10 années. Le développement très rapide dans le domaine de la technique des matériaux bitumineux et des revêtements rendrait un tel concept dépassé après peu de temps.

Les commissions d'experts VSS auront la tâche d'adapter le concept au développement permanent ainsi que de fixer des priorités dans le cadre des crédits à disposition.

1. EINLEITUNG

1.1 Auftrag

Aufzeigen von Wissenslücken im Bereich der Sachgruppen bituminöse Baustoffe und Belageigenschaften, speziell im Hinblick auf die Bedürfnisse der Praxis, und Erarbeiten eines Forschungskonzeptes für die nächsten 5 bis 10 Jahre.

1.2 Ziel des Forschungsauftrages

Die Bezeichnung des Forschungsauftrages beschreibt die Zielsetzung eindeutig: "Erarbeiten eines Forschungskonzeptes im Sachbereich bituminöse Baustoffe und Belageigenschaften." Die Notwendigkeit eines Forschungskonzeptes ist durch folgende Fakten gegeben:

- Es besteht zwar ein gutes und ziemlich umfangreiches schweizerisches Normenwerk über bituminöse Baustoffe und bituminöse Beläge (VSS - Normen), doch hat die technische Entwicklung des bituminösen Strassenbaus seit 1945 und die ständig steigende Beanspruchung unserer Strassenbeläge dazu geführt, dass diese Normen periodischer Ergänzungen bedürfen.
- In den vergangenen Jahrzehnten sind unter der Aegide der VSS zahlreiche Forschungsaufträge durchgeführt worden, deren Ergebnisse zum Teil konkret ihren Niederschlag in verbesserten und neuen Prüfverfahren und in erweiterten Qualitätsvorschriften gefunden haben. Aber nicht bei allen war dies der Fall. Es gibt sicher eine Anzahl von Forschungsaufträgen, die ergänzt oder fortgesetzt werden müssen.
- Zur gezielten und koordinierten Durchführung der Forschungsaufträge stellt die Forschungsdelegation der VSS Mehrjahresprogramme auf. Der vorliegende Forschungsauftrag soll hierbei logistische Hilfe leisten.

1.3 Gliederung

Der Forschungsauftrag gliedert sich in drei Teile:

- Im ersten Abschnitt wird der heutige Wissensstand anhand der bestehenden Prüf- und Qualitätsvorschriften zusammengestellt.

- Im zweiten Abschnitt werden die Zielobjekte vorgestellt, bei denen im Sachbereich bituminöse Baustoffe und Belagseigenschaften Wissenslücken bestehen, die geschlossen werden sollten.
- Im dritten Abschnitt soll aufgrund der im zweiten Abschnitt aufgezeigten Wissenslücken eine Prioritätenliste erstellt und daraus ein Forschungskonzept erarbeitet werden.

Im Gegensatz zu den heutigen empirischen Kennwerten soll sich die vorgeschlagene Forschungstätigkeit im Wesentlichen auf ein vermehrtes Erfassen fundamentaler, physikalisch definierbarer Materialkennwerte ausrichten und auf diesem Wege zu einer Qualitätssteigerung im bituminösen Belagsbau führen.

1.4 Bituminöse Baustoffe

Es sind alle Bindemittel auf Bitumen-Basis, die im Asphaltstrassenbau Verwendung finden, zu behandeln. Nicht zu diesem Kapitel gehören Fugenfüllmaterialien sowie Dichtungsbahnen zur Isolation von Brücken.

1.5 Bituminöse Beläge

Es werden alle in der Schweiz üblichen Beläge einschliesslich Gussasphalt in Betracht gezogen, ebenso bituminöse Tragschichten. Brückenbeläge werden nicht separat behandelt, da sie hinsichtlich Mischgut-Zusammensetzung von den normalen Strassenbelägen nicht abweichen.

A. HEUTIGER WISSENSSTAND

Grundlage bilden die am 30. Juni 1993 geltenden Qualitäts- und Prüfvorschriften, die in den nachfolgend zusammengestellten Normen der VSS enthalten sind.

I BITUMINÖSE BINDEMITTEL

1. Qualitätsvorschriften

1.1	Bituminöse Bindemittel, Einführung	671010 e
1.2	Bitumen Qualitätsvorschriften	671110 d
1.3	Bitumenemulsionen Qualitätsvorschriften	671310 c

2. Prüfvorschriften

2.1	Allgemeine Prüfvorschriften	671700 a
2.2	Probenahme (in Uebearbeitung)	671701
2.3	Makroskopische Beurteilung	671710 c
2.4	Dichte	671713 b

2.5	Bestimmung des Wassergehaltes	671716 a
2.6	Bestimmung der Asche (nur für Bitumen)	671719
2.7	Dynamische Viskosität	671722 a
2.8	Trocknungsverhalten und nichtflüchtige Anteile (nur für Lackbitumen und Fugenvoranstriche)	671725
2.9	Bestimmung der Penetration	671740 a
2.10	Bestimmung des Erweichungspunktes R.u.K.	671743 a
2.11	Penetrationsindex (PI)	671744 a
2.12	Bestimmung der Duktilität	671746 a
2.13	Lösliches in Toluol	671749 b
2.14	Masseänderung bei 163°C, 85 Min.	671752 b
2.15	Bestimmung des Brechpunktes nach Fraass	671755 a
2.16	Bestimmung des Siebrückstandes (nur für Bitumenemulsionen)	671780
1.17	Bestimmung der Viskosität Engler (nur für Bitumenemulsionen)	671783
2.18	Brechverhalten im Mischversuch (nur für Bitumenemulsionen)	671786
2.19	Bestimmung des Ausrührrückstandes bis 160°C (nur für Bitumenemulsionen)	671789
2.20	Entmischungsprüfung (nur für Bitumenemulsionen)	671792

2.21 Koagulationsprüfung (nur für Bitumenemulsionen)	671795
2.22 Siedeanalyse von Cutbacks (nur für Cutbacks)	671820 a
2.23 Bestimmung der Viskosität STV	671830
2.24 Unlösliches in Toluol	671833 a
2.25 Siedeanalyse	671836 a
2.26 Erweichungspunkt KS	671839 a
2.27 Saure Oele	671842 a
2.28 Bestimmung des Bitumengehaltes (Sulfonierung)	671854
2.29 Rückgewinnung aus Extraktionslösungen	671860
2.30 Ausländische Normen, die in der Schweiz angewendet werden:	
- Mikroskopisches Bild (Bitumenemulsionen)	
- Mittlerer Teilchendurchmesser (Bitumenemulsionen)	
- Ladungscharakter (Elektrophorese) (Bitumenemulsionen)	

II BITUMINOESE BELAEGE UND TRAGSCHICHTEN

1. Ausführungsvorschriften und Anforderungen

- | | | |
|-----|--|----------|
| 1.1 | Oberflächenbehandlungen, Tränkungen
Konzeption, Anforderungen, Ausführung | 640415 c |
| 1.2 | Asphaltbetonbeläge
Konzeption, Anforderungen, Ausführung | 640431 a |
| 1.3 | Drainasphalt-Deckschichten | 640433 |
| 1.4 | Gussasphalt, Mastix
Konzeption, Anforderungen, Ausführung | 640440 a |
| 1.5 | Heissmischgut HMF
Anforderungen, Ausführung | 640452 b |

2. Prüfvorschriften

- | | | |
|------|---|----------|
| 2.1 | Probenahme | 671950 b |
| 2.2 | Bestimmen des löslichen Bindemittelanteils | 671955 a |
| 2.3 | Dichte | 671965 a |
| 2.4 | Rohdichte
Berechnen des Hohlraumgehaltes | 671967 a |
| 2.5. | Marshallversuch | 671969 b |

III NICHT ZU BEARBEITENDE GEBIETE

Nicht in Betracht gezogen werden Fugenfüllmaterialien sowie Dichtungsbahnen für Brückenisolationen. Brückenbeläge unterscheiden sich praktisch nicht von Strassenbelägen und werden deshalb nicht separat betrachtet.

Es handelt sich um die folgenden Normen:

- | | |
|---|----------|
| 1. Brückenabdichtungen und Brückenbeläge
Konzeption, Anforderungen, Ausführung | 640490 b |
| 2. Fugenfüllmaterialien, Einführung | 671610 |
| 3. Fugenfüllmaterialien, Qualitätsvorschriften | 671625 a |

B. WISSENSLÜCKEN

I. Bindemittel

1. EINLEITUNG

Trotz seines relativ geringen Anteils von durchschnittlich nur 5 Gewichtsprozent im Asphaltmischgut hat das Bindemittel einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der bituminösen Fahrbahnbefestigung. Während der Lagerung, der Verarbeitung und anschliessender Nutzung verändert das Bindemittel seine Eigenschaften. Für den Asphalttechnologen bildet die Kenntnis dieser Abläufe eine der Voraussetzungen, das den zu erwartenden Beanspruchungen entsprechende Bindemittel auszuwählen, um eine möglichst lange Nutzungsdauer des Asphaltbelages zu erreichen.

Grosse Bedeutung muss der Praxiserfahrung beigemessen werden, da das Problem der Gebrauchsfähigkeit und Haltbarkeit von Strassenbelägen doch sehr komplexer Natur ist und es wenig praxisrelevante Prüfverfahren gibt.

In den folgenden Kapiteln werden vor allem die normierten und die polymermodifizierten Bindemittel für Asphaltbeläge behandelt. In zweiter Linie folgen Bitumenemulsionen. Teere und teerhaltige Bindemittel werden in der Schweiz kaum mehr verwendet und die entsprechenden Normen sind ungültig geworden. Sie haben nur noch eine gewisse Bedeutung im Zusammenhang mit Recycling.

2. SPEZIFIKATIONEN UND QUALITÄTSANFORDERUNGEN

2.1 Spezifikationen

In der Schweiz wie auch in andern europäischen Ländern werden die Reinbitumen ausschliesslich nach ihrem Penetrationsbereich bei 25 °C bezeichnet.

Es stellt sich aber sehr oft die Frage, ob diese klassischen Bitumenspezifikationen gemäss SN 671 010 e und SN 671 110 c die Anwendung und Bewährung in der Praxis des Asphaltstrassenbaus ausreichend beschreiben und sichern. Diese Frage stellt sich auch besonders im Zusammenhang mit der Festlegung von Bewertungskriterien im Rahmen der Schaffung europäischer Anforderungsnormen für Bitumen.

Ausserdem gibt es für polymermodifizierte Bindemittel noch keine Qualitätsanforderungen. Die VSS-Subkommission 271/15 bearbeitet zur Zeit eine Vornorm PmB für Beläge.

Neben der Qualitätssicherung bei der Produktion und dem Einbau von Asphalt ist auch eine verbesserte praxisgerechtere Qualitätsbewertung des Bindemittels notwendig. Die Notwendigkeit hat vor allem drei Gründe:

- Vermehrter Einsatz von Recyclingmaterial und damit auch Recycling-Bindemittel für die Herstellung von Asphaltbeton.
- Unter Umständen der durch politische und ökonomische Umstände bedingte Einsatz wechselnder Rohöle.
- Verwendung unterschiedlicher Polymere zur Modifizierung von Bitumen.

Zur Sicherstellung der Qualitätsanforderungen von bituminösen Bindemitteln ist eine erweiterte Betrachtungsweise unerlässlich. Es stehen vier Möglichkeiten im Vordergrund:

2.2 Funktionelle Eigenschaften

Eine Möglichkeit ist die Spezifizierung funktioneller Eigenschaften wie

- das Haftverhalten
- die Härte
- die Temperaturempfindlichkeit
- die Alterungsempfindlichkeit

- Auf das Problem des **Haftverhaltens** wird in Kapitel 11 eingegangen.
- Die **Härte** kann auf verschiedene Weisen spezifiziert werden. Üblich ist die Einteilung nach der Penetration bei 25 °C. Es ist jedoch auch möglich, das rheologische Verhalten mittels der scheinbaren Viskosität bei 60 °C zu kennzeichnen.
- Die **Temperaturempfindlichkeit** zeigt sich in der Abhängigkeit der Härte (Penetration oder Viskosität), von der Temperatur. Die Abhängigkeit wird oft mittels des Penetrationsindex spezifiziert.
- Die **Alterungsempfindlichkeit** wird dargestellt durch die Aenderung der Härte während einer künstlichen Alterung mittels RTFOT oder rotierendem Kolben. Heute wird dies als Verhärtung bezeichnet, im Gegensatz zur Alterung in der Zeit. (s. Kapitel 5.1)

2.3 Konstitutionelle Parameter

Bewertungssystem mit konstitutionellen Parametern, wie Molekulargewichtsverteilung und chemische Zusammensetzung (Gehalt an Paraffinen, Asphaltenen, Maltenen und Polymeren) sowie rheologische Eigenschaften, insbesondere bei höheren Temperaturen.

Die Beziehungen zwischen konstitutionellen Parametern und im Labor messbaren Grössen sind wegen schwieriger analytischer Probleme und der Quantifizierung des Bindemittelbeitrages an der Bewährung einer Strasse nicht leicht aufzustellen.

In den Laboratorien der Shell-Gruppe wurden die für die Bewährung in der Praxis wesentlichen Bitumeneigenschaften wie folgt festgelegt:

- Rheologische Eigenschaften
- Kohäsion
- Adhäsion an Mineralstoffen
- Alterung

Auf der Basis entsprechender Testmethoden und umfassender Korrelationsstudien der Ergebnisse dieser Tests mit Untersuchungen in Rundlaufversuchen wurde durch das Shell-Laboratorium in Amsterdam ein Qualitäts-Bewertungssystem unter dem Namen QUALAGON entwickelt. Dieses System, das alle Anforderungen an Strassenbau-Bitumen erfassen soll, stützt sich auf neun Testmethoden.

Der breiten Anwendung des neuen Bewertungssystems in der Praxis sind (mindestens heute noch) gewisse Grenzen gesetzt, weil die im Rahmen der Qualagon-Betrachtungsweise angewendeten Testmethoden zum grössten Teil nur in grossen spezialisierten Laboratorien durchgeführt werden können. Hier wäre eine einfachere mehr praxisbezogene Weiterentwicklung interessant.

Es stellt sich die Frage, ob das Qualagon-Bewertungssystem, das von Shell als Bitumenproduzent entwickelt worden ist, auch für polymer-modifizierte Bindemittel angewendet werden könnte. Falls sich das als möglich und praktisch durchführbar erweisen sollte, wäre ein erstes Qualitätsbewertungssystem für diese Bindemittel gefunden.

2.4 Saure Phasen

Im Rahmen des Strategic-Highway-Research-Programms (SHRP) ist eine neue Betrachtungsweise der bituminösen Bindemittel aufgenommen worden, das "Strong-Acid-Concept". Mittels einer chromatographischen Methode können bituminöse Bindemittel in fünf verschiedene Phasen unterteilt werden:

- stark sauer
- schwach sauer
- neutral
- schwach basisch
- stark basisch

Es wurde festgestellt, dass vor allem die starksauren Anteile das Verhalten eines bituminösen Bindemittels wesentlich beeinflussen:

- Die Asphalt-Phase besteht vorwiegend aus sauren Anteilen.
- Die starksaure Fraktion ist sehr polar, aromatisch und reich an polyfunktionellen Gruppen.

- Starksaure Fraktionen beeinflussen die Viskosität und die Temperaturempfindlichkeit.
- Es wird vermutet, dass der starksaure Anteil Adhäsion und Wasserempfindlichkeit beeinflussen.
- Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich starksaure Anteile zu einem elastischen, dreidimensionalen Netz zusammenbinden. Dies könnte das Spannungs-Dehnungsverhalten bituminöser Bindemittel beeinflussen. Es wird vermutet, dass das Ermüdungsverhalten sowie die Tieftemperatur-Rissbildung durch die starksauren Anteile beeinflusst werden.

Durch Laborversuche konnte bisher ein Teil der oben aufgeführten Zusammenhänge bestätigt werden. Weitere Laboruntersuchungen sollen aufzeigen, ob die Hypothesen und Vermutungen vollständig erhärtet und bestätigt werden. Falls dies gelingen sollte, könnte von einem neuen Ansatz gesprochen werden, welcher das Verhalten der bituminösen Bindemittel auf einfache Art und Weise erklärt.

2.5 Dispersed Polar Fluid-Model (DPF)

Bitumen-Analytik, Molekularmodell

Bisher wurde das Verhalten von Bitumen anhand eines kolloidalen Modells, im wesentlichen bestehend aus Asphaltinen und Maltenen, erklärt. Das SHRP stellt dem bisherigen Modell eine Alternative entgegen:

Bitumen besteht aus kurzen, miteinander verklebten Strängen in einer flüssigen Phase, dem "Dispersed Polar Fluid" DPF-Modell. In der bildlichen Sprache der Amerikaner: "kalte Spaghettis in Sauce"! SHRP postuliert, dass die polaren, funktionellen Gruppen (=Spaghettis) im Bitumen die Eigenschaften des Bindemittels prägen. Die unpolaren Gruppen bilden die "Sauce". Polare Gruppen bilden ein Netzwerk. SHRP-Forscher messen den Ampholyten eine grosse Bedeutung zu. Ampholyte sind Moleküle, welche "sowohl sauer als auch basisch" sind. Gegenüber stärkeren Säuren verhalten sich Ampholyte wie eine Base, gegenüber stärkeren Basen wie eine Säure.

Obwohl die Ampholyte im Bitumen nur einen Anteil von 10 - 15% aufweisen, scheinen sie die Eigenschaften von Bitumen entscheidend zu beeinflussen. In diesem neuen Modell werden die viskoelastischen Eigenschaften von Bitumen auf die Bildung neuer, beziehungsweise Auflösung bestehender Bindungen zwischen den Ampholyten zurückgeführt. Unter Belastung werden Kontaktstellen zwischen den Strängen gebrochen, es bilden sich aber auch laufend neue Kontaktstellen. Die Unterschiede zwischen dem bisherigen Modell (Mizellen) und dem DPF-Modell sind:

1. Im bisherigen kolloidalen System spielen die Mizellen als vergleichsweise grosse Konglomerate mehrerer Moleküle eine bedeutende Rolle. Durch eine moderne Untersuchungsmethode (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy) fanden SHRP-Leute Hinweise, dass die molekuläre Struktur von Bitumen viel kleiner ist, als die Grösse

der Mizellen. Das DPF-Modell postuliert keine grossformatige Konglomerate. Vielmehr hängt die Mikrostruktur von den momentanen Bindungen unter der grossen Anzahl verschiedener Moleküle ab.

2. Die Mizellen haben im kolloidalen Modell eine konstante Grösse. Im DPF-Modell hingegen geht man davon aus, dass sich laufend neue Bindungen bilden und bestehende abgebaut werden, je nachdem, ob dem Bitumen Energie zu- oder abgeführt wird. Der Energiefluss ist von den Temperatur- und Belastungswechseln abhängig.
3. Im DPF-Modell spielen die polaren Moleküle eine grössere Rolle als die Mizellen im kolloidalen Modell.

Das vorgestellte DPF-Modell soll in zwei Schritten überprüft werden:

1. Es soll aufgezeigt werden, dass rheologische Eigenschaften tatsächlich abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Bitumens sind (polare Anteile, Ampholite).
2. Es soll aufgezeigt werden, dass die Eigenschaften von Asphalten und vor allem das Verhalten von Teststrecken in grossem Mass von den chemischen und rheologischen Eigenschaften des Bitumens abhängen.

Die diesbezüglichen Arbeiten sind an der University of Texas in Austin im Gange.

2.6 Zusammenfassung

Die Bindemittelspezifikationen haben die Aufgabe, die Eigenschaften des Bindemittels derart festzulegen, dass damit gut verarbeitbare Asphaltgemische hergestellt werden können, die zu dauerhaften, den Beanspruchungen entsprechenden Befestigungen führen.

Ob überhaupt, und wenn ja, welches der skizzierten Bewertungssysteme sich für unsere Verhältnisse eignet, müssen weitere Untersuchungen und praktische Erfahrungen zeigen.

3. PROBENAHME

Die Norm SN 671 701 aus dem Jahre 1968 muss überarbeitet werden. Es existiert eine europäische Norm, die EN 58", Probenahme bituminöser Bindemittel", die im Jahre 1986 veröffentlicht wurde. Sie ist für uns nicht verbindlich, da sie vor dem Beitritt der Schweiz zum CEN herauskam.

Die europäische Norm wird aber bei der Ueberarbeitung der Schweizer Norm berücksichtigt werden. Speziell zu beachten sind die in der EN 58 nicht enthaltenen polymermodifizierten Bindemittel. Bei der Entnahme und Weiterbehandlung der Proben dieser Bindemittel ist wegen der Gefahr von Ausscheidungen und Absetzungen sowie Verlust des chemisch-physikalischen Gleichgewichtes infolge thermischer Beanspruchung besondere Vorsicht geboten. Die in der EN 58 beschriebenen Sicherheitsmassnahmen werden in die überarbeitete Schweizer Norm aufzunehmen sein.

4. RÜCKGEWINNUNG VON BINDEMITTEL AUS BITUMINÖSEN BELÄGEN

Voraussetzung zur Prüfung der Eigenschaften von Bindemittel aus bituminösen Belägen ist eine schonende Extraktion und Rückgewinnung, so dass möglichst keine zusätzliche Verhärtung verursacht wird. Die Durchführung der Extraktion ist in der Norm SN 671 955 a "Bestimmen des löslichen Bindemittelanteils" beschrieben. Die Methoden der Heiss- und Kaltextraktion sind genau festgelegt. Es fehlt noch ein Hinweis auf besondere Sorgfalt und das zu verwendende Lösungsmittel, wenn das Bindemittel auf seine Eigenschaften untersucht werden soll.

Die neue Norm SN 671 860 "Bituminöse Bindemittel, Rückgewinnung aus Extraktionslösungen" enthält Toluol als Lösungsmittel. Im Gegensatz dazu ist im europäischen Normvorschlag Dichlormethan vorgeschrieben. Zudem weicht der Vorschlag bei der Oelbadtemperatur wesentlich von der Schweizer Norm ab.

5. THERMISCHE BEANSPRUCHUNG UND ALTERUNG

5.1 Verhärtung und Alterung

Die Norm SN 671 752 b enthält eine Prüfvorschrift zur Bestimmung der durch Verlust flüchtiger Bestandteile und Oxidationsprozesse verursachten Masseänderung.

Die Norm basiert auf der ASTM-Norm D 2872-74 (Rolling- Thin-Film-Oven-Test: RTFOT) und wird nach SN 671 010 e an den Bindemitteln im Anlieferungszustand durchgeführt. Die ermittelten Werte der Masseänderung dürfen die in den Qualitätsvorschriften SN 671 110 c angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten. Zusätzlich wird in den Vorschriften gefordert, dass die Penetration bei 25 °C nach erfolgter Masseänderungsprüfung einen festgelegten Wert nicht unterschreitet.

Diese Prüfung zeigt aber nur, ob die angelieferten Bindemittel den Qualitätsvorschriften entsprechen. Ueber die Veränderungen infolge thermischer Beanspruchung bei der Herstellung und Verarbeitung von Asphalt wird keine Aussage gemacht.

Grundsätzlich ist bei den Veränderungen der Bindemittleigenschaften zwischen einer kurzzeitigen, verarbeitungsbedingten "heissen" Bindemittelverhärtung bei der Asphalt-Aufbereitung, - Lagerung, - sowie Verarbeitung und einer "kalten" Langzeitalterung im Asphaltbelag zu unterscheiden. In der europäischen Normenorganisation CEN wurde im Jahre 1990 vereinbart, in Zukunft nur noch die infolge thermischer Beanspruchung entstandene "Verhärtung" (Hardening) als solche zu bezeichnen. Unter "Alterung" (Ageing) wird die Veränderung der Härte in Funktion der Zeit, (UV-Licht, Oxidation usw.), verstanden.

Die künstliche Verhärtung mittels RTFOT entspricht nach diversen Untersuchungen der Bindemittelverhärtung durch Produktion und Verarbeitung von Asphalt. Nach einer neueren deutschen Studie stimmt die thermische Beanspruchung im rotierenden Kolben nach DIN 52 016 sehr gut mit dem RTFOT überein, wenn anstelle des üblichen 0.5-l-Rundkolbens ein 1-l-Kolben verwendet wird.

Im Rahmen des SHRP-Programmes wurde eine Labor-Methode entwickelt, mit welcher die Langzeit-Alterung des Bindemittels im Asphaltbelag geprüft werden kann. Im sogenannten PAV (Pressure Ageing Vessel) wird eine Bindemittelprobe über die Dauer einer Woche bei einer Temperatur von 71° C und einem Druck von 2.1 N/mm² gelagert.

Die künstliche Verhärtung ermöglicht die Prüfung der "Alterungsempfindlichkeit" eines Bindemittels. Sie kann durch Vergleich der Resultate verschiedener physikalischer Prüfungen vor und nach künstlicher Erhärtung nachgewiesen werden, insbesondere Penetration, Erweichungspunkt Ring und Kugel und Brechpunkt nach Fraass.

5.2 Verjüngung

Bitumen hat die einzigartige Eigenschaft, sich verjüngen zu lassen, (rejuvenate), wenn ihm die im Laufe des Alterungsprozesses verlorenen Komponenten zugegeben werden. Es handelt sich vor allem um leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe. Diese Eigenschaft ist sehr wichtig im Zusammenhang mit dem Recycling. Es fehlen aber Grundlagen und Erfahrungswerte über das Verhalten verjüngter Bitumen. Bei der heute sehr häufigen Verwendung von Recyclingmaterial zur Aufbereitung neuer Asphaltbeläge wird die Verjüngung meistens durch Zugabe von neuem Bitumen mit einem hohen Gehalt an Aromaten und tiefem Gehalt an Asphaltenen erreicht. Es bestehen aber noch keine Anforderungen, die das korrigierte Bindemittel erfüllen muss, und es fehlen Erfahrungen über das Gebrauchsverhalten.

6. DUKTILITÄT

6.1 Kälte-Duktilität

Nach der Schweizer Norm SN 671 746 a wird die Duktilität bei 25 °C

bestimmt. Nach den Qualitätsvorschriften für Bitumen, SN 671 110 c, darf ein für die einzelnen Sorten festgelegter Minimalwert nicht unterschritten werden. Die Duktilitätswerte bei 25 °C haben eine sehr geringe Aussagekraft, speziell bei polymermodifizierten Bindemitteln. Für die PMB liegen noch keine Sollwerte vor.

Es ist daher festzulegen, ob der Duktilitätsversuch nach den DIN-Normen bei 7 °C oder nach französischen Vorschriften bei 4 °C durchgeführt werden soll. Bei relativ harten Bindemitteln liefert der Versuch bei 7 °C noch Ergebnisse, bei 4 °C kann er dagegen nicht mehr durchgeführt werden.

Der Duktilitätsversuch, durchgeführt an Bindemitteln im Anlieferungszustand und nach Verhärtung zeigt sehr deutliche Unterschiede.

Interessant wäre eventuell die Prüfung der Tieftemperatur-Duktilität. Nach US-Definition werden unter dem "Tieftemperaturbereich" Temperaturen unterhalb -21 °C verstanden. Auswertungen von Teststrecken in den USA haben ergeben, dass die Tieftemperatur-Duktilität für wiedergewonnene Bindemittel mit Rissbildung und Ausbrüchen im Asphalt korreliert. Sofern bei der Bindemittelverhärtung ein kritischer 25 °C-Penetrationswert von ca. 30 mm/10 unterschritten wird, können unterschiedliche Niveaus der verbliebenen Tieftemperatur-Duktilität zum entscheidenden Kriterium für die Ausbildung von Rissen werden. Eine Auswertung quer über die USA hat ergeben, dass Kälteschäden regelmässig dann auftraten, wenn die 15 °C - Duktilität unter 3 cm lag.

6.2 Kraft-Duktilität

Mit der Kraftmessung während der Duktilitätsprüfung wird die der jeweiligen Fadenlänge entsprechende Kraft bei konstanter Dehngeschwindigkeit festgestellt. In der Regel wird eine Dehngeschwindigkeit entsprechend dem normierten Duktilitätsversuch gewählt (50 mm/min). Die Temperierung der Proben erfolgt im herkömmlichen Duktilometer mittels Wasser,- beziehungsweise Alkoholbad. Die bisherigen Messungen erfolgten im Temperaturbereich von +4 bis ca. 50 °C. Durch Arretierung der Zugvorrichtung können auch Relaxationsversuche durchgeführt werden, welche insbesondere bei tiefen Temperaturen interessant sind.

Es stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die Kraft-Dehnungskurven auszuwerten. Entweder werden die Werte (Kraft sowie Dehnung) bei der maximalen Kraft als Kriterium gewählt, oder es kann auch die Fläche der Kurve berechnet werden.

Die Kraft-Duktilitätsprüfung ist relativ neu und wird ausschliesslich zur Prüfung von Polymermodifizierten Bitumen verwendet.

7. ELASTISCHE RÜCKSTELLUNG

Die elastische Rückstellung wird in Anlehnung an die Schweizer Norm

SN 671 746 a "Bestimmung der Duktilität" durchgeführt. Abweichend von dieser Norm werden die Probekörper bei der gewählten Temperatur nur bis zu einer Fadenlänge von 20 cm ausgezogen und der Faden nach Arretierung des Vorschubes innerhalb 10 Sekunden mit einer Schere in der Fadenmitte in zwei Halbfäden getrennt (sog. Halbfadenmethode). Die elastische Rückstellung ist definiert, als der Abstand, der sich nach 60 Minuten zwischen den beiden Halbfadenenden einstellt. Sie wird angegeben in Prozenten, bezogen auf die Ausgangsdehnung von 20 cm.

Die elastische Rückstellung ist ein ausgezeichnete Versuch zur Unterscheidung zwischen einem Reinbitumen und einem polymermodifizierten Bindemittel. Der Versuch ist zudem relativ einfach durchzuführen. Er sollte deshalb als neue Prüfmethode ins Auge gefasst und nach Möglichkeit normiert werden. Eventuell lässt sich die Rückstellung auf 30 Minuten beschränken.

8. DYNAMISCHE VISKOSITÄT

Nach der Schweizer Norm SN 671 722 a wird die dynamische Viskosität mittels Rotationsviskosimeter bei 60 °C und 130 °C gemessen. Die SN 671 110 c enthält die Viskositätsbereiche für die normierten Bitumen. In der europäischen Normierung steht eine obere Temperatur von 135 °C zur Diskussion. Die Viskosität bei höherer Temperatur gibt sehr wichtige Informationen über das Verhalten des Bindemittels beim Einbau des Asphaltbetonbelages. Die Viskosität bei 60 °C ist mit normalen Geräten oft kaum mehr zuverlässig messbar. Es sollte deshalb eine etwas höhere Temperatur gewählt und untersucht werden, ob die bei 60 °C feststellbaren Eigenschaften (Wachs) noch bestimmt werden können.

Für die polymermodifizierten Bindemittel fehlen noch Viskositätsbereiche und vor allem entsprechende Erfahrungen.

9. VERHALTEN BEI TIEFEN TEMPERATUREN

9.1 Einleitung

Bitumen lassen sich nur in engen Temperaturbereichen technisch verwenden. Nach tieferen Temperaturen hin sind diese Bereiche durch zunehmende Versprödung, nach höheren Temperaturen durch plastische irreversible Verformungen unter Last begrenzt. Als obere Grenze der Anwendbarkeit gilt der Erweichungspunkt Ring und Kugel (SN 671 143a) und als untere Grenze der Brechpunkt nach Fraass (SN 671 755 a). Die Differenz zwischen den beiden Temperaturen wird Plastizitätsspanne genannt. Mit steigender "Härte" des Bitumens wird die Plastizitätsspanne zwar grösser, doch steigt der Brechpunkt ebenfalls.

Durch Modifizierung des Bitumens mit Polymeren soll dieser Anwendungsbereich erweitert werden, wobei im Idealfall gleichzeitig der Erweichungspunkt zu höheren und der Brechpunkt zu tieferen Temperaturen verschoben werden soll.

9.2 Brechpunkt nach Fraass

Mit der Erweiterung der Plastizitätsspanne nach unten ist die Nachfrage nach einer zuverlässigen Prüfmethode bei tieferen Temperaturen grösser geworden.

Praktisch in ganz Europa sowie in der Schweiz wird der Brechpunkt nach Fraass bestimmt, (SN 671 755 a), trotzdem die Zuverlässigkeit dieser Werte für das Gebrauchsverhalten oft angezweifelt wird.

Die Nachteile des Versuches sind bestens bekannt:

- Die Vorbereitung der Prüfkörper ist nicht nur aufwendig, sondern auch heikel. Der Einfluss der Prüfkörpervorbereitung auf die Ergebnisse kann entscheidend sein.
- Die Streuung der Untersuchungsergebnisse ist insbesondere bei den polymermodifizierten Bindemitteln sehr gross.
- Die manuelle Durchführung des Versuches ist aufwendig.
- Die auf dem Markt erhältlichen automatischen Geräte haben sich nicht durchsetzen können. Diese Automaten liefern systematisch tiefere Brechpunkte, da eine automatische Brucherkenkung schwierig zu bewerkstelligen ist.

Trotz all dieser Nachteile wird der Brechpunkt nach Fraass nach wie vor verwendet, weil keine Alternative besteht.

9.3 Viskoelastisches Verhalten

Die Bestimmung des viskoelastischen Verhaltens von Bindemitteln kann bei höheren Temperaturen mit dem Rotationsviskosimeter erfolgen. Die tiefste Messtemperatur liegt aber hier, wie oben erwähnt, für ein weiches Bitumen um 60 °C.

Prüfungen mit dem Balance-Rheometer führen zwar zur Bestimmung des komplexen Moduls, können aber nicht unter 0 °C durchgeführt werden.

Für die Prüfung der Viskosität im ausgeprägt nicht NEWTON-schen Tieftemperatur-Bereich haben in die Prüftechnik hauptsächlich Platte/Kegel-Rotationsviskosimeter und Gleitplattenviskosimeter Eingang gefunden. In der Schweiz fehlen entsprechende Erfahrungen.

Bei modernen Geräten kann durch Aufbringen einer Schwingung das viskoelastische Verhalten in einem grossen Temperaturbereich erfasst werden.

9.4 Weitere Prüfverfahren

Im LCPC in Paris wurde ein direkter Zugversuch am Bitumen entwickelt und standardisiert. In der Schweiz wird dieser Versuch durch das LA-VOC in Lausanne ebenfalls durchgeführt. Der Versuch ist apparativ sehr aufwendig (Klimakammer, hohe Zuggeschwindigkeiten). Aus diesem Grunde hat er sich nur in Forschungslaboratorien durchsetzen können.

In Skandinavien wird ein Biegeversuch an Bindemittel-Plättchen durchgeführt. Dabei wird ein Bindemittelbalken um definierte Bolzen gebogen; der Versuch erinnert an die bei Polymerbitumen-Dichtungsbahnen verwendete "Biegung in der Kälte" (SIA 281). Dieser Versuch ist nicht weiter zu verfolgen, da er empirische Ergebnisse liefert.

Mit aufwendigen Rheometern können Masterkurven aufgenommen werden und Dank der Gleichungen von Williams, Landel und Ferry, das Verhalten bei tiefen Temperaturen errechnet werden. Dieses Verfahren ist sowohl apparativ als auch rechnerisch recht aufwendig und wird deshalb nur in der Forschung eingesetzt.

Neuerdings wird auch eine Duktilitätsprüfung mit Kraftmessung vorgeschlagen. Dieser Versuch scheint recht aussagekräftig zu sein, wurde bisher jedoch bei Temperaturen oberhalb 0 °C durchgeführt. Die Literaturstellen zu diesem Versuch äussern sich recht optimistisch, da zum Beispiel auch Relaxationsversuche gefahren werden können.

9.5 Ausblick

Zur Zeit kann europaweit ein Bedürfnis für ein relativ einfaches und rasches Prüfverfahren für die Beurteilung des Kälteverhaltens festgestellt werden. Auch die vehementesten Kritiker des Brechpunktes nach Fraass müssen eingestehen, dass zur Zeit keine Alternative besteht. Eine Weiterentwicklung dieses Versuches scheitert an der sehr heiklen Vorbereitung der Prüfkörper.

Das amerikanische Strategic Highway Research Programm (SHRP) hat ein sogenanntes Bending-Beam-Rheometer entwickelt, mit dem das Verhalten von Bitumen in einem Temperaturbereich bis - 40 °C geprüft werden kann. Dieses Gerät ist Bestandteil des neuen Asphalt-Prüfungskonzeptes, mit dem die SHRP-Leute den Schritt von den empirischen Versuchsanordnungen zu Versuchen, welche physikalisch definierte Werte ergeben, vollziehen wollen. Das von SHRP vorgeschlagene Prüfungskonzept (Superpave) hat zum Ziel, "leistungsorientierte" Anforderungen an die Baustoffe und an das Mischgut zu formulieren. Das vorgeschlagene Bending-Beam-Rheometer scheint uns ein vielversprechender neuer Ansatz für die Lösung eines alten Problems zu sein.

10. BIEGESCHUB AXIAL

Das an der EMPA entwickelte Prüfverfahren "Biegeschub axial" an bituminösen Bindemitteln ermöglicht ein besseres Bestimmen des Ermüdungsverhaltens und der mechanischen Kennwerte bei mittleren und tiefen Temperaturen.

Zielsetzung: Durch Anlegen einer periodischen, sinusförmigen Schubkraft an einen Prüfkern wird dieser verformt und damit der komplexe Schubmodul mitsamt dem elastischen und viskosen Anteil und der Phasenverschiebung in Abhängigkeit von Temperatur und Frequenz bestimmt. Die angewendeten Kräfte werden niedrig gehalten, damit das Bindemittel nicht übermässig erwärmt wird und die Berechnungsmodelle der Viskoelastizitätstheorie angewendet werden können.

Prinzip: Das in der Prüfform eingegossene Bindemittel wird durch eine über den zentralen Metallkern in axialer Richtung wirkende sinusförmige Belastung geschert. Die dabei angewandte Kraft und die sich ergebende Verformung werden gemessen und daraus komplexe, elastische und viskose Schubmoduln bestimmt. Die Prüfung beginnt normalerweise kraftgeregelt bei einer Temperatur von 20 °C, die in der Folge stufenweise um 5 °C gesenkt wird. Bei jeder Temperaturstufe wird das Frequenzspektrum von 0.125 bis 8 Hz ausgemessen. Im höheren Temperaturbereich (von 25 bis etwa 40 °C, abhängig von den Bindemittleigenschaften) wird weggeregelt geprüft.

Aussagen: Die ermittelten Werte können für mechanische Berechnungen verwendet werden. Die graphische Darstellung ermöglicht das Klassieren der Materialien nach ihren rheologischen Eigenschaften. Ein im Bereich hoher Temperaturen und tiefer Frequenzen linear abfallender Schubmodul deutet auf ein weitgehend viskoses Verhalten hin. Flache im Bereich hoher Frequenzen wieder mehr horizontal verlaufende Kurvenäste weisen dagegen auf ein bei hohen Temperaturen verbleibendes elastisches Verhalten hin.

Beurteilung: Das Verfahren erfordert einen grossen apparativen Aufwand und kann zur Zeit nur an der EMPA durchgeführt werden. Ideal wäre, wenn eine Korrelation mit einfacher durchzuführenden Untersuchungen gefunden werden könnte. Es fehlt auch noch der Erfahrungshintergrund.

11. HAFTVERHALTEN

Das Problem der Haftung zwischen Kohlenwasserstoff-Bindemitteln und Gesteinskörnungen scheint weltweit nicht gelöst zu sein. Obschon die Haftung eine der wichtigsten Eigenschaften des Bindemittels ist, fehlen international seit Jahrzehnten geeignete Prüfmethoden.

An der Asphaltstrassentagung der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen in Berlin im Juni 1991 wurde berichtet, dass mehr als 150 verschiedene Prüfverfahren bekannt seien. Laufende Untersuchungen an der Universität Braunschweig (unter anderen mit Ultraschallverfahren) haben bisher auch nicht zum Erfolg geführt.

In der Schweiz ist kein Versuch normiert. Meist wird der Wasserlagerungsversuch nach Arbeitsvorschrift der EMPA angewendet, bei dem der Umhüllungsgrad nach der Wasserlagerung durch visuelle Schätzung ermittelt wird. Die VSS-Subkommission 271/5 befasst sich zur Zeit mit einer Ueberarbeitung dieses Versuches. Ziel des Forschungsauftrages ist die Erarbeitung einer Methode, die als Grundlage einer Normierung dienen soll. Die Uebereinstimmung und Reproduzierbarkeit der Methode soll durch einen breit abgestützten Ringversuch ermittelt werden. Die vorstehenden Ausführungen zeigen, dass die Lösung der Aufgabe schwierig sein wird.

12. HEISSLAGERSTABILITÄT

Im Kapitel "Probenahme" wurde darauf hingewiesen, dass polymer-modifizierte Bindemittel zur Entmischung neigen können. Dieser Umstand führt dazu, dass in der Praxis der Einsatz von PmB oft auch dann vermieden wird, wenn es angezeigt wäre, nur weil die Aufbereitungsanlage kein solches Bindemittel am Lager hat. Die besonderen Eigenschaften der PmB kommen nur zur Geltung, wenn die Gleichmässigkeit der Verteilung der Polymere im Bindemittel gewährleistet ist.

Zur Zeit ist eine europäische Norm für modifizierte Bitumen, die auch die Lagerstabilität behandelt, in Bearbeitung und steht kurz vor dem Abschluss.

13. NEUERE UNTERSUCHUNGS - METHODEN

13.1 Gel-Permeations-Chromatographie

Mittels der Gel- oder Hochdruck-Gel-Permeationschromatographie können Flüssigkeiten nach der Molekulargrösse aufgeteilt werden. Die Kenntnis der Molekulargrössenverteilung ermöglicht Rückschlüsse auf eventuelle Strukturänderungen im Bindemittel, beispielsweise als Folge zu langer Lagerung, als Folge der Alterung oder der Aufbereitung. Unter der Voraussetzung, dass das verwendete Polymer bekannt ist, können polymermodifizierte Bindemittel identifiziert werden.

Die Gel- Permeations-Chromatographie kann zufolge des grossen apparativen Aufwandes nur in speziell ausgerüsteten grossen Labors durchgeführt werden.

Interessssant sind in diesem Zusammenhang amerikanische Untersuchungen, die an der 65. Jahrestagung der Association of Asphalt Paving Technologists im Februar 1990 vorgestellt wurden:

- Mit Hilfe der Hochdruck-Gel-Permeations-Chromatographie (HP-GPC) wurden zehn modifizierte Bitumen und ein Referenzbitumen charakterisiert und versucht, anhand der gewonnenen Daten Vorhersagen über das Verhalten der mit diesen Bindemitteln hergestellten Asphalte zu machen.

Aus der durchgeführten Versuchsreihe mit verschiedenen Zusätzen ergaben sich gute Korrelationen mit Korrelationskoeffizienten von 0,75 bis 0,99 zwischen den HP-GPC-Charakteristiken einerseits und der Biegezugfestigkeit, dem E- Modul und der Dichte anderseits.

- In einer anderen vorgestellten Arbeit wurden 15 Bitumen aus sechs unterschiedlichen Vorkommen in den USA auf ihre HP-GPC-Charakteristik geprüft. Die Ergebnisse bestätigten frühere Erkenntnisse, denen zufolge GPC-Parameter mit der Temperaturempfindlichkeit und den Viskositätsverhältnissen korrelieren. Es wurde ein Klassifizierungssystem für Bitumen auf der Basis von GPC-Charakteristiken entwickelt. Nach diesem werden die Bitumen in vier Gruppen aufgeteilt, wobei die Bitumen jeder Gruppe ähnliche Temperaturempfindlichkeiten und ähnliches Alterungsverhalten aufweisen. Das Klassifizierungssystem erlaubt die Bestimmung physikalischer Bitumeneigenschaften anhand der GPC-Merkmale. Die besonderen Vorteile dieses Systems liegen in dessen Möglichkeit, ein Raster zu erstellen, welches die Zusammenhänge zwischen Bitumenkomponenten und einigen physikalischen Bitumeneigenschaften besser erkennen lässt.

Die hier vorgestellten Erkenntnisse müssten mittels weiterer Versuche überprüft und bestätigt werden. Zudem müsste untersucht werden, ob das Klassifizierungssystem für Bitumen auf der Basis von GPC-Profilen auch für polymermodifizierte Bindemittel möglich ist.

13.2 UV-Fluoreszenz-Mikroskopie

In den letzten Jahren wurde versucht, die Mikrostruktur polymermodifizierter Bindemittel durch mikroskopische Methoden zu untersuchen. Es hat sich hier die UV-Fluoreszenz-Mikroskopie durchgesetzt. Fluoreszenz ist die Eigenschaft gewisser Substanzen, eine empfangene Strahlung in eine Strahlung grösserer (sichtbarer) Wellenlänge zu transformieren.

Unter UV-Bestrahlung fluoreszieren die in modifizierten Bindemitteln enthaltenen Polymere gelblich. Das Bitumen dagegen erzeugt keine sichtbare Fluoreszenz und bleibt schwarz.

Fotographische Aufnahmen des mikroskopischen Bildes ermöglichen eine gute Klassierung der Polymer-Bindemittel in zweiphasig feindispers und zweiphasig grobdispers, sowie weiterer qualitativer Merkmale innerhalb dieser Klassen.

Die Methode ermöglicht die Prüfung der Heisslagerstabilität polymer-modifizierter Bindemittel.

13.3 Infrarot-Spektrographie

Im Zweistrahl-IR-Messgerät werden aus einer Lichtquelle IR-Strahlen ausgesandt und einerseits durch die Probe, anderseits als Vergleichsstrahl einem Monochromator zugeführt. Dieser zerlegt und vergleicht die Strahlen. Am nachfolgenden Detektor wird registriert, ob in der Probe bei einer bestimmten Wellenlänge eine Absorption erfolgt ist.

Verschiedene Versuche haben gezeigt, dass es wohl möglich ist, bitumenfremde Polymerteile zu eruieren. Für eine genauere Identifikation sowie Differenzierung innerhalb der Polymergruppen fehlen Erfahrungswerte.

Um mit Hilfe der Infrarot-Spektroskopie qualitative und quantitative Prüfungen von Polymerbindemitteln durchführen zu können, müsste vorerst Grundlagenforschung betrieben werden.

13.4 Zusammenfassung

Die beschriebenen modernen analytischen Methoden der Chemie können wertvolle Erkenntnisse liefern. Die Methoden sind aber sehr kostenaufwendig und sollten in erster Linie genutzt werden, um das komplexe Verhalten von Bindemitteln, insbesondere von PmB, besser zu verstehen. Vielleicht besteht dann in Zukunft die Möglichkeit, die Resultate einfacherer Prüfverfahren anhand der Ergebnisse dieser komplexen Tests zu kalibrieren.

14. BITUMENEMULSIONEN

Die in Revision begriffene Norm SN 671 310 c enthält noch keine Hinweise auf die polymermodifizierten Bitumenemulsionen. Die verschiedenen vorhandenen Prüfvorschriften werden unter Berücksichtigung der für Emulsionen häufig verwendeten PmB anzupassen sein.

Bitumenemulsionen werden heute vermehrt anstelle von Lackbitumen als Haftvermittler verwendet.

Oberflächenbehandlungen werden hauptsächlich mit Bitumenemulsionen, mit polymermodifizierten Bitumenemulsionen oder - hauptsächlich in Deutschland - mit polymermodifizierten Heissbitumen hergestellt.

Ein Verfahren, das in der Schweiz wieder neu Fuss gefasst hat, ist das der Dünnschicht-Kaltbeläge, in Deutschland kurz DSK genannt. Der Einsatz polymermodifizierter Bitumenemulsionen hat den DSK neuen Aufschwung gebracht. Das Verfahren eignet sich vor allem für die Erhaltung von Strassen. Es fehlen aber noch Erfahrungen, die zeigen werden, wo solche Beläge sinnvoll verwendet werden dürfen.

Weniger bekannt in der Schweiz sind Kaltasphaltbeläge mit Bitumenemulsionen als Bindemittel. Diese Kaltasphaltbeläge sind in Frankreich schon lange als "Grave-émulsion" geläufig. Das Verfahren erhält mehr Bedeutung im Zusammenhang mit Recycling von teerhaltigem Ausbruchasphalt. Es ist die einzige Möglichkeit, teerhaltiges Ausbruchmaterial ohne Umweltbelastung wieder als Strassenbaubefestigung einzusetzen. (siehe auch Kapitel 15) Das Bindemittel der Emulsion muss dabei das teerhaltige Material einkapseln, so dass keine Schadstoffe durch Regenwasser eluiert oder an die Atmosphäre abgegeben werden. In diesem Zusammenhang und unter Berücksichtigung, dass heute auch polymermodifizierte Emulsionen zur Verfügung stehen, sollte das Verfahren neu geprüft werden.

15. TEERE UND TEER - BITUMEN - MISCHUNGEN

15.1 Einleitung

In neuen Asphaltbetonbelägen werden Steinkohlenteere oder Pechе wegen ihrer canzerogenen Wirkung nicht mehr verwendet. Die entsprechenden Normen sind ungültig erklärt und aus dem Normenwerk entfernt worden.

Trotzdem kann das Problem mit teerhaltigen Belägen nicht ausser Acht gelassen werden. Bei der Wiederverwendung von Asphalt kann es vorkommen, dass im Ausbruchmaterial teerhaltige Bindemittel enthalten sind. Bei der Erhitzung dieser Ausbauasphalte können grössere Mengen krebserregender polycyclischer aromatischer Kohlenstoffe (PAK) frei werden. Besonders gross ist das Risiko bei Wiederverwendung vor Ort im Repave- oder Remixverfahren. Bei zu starker Erhitzung kann sich das gefährliche Benzo(a)pyren auch aus dem reinen Bitumen bilden.

Es stellen sich folgende Probleme:

- a) Schnelle Erkennung von teerhaltigen Bindemitteln
- b) Wiederverwendung von teerhaltigem Ausbauasphalt
- c) Ersatz von Teer bei oelresistenten Schlämmen

15.2 Erkennung von Teer

In der Praxis ist die schnelle Erkennung von Teeranteilen in einem Asphaltbelag besonders wichtig. Es gibt auf dem Markt ein sogenanntes Teer-Schnellerkennungs-Prüfgerät, (TSE-Gerät). Das Gerät ist relativ einfach in der Handhabung, jedoch noch zu wenig genau.

Für die genauere qualitative und quantitative Analyse gibt es chromatographische Untersuchungen.

Beide Methoden bedürfen noch einer Weiterentwicklung.

15.3 Recycling

Ein Teeranteil von < 10 % im Bindemittel, das entspricht einem Anteil von ca. 0,5 % im Mischgut, gilt nach deutschen Erfahrungen für eine Wiederverwendung im Heissverfahren als zulässig. Bei grösseren Teeranteilen muss ein Heissverfahren für die Wiederverwendung von teerhaltigem Ausbauasphalt ausgeschlossen werden, wenn es nicht gelingt, die schädlichen Dämpfe zu eliminieren. Trotz der Schwierigkeiten ist die Wiederverwendung eine Notwendigkeit, weil die grossen Mengen nicht einer Sondermülldeponie zugeführt werden können. Eine Lösung wäre die im Kapitel 14 beschriebene Verwendung als Zuschlagstoff für Kaltasphalt.

15.4 Oelresistente Beläge und Schlämmen

Oelresistente Beläge und oelresistente Schlämmen wurden bisher fast ausschliesslich unter Verwendung von Teer hergestellt. Nach dem Wegfall des Teers muss ein Ersatzbindemittel mit ebenso guten Eigenschaften in Bezug auf Oelresistenz gefunden werden.

II. Mischgut und Beläge

1. EINLEITUNG

Die starke Zunahme des motorisierten Verkehrs in den letzten dreissig Jahren führte zu einer wachsenden Zunahme der Beanspruchung unseres Strassennetzes. Die bituminösen Schichten des Oberbaus wurden immer grösseren Belastungen ausgesetzt. Deshalb müssen heute stark beanspruchte bituminöse Beläge sehr hohe Anforderungen erfüllen.

Im ersten Jahrzehnt war vor allem die Standfestigkeit bituminöser Beläge zu erhöhen. Unter Standfestigkeit wird der Widerstand gegen bleibende Verformungen verstanden. Ungenügend standfeste Beläge können sich bei grosser Beanspruchung verformen, so dass infolge ungenügender Ebenheit und Griffigkeit die Verkehrssicherheit nicht mehr gewährleistet ist.

Als Reaktion wurden für Strassen mit sehr hoher Beanspruchung immer steifere Asphaltvarianten verwendet. Leider wurden diese steiferen Asphalte nicht selten auch dort eingesetzt, wo dies zwar wegen strahlenexponierter Lage und ungünstiger topographischer Bedingungen geboten erschien, jedoch im Hinblick auf die Verkehrsbeanspruchung nicht notwendig gewesen wäre. Unsachgemässe Anwendung der steiferen Asphaltvarianten, aber auch die Verwendung ungeeigneter Bindemittelsysteme führten vermehrt zu Rissbildungen infolge thermogener Spannungen, zu Ausbrüchen und damit wieder zu ungenügender Verkehrssicherheit.

Das Verhalten der Beläge in der Praxis und insbesondere deren Veränderungen im Laufe der Zeit sind durch regelmässige Kontrollen zu erfassen. Diese Kontrollen sind erforderlich, um die notwendige Verkehrssicherheit zu gewährleisten und um das Bauwerk zu erhalten. Verschiedene Qualitätskriterien hinsichtlich Standfestigkeit und Rissicherheit erfordern eine bessere Erfassung der mechanischen Eigenschaften von bituminösen Schichten und deren Verhalten bei tiefen Temperaturen. Die in vielen Ländern normierten technologisch - empirischen Prüfverfahren, die nicht auf die Bestimmung wohldefinierter physikalischer Kennwerte ausgerichtet sind, (Marshallversuch) genügen allein zur Beurteilung nicht. Sie sind mindestens zu ergänzen durch Prüfverfahren, die eine Bestimmung physikalischer Materialkennwerte ermöglichen.

Die Anforderungen an Mischgut und Beläge sind in der Schweizer Norm SN 640 431 a festgehalten. Die zur Zeit in Bearbeitung stehenden europäischen Normen (CEN TC 227, WG 1 "Bituminous mixtures") übernehmen die in Funktion der Beanspruchung durch Verkehr und Witterung

definierten schweizerischen Mischgutttypen L, N und S. Für ausserordentlich hohe Belastungen ist zusätzlich ein Typ S* vorgesehen. Bei den Diskussionen in der WG 1 über die Anforderungen stehen sich zwei kontroverse Ansichten gegenüber:

- Die "Realisten" streben an, die Anforderungen an die Materialien und an die damit hergestellten Schichten nach empirischen Kriterien (z.B. Sollwertbereiche der Korngrössenverteilung und des Bindemittelgehaltes, Dichte und Hohlraumgehalt) festzulegen, Anforderungen also, wie sie in den VSS-Normen und in den Normen praktisch aller anderen Länder enthalten sind und deren Einhaltung erfahrungsgemäss ein gutes Gebrauchsverhalten zu gewährleisten vermag.
- Die "Fundamentalisten" andererseits wollen die Anforderungen vorwiegend aufgrund fundamentaler Materialeigenschaften (z.B. Verformungsfestigkeit, Ermüdungsfestigkeit, Steifigkeit, Alterungsbeständigkeit) festlegen und neue Prüfverfahren einführen, wobei allerdings kaum ausreichende Erfahrungen vorliegen, um beanspruchungsabhängige Schwellenwerte zu definieren.

Die Testmethoden werden im TC 227 WG 1, TG 2 ("Test methods") behandelt. In Anbetracht der fehlenden Erfahrungen war vorgesehen, eine Reihe verschiedener Testmethoden in einem internationalen sogenannten pränormativen Forschungsprojekt auf ihre Eignung zu prüfen. Infolge fehlender Finanzen wurde das Projekt vorerst hinausgeschoben. In den folgenden Kapiteln werden deshalb hauptsächlich Prüfmethoden behandelt, die im Rahmen dieses Projekts in Betracht gezogen werden könnten.

2. PROBENAHME

Die Probenahme von Asphaltmischgut und Ausbaustücken erfolgt in der Schweiz nach der neu revidierten Norm SN 671 950 b. Allerdings hat die TG 2 bereits einen Entwurf zur Stellungnahme an die WG 1 übergeben, der stark von unseren Vorstellungen abweicht. Unsere revidierte Norm ist als Gegenvorschlag eingereicht worden. Leider wurden nur einige Teile daraus eingeführt.

Sehr interessant ist ein deutsches Gerät für die automatische Probenahme von Asphaltmischgut-Proben aus dem Strassenfertiger. Das Gerät ist durch das Institut für Strassenwesen der Technischen Universität Braunschweig in Zusammenarbeit mit der Allgemeinen Baumaschinengesellschaft ABG in Hameln entwickelt worden.

Das automatisch arbeitende Probenahmegerät besteht aus einem Rohr, durch welches die Probe mittels einer Förderschnecke aus dem Mischgutstrom im Fertiger entnommen wird. Das Rohr mit der mittels einer Kette angetriebenen Förderschnecke wird im Hohlraum unter dem Verstärkungsblech an der vorderen Wand des Mischgutbehälters so befestigt, dass es zur Probenahme hydraulisch in den Förderstrom hineingeschoben und nach Gebrauch in den Hohlraum unter dem Verstärkungsblech zurückgezogen werden kann.

Die Länge des Rohres ist so bemessen, dass das Probenahmegerät im eingefahrenen Zustand ein Anwinkel der Trichterklappen nicht behindert. An dem in den Mischgutstrom einzuschiebenden Ende des Rohres befindet sich eine Oeffnung zur Aufnahme des Mischguts. Das Mischgut wird durch die Öffnung eingezogen, mittels der Schnecke durch das Rohr transportiert und durch eine dafür vorgesehene zweite Öffnung in einen Probееimer abgeworfen.

Im Jahre 1989 wurde ein Prototyp gebaut, und anschliessend sind umfangreiche Ringversuche in Auftrag gegeben worden, um feststellen zu können, ob mit dem automatischen Probenahmegerät das Ziel einer Verringerung der probenahmebedingten Streuungen im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren erreicht werden kann. Das Forschungsvorhaben wurde im Mai 1991 nach Vorlage des Schlussberichtes abgeschlossen.

Das Resultat ist sehr positiv, die Probenahme ist viel einfacher, die verfahrensbedingten Streuungen der Probenahme sind viel geringer und es ist kein subjektiver Einfluss auf das Ergebnis möglich. Wenn das Gerät, wie vorgesehen, zu vernünftigen Preis in alle gängigen Fertigertypen eingebaut werden kann, sollte die Übernahme des Verfahrens in Erwägung gezogen werden.

3. MARSHALLVERSUCH

Seit Jahren bemüht sich die Fachwelt, einen physikalisch genauer definierten Ersatz für den Marshallversuch zu finden. Trotzdem wird der weltweit verbreitete Versuch sicher noch einige Jahre bestehen bleiben. Der Marshallversuch dient für die Eignungsprüfung, die Rohdichte des Marshallprüfkörpers liefert die Grundwerte für die Berechnung des Verdichtungsgrades des eingebauten Belages, und schliesslich dient der Marshallkörper als Probekörper für andere Versuche. Es muss aber die Einschränkung gemacht werden, dass es bis heute keine befriedigende Eichmöglichkeit für den mechanischen Hammer gibt, was nicht selten zu schlechter Vergleichbarkeit von Prüfwerten bei Einsatz verschiedener Geräte führt. Die Genauigkeit der Marshallpresse kann dagegen mittels eines an der EMPA gebauten Marshall-Messkörpers geprüft werden. Der Marshallversuch sollte nicht an Mischgut mit Grösstkorn über 25 mm durchgeführt werden. An der EMPA sind auch Geräte entwickelt und gebaut worden, die die Herstellung und Prüfung grösserer Prüfkörper bis 200 mm Durchmesser und 300 mm Höhe ermöglichen. Solche Prüfkörper würden jedenfalls grobkörnigeren Mischgutarten eher gerecht werden. Das System hat bis heute keine Verbreitung in der Praxis gefunden.

In der TG 2 ist auf längere Sicht vorgesehen, nur noch den Marshallhammer zur Herstellung von Probekörpern zu verwenden und auf die Bestimmung der Stabilität und des Fließwertes zu verzichten.

Erschwerend kommt der Umstand hinzu, dass es äusserst schwierig ist, die Marshallgeräte zu eichen. Daher kommen die zum Teil grossen Unterschiede bei Ringversuchen.

4. GYRATOR / HERSTELLUNG VON PROBEKÖRPERN

Der Gyrator-Verdichter ermöglicht die Charakterisierung der Verdichtbarkeit eines Mischgutes. Die im Gyrator erreichte Verdichtung (Rohdichte und Verdichtungsgrad) kann am Prüfkörper in Funktion des Verdichtungsaufwandes verfolgt und analysiert werden. Der Gyrator ermöglicht die Herstellung von Prüfkörpern, deren Verdichtung durch die wirkenden Schubkräfte eher der Verdichtung beim Einbau entspricht als die schlagende Verdichtung beim Marshallversuch.

In Frankreich scheint der Gyrator zur Standardausrüstung eines Labors zu gehören. (Es sind 57 Geräte im Einsatz.) Aus diesem Grunde stammen die Diskussionsvorschläge zum Gyrator in der europäischen Normierung vom LCPC Paris.

Es ist vorgesehen, mit dem Gyrator die Bezugsgrösse für die Verdichtung, entsprechend der Rohdichte des Marshallkörpers zu schaffen, sowie Prüfkörper für mechanische Prüfungen herzustellen. Ebenso wird die Verdichtbarkeit geprüft. In der Schweiz ist die Verdichtbarkeit nicht definiert.

Die Herstellung repräsentativer Probekörper für mechanische Prüfungen ist sowohl in der Schweiz als auch in den EN-Mitgliedländern noch ein ungelöstes Problem. In der TG 2 stehen zur Zeit 4 verschiedene Methoden zur Diskussion:

- Marshallhammer
- Gyrator-Verdichter
- Plattenverdichter (F)
- Vibrator-Verdichter (UK)

Im Vordergrund steht heute die Einführung des im Rahmen des S.H.R.P. entwickelten amerikanischen Gyrators.

5. MORPHOLOGIE

In mehreren Untersuchungen wurde darauf hingewiesen, dass bituminöse Prüfkörper, trotz gleicher mengenmässiger Zusammensetzung und identischer Qualität der Ausgangsmaterialien, sehr unterschiedliche Eigenschaften haben können. Der bekannteste Unterschied dürfte das verschiedene Verhalten von Marshallkörper und Bohrkern in Laborversuchen (z.B. im einaxialen, statischen Kriechversuch) sein. Die in diesem Versuch ermittelte Steifigkeit S_{mix} kann um Faktor 2 bis 4 verschieden sein, obwohl die Prüfkörper die gleiche Zusammensetzung (Mischgut) und den gleichen Hohlraumgehalt aufwiesen. Da diese Unterschiede mit den bisherigen Labormethoden weder erfassbar, noch erklärbar waren, drängte sich die Entwicklung einer neuen Methode auf. Sie hatte zum Ziel, die Struktur (das Gefüge), oder allgemein formuliert, die Morphologie der bituminösen Prüfkörper zu untersuchen.

Das in der Materialtechnologie bekannte Vakuum-Druck-Verfahren zur Imprägnierung von porösem Material wurde für den Fall der bituminösen Prüfkörper adaptiert. Nach der Imprägnierung mit fluoreszierendem EP-Harz werden die Prüfkörper geschliffen.

Dieses Verfahren erlaubt eine einwandfreie Kontrastierung der Poren. Die Herstellung eines genügenden Kontrastes zwischen Steinen (weiss bis schwarz) und bituminösem Mörtel (schwarz) ist heikel; eine teilweise befriedigende Lösung wurde durch Schleifen und Ätzen mit Flußsäure (HF) gefunden. Die Poren wurden unter UV-Bestrahlung an einem quantitativen Bildanalysator ausgewertet. Die Bestimmung der Orientierung der Mineralkörner wurde an einem Laser-Diffraktometer durchgeführt.

Dank der entwickelten Methode eröffnet sich ein neues Spektrum von Aussagen und Beobachtungen, die dazu dienen können, neue Erkenntnisse auf dem Gebiet des bituminösen Strassenbaues zu gewinnen. Die morphologischen Betrachtungen erlauben Rückschlüsse über Form, Grösse und Verteilung der Poren, Kornorientierungen usw.

Es wurden einige morphologische Kennwerte definiert und in praktischen Beispielen bestimmt. Es konnte festgestellt werden, dass auch bei den morphologischen Parametern, trotz gleichem Mischgut, signifikante Unterschiede zwischen den Verdichtungsarten bestehen. Die Unterschiede in der Steifigkeit S_{mix} können auf diese Weise zum Teil erklärt werden.

Die vor 10 Jahren entwickelte Methode wurde in der Zwischenzeit weder weiterverwendet, noch weiter entwickelt. Eine Fortsetzung der begonnenen Arbeiten wäre zweifellos interessant.

6. SPALTZUGVERSUCH

Der diametrale Druckversuch ermöglicht die Prüfung des Verhaltens eines Probekörpers bei Zugspannung. Die Zugfestigkeit und die Verformung der Probekörper bei verschiedenen Temperaturen liefern wichtige Erkenntnisse, namentlich auch über die Wirkung polymermodifizierter Bindemittel.

Der diametrale Zugversuch kann kraft- oder weggesteuert sowohl an im Labor hergestellten Körpern als auch an Bohrkernen aus der Strasse durchgeführt werden. Er liefert wertvolle Informationen über das Verhalten eines Asphaltbelages speziell im unteren Temperaturbereich. In Anbetracht der verschiedenen Vorteile des diametralen Druckversuches, auch in Bezug auf die Durchführung und Interpretation, sollte geprüft werden, ob er in das Normenwerk, eventuell auch auf europäischer Ebene, aufgenommen werden könnte. Dazu wären aber weitere praktische Erfahrungen sowie die Erarbeitung einheitlicher Verfahrensvorschriften notwendig.

Ende 1984 ist der durch das LAVOC bearbeitete Forschungsauftrag 27/81 veröffentlicht worden, der als Grundlage dienen könnte.

Es muss beachtet werden, dass Höchstwerte der Bruchspannungen bei Temperaturen von -10°C und tiefer festgestellt werden können, bei denen meistens schlagartig ein Sprödbbruch auftritt, der sehr oft auch ein Spalten der grösseren Mineralstoffkörner bewirkt.

7. STATISCHER EINAXIALER KRIECHVERSUCH

Beim einaxialen statischen Kriechversuch werden zylindrische Asphaltprüfkörper in axialer Richtung mit einer konstanten Kraft belastet und die zeitliche Verformung in Belastungsrichtung gemessen. Der Versuch kann zur Bestimmung der Kriechdehnung ϵ , der Steifigkeit S_{mix} , sowie der reversiblen und irreversiblen Anteile an der Gesamtdéhnung verwendet werden. Unter Kriechdehnung wird das Verhältnis der Gesamtverformung δh zur Ursprünglichen Höhe h des Prüfkörpers zu jedem Zeitpunkt während des Versuches verstanden. Der Versuch kann sowohl an im Labor hergestellten Prüfkörpern als auch an Bohrkernen durchgeführt werden.

Der statische Kriechversuch wurde in den 70er Jahren sehr oft angewendet und war in vielen Ländern verbreitet. Am internationalen Kolloquium über die plastische Verformbarkeit von Asphaltmischungen 1977 (ISETH-Mitteilung Nr. 37) wurden die "Empfehlungen für die Durchführung von einaxialen statischen Kriechversuchen an Asphaltprüfkörpern" abgegeben. In der Folge wurden die Versuche nach dieser Empfehlung durchgeführt.

Der statische Kriechtest hat folgende Vorteile:

- er ist relativ einfach in der Durchführung
- kein grosser apparativer Aufwand
- es besteht eine anerkannte Versuchsanleitung
- es können Bohrkerné aus der Strasse verwendet werden
- es besteht ein beachtlicher Erfahrungshintergrund

Trotzdem verlagerte sich das Interesse nach einigen Jahren zu dynamischen Versuchen, bei denen die Beanspruchung des Probekörpers praxisnaher erschien. Bis heute konnte sich keiner dieser neuen Versuche durchsetzen.

In der TG 2 ist der statische einaxiale Kriechversuch im Rahmen der fundamentalen Tests für die bleibende Verformung wieder aufgenommen worden.

Bis eine andere gute Testmethode vorliegt, sollte der statische einaxiale Kriechtest als Lieferant interessanter Informationen über die Spannungs-Verformungs-Beziehungen von Asphalten beibehalten werden.

8. DYNAMISCHE PRÜFVERFAHREN

8.1 Die Rottweiler Hydropusanlage

Im Jahre 1978 wurde am Institut von Prof. Schellenberg ein Prüfgerät

entwickelt, das unter dem Namen "Rottweiler Pulsator" bekannt wurde. Mit diesem Gerät konnten Druck-Schwellversuche mit intermittierend aufgebracht Last gefahren werden. Die Temperierung erfolgte wie beim statischen Kriechversuch im Wasserbad. Um das zukünftige Belagsverhalten besser simulieren zu können, war es notwendig, neben den Druck-Schwellversuchen in der Wärme auch Biegezug-Schwellversuche in der Kälte durchzuführen.

Dies führte im Jahre 1980 zur Entwicklung eines verbesserten Gerätes, der "Rottweiler Hydropulsanlage". Die Prüfpresse in 2-Säulen-Bauweise hat einen unterhalb der starr gelagerten unteren Druckplatte angeordneten Druckzylinder, welcher durch einen Hydropulszylinder hydraulisch betrieben wird. Die Steuerung der Anlage erfolgt elektronisch durch einen Funktionsgenerator, mit welchem wahlweise die Spannungssignale Sinus, Dreieck, Rechteck oder Rampe intermittierend oder kontinuierlich als Belastungsbild gefahren werden können. Die Temperierung der Proben erfolgt in einem zwischen den beiden Säulen der Prüfpresse eingebauten Temperatur-Prüfschrank, dessen Klimaraum oben und unten von den Druckstangen durchfahren wird.

Die "Rottweiler Hydropulsanlage" ermöglicht die Prüfung von Bohrkernen, Marshall-Probekörpern, speziell hergestellten zylindrischen Körpern und Prismen verschiedener Abmessungen.

Es können dynamische Druck-Schwellversuche oder Eindring-Schwellversuche an zylindrischen Körpern oder dynamische Biegezug-Schwellversuche an Prismen durchgeführt werden.

Trotz der Vielseitigkeit dieses Gerätes hat es sich bis heute noch nicht durchgesetzt. An einer Sitzung des Arbeitsausschusses "Prüfung von Asphalt" der deutschen Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen im Dezember 91 wurde eine Forschungsarbeit "Festlegung von einheitlichen Prüf- und Auswertekriterien im dynamischen Druck-Schwellversuch im Hinblick auf die Entwicklung eines standardisierten Prüfgerätes erwähnt, die noch in Arbeit ist. An der gleichen Sitzung wurde auch festgehalten, dass sich die Aktivitäten des Arbeitskreises "Entwicklung von Prüfverfahren" zukünftig auf die Beschaffung eines Bewertungshintergrundes für die Ergebnisse von Druck-Schwellversuchen konzentrieren werden.

8.2 Pulsator

Bei der Firma WALO Bertschinger in Zürich wurde in den 80er Jahren ein in der Funktion der Rottweiler Hydropulsanlage sehr ähnliches aber weiterentwickeltes Gerät gebaut. Ziel der Entwicklung war ein Prüfverfahren, bei dem das zukünftige Belagsverhalten einerseits durch simulierte Verkehrslasten und andererseits gleichzeitig in warmen und kalten Temperaturbereichen untersucht werden kann. Das Verfahren ermöglicht somit bessere Aussagen über das zu erwartende Verhalten von Belägen, als dies die heute üblichen Untersuchungsmethoden zulassen.

Die einzelnen Proben werden geprüft auf:

- Standfestigkeit bei warmen Temperaturen mit dem Druck-Schwellversuch.
- Flexibilität bei tiefen Temperaturen mit dem Biegezug-Schwellversuch.

Wie bei der Rottweiler Hydropulsanlage sind verschiedene Belastungsarten möglich.

Auch beim Pulsator fehlt der Erfahrungshintergrund. In Anbetracht der Tatsache, dass in Deutschland praktisch die gleichen Probleme behandelt werden, wäre ein Erfahrungsaustausch - nicht zuletzt im Sinne der EN-Normierung - sicher sinnvoll.

Als Schlussbemerkung muss festgehalten werden, dass dynamische Versuche sehr teure Anlagen erfordern, die sich - mindestens in nächster Zeit - nur grössere Institute leisten können.

9. ERMÜDUNGSVERHALTEN

9.1 Einleitung

Für das Ermüdungsverhalten bituminöser Beläge bestehen weder in der Schweiz noch in den andern dem CEN angeschlossenen Ländern genormte Testmethoden.

In der TG 2 "Test methods" steht eine französische Testmethode zur Diskussion, die in der Schweiz nur durch das LAVOC angewendet wird.

9.2 Ermüdungsversuch L.C.P.C.

Versuchsprinzip: Durch Anlegen einer periodischen, sinusförmigen Schubkraft an den Kopf eines gleichschenkligen, trapezförmigen Prüfkörpers wird dieser verformt. Die Beanspruchung zerstört das Mineralstoffgerüst.

Die Veränderung des Prüfkörpers wird registriert und Beginn und Ende der Zerstörung erfasst. Die Wiederholung des Versuches mit verschiedenen Amplituden ermöglicht die Berechnung der Neigung und die Aufzeichnung der Ermüdungsgeraden im logarithmischen Massstab sowie die Berechnung der Lebensdauer in Funktion der Zyklen für eine bestimmte Temperaturstufe. Mit derselben Versuchsanordnung kann auch der komplexe Modul bestimmt werden.

Die Herstellung des 250 mm hohen und nur 25 mm dicken Prüfkörpers bereitet einige Schwierigkeiten. Entweder wird er aus einer im Labor mit dem Plattenverdichter hergestellten Platte oder einem aus der Strasse entnommenen Ausbaustück ausgesägt. Die Längsaxe des Körpers sollte parallel zur Axe der Verdichtungsrichtung liegen.

Wie bei andern Versuchen fehlt auch hier ein breiterer Erfahrungshintergrund.

9.3 Prüfkörper Biegeschub axial an Bohrkernen

Das an der EMPA entwickelte Prüfverfahren "Biegeschub axial an Bohrkernen" ermöglicht ein besseres Bestimmen des Ermüdungsverhaltens und der mechanischen Kennwerte von bituminösen Belägen.

Zielsetzung der Prüfung:

Bestimmen der mechanischen Kennwerte und des Ermüdungsverhaltens.

Idee der Prüfung

Simulation einer rotationssymmetrischen Beanspruchung, wie sie lokal durch Radeinwirkung näherungsweise erzeugt wird.

Bestimmen der mechanischen Kennwerte

Durch Anlegen einer periodischen, sinusförmigen Schubkraft an einen Bohrkern wird dieser verformt und damit der komplexe Schubmodul mit- samt dem elastischen und viskosen Anteil und der Phasenverschiebung in Abhängigkeit von Temperatur und Frequenz bestimmt. Die angewendeten Kräfte werden niedrig gehalten, damit das Gerüst der Mineralstoffe nicht zerstört wird und die Berechnungsmodelle der Viskoelastizitätstheorie angewendet werden können.

Bestimmen des Ermüdungsverhaltens

Das Ermüdungsverhalten wird im hohen Temperaturbereich bestimmt, wobei das Mineralstoffgerüst zerstört wird. Die Veränderung des Prüfkörpers wird verfolgt und Beginn und Ende der Zerstörung des Mineralstoffgerüsts werden erfasst. Die Interpretation stützt sich auf die Erfahrung mit dieser Prüfung.

Prüfkörperdimensionen:

Es können Bohrkern mit einem Durchmesser von 140 bis 148 mm und Höhen von 30 bis 80 mm untersucht werden. Die maximale Korngrösse beträgt 16 mm, in vergleichenden Untersuchungen 22 mm.

Prinzip der Untersuchung:

Methode des Bestimmens komplexer Schubmoduln

Der im Aussenzylinder angeleimte Bohrkern (Simulation der Plattenwirkung der Fahrbahn) wird durch eine über den zentralen Metallkern (Simulation der Radlast) von 45 mm Durchmesser in axialer Richtung wirkende sinusförmige Belastung verformt. Die dabei angewandte Kraft und die sich ergebende Verformung werden gemessen und daraus komplexe, elastische und viskose Schubmoduln bestimmt. Die Prüfung beginnt normalerweise bei einer Temperatur von -5 °C, die in der Folge stufenweise um 5 °C erhöht wird. Bei jeder Temperaturstufe wird das Frequenzspektrum von 0.125 bis 16 Hz ausgemessen.

Bestimmen des Ermüdungsverhaltens

Der Bohrkern wird durch eine über den zentralen Metallkern wirkende, mit 0.25 Hz schwingende Belastung verformt und dabei sukzessive zerstört. Die Mittellage des Schwingweges des zentralen Metallkerns

wird beibehalten und die Zerstörung durch eine einseitige Belastung vermieden. Die Kraft wird gemäss einer sinusförmigen Sollkurve geregelt. Der Sollwert der Kraftamplitude wird proportional zur Höhe des Prüfkörpers festgelegt. Ein Einfluss dieser Höhe auf das Resultat der Ermüdungsprüfung wird somit vermieden. Die sich ergebende Verformung wird gemessen und in Bezug auf die relative Verformungsgeschwindigkeit (sinusförmig = 1.0) beim Durchgang durch die Mittellage sowie bezüglich Phasenverschiebung zur Kraft analysiert.

Aussagen:

Moduln und Phasenverschiebung

Die ermittelten Werte können für mechanische Berechnungen verwendet werden. Die graphische Darstellung ermöglicht das Klassieren der Materialien nach ihren rheologischen Eigenschaften. Ein im Bereich hoher Temperaturen und tiefer Frequenzen linear abfallender Schubmodul deutet auf weitgehend viskoses Verhalten hin. Flache, im Bereich hoher Frequenzen wieder mehr horizontal verlaufende Kurvenäste weisen dagegen auf eine bei hohen Temperaturen verbleibendes elastisches Verhalten hin.

Ermüdung

Der anfänglich raschen, teilweise reversiblen Abnahme des komplexen Schubmoduls folgt eine Periode relativer Stabilität. Dann beginnt eine erst langsame, sich aber beschleunigende Zerstörung. Die maximale Phasenverschiebung zwischen Weg und Kraft zeigt den Beginn der beschleunigten Zerstörung an. Mit dem Maximum der Phasenverschiebung fällt die erste messbar vergrösserte relative Verformungsgeschwindigkeit zusammen. Dies ist der Moment, wo die Veränderung des Mineralstoffgemisches sich deutlich auf die Eigenschaften des Materials auszuwirken beginnt.

Die relative Verformungsgeschwindigkeit nimmt zuerst allmählich zu, um dann rascher anzuwachsen. Die Verformungskurve geht dabei angenähert von der sinusförmigen in eine rechteckförmige Kurve über, wobei die Verformungsgeschwindigkeit sich einem Grenzwert nähert, gleichzeitig aber stark zu streuen beginnt. Dies ist der Moment, wo innerhalb einer mantelförmigen Fläche des Bohrkernes das Mineralstoffgerüst zerstört ist.

Die Zyklenzahl bis zum Beginn einer nennenswerten und bis zur völligen Zerstörung des Mineralstoffgerüsts in einem Teil des Bohrkernes korrelieren gut miteinander. Sie sind vor allem für den Vergleich verschiedenartiger Materialien gut geeignet.

Weiteres Vorgehen:

Die Prüfung kann nur von der EMPA angewendet werden, die Erfahrungen damit sammelt. Zugleich wird eine verbesserte theoretische Untermauerung durch weitere Untersuchungen angestrebt.

Es wäre ideal, wenn eine Korrelation mit einfacher durchzuführenden Prüfungen gefunden werden könnte, die den grossen apparativen Aufwand nicht benötigen.

9.4 Die 4-Punkt-Biegung

Die CEN TC 227 WG 1/TG 2 sucht einen geeigneten Ermüdungsversuch, der in die europäischen Normen eingeführt werden könnte. Die VSS SK 271/10 erachtet den zur Diskussion stehenden französischen Vorschlag nach L.C.P.C. in Anbetracht der Schwierigkeit der Herstellung der trapezoidalen Prüfkörper als nicht vorteilhaft.

Die SK 10 schlägt als Alternative die 4-Punkt-Biegung vor. Diese Methode ermöglicht die Verwendung von Prüfkörpern in Prismenform, die etwas einfacher herzustellen sind.

Die Durchführung der Prüfung unter Wechsellast ermöglicht die Beurteilung des Ermüdungsverhaltens und die Bestimmung des komplexen Schubmoduls. Für eine verbreitetere Anwendung müsste eine einheitliche Prüfvorrichtung hergestellt werden, da die Einspannung der Prüfkörper nicht ganz unproblematisch ist.

Die Prüfung kann sicher bei der EMPA sowie im LAVOC durchgeführt werden. Auch die Hydropulsanlage und der Pulsator sind mit geeigneten Einbauten verwendbar. Es ist auch denkbar, dass das Prüfverfahren in kleineren Laboratorien angewendet werden könnte, wenn es gelingt, eine etwas kostengünstigere Prüfmaschine zu entwickeln. Der Versuch ist vor allem in den Niederlanden bekannt. Bei uns fehlen praxisrelevante Erfahrungswerte.

10. RELAXATIONSVERHALTEN VON ASPHALT

Seit mindestens 15 Jahren wird das Verhalten von Asphalten mittels der sogenannten rheologischen Modelle beschrieben.

Die bekannten Grundmodelle sind der "Hookesche Körper", der "Newton-Körper" und der "St.Venant-Körper".

Die Rheologie bietet den Vorteil, dass das Verhalten eines Werkstoffes durch Kombination der rheologischen Modelle beschrieben werden kann. So ergibt sich zum Beispiel bei der Reihenschaltung der Grundmodelle Newton und Hooke der nach ihrem Urheber benannte Maxwell-Körper. An ihm, beziehungsweise an der aufgestellten Gleichung, können die Folgen eines Zugversuches untersucht werden. Wenn man an dem Reihenmodell zieht, erzeugt man eine Spannung, die aber in beiden Elementen zu unterschiedlichen Verformungen führt: Die Feder dehnt sich aus, der Kolben bleibt zunächst stehen. Durch die nachfolgende Bewegung des Kolbens im Newton-Körper in Zugrichtung geht die Feder des Hookeschen Körpers in ihrer Auslenkung zurück, das heisst die Spannung wird abgebaut.

Dieser Vorgang wird in der Rheologie als Relaxation verstanden. Formelmässig geht es um die Lösung einer Differentialgleichung.

Mittels der Parameter Hooke und Newton kann ein Asphalt jedoch nicht hinreichend charakterisiert werden. Gegenwärtig stehen (in Deutschland) zwei Varianten zur Diskussion: Die "open-end"-Kombinatorik kombiniert die drei Grundmodelle in allen Möglichkeiten so lange, bis das rechnerische Werkstoffverhalten der durch Beobachtung im

Versuch erhaltenen Verformungskurve ausreichend entspricht. Die zweite Möglichkeit ist die, mehrere Maxwell-Modelle hintereinander zu hängen. Die Lösung beider Systeme ist sehr kompliziert und nur noch mit einem leistungsfähigen Computer möglich. Es werden die Relaxationskurve und die Relaxationszeit definiert. Beide sind Funktionen der ihrerseits temperaturabhängigen Viskosität. Die Zähigkeit wächst mit dem Abkühlen und damit wächst auch die Relaxationszeit.

Die Asphalttechnik nützt diesen Umstand beim Verdichten einer frisch eingebauten Schicht: Der Asphalt relaxiert bei hoher Temperatur so schnell, dass die aus der Formänderung beim Walzübergang resultierende Spannung sofort wieder abgebaut wird und die Verformung wunschgemäß erhalten bleibt - der Asphalt wurde verdichtet. Auch bei Gebrauchstemperaturen wird die Relaxationsfähigkeit des Asphaltes benötigt, wenn beispielsweise Untergrundverformungen rissfrei aufgenommen werden. In der Kälte wird die Relaxation einzig und allein benötigt, um die thermisch bedingten Zwängsspannungen des Asphaltes abzubauen. Bei sehr tiefen Temperaturen kann der Fall eintreten, dass das Relaxationsvermögen nicht mehr reicht und damit Risse entstehen.

In der Praxis werden zusätzliche Spannungen durch den Verkehr erzeugt. Die Entstehung von Kälterissen kann dadurch begünstigt werden, dass die aufnehmbare Zugspannung zum Teil bereits von den kryogenen Spannungen in Anspruch genommen worden ist, so dass die Ueberlagerung mit den mechanogenen Spannungen zur Ueberschreitung der Zugfestigkeit führt.

Man muss das Relaxationsverhalten kennen, wenn man es beurteilen will. Dazu müssen Versuchsergebnisse zur Verfügung stehen, die zumindest eine Antwort auf die Fragen erlauben:

- ist das vorliegende Material geeignet?
- wie verhält sich das Material im Vergleich zu einer anderen oder bekannten Variante?

Die Antwort auf derartige Fragen erhält man beispielsweise aus Versuchen, bei denen der Verlauf des Spannungsabbaus bei verschiedenen Temperaturen in Abhängigkeit von der Zeit gemessen wird.

Wünschenswert wäre eine Einbettung derartiger Versuchsergebnisse in einen praxisrelevanten Bewertungshintergrund. Dieser könnte mit vertretbaren Mitteln durch eine verbreitete Anwendung des Verfahrens in Verbindung mit einer EDV-gerechten Datensammlung geschaffen werden.

11. KÄLTEVERHALTEN

11.1 Definition

Unter dem Begriff "Kälteverhalten" wird die Erfassung der Eigenschaften von Bindemitteln und Asphalten bei tiefen Temperaturen verstanden. Den schweizerischen Witterungsverhältnissen entsprechend, gelten Temperaturen im Bereich von - 10 bis - 20 °C als tief. Diverse Prüfverfahren im Temperaturbereich von 0 bis + 10 °C werden vor

allem im Ausland ebenfalls für die Prüfung der sogenannten Kälteeigenschaften herangezogen. es ist daher von Bedeutung, den Begriff "Kälteeigenschaften" genauer zu definieren. Basierend auf den bisher für diesen Zweck eingesetzten Versuchsanordnungen werden Kälteeigenschaften wie folgt definiert:

Eigenschaften eines Bitumens oder Asphaltes
bei Temperaturen unter $- 10^{\circ}\text{C}$.

11.2 Stand des Wissens

11.2.1 Normierte oder eingeführte Verfahren

Für die Prüfung des Kälteverhaltens von Asphalten eignet sich der unter Zif. 6 behandelte Spaltzugversuch recht gut.
Es sind aber die folgenden Nachteile zu beachten:

- Der Einfluss des Hohlraumgehaltes auf die Untersuchungsergebnisse bei tiefen Temperaturen ist relativ gross. Beim relativen Vergleich unterschiedlicher Rezepturen beeinflusst der Hohlraumgehalt das Kälteverhalten in hohem Masse.
- Die erwiesenermassen bestehenden Vorteile der Polymerbitumen bei tiefen Temperaturen werden durch den Spaltzugversuch nicht erfasst.

11.2.2 Bekannte Verfahren

Der unter Zif. 9.2 vorgestellte Ermüdungsversuch des L.C.P.C. ist in Frankreich standardisiert. Bei einer Prüftemperatur von $- 10^{\circ}\text{C}$ kann er als Kälteversuch bezeichnet werden.
In Anbetracht der beschriebenen aufwendigen Herstellung der Probekörper eignet sich dieser Versuch lediglich für Forschungszwecke.

An der TU Braunschweig sind Geräte für die Durchführung von Kälte-Kontraktions- und Kälte-Relaxations-Versuche entwickelt worden. Damit ist es sehr gut möglich, das Verhalten von Asphalten und Bindemitteln unter temperaturindizierten Spannungen zu erfassen. Es wurden wesentliche Erkenntnisse gewonnen. Die Versuchsanordnung eignet sich jedoch nicht zu Kontrollzwecken.

Verschiedene Labors haben dynamische Dreipunkte- und eventuell auch Vierpunkte-Biegezugversuche an Asphaltprüfkörpern bei tiefen Temperaturen standardisiert.

12. ERWEITERTE MECHANISCHE PRÜFUNGEN ZUR OPTIMIERUNG UND BEWERTUNG VON GUSSASPHALT

12.1 Einleitung

Konzeption, Anforderungen und Ausführung von Gussasphalt und Mastix sind in der Schweiz in der Norm SN 640 440 a festgehalten. Die Eignungsprüfung für Gussasphalt umfasst die Korngrössenverteilung, den löslichen Bindemittelanteil, die Dichte, die Rohdichte der Probewürfel sowie die Eindringtiefe. Die Eindringtiefe wird nach DIN 1996, Teil 13 geprüft und bewertet. Die Vorschrift enthält die Abmessungen der Prüfkörper, die Prüftemperatur, die Auflagefläche des Stempels und die aufzubringende Last. In Abweichung zur DIN 1996 ist zum Ermitteln der Eindringtiefe eine kontinuierlich registrierende Messvorrichtung zwingend vorgeschrieben und die Resultate der Eindringtiefen ≤ 3 mm sowie der Zunahme der Eindringtiefen zwischen einer halben und einer Stunde sind auf 0.005 mm gerundet anzugeben.

Trotzdem genügt der Eindringversuch kaum zur Erfassung des mechanischen Verhaltens eines Gussasphaltes. Ausserdem ist der Eindringversuch gemäss DIN nach deutschen Untersuchungen mit einem relativ grossen Prüffehler behaftet. Als Präzision unter Vergleichsbedingungen ist bei der Ermittlung eines Ergebnisses, im Eindringtiefenbereich von 1 - 6 mm, ein Vertrauensbereich von ± 39 % vom Zahlenwert des Ergebnisses zu berücksichtigen.

12.2 Alternative Prüfmethoden

In Anbetracht der vorerwähnten Vorbehalte wird seit einiger Zeit versucht, das Verhalten von Gussasphalt mit ergänzenden Testmethoden zu prüfen.

Neben den in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen aufwendigen Methoden zur Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Asphalt, wie zum Beispiel:

- Druck-Schwell-Versuche
- Tieftemperaturversuche usw.

die sich selbstverständlich auch für Gussasphalt eignen würden, wird zum Beispiel im Berliner Institut für Baustoffprüfungen GmbH & Co KG seit drei Jahrzehnten ein Ueberprüfungssystem bei der Optimierung und Bewertung von Gussasphalten angewandt, das sich im Wesentlichen aus der Kombination zweier Prüfverfahren zusammensetzt.

Es handelt sich um die Bestimmung der Würfeldruckfestigkeit und der Biegezugfestigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen.

Würfeldruckfestigkeit:

Es handelt sich hier um einen einaxialen Druckversuch. Wegen des umfangreichen vorliegenden Erfahrungsmaterials bei 22 °C wird die Prüfung bei dieser Temperatur durchgeführt.

Biegezugfestigkeit:

Die Biegezugfestigkeit wird in Anlehnung an die Prüfung von Zementprismen an Prismen 4x4x16 cm durchgeführt.

Die Biegezugprüfung erfolgt bei den Temperaturen 22 °C und 0 °C, in speziellen Fällen auch bei - 15 °C.

Aufzeichnung und Auswertung der Messergebnisse

Die Höchstkraft F_{MAX} beim Druckversuch sowie die Bruchkraft P beim Biegezugversuch werden durch kontinuierlich registrierende Messvorrichtungen, die auch die Deformation aufzeichnen, erfasst.

Die so erhaltenen Messergebnisse liefern neben der Stempelleindringtiefe zusätzliche Angaben für die Bewertung der Gussasphalteigenschaften:

- | | |
|--|---------|
| - Würfeldruckfestigkeit bei
und entsprechende Deformation | 22 °C |
| - Biegezugfestigkeit bei
und entsprechende Durchbiegung | 22 °C |
| - Biegezugfestigkeit bei
und entsprechende Durchbiegung | 0 °C |
| - Biegezugfestigkeit bei
und entsprechende Durchbiegung | - 15 °C |

Ueber 20'000 Kontrollprüfungen, viele Eignungsprüfungen, Schadenuntersuchungen und Forschungsarbeiten ermöglichten die Erarbeitung von Erfahrungsbereichen, in denen sich die vorgenannten Ergebnisse bewegen müssen, um einen einerseits standfesten und andererseits ausreichend rissicheren Gussasphalt zu erhalten.

Ein Teil dieser Erfahrungsbereiche ist nach Massgabe der Berliner Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen seit 1979 bei Eignungsprüfungen für den Autobahnbau zu berücksichtigen und bei Kontrollprüfungen festzustellen.

Es handelt sich um folgende Erfahrungsbereiche:

Würfeldruckfestigkeit bei 22 °C [N/mm ²]	4 - 8
Biegezugfestigkeit bei 22 °C [N/mm ²]	3 - 7
Durchbiegung bei der Biege- zugfestigkeit bei 22 °C [mm]	≥ 0.3
Quotient Q I aus Biegezug- und Würfeldruckfestigkeit bei 22 °C	0.8 - 1.0

Quotient Q II aus Biegezugfestigkeit
bei 22 °C und Biegezugfestigkeit bei 0 °C ≤ 0.6

Die aus langjähriger Erfahrung erarbeiteten Sollbereiche als Ergänzung zur Eindringtiefe könnten eventuell auch für schweizerische Verhältnisse nützlich sein. Eine Prüfung würde sich sicher lohnen.

Im übrigen wird seit Jahren eine Methode zur schnelleren Untersuchung des Mischgutes gesucht.

13. RADIOMETRISCHE DICHTEMESSUNG

13.1 Einleitung

Seit einigen Jahren werden Isotopensonnen für die Bestimmung der Rohdichte, bzw. der Verdichtung im bituminösen Belagsbau verwendet. In einigen Ländern, zum Beispiel in Oesterreich, ist die radiometrische Messung für die Abnahme zugelassen. In der Schweiz fehlen offenbar breitgestreute Erfahrungen im Asphaltstrassenbau. Im Erdbau dagegen hat die Isotopensonde als Feldgerät für die Messung der Feuchtdichte und des Wassergehaltes in den Normen Aufnahme gefunden; SN 670 335 a, "Dichte des Bodens".

Im Zusammenhang mit dem Erscheinen verbesserter sogenannter Dünn-schichtsonden sollte die Eignung des Verfahrens geprüft werden.

13.2 Ausgangslage

Im Asphaltstrassenbau wird sowohl nach SN 641 431 a als auch nach DIN 1996 die Marshall-Rohdichte gleich 100 % Verdichtungsgrad gesetzt. Die Ist-Rohdichte der verdichteten Asphalt-schicht wird entweder am Bohrkern oder zerstörungsfrei nach dem radiometrischen Verfahren vor Ort bestimmt. Der Verdichtungsgrad ist der Quotient aus der Ist-Rohdichte und der Marshall-Rohdichte. Aus der Sicht des Auftraggebers wie des Auftragnehmers ist es wichtig, die geleistete Verdichtungsarbeit möglichst schnell und engmaschig zu überprüfen. Die herkömmliche Methode mittels Bohrkernen ist umständlich und sehr zeitraubend. Deshalb bietet sich hier das radiometrische Verfahren an.

13.3 Messmethode

Die Messung erfolgt mittels radioaktiver Isotope, die im Zuge ihres Verfalls Gammastrahlen aussenden. Ueblicherweise kommt hierbei

Cäsium-137 in ungeschlossener Form zur Anwendung. Gammastrahlen sind eine Form von elektromagnetischer Strahlung, ähnlich wie Röntgenstrahlung, jedoch viel kurzwelliger und energiereicher.

Für die Bestimmung der Rohdichte werden die Gammastrahlen nach dem Prinzip der Compton-Streuung und der Fotoabsorption verwendet. Die Strahlung wird auf ihrem Wege bei der Durchdringung der Materie, zum Beispiel Asphaltbeton, bis hin zum Detektor, dem Geiger-Müller - Zählrohr, durch Paarbildungseffekte, Streuprozesse und Absorption um einen Betrag geschwächt, der von der Massendichte (Asphalte), von der Weglänge (durchstrahlte Dicke) und vom Energiespektrum der primären Strahlung abhängt. Die Zählrate der pro Zeiteinheit am Detektor eintreffenden Gammaquanten ist bei fixierten geometrischen Verhältnissen und bei Verwendung einer bestimmten konstanten Strahlenquelle ein Mass für die Dichte des durchstrahlten Mediums. Sie ist umgekehrt proportional zur Dichte des zu messenden Materials.

13.4 Die Dünnschichtsonde

Die seit einigen Jahren auf dem Markt erhältlichen sogenannten Dünnschichtsonden haben eine neue Art der Auswertung der Zählraten der einzelnen Detektoren, das heisst des Strahlenausganges aus dem Gerät. Sie sind so konzipiert, dass Dünnschichtbeläge von 2.5 bis 6.3 cm Dicke, in mm-Stufen einstellbar, exakt gemessen werden können ohne eine Korrektur für die Rohdichte der darunter liegenden Schicht vornehmen zu müssen.

Trotzdem empfiehlt sich zu Beginn eines Einbaus der Vergleich mit gravimetrischen Untersuchungen an Bohrkernen, zur Ermittlung eines eventuellen Korrekturfaktors, wenn die Messungen für die Abnahme dienen sollen.

13.5 Weitere Entwicklung

Eine neuere Entwicklung ist eine an der Walze montierte Sonde. Das Gerät ermittelt kontinuierlich während des Walzens die Rohdichte und vergleicht die Messwerte mit dem vorgegebenen Sollwert. Die Anzeige erfolgt im Blickfeld des Walzenführers auf dem Fahrerstand. Dieses System dürfte sich nur bei grossen Einbaulosen und bei Einsatz von Hochleistungs-Verdichtungsgeräten lohnen.

14. MESSUNG DER EBENHEIT

14.1 Einleitung

Im VSS-Normenwerk wird die Ebenheit in zwei Normen behandelt. In der SN 640 520 a aus dem Jahre 1977 ist festgehalten:

"Die Ebenheit ist eine Fahrbahneigenschaft, die entscheidend für den Fahrkomfort und von Einfluss auf die Fahrsicherheit und die Lebensdauer der Beläge ist. Sie ist eine Funktion der geometrischen Beschaffenheit der Fahrbahn, wobei die Belagstextur nicht zu berücksichtigen ist. Es wird zwischen Ebenheit in Längsrichtung und Ebenheit in Querrichtung unterschieden. Für die Verkehrssicherheit ist vor allem die Ebenheit in der Querrichtung massgebend". Diese Aussage hat heute noch uneingeschränkte Gültigkeit.

Die Norm definiert als "wahres Profil" einen Längs- oder Querschnitt durch die vorhandene Oberfläche und als "theoretisches Profil" das ursprünglich projektierte oder später festgelegte Belagsprofil.

14.2 Ebenheit in Längsrichtung

Für die Prüfung der Ebenheit in Längsrichtung wird das theoretische Profil durch eine das wahre Profil ausmittelnde Linie ersetzt; diese wird Bezugslinie genannt. Differenzen zwischen der Bezugslinie und dem wahren Profil werden als Unebenheiten bezeichnet.

Zur Beurteilung der Ebenheit dienen zwei Kennwerte:

- Als W - Wert wird der Winkel zweier benachbarter, an das wahre Profil gelegter Sehnen von 1 m Länge definiert.
- Der sw - Wert ist die Standardabweichung der W- Werte über eine Messlänge von 250 m.

Die SN 640 521 a enthält die in Funktion der Ausbaugeschwindigkeit festgelegten Abnahme- und Grenzwerte.

Als Messgeräte nennt die Norm zwei Winkelmessgeräte, den "Goniograph" und den "Winkelmesser ISETH". Beide Geräte liefern als Resultat ein Messdiagramm, dessen Auswertung recht zeitraubend und mühsam ist.

Deshalb entwickelte das ISETH schon bald ein besseres Gerät, das die Messung bei 80 km/h erlaubt und auch schon die Auswertung liefern kann.

Moderner ist das ARAN- Fahrzeug der Viaconsult, bei dem die Anzeige des sw - Wertes als Ergebnis möglich ist.

Beide Geräte sind in der Norm nicht enthalten.

Für kleinere Strecken und als schnelle Kontrolle ist der Goniograph noch immer geeignet. In Genf ist eine Modifikation des Gerätes mit elektronischer Winkelmessung entwickelt worden. Dieses Gerät zeigt den W - Wert auf einer Digitalanzeige auf und kann auf Abruf, mittels eines eingebauten Mikroprozessors, auch den sw - Wert berechnen. Leider ist das Gerät, das sowohl das Messdiagramm als auch das Messresultat einer beliebigen Strecke liefert, nie über den Stand eines zwar funktionierenden - Prototyps hinausgekommen.

Oft ist eine schnelle Messung kurzer Strecken, als Entscheidungsgrundlage für eine eventuelle Sanierung oder zur Prüfung eines neu eingebauten Strassenabschnittes gefragt. Eine Weiterentwicklung zu einem kostengünstigen serienreifen Gerät sollte vorangetrieben werden.

14.3 Ebenheit in Querrichtung

Für die Prüfung der Ebenheit in Querrichtung wird das wahre Profil aufgenommen, oder es wird die Abweichung unter einer Latte gemessen. Es sind zwei Kennwerte festgelegt:

- Der T - Wert stellt die Muldentiefe gegenüber der Verbindungslinie der höchsten Punkte inner halb einer Messlänge von 4 m dar.
- Der t - Wert stellt die Muldentiefe gegenüber dem Horizont dar (theoretische Wassertiefe).

Zur Messung wird meistens das Planum verwendet, das eine graphische Darstellung des wahren Profils liefert. Dieses Gerät ist einfach in der Handhabung und billig, ermöglicht aber keine kontinuierliche Messung und verursacht eine kurzzeitige Behinderung des Verkehrs auf einem Strassenstück.

Es wurde deshalb nach einer Methode gesucht, die eine kontinuierliche Messung ohne Beeinträchtigung des Verkehrs ermöglicht. Al vorteilhaft erwiesen sich optische Methoden, die keinen mechanischen Kontakt mit der Oberfläche benötigen.

An der ETH Lausanne wurde das Moiré-Projektionsverfahren entwickelt. Im Dezember 1987 wurde der Forschungsauftrag 9/84 "Anwendung des Projektionsmoiré-Prinzips bei fortlaufender Untersuchung der Fahrbahn" veröffentlicht.

Das Verfahren hat sich bei über 1000 km Autobahn bewährt und ist ein ausgezeichnetes Mittel zur Beurteilung einer Fahrbahn.

Im November 1988 hat die Viaconsult ihr ARAN-Fahrzeug vorgestellt, das mittels Sensoren, die auf einem Querbalken montiert sind, eine berührungslose Abstandsmessung ermöglicht. Aus dem Resultat der Messung ergibt sich die Aufzeichnung des Querprofils.

14.4 Schlussbemerkung

Die heute noch gültigen Normen stammen aus dem Jahre 1977. Die darin enthaltene Definition der Ebenheit hat noch immer ihre Gültigkeit. Die neu entwickelten Messverfahren haben aber bis heute keine Aufnahme in die Normen gefunden.

Die Möglichkeit einer Normierung sollte geprüft werden.

C. FORSCHUNGSKONZEPT

Im Kapitel "B" ist eine Reihe von Wissenslücken aufgezeigt, die heute aktuell, morgen aber vielleicht schon überholt sein wird.

Zur Zeit ist eine sehr schnelle Entwicklung im Gang, einerseits infolge der Schaffung europäischer Normen im Rahmen des CEN, andererseits infolge der laufenden Forschungsarbeiten des SHRP. Es wird deshalb unumgänglich sein, die im Rahmen des vorliegenden Forschungsauftrages zusammengestellte Liste häufig aufzuarbeiten.

Im folgenden Forschungskonzept handelt es sich zum Teil nicht um absolut neue Forschungsrichtungen, sondern um:

- Aktualisierung früherer schweizerischer Forschungsaufträge, die keine Aufnahme ins Normenwerk gefunden haben.
- Ergebnisse ausländischer Forschungsarbeiten ohne entsprechende schweizerische Erfahrungswerte.
- Laufende ausländische Forschungsarbeiten im Rahmen von CEN, SHRP und RILEM.

I. Bindemittel

1. MOLEKULARMODELLE

Zur Zeit bestehen mehrere Modelle, die das Verhalten von Bindemitteln umschreiben. Es geht darum abzuklären, welches Modell auf die einzelnen Sorten zutrifft. Möglicherweise kann mit einem bestimmten Modell das Verhalten einer Bindemittelart, (z.B. Emulsion), besser erklärt werden.

In diesem Zusammenhang sind neue Methoden zu entwickeln. (siehe Zif. B. I. 13.)

2. ALTERUNG

Die Bindemittel werden labortechnisch lediglich auf die Verhärtung untersucht. Künstliche Verhärtung (RTFOT, DIN). Es können jedoch keine Aussagen in Bezug auf die Langzeitalterung eines Bindemittels gemacht werden. Eventuell bietet SHRP mit dem PAV eine Möglichkeit.

3. ABBINDEVERHALTEN

Der Zeitbedarf in Funktion der Temperatur für das Abbinden (nicht nur Brechen) einer Emulsion oder eines Heissbindemittels kann nicht erfasst werden.

Mit dem Brechverhalten im Mischversuch nach SN 671 786 wird nur das Brechen in Funktion der Zeit untersucht.

4. RECYCLING

4.1 Verjüngung

Im Zusammenhang mit dem Recycling werden oft sogenannte Verjüngungsmittel eingesetzt. Es fehlen aber Spezifikationen und Anwendungsempfehlungen.

Es fehlen Möglichkeiten, um die Wirkung im Belag zu beurteilen, da bei den heute bekannten Verfahren altes und neues Bindemittel im Labor homogenisiert werden.

Die molekulare Zusammensetzung und das Alterungsverhalten sind nicht bekannt.

4.2 Erkennung von Teer

Die praxisgerechte Erfassung von Teer in Asphalten, (qualitativ und quantitativ) ist nicht gelöst. Insbesondere fehlen Beurteilungsgrundlagen (Anteil Teer im Asphalt, Gesamtgehalt PAK und eluierbare PAK).

4.3 Wiederverwendung von teerhaltigem Asphalt

Es fehlen Anwendungsempfehlungen und Grenzwerte für die verschiedenen Aufbereitungsmöglichkeiten, (Recycling im Kaltverfahren) sowie für die verschiedenen Einsatzgebiete, (Tragschichten, Foundationen, Deckbeläge).

4.4 Wiederverwendung von Asphalten mit PMB oder Zusatzstoffen

Abzuklären ist die Umweltbelastung. Es stellt sich die Frage: Bleiben die besonderen Eigenschaften der PMB bei Wiederverwendung erhalten?

5. RHEOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN

Die in den Kapiteln B. I. 6. bis 10. beschriebenen Prüfungen und Eigenschaften werden unter dem Begriff "rheologische Eigenschaften" zusammengefasst:

- Elastische Eigenschaften
- Viskosität
- Kälteverhalten

Die Grundlagenforschung in der Rheologie ist heute sehr weit fortgeschritten, so dass keine wesentlichen Wissenslücken bestehen. Was dagegen fehlt, ist die Uebertragung der Erkenntnisse in die Praxis. Der Beurteilungshintergrund fehlt, das heisst es können keine Anforderungen und Grenzwerte an das Bindemittel formuliert werden. Insbesondere fehlt der Zusammenhang zwischen den rheologischen Eigenschaften des Bindemittels und dem Verhalten des Mischgutes in der Praxis.

Erwünscht wären Versuche mit einfacherem apparativem Aufwand sowie kleinerem Zeitbedarf.

Zur Zeit sind einige Verfahren in der Entwicklungsphase, andere weisen bereits ein gewisses Erfahrungspotential auf.

5.1 Elastische Eigenschaften

Zur Erfassung der elastischen Eigenschaften wurden mehrere Versuche entwickelt; durchgesetzt hat sich die elastische Rückstellung im Duktilometer (Halbfadenmethode). Dieser Versuch dient vor allem zur Abgrenzung der PMB gegenüber den nicht modifizierten Bitumen. Er gibt jedoch wenig Möglichkeiten, innerhalb elastomer-modifizierten Bindemitteln zu unterscheiden.

5.2 Viskosität

Am Konzept der dynamischen Viskosität sollte festgehalten werden. Die heute geltende Norm SN 671 722 a enthält nur das koaxiale Messsystem, sowie Hinweise auf die Prüfung nicht modifizierter Bitumen. Eine Ergänzung mit dem einfacheren Kegel/Platte-System wäre erwünscht. Auch sollte die Viskositätsmessung für PMB standardisiert werden.

5.3 Kälteverhalten

Eine befriedigende Alternative zum normierten Brechversuch nach Fraass ist aus bekannten Gründen (siehe Abschnitt B I, 9.2) immer noch gesucht.

6. VERHALTEN GEGENÜBER WASSER (HAFTVERHALTEN)

Die quantitative Erfassung des Haftverhaltens ist heute noch, auch im Ausland, ein ungelöstes Problem.

7. OELRESISTENZ

Nach dem Wegfall des Teers muss ein Ersatzbindemittel mit ebenso guten Eigenschaften in Bezug auf Oelresistenz gefunden werden. (siehe Abschnitt B I, 15.4)

In der Tabelle Seite 53 sind die Wissenslücken bei den verschiedenen Bindemittelarten zusammengefasst.

Tabelle 1, Bindemittel

WISSENSLÜCKEN	Bitumen normal	PMB	PMOB	Emul- sionen
1. Molekularmodelle	x	x	x	x
2. Alterung	x	x	x	x
3. Abbindeverhalten			x	x
4. Recycling				
4.1 Verjüngung	x	x		
4.2 Erkennung von Teer	x		x	x
4.3 Wiederverwendung von teerhaltigem Asphalt	x		x	x
4.4 Wiederverwendung von Asphalt mit PMB oder Zusätzen		x	x	
5. Rheologische Eigenschaften				
5.1 Elastische Eigenschaften		x	x	
5.2 Viskosität	x	x	x	(x)
5.3 Kälteverhalten	x	x	x	x
6. Verhalten gegenüber Wasser	x	x	x	x
7. Oelresistenz	x	(x)		x

II. Mischgut und Beläge

1. HERSTELLUNG VON PRÜFKÖRPERN

Die Marshallprüfung genügt heute (noch) als Grundlage zur Berechnung des Verdichtungsgrades.

Die Herstellung repräsentativer Probekörper für mechanische Prüfungen ist ein ungelöstes Problem.

2. MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN IN DER WÄRME

2.1 Walzasphalt

Die heute noch gültigen Marshall-Kennwerte genügen nicht zur Beurteilung der Eigenschaften eines Belages in der Wärme. Es stehen verschiedene Alternativen zur Diskussion:

- Spaltzugversuch
- Einaxialer statischer Kriechtest
- Dynamischer Kriechtest (Hydropulsanlage, Pulsator)

Es existieren verschiedene Forschungsarbeiten, jedoch noch keine Norm.

2.2 Gussasphalt

Für Gussasphalt gibt es nur einen normierten Versuch: Die Stempel-eindringtiefe nach DIN 1996. Dieser Versuch genügt kaum zur Erfassung des mechanischen Verhaltens eines Gussasphaltes. Er sollte durch eine Methode mit höherer Aussagekraft (Reproduzierbarkeit, signifikante Unterschiede) ersetzt oder ergänzt werden.

3. MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN IN DER KÄLTE

3.1 Bruchversuche

Verschiedene Bruchversuche stehen zur Diskussion:

- Spaltzug
- Biegezug
- Direkter Zug

Es gibt verschiedene nationale Standards. In der Schweiz gibt es Resultate von Forschungsaufträgen, jedoch keine Norm.

3.2 Kontraktionsversuche

Vor allem an der TU Braunschweig sind Geräte für die Durchführung von Kälte-Kontraktions- und Relaxationsversuchen entwickelt worden. Die Versuche erfordern einen zeitlichen und apparativen Aufwand. Wünschenswert wäre eine Vereinfachung der Methode.

4. OPTIMIERUNGEN

Ziel der Optimierung ist die Verlängerung der Lebensdauer bituminöser Beläge. Dazu wären Versuche notwendig, die erlauben, die Eigenschaften eines Mischgutes auf bestimmte Anforderungen hin zu optimieren:

- Ermüdungsverhalten
- Verhalten unter thermischer Beanspruchung
- Besondere Anforderungen
(Standlasten, Bushaltestellen, wenig befahrene Oberflächen, Permafrost)

5. EINBAUKONTROLLEN

5.1 Mischgutkontrollen

Die heutigen Verfahren zur Bestimmung der Zusammensetzung eines Mischgutes (Extraktion, Siebanalyse) sind erprobt und zuverlässig. Für baustellenbezogene Mischgutkontrollen wäre eine raschere Methode erforderlich. Im Zusammenhang mit der Einführung von Qualitätssicherungs-Systemen auf Baustellen, müsste die gewünschte Methode nicht unbedingt die Zusammensetzung des geprüften Mischgutes bestimmen; die Messung von "Steuergrößen", analog Frischbetonkontrollen, wäre ebenfalls denkbar.

5.2 Verdichtungskontrollen

In einer Forschungsarbeit wurde festgestellt, dass die Verdichtungsart einen Einfluss auf die Struktur (Morphologie) des verdichteten Mischgutes ausübt: Kornorientierung, Größenverteilung der Poren. Auch konnte ein Zusammenhang zwischen gewissen morphologischen Parametern und den mechanischen Eigenschaften festgestellt werden.

Die entwickelte Methode eröffnet ein neues Spektrum von Aussagen und Beobachtungen, die dazu dienen können, neue Erkenntnisse auf dem Gebiet des bituminösen Strassenbaus zu gewinnen.

Seit Jahren werden Isotopensonden zur zerstörungsfreien Kontrolle der Verdichtungsleistung eingesetzt. Die Durchführung der Messung ist nicht normiert, obwohl verschiedene einzustellende Parameter einen grossen Einfluss auf die Ergebnisse ausüben. Die Erarbeitung standardisierter Verfahren wäre wünschenswert.

Mittels systematischer Untersuchungen könnten die zerstörungsfreien Prüfungen aufgewertet werden und sogar für die bauherrenseitige Qualitätskontrolle (Abnahme) von Baustellen beigezogen werden.

6. OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN DES BELAGES

6.1 Ebenheit in Längsrichtung

Die heute noch gültige Norm SN 640 520 a aus dem Jahre 1977 enthält für die Messung der Ebenheit in Längsrichtung nur die Winkelmessgeräte.

Seit Jahren existieren Geräte, die die Messung der Ebenheit bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h erlauben. Es liegen viele Erfahrungswerte vor, aber keine entsprechende Norm.

Für kleinere Strecken und schnelle Kontrollen sind Winkelmessgeräte wie zum Beispiel der "Goniograph" nach wie vor geeignet. Ein Nachteil ist die zeitraubende Auswertung des Goniogramms. Wünschenswert wäre eine Modifizierung des Gerätes, so dass die Winkelwerte elektronisch erfasst und die notwendigen statistischen Werte durch einen Mikroprozessor berechnet würden. Eine entsprechende Entwicklung ist im Stadium eines Prototyps stecken geblieben.

6.2 Ebenheit in Querrichtung

Die oben erwähnte Norm enthält für die Messung der Ebenheit in Querrichtung den Oberflächen-Profilschreiber (Planum) und die Messlatte.

Seit einigen Jahren gibt es berührungslose Messmethoden, bei welchen die Aufnahme und Aufzeichnung des Querprofils aus dem rollenden Fahrzeug möglich ist.

Ein im Dezember 1987 abgeschlossener Forschungsauftrag hat nicht zu einer Normierung geführt.